



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di ingegneria Civile, Edile ed Ambientale



UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

ETSI Caminos, Canales y Puertos

A.A. 2016/2017

Tesi di Laurea

**Analisi comparata dei criteri di dimensionamento e verifica delle principali
fasi di un impianto di depurazione per acque reflue urbane**

Relatore

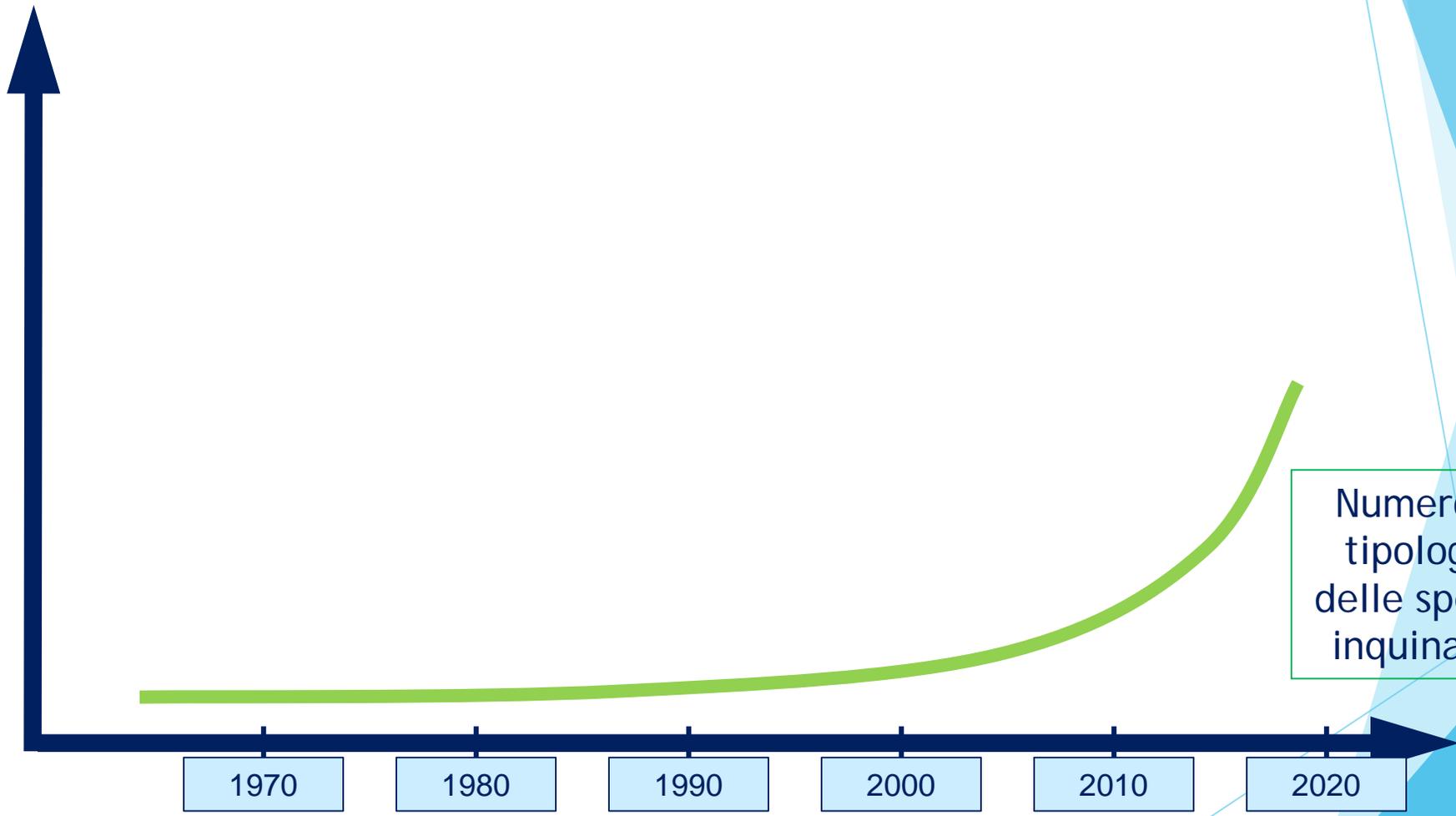
Ch.mo Prof Francesco Pirozzi

Ch.ma Prof Isabel del Castillo

Candidato

Raffaele Veneri

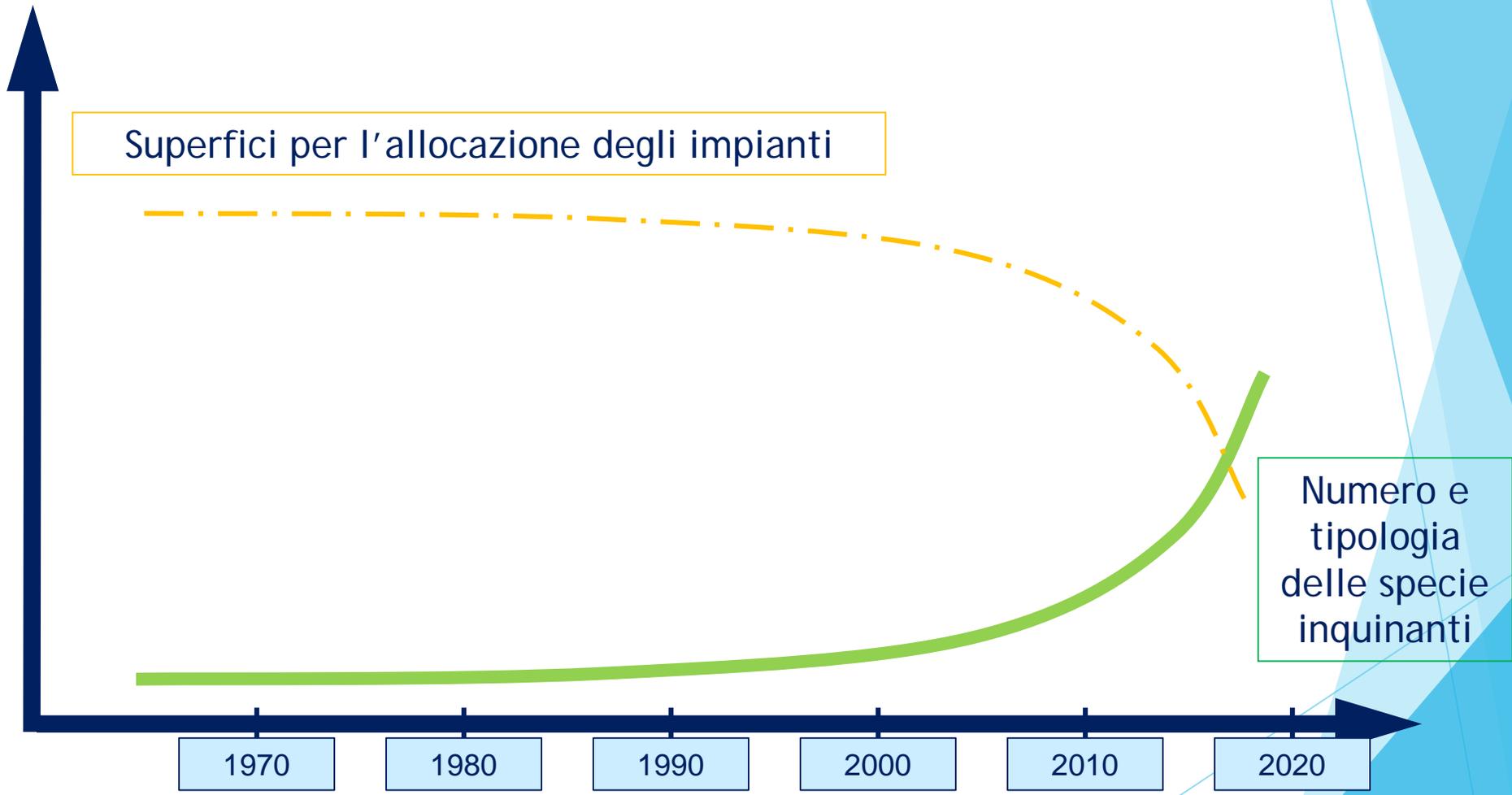
Matricola M67/353



Numero e
tipologia
delle specie
inquinanti

presenza di sostanze xenobiotiche





Superfici per l'allocazione degli impianti

Numero e tipologia delle specie inquinanti

1970

1980

1990

2000

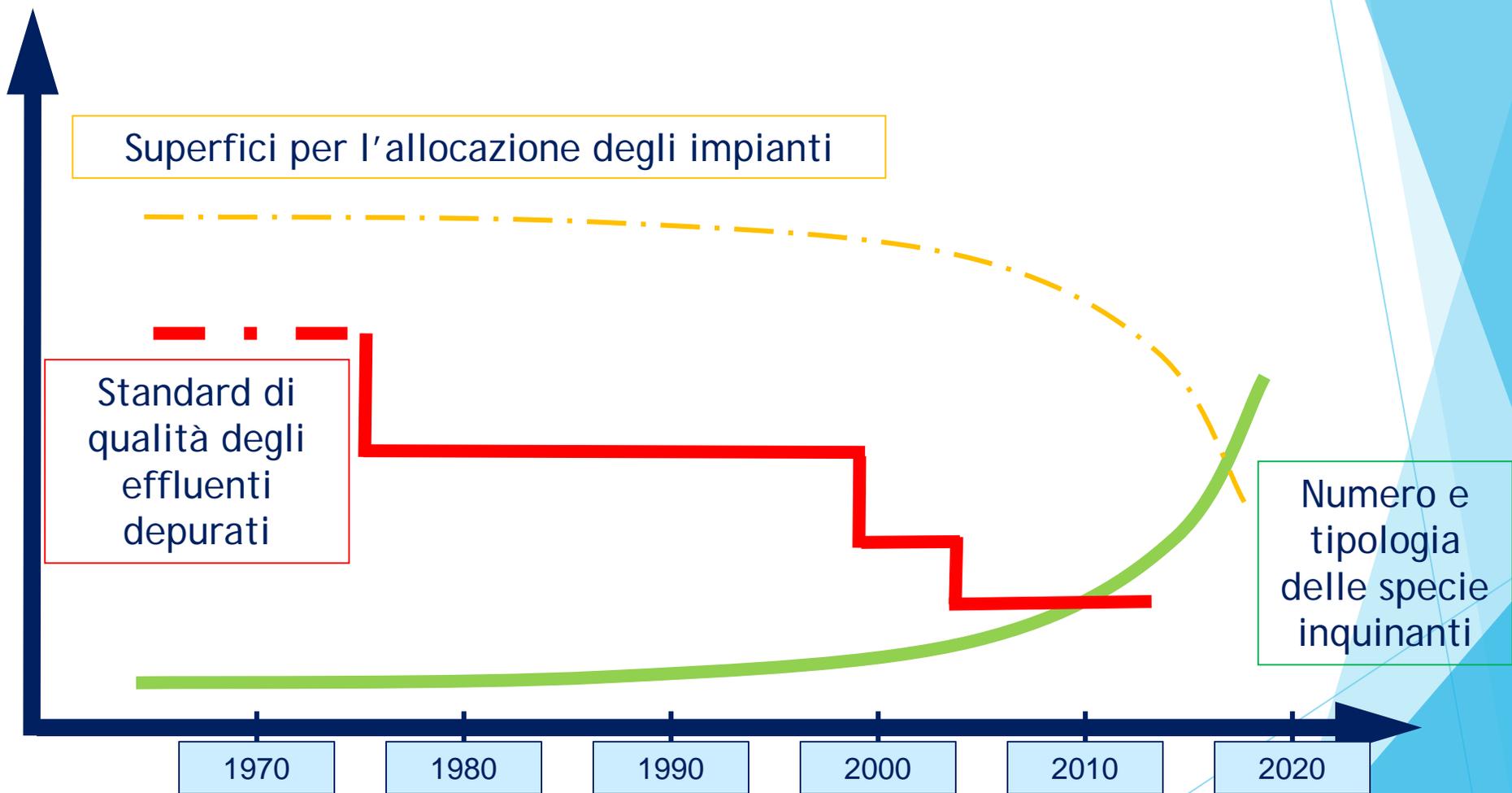
2010

2020



difficoltà individuare zone dove ubicare gli impianti





Superfici per l'allocazione degli impianti

Standard di qualità degli effluenti depurati

Numero e tipologia delle specie inquinanti

1970

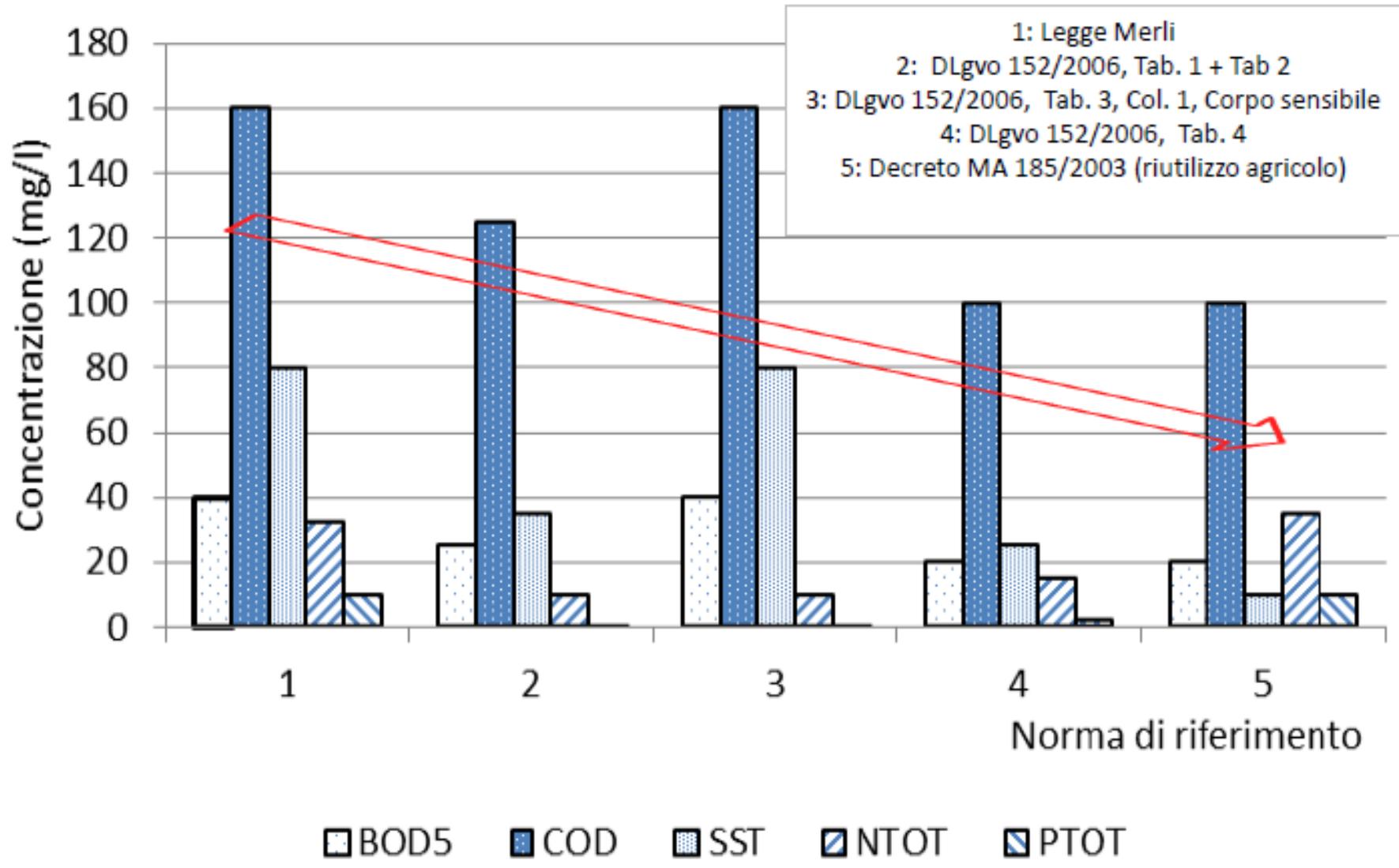
1980

1990

2000

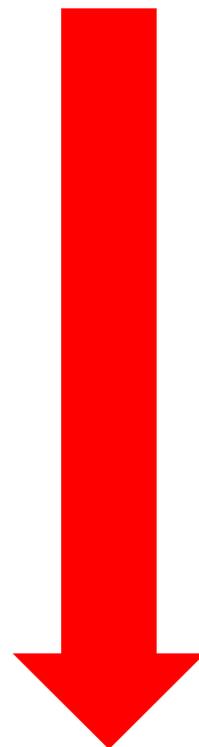
2010

2020





RENDIMENTI
DI RIMOZIONE



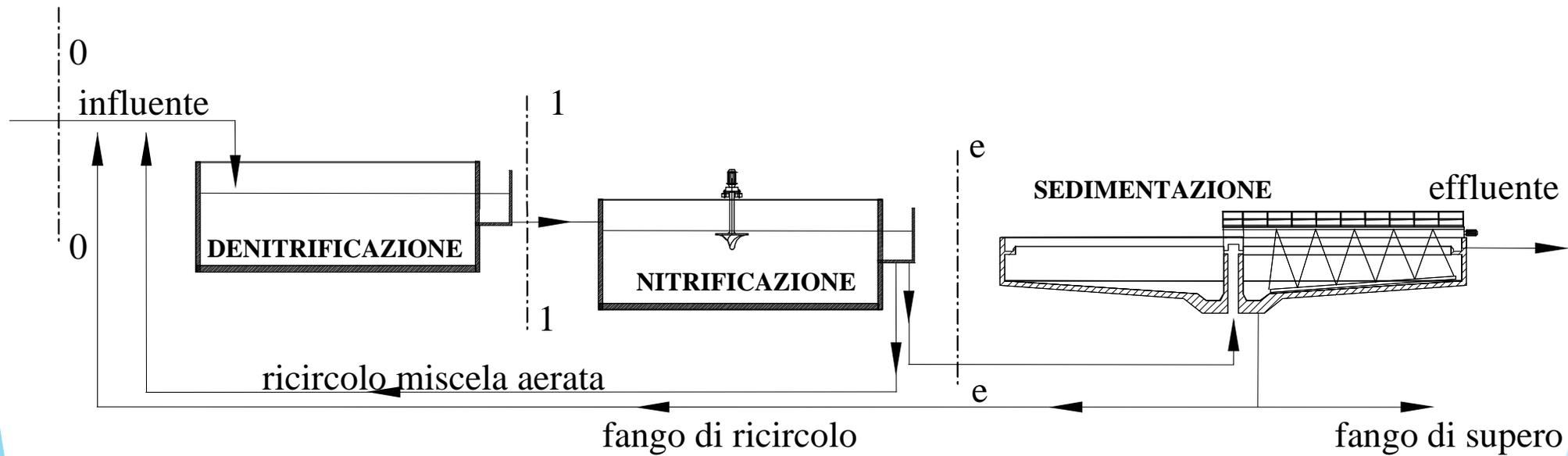
VOLUMI E
SUPERFICI
OCCUPATI

In affiancamento ai sistemi tradizionali sono state introdotte nuove configurazioni impiantistiche



SISTEMA A FANGHI ATTIVI

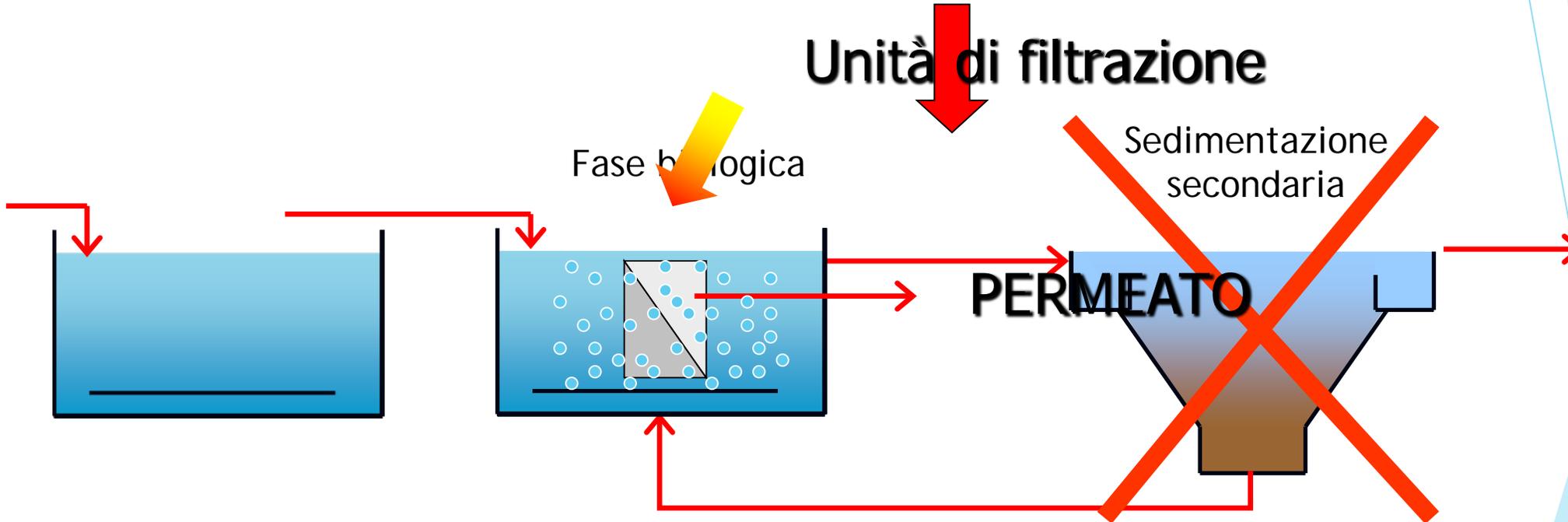
(Activated sludge)



SISTEMA MBR

(Membrane biological reactor)

IMPIANTO TRADIZIONALE A FANGHI ATTIVI

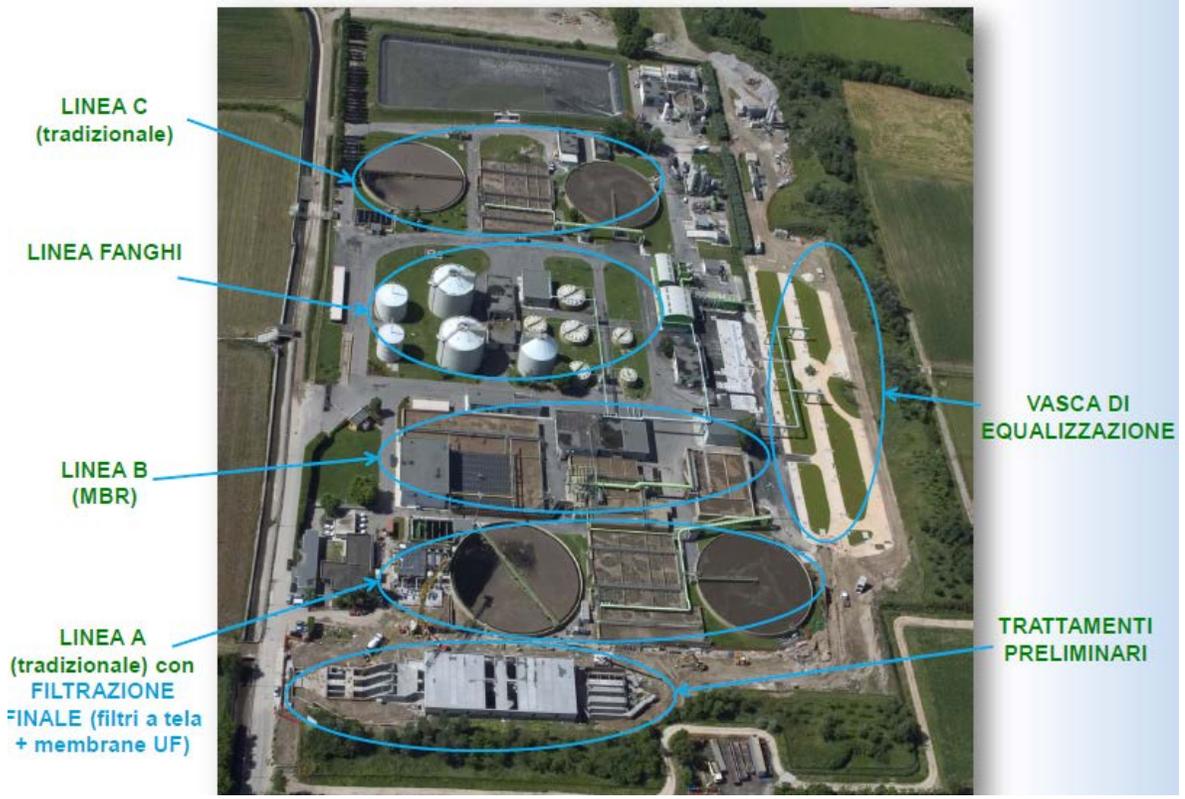


La miscela aerata subisce un'azione di filtrazione, La biomassa è separata dal liquido e cade in fase di sedimentazione e il liquido è in parte riciclato nella fase biologica

SISTEMA MBR

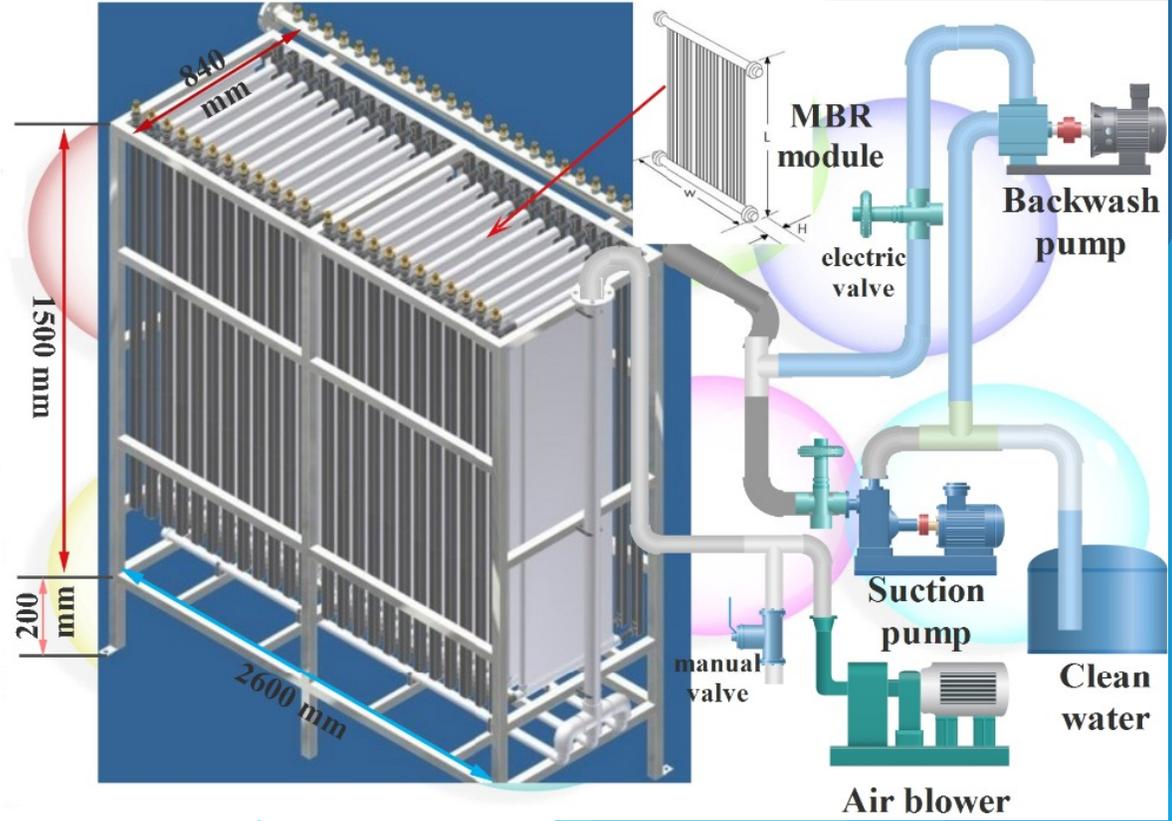
(Membrane biological reactor)

Impianto di Verziano (Brescia) 250,000 AE



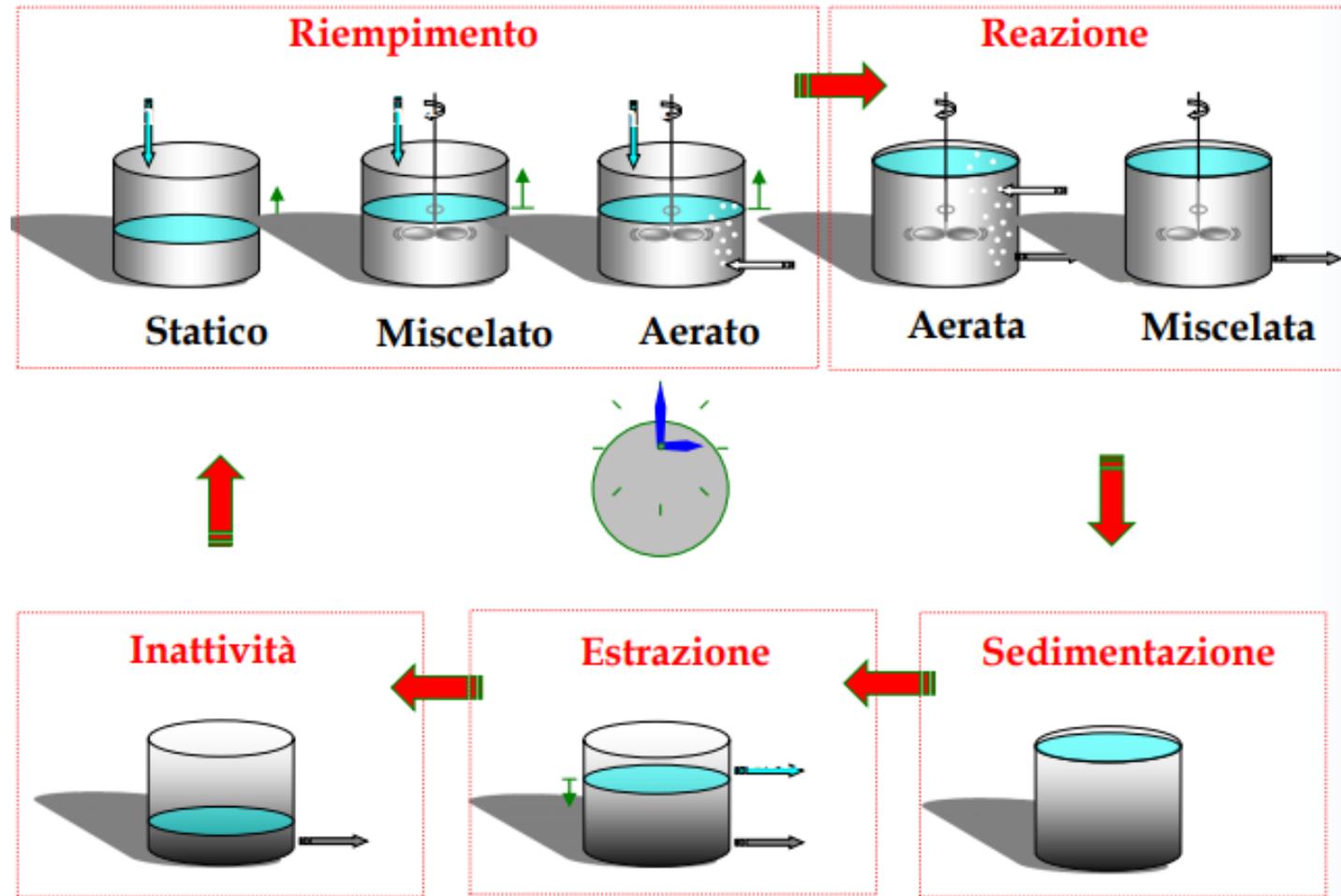
Impianto con FA e MBR

Funzionamento MBR



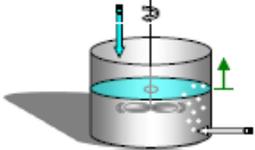
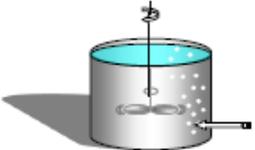
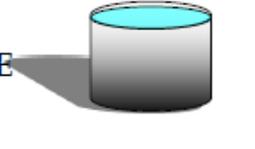
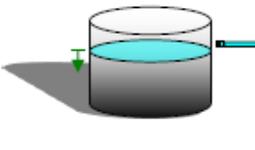
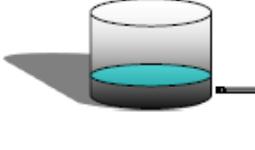
SISTEMA SBR

(sequential batch reactor)



SISTEMA SBR

(sequential batch reactors)

RIEMPIMENTO		$V = 25 - 100\%$	$T_F/T_C = 25\%$
REAZIONE		$V = 100\%$	$T_R/T_C = 35\%$
SEDIMENTAZIONE		$V = 100\%$	$T_S/T_C = 20\%$
ESTRAZIONE		$V = 100 - 35\%$	$T_W/T_C = 15\%$
INATTIVITÀ		$V = 35 - 25\%$	$T_I/T_C = 5\%$



VASCA SBR

Il dimensionamento di tali sistemi è ancora oggi basato su approcci empirici



Che non consentono di mettere in correlazione l'efficienza depurativa con i valori di concentrazione dei substrati all'interno sia dell'influente che dell'effluente depurato

Tale approccio empirico è addirittura consigliato in diversi Paesi dell'unione europea, nei quali si è soliti fare riferimento a specifiche norme standardizzate

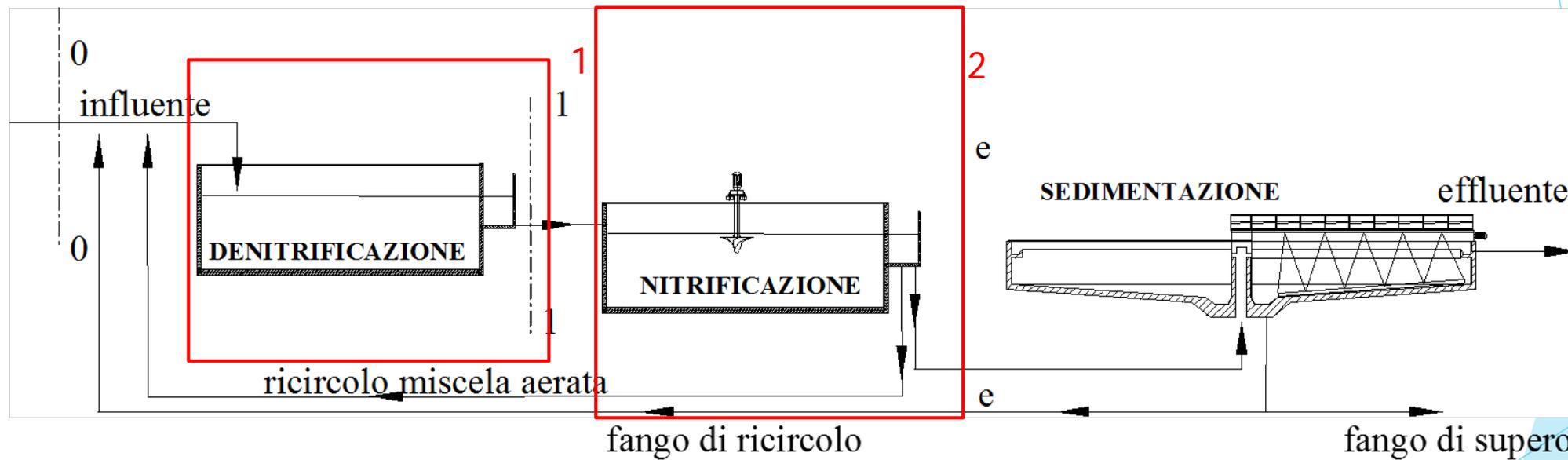


L'obiettivo fondamentale di questo lavoro è quindi definire criteri di dimensionamento più precisi

Illustrando i criteri che sono stati individuati per 3 diversi sistemi biologici:

- 1) Fanghi attivi convenzionale
- 2) MBR
- 3) SBR

Volumi di controllo



$$Q \cdot S_0 + (R_1 + R_2) \cdot Q \cdot S_e - \omega \cdot v_D \cdot V_D \cdot (X_H)_D = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot S_1$$

$$(R_1 + R_2) \cdot Q \cdot (N - NO_3)_e - v_D \cdot V_D \cdot (X_H)_D = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (N - NO_3)_1$$

$$Q \cdot (N - NH_4)_0 + (R_1 + R_2) \cdot Q \cdot (N - NH_4)_e - \epsilon \cdot \omega \cdot v_D \cdot V_D \cdot (X_H)_D = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (N - NH_4)_1$$

$$(R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot S_1 - v_S \cdot V_N \cdot (X_H)_N = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot S_e$$

$$(R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (N - NO_3)_1 + v_N \cdot V_N \cdot (X_{AUT})_N = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (N - NO_3)_e$$

$$(R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (N - NH_4)_1 - v_N \cdot V_N \cdot (X_{AUT})_N - \epsilon \cdot v_S \cdot V_N \cdot (X_H)_N = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (N - NH_4)_e$$

$$R_1 \cdot Q \cdot (X_H)_r + R_2 \cdot Q \cdot (X_H)_N + v_D \cdot Y_D \cdot V_D \cdot (X_H)_D = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (X_H)_D$$

$$R_1 \cdot Q \cdot (X_{AUT})_r + R_2 \cdot Q \cdot (X_{AUT})_N = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (X_{AUT})_D$$

$$(R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (X_H)_D + Y_H \cdot v_S \cdot V_N \cdot (X_H)_N = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (X_H)_N$$

$$(R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (X_{AUT})_D + Y_{AUT} \cdot v_N \cdot V_N \cdot (X_{AUT})_N = (R_1 + R_2 + 1) \cdot Q \cdot (X_{AUT})_N$$

$$1. \quad V_N(X_{AUT})_N = \frac{Q[(N - NH_4)_0 - (N - NH_4)_e] - \varepsilon Q(S_0 - S_e)}{v_N}$$

$$2. \quad V_N(X_H)_N = \frac{Q(S_0 - S_e) - \omega[v_N V_N(X_{AUT})_N - Q(N - NO_3)_e]}{v_S}$$

$$3. \quad (N - NO_3)_1 = (N - NO_3)_e - \frac{v_N V_N(X_{AUT})_N}{(1 + R_1 + R_2)Q}$$

$$4. \quad S_1 = S_e + \frac{v_S V_N(X_H)_N}{(1 + R_1 + R_2)Q}$$

$$5. \quad (N - NH_4)_1 = (N - NH_4)_e + \frac{v_N V_N(X_{AUT})_N + \varepsilon v_S V_N(X_H)_N}{(1 + R_1 + R_2)Q}$$

$$6. \quad V_D(X_H)_D = \frac{[v_N V_N(X_{AUT})_N - Q(N - NO_3)_e]}{v_D}$$

$$7. \quad (X_H)_D = (X_H)_N \left[1 - \frac{Y_H v_S v_N}{Q(R_1 + R_2 + 1)} \right]$$

$$8. \quad R_1 = \frac{Q[(X_H)_N + (X_{AUT})_N] - Y_H v_S v_N (X_H)_N - Y_{AUT} v_N v_N (X_{AUT})_N - Y_D v_D v_D (X_H)_D}{Q[(X_H)_r + (X_{AUT})_r - (X_H)_N - (X_{AUT})_N]}$$

$$9. \quad (X_{AUT})_D = (X_{AUT})_N \left[1 - \frac{Y_N v_N v_N}{Q(R_1 + R_2 + 1)} \right]$$

$$A = (\hat{v}_s Y_H - v_N Y_{AUT})(1 + \varepsilon\omega) - \varepsilon \hat{v}_s Y_D$$

$$B = v_N Y_{AUT} (S_0 - K_S - \varepsilon\omega K_S) - \hat{v}_s Y_{AUT} S_0 + (\omega v_N Y_{AUT} - \omega \hat{v}_s Y_H + \hat{v}_s Y_D)[(N - NO_3)_e - (TKN_0 - TKN_e) + \varepsilon S_0];$$

$$C = v_N Y_{AUT} K_S [\omega(N - NO_3)_e - \omega(TKN_0 - TKN_e) + (1 + \varepsilon\omega)S_0]$$

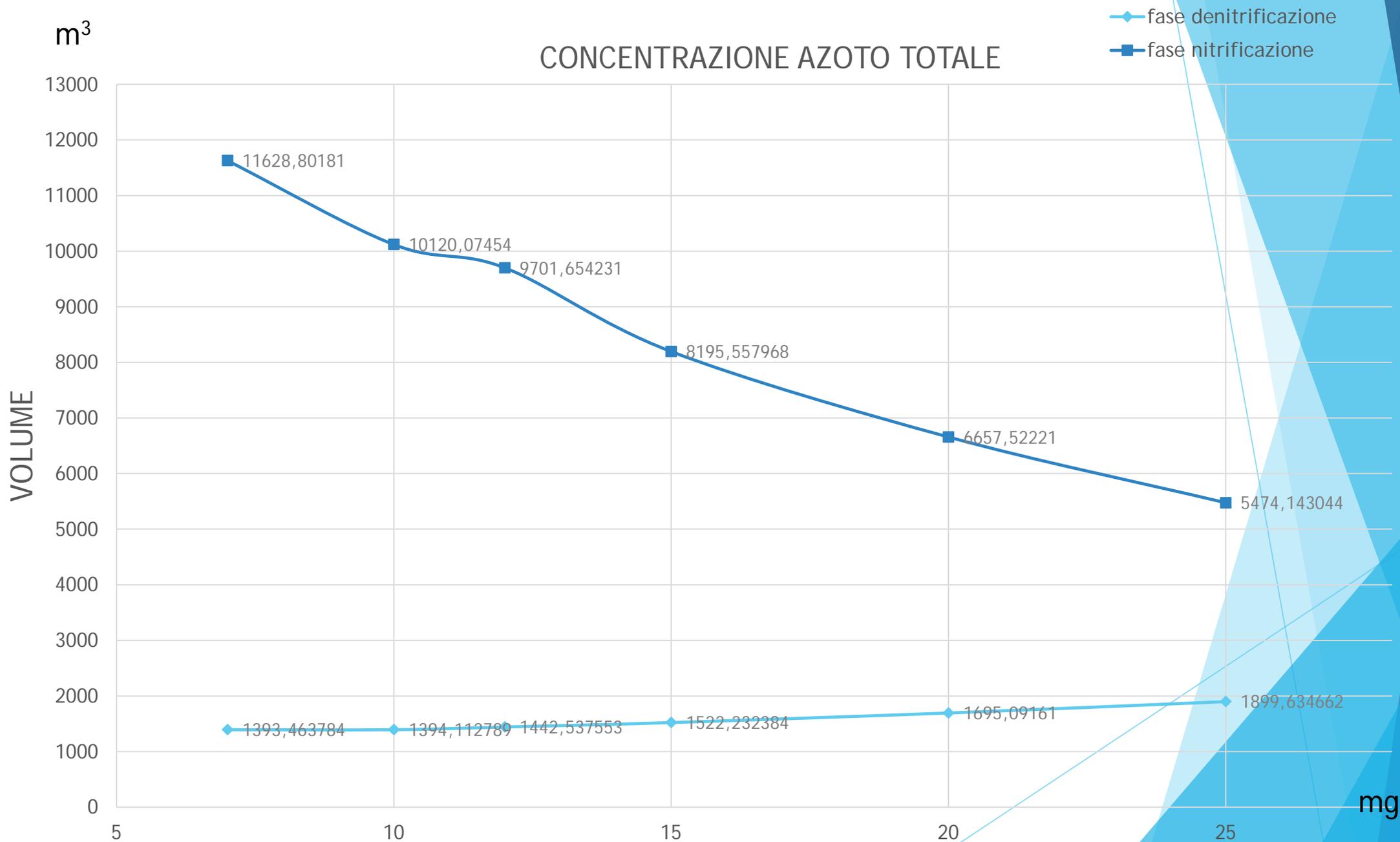
$$10. \quad AS_e^2 + BS_e + C = 0$$

EQUAZIONI DI PROGETTO:

$$V_N = \frac{Q[(N - NH_4)_0 - (N - NH_4)_e] - \varepsilon Q(S_0 - S_e)}{v_N (X_{AUT})_N} + \frac{Q(S_0 - S_e) - \omega [v_N V_N (X_{AUT})_N - Q(N - NO_3)_e]}{v_S (X_{AUT})_N}$$

$$V_D = \frac{[v_N V_N (X_{AUT})_N - Q(N - NO_3)_e]}{v_D (X_{AUT})_D (X_H)_D}$$

CONCENTRAZIONE AZOTO TOTALE



EQUAZIONI DI PROGETTO:

$$\sigma_c = 25 (1,072)^{(12-T)} \implies V_{tot} = \frac{\text{produzione di fango} * \theta_c}{MLSS}$$

$$V_{tot} = \frac{(S_o \left(0,75 \frac{0,10 \sigma_c F_t}{1 + 0,10 \sigma_c F_t} \right) + 0,6 Q_d X_e + Q_d (3 X_p + 6,8 X_{fe}) 10^{-3}) \theta_c}{(X_{aut})_N + (X_H)_N}$$

APPLICAZIONE



Numero di abitanti	N	28193	Abeq
--------------------	---	-------	------

Temperatura invernale	Tmin	14	°C
Temperatura estiva	Tmax	25	°C

Caratteristiche H2O				
Residui	Concentrazione media		Concentrazione media giornaliera	
BO5	242	mg/l	1691,58	kg/d
SST	182	mg/l	1255,8	kg/d
NTK	28,3	mg/l	195,27	kg/d
PT	8,1	mg/l	55,89	kg/d

Portate			
Portata media nera giornaliera	Qm,n	6990	m ³ /d
Portata media nera oraria	Qm,n	291,25	m ³ /h
Portata massima (5Qm,n)	Qmax	1456,25	m ³ /h
Portata massima per i processi biologici (2,5Qm,n)	Qmax, bio	728,125	m ³ /h
Portata di punta (1,6 Qm,n)	Qp	466	m ³ /h
Portata di pretrattamento	Qpr	728,125	m ³ /h
	Qpr	0,20226	m ³ /s

È stato progettato un impianto di trattamento delle acque per una comunità dell'ovest della Spagna appartenente ai comuni di Montijo e Puebla de la Calzada (Badajoz) nella comunità di Extremadura.

SISTEMA A FANGHI ATTIVI

APPROCCIO ANALITICO

Dimensioni impianto

- 2 Vasche aventi dimensioni di:
Vasca nitrificazione $V = 2250 \text{ m}^3$
 $h = 5 \text{ m}$; $L = 15 \text{ m}$; $a = 15 \text{ m}$
Vasca denitrificazione $V = 11560 \text{ m}^3$
 $h = 5 \text{ m}$; $L = 34 \text{ m}$; $a = 34 \text{ m}$
Area tot = 2761 m^2
- 2 Vasche di sedimentazione secondaria di:
 $V = 1056 \text{ m}^3$
 $h = 3 \text{ m}$; $D = 15 \text{ m}$
Area tot = 352 m^2

Portata di aria da aggiungere

- $4799,90 \text{ m}^3/\text{h}$

Quantitativo di Fe da aggiungere

- $45,34 \text{ kgFe/d}$

APPROCCIO EMPIRICO

Dimensioni impianto

- 2 Vasche uniche separate da un setto con rapporto volumi denitrificazione/nitrificazione pari a 0,2 $V = 12800 \text{ m}^3$
 $h = 5 \text{ m}$; $L = 80 \text{ m}$; $a = 16 \text{ m}$
Area tot = 2560 m^2
- 2 Vasche di sedimentazione secondaria di:
 $V = 1526,04 \text{ m}^3$
 $h = 3 \text{ m}$; $D = 18 \text{ m}$
Area tot = $508,68 \text{ m}^2$

Portata di aria da aggiungere

- $3317,18 \text{ m}^3/\text{h}$

Quantitativo di Fe da aggiungere

- $69,45264 \text{ kg Fe/d}$

SISTEMA MBR

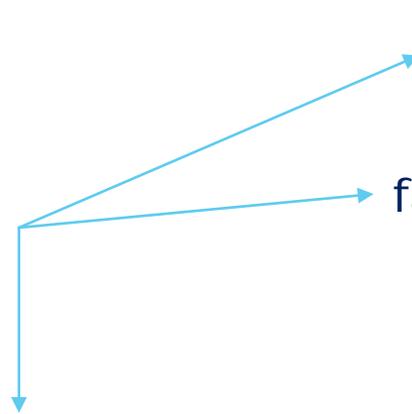
(Membrane biological reactor)

fase di
denitrificazione

fase di nitrificazione combinata

è stato previsto un ciclo di
pre-denitrificazione
biologica

Fase con MBR



EQUAZIONI DI PROGETTO

Metodo analitico

$$V_N = \frac{Q Y (S - S_e) + f_d k_e Q Y (S - S_e) F S + Q Y_n (NO_3) + (Q n b S S V + i S S T)}{(\mu_n (1 + k_e (\mu_{nm} N_e) (K_0 + O_2)) - K_{en}) \mu_n X_n}$$

$$V_D = \frac{F S V_N}{Q \mu_n} \frac{(1 + k_e) F S}{Y (S - S_e) \mu_n} \mu_d NO_3$$

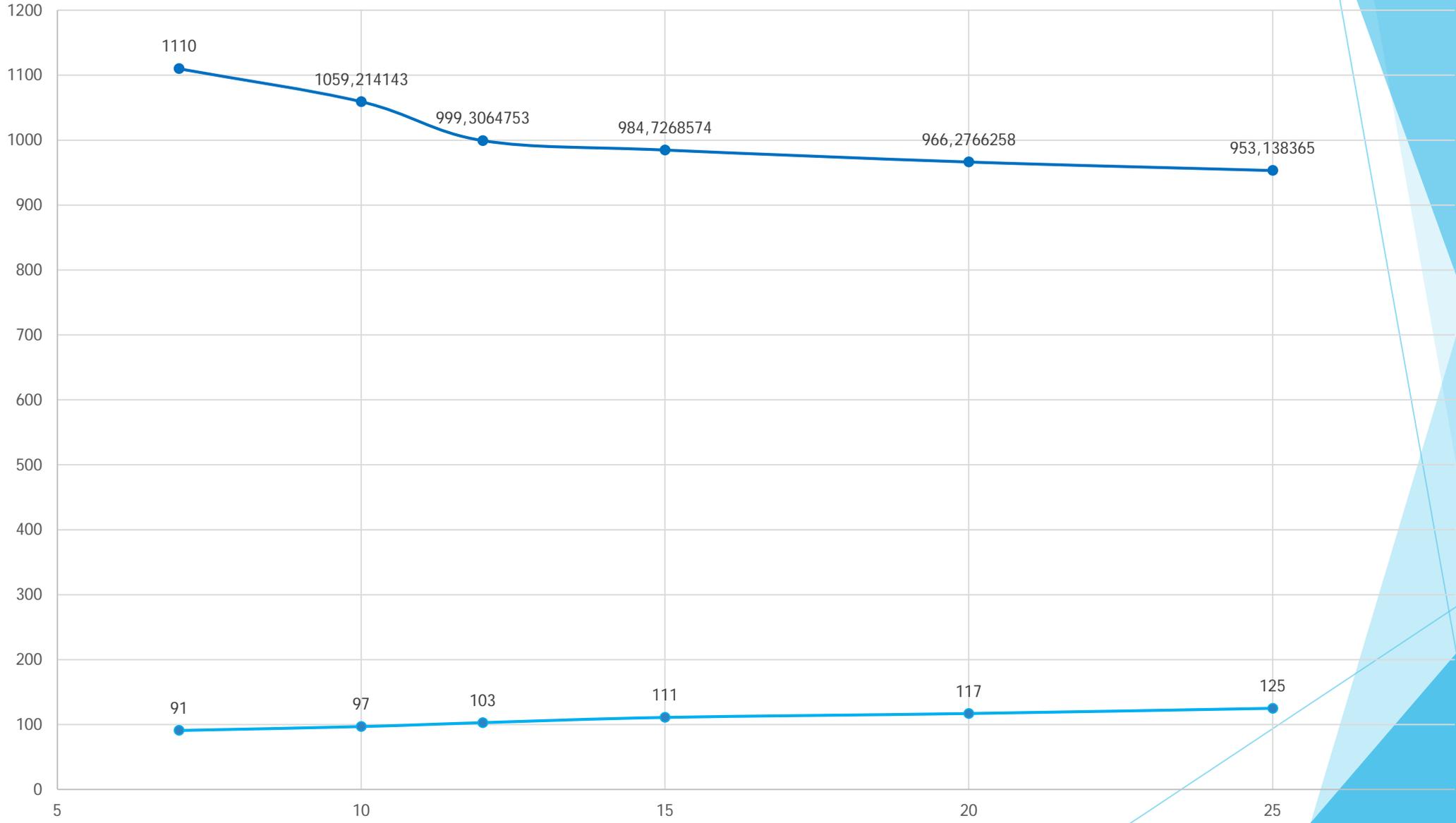
Metodo empirico

$$V_t = \frac{(S_0 \left(0,75 \frac{0,10 \sigma_c F_t}{1 + 0,10 \sigma_c F_t} \right) + 0,6 Q_d X_e + Q_d (3 X_{,P} + 6,8 X_{fe}) 10^{-3}) \theta_c}{(X_{aut})_N + (X_H)_N}$$

m³

CONCENTRAZIONE DI AZOTO TOTALE

- fase nitrificazione
- fase denitrificazione



VOLUME

mg

SISTEMA MBR

METODO ANALITICO

Dimensioni impianto

- 2 Vasche aventi dimensioni di:
Vasca nitrificazione $V=360\text{m}^3$
 $h=5\text{m}$; $L=6\text{m}$; $a=6\text{m}$
Vasca denitrificazione $V=2560\text{m}^3$
 $h=5\text{m}$; $L=16\text{m}$; $a=16\text{m}$
Area tot= 512m^2
- 2 Vasca dove inserire le membrane
 $V=264\text{m}^3$
 $h=4\text{m}$; $L=11\text{m}$; $a=3\text{m}$
Area tot= 132 m^2

Portata di aria da aggiungere processi bio

- $1148\text{m}^3/\text{h}$

Portata di aria da aggiungere lavaggio MBR

- $6211\text{m}^3/\text{h}$

Quantitativo di Fe da aggiungere

- $45,34\text{kgFe}/\text{d}$

METODO EMPIRICO

Dimensioni impianto

- 2 Vasche uniche separate da un setto con rapporto volumi denitrificazione/nitrificazione pari a 0,2 $V=6600\text{m}^3$
 $h=5\text{m}$; $L=55\text{m}$; $a=12\text{m}$
Area tot= 1220m^2
- 2 Vasca dove inserire le membrane
 $V=216\text{m}^3$
 $h=4\text{m}$; $L=9$; $a=3\text{m}$
Area tot= 108m^2

Portata di aria da aggiungere processi bio

- $4022,97\text{ m}^3/\text{h}$

Portata di aria da aggiungere lavaggio MBR

- $4250\text{m}^3/\text{h}$

Quantitativo di Fe da aggiungere

- $69,45264\text{kgFe}/\text{d}$

SISTEMA SBR

(sequential batch reactors)

Il ciclo è un'unica vasca all'interno della quale avvengono tutte le fasi

EQUAZIONI DI PROGETTO:

Metodo analitico

$$V_{tot} = Q_h T_c \left(1 + \frac{(K_n + N_e)(K_o + DO) T_c S F Y_{NH} S_0 S V I}{(\mu_{nm} N_e D O - K_e) T c} \right)$$

Metodo empirico

$$V_{tot} = \frac{S_0 \left(0,75 \frac{0,10 \sigma_c F_t}{1 + 0,10 \sigma_c F_t} \right) + 0,6 Q_d X_0 + Q_d (3 X_p + 6,8 X_{fe}) 10^{-3}}{n(X_{aut})_N + (X_H)_N} + Q_{max} \frac{t_c}{n}$$

SISTEMA SBR

METODO ANALITICO

Dimensioni impianto

- 2 Vasche aventi dimensioni di:
Vasche uniche $V = 16000 \text{ m}^3$
 $h = 5 \text{ m}$; $l = 40 \text{ m}$
Area tot = 3200 m^2

Portata di aria da aggiungere processi

- $7925,54 \text{ m}^3/\text{h}$

Quantitativo di Fe da aggiungere

- $45,34 \text{ kg Fe/d}$

METODO EMPIRICO

Dimensioni impianto

- 2 Vasche aventi dimensioni di:
Vasche uniche $V = 20000 \text{ m}^3$
 $h = 5 \text{ m}$; $L = 100 \text{ m}$; $a = 20 \text{ m}$
Area tot = 4000 m^2

Portata di aria da aggiungere processi

- $8006,63 \text{ m}^3/\text{h}$

Quantitativo di Fe da aggiungere

- $69,45264 \text{ kg Fe/d}$

CONCLUSIONI

	METODO ANALITICO			METODO EMPIRICO		
	FANGHI ATTIVI	MBR	SBR	FANGHI ATTIVI	MBR	SBR
VOLUME [m ³]	14866	3184	16000	14326	6816	20000
SUPERFICIE [m ²]	3113	644	3528	3069	1274	4000
ARIA DA IMMETTERE [m ³ /h]	4799,90	7356	7925,54	3317,18	8272,97	8000,63

Grazie per l'attenzione