Attività 4.1 – OR 4

Campagna di mappatura della concentrazione di ossigeno disciolto nella vasche di ossidazione biologica **(SAL I-IV)**

Digestione anaerobica di fanghi di depurazione caratterizzati da elevati tenori di zinco **(SAL V-VII)**

Assimilazione aerobica di azoto e di rimozione della sostanza organica da liquami mediante consorzi batterici eterotrofi e idrogeno-ossidanti **(SAL VIII-X)**

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

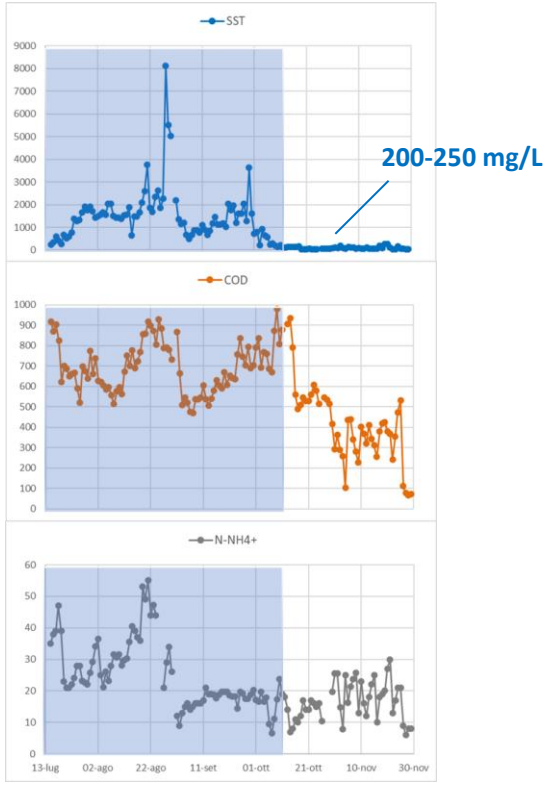
Campagna di mappatura della concentrazione di ossigeno disciolto nella vasche di ossidazione biologica (SAL I-IV)

Impianto di depurazione in oggetto: Mercato San Severino (SA)

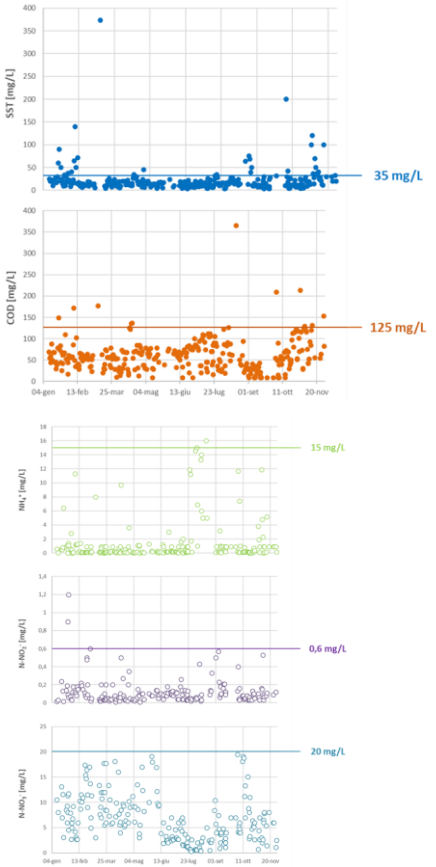
Parametro	Valore	Note
Portata media giornaliera (m^3/d)	42470	È il valore di portata mediata negli anni 2018 e 2019 al netto dei valori registrati ad agosto e settembre
Portata minima giornaliera (m^3/d)	26360	Fa riferimento all'anno 2019, ma molto prossimo a quello minimo relativo al 2018 (pari a 26385 m^3/d)

Parametro	Valore	Note
COD (g/m^3)	406	Calcolato come valore medio dei dati relativi agli anni 2017 e 2018
Azoto ammoniacale – $N\text{-}NH_4^+$ (g/m^3)	33,7	Come per il COD
TKN (g/m^3)	47,4	Calcolato a partire dal valore di $N\text{-}NH_4^+$, considerando un'aliquota di $N\text{-}NH_4^+$ costituente il TKN pari a 70%.
Tensioattivi totali (g/m^3) *	2,6	
Solfati (g/m^3) *	173,3	
Cloruri (g/m^3) *	285,2	

Ingresso



Uscita



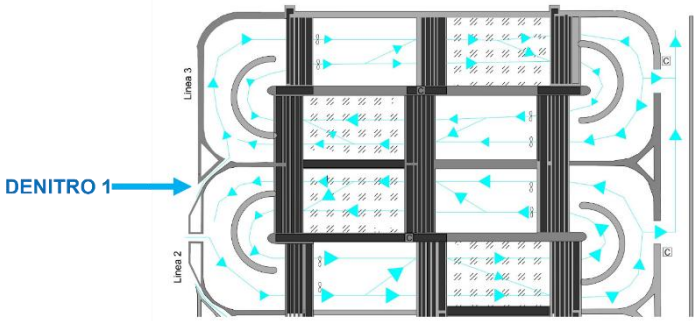
UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Campagna di mappatura della concentrazione di ossigeno disciolto nella vasche di ossidazione biologica (SAL I-IV)

Tre unità (linee) di ossidazione biologica con assetto di tipo Carousel



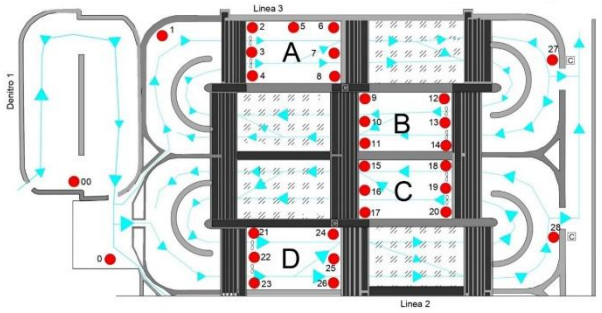
Difficoltà di carattere idrodinamico e agitatori non perfettamente funzionanti → sedimentazione di materiale sospeso

Prove in-situ volte a:

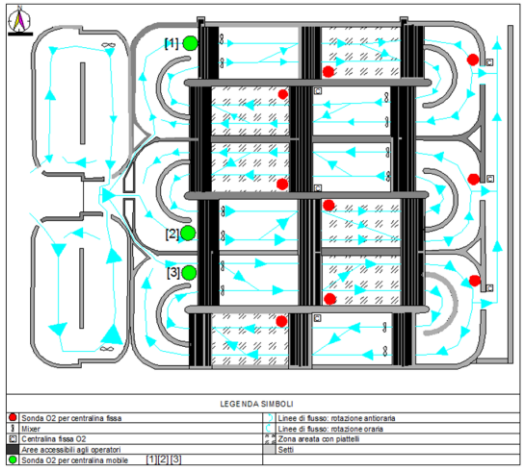
- ottenere una mappatura, e cioè una **distribuzione spazio-temporale**, del valore di ossigeno disciolto in vari punti delle vasche e in differenti momenti;

- valutare i più bassi valori di ossigeno disciolto durante l'intero periodo di osservazione, sia in periodi ancora caratterizzati dall'**assenza di reflui provenienti da attività produttiva**, sia nel mese di agosto (**nel pieno della stagione produttiva**).

Prova maggio 2021



Prova agosto 2021



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Campagna di mappatura della concentrazione di ossigeno disciolto nella vasche di ossidazione biologica (SAL I-IV)

Prova maggio 2021

Distribuzione spaziale della media, calcolata su due ore di osservazione, **dei valori di concentrazione di ossigeno disciolto** nelle due vasche oggetto della prova del maggio 2021

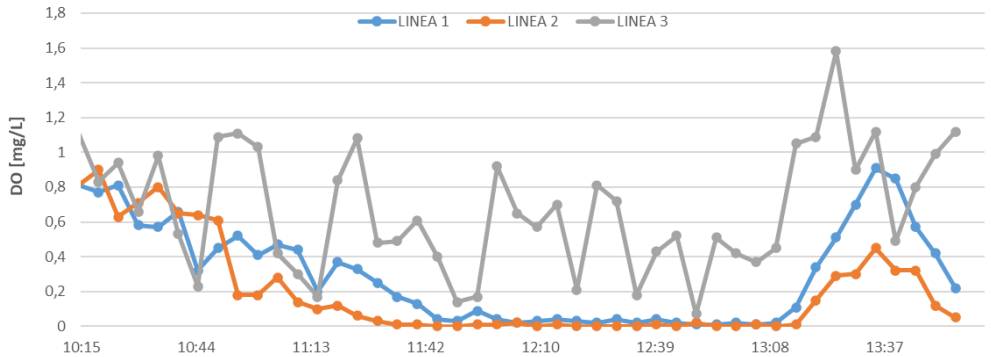
DO < 0,5
0,5 < DO < 1,0
1,0 < DO < 1,5
1,5 < DO < 2,0
2,0 < DO < 2,5
2,5 < DO < 3,0

1,95	1,49	2,03	Insufflazione
2,61	A	2,10	
2,15		2,39	
Insufflazione	1,93	1,23	
	1,87	B	0,90
	1,76		1,27
Insufflazione	1,86	0,69	
	0,69	C	1,06
	0,76		0,90
0,62	D	0,74	Insufflazione
1,16		0,71	
0,93		0,63	

Linea 3

Linea 2

Prova agosto 2021



L'assetto del tipo Carousel delle vasche di ossidazione biologica e la disposizione a scacchiera dei tappetini di aerazione **non garantiscono, soprattutto nei momenti di maggiore carico inquinante in ingresso (per esempio, durante la stagione conserviera), livelli di ossigeno disciolto adeguati.**

Tale risultato non è tanto visibile in termini di abbattimento di COD, ma perlopiù **in termini di nitrificazione**.

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Digestione anaerobica di fanghi di depurazione caratterizzati da elevati tenori di zinco (SAL V-VII)

Impianto di depurazione in oggetto: consortile di Termoli (CB)

I campioni di fango oggetto di studio sono stati prelevati:

- dal bacino di aerazione del trattamento secondario (fango attivo - ***activated sludge***);
- dal bacino di stabilizzazione aerobica (fango ossidato - ***oxydized sludge***);
- dalla fase di disidratazione dei fanghi attivi (fango disidratato – ***dehydrated sludge***)

Campione	TS (g/L; %)	VS (g/L; %)	Zn (mg/L)	Zn (mg/g VS)
Fango attivo	14.98	6.41	92.98	14.22
Fango ossidato	6.53	2.04	18.76	9.33
Fango disidratato	19.17%	7.95%	0.05	0.59

Prima campagna sperimentale

Prove BMP (*biochemical methane potential*) – 75 gg

- condizioni mesofile (37°C);
- 150 mL di volume di lavoro;
- 4 condizioni operative (è stato preparato anche un quarto campione di fango diluendo il dehydrated sludge fino al 9,5% di secco);
- pH iniziale corretto a 6,8 in tutte le bottiglie;
- inertizzazione con N_2 per rimuovere O_2.

Seconda campagna sperimentale

Prove BMP (*biochemical methane potential*) – 75 gg

- è stato utilizzato solo il fango attivo
- la concentrazione di Zn è stata aumentata 3, 4 e 5 volte rispetto a quella di fondo;

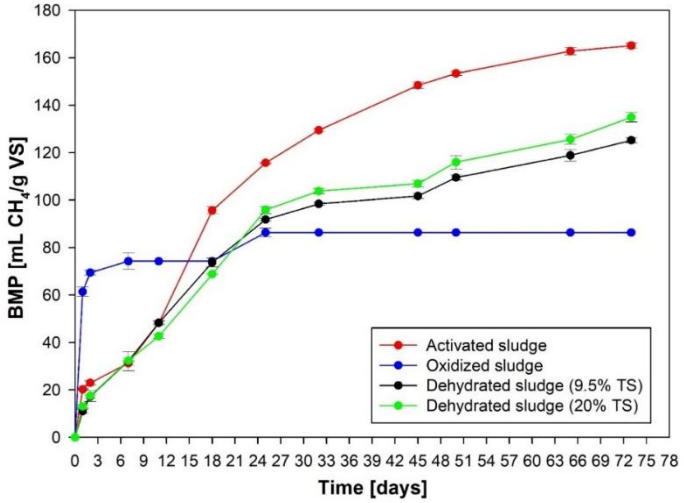
UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Digestione anaerobica di fanghi di depurazione caratterizzati da elevati tenori di zinco (SAL V-VII)

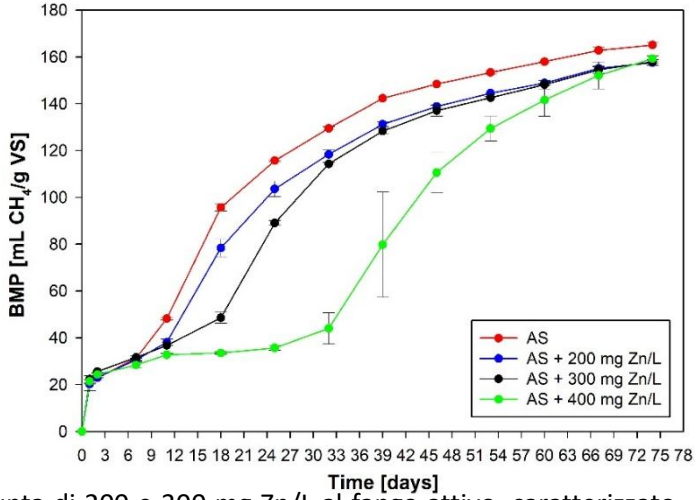
Prima campagna sperimentale



Tipici valori di BMP in assenza di Zn
180-200 mL CH_4/g VS

I campioni di fango hanno riportato valori di BMP in linea con quelli che normalmente si ottengono in assenza di Zn, dimostrando come l'acclimatazione a tale metallo possa potenzialmente permettere di **superare i fenomeni di inibizione** che possono instaurarsi in sua presenza.

Seconda campagna sperimentale



L'aggiunta di 200 e 300 mg Zn/L al fango attivo, caratterizzato da una concentrazione di fondo di 93 mg Zn/L, **non ha influito sul valore finale di BMP**. L'inibizione causata dalla presenza di 400 mg Zn/L aggiunti esternamente, **si è dimostrata essere solo temporanea**, e i valori di BMP finali sono risultati essere paragonabili a quelli raggiunti con contenuti di Zn inferiori.

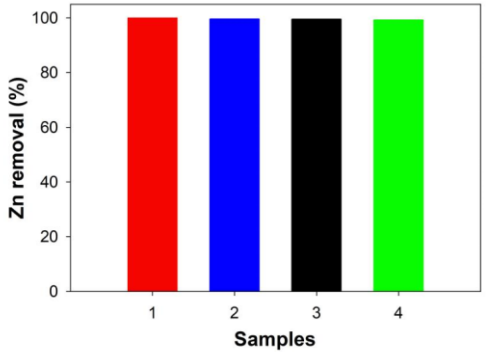


Figure 4. Overall Zn removal (%) of the activated sludge (AS) at increasing Zn concentrations: (1) AS; (2) AS + 200; (3) AS + 300; (4) AS + 400.

La **precipitazione dello Zn come ZnS** ha comportato una concentrazione di Zn solubile (quella realmente **biodisponibile** per i microrganismi) confrontabile in tutte le condizioni sperimentali e, dunque, valori finali di BMP molto simili.

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

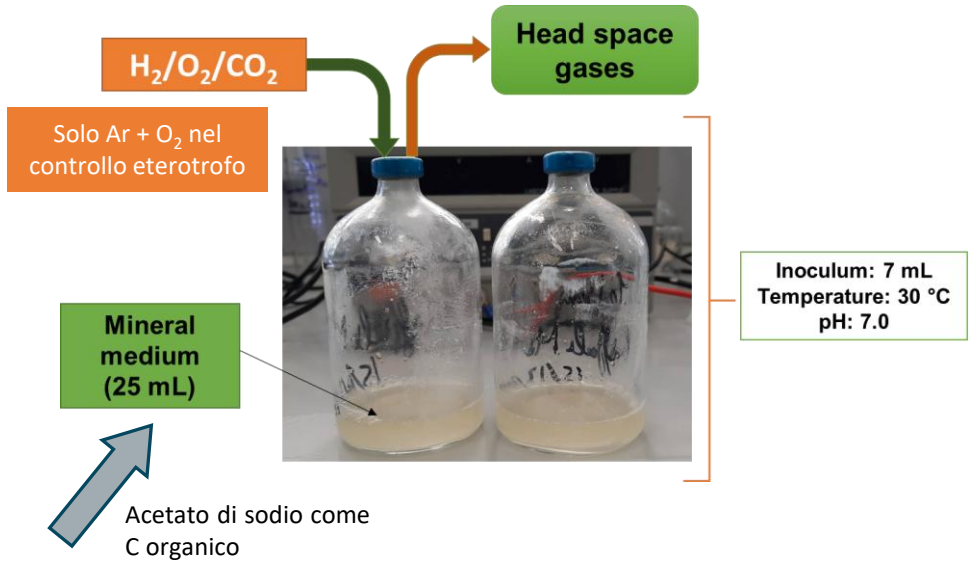
Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

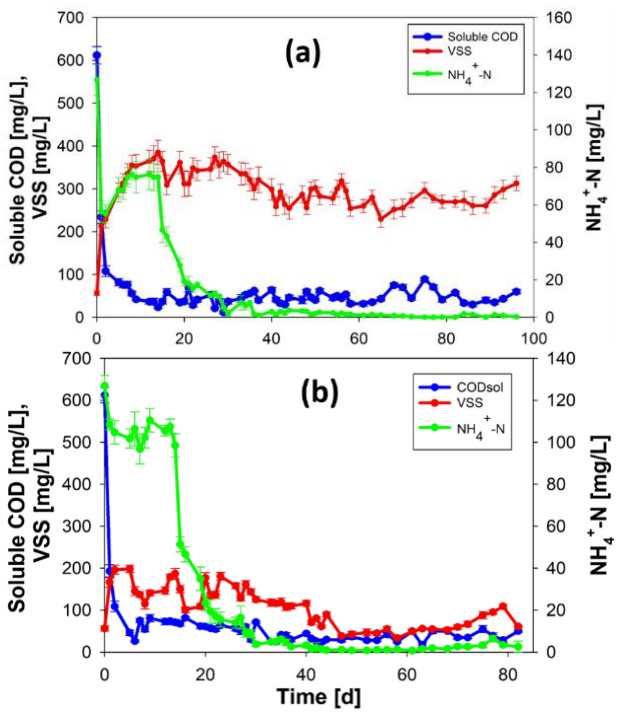
Assimilazione aerobica di azoto e di rimozione della sostanza organica da liquami mediante consorzi batterici eterotrofi e idrogeno-ossidanti (SAL VIII-X)

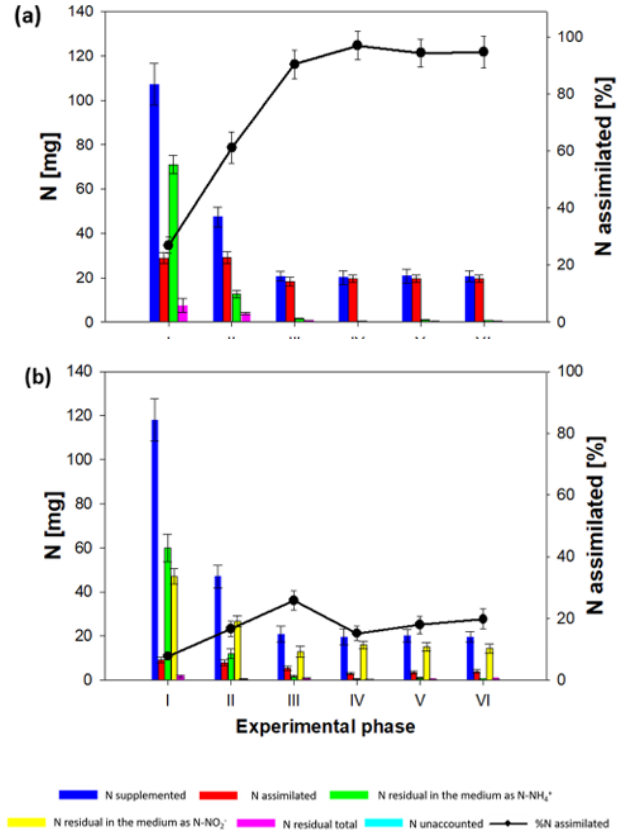
Obiettivo

Sviluppo di un processo biologico che combini la rimozione della sostanza organica e di N dalle acque reflue con il loro recupero **sotto forma di biomassa microbica** a differenti rapporti C/N.



Risultati: (a) mixotrofo, (b) eterotrofo





Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

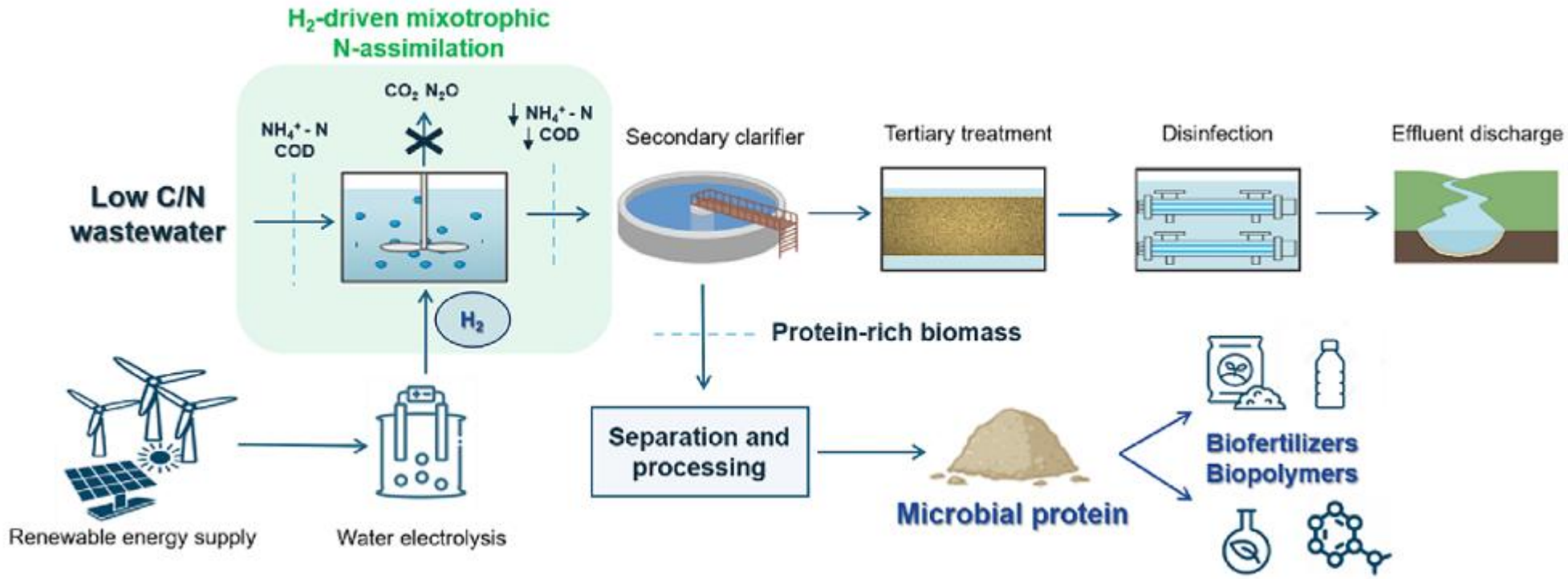
UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Assimilazione aerobica di azoto e di rimozione della sostanza organica da liquami mediante consorzi batterici eterotrofi e idrogeno-ossidanti (SAL VIII-X)

Integrazione del processo innovativo in un ciclo di trattamento di un impianto di depurazione



Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Attività 4.2 – OR 4

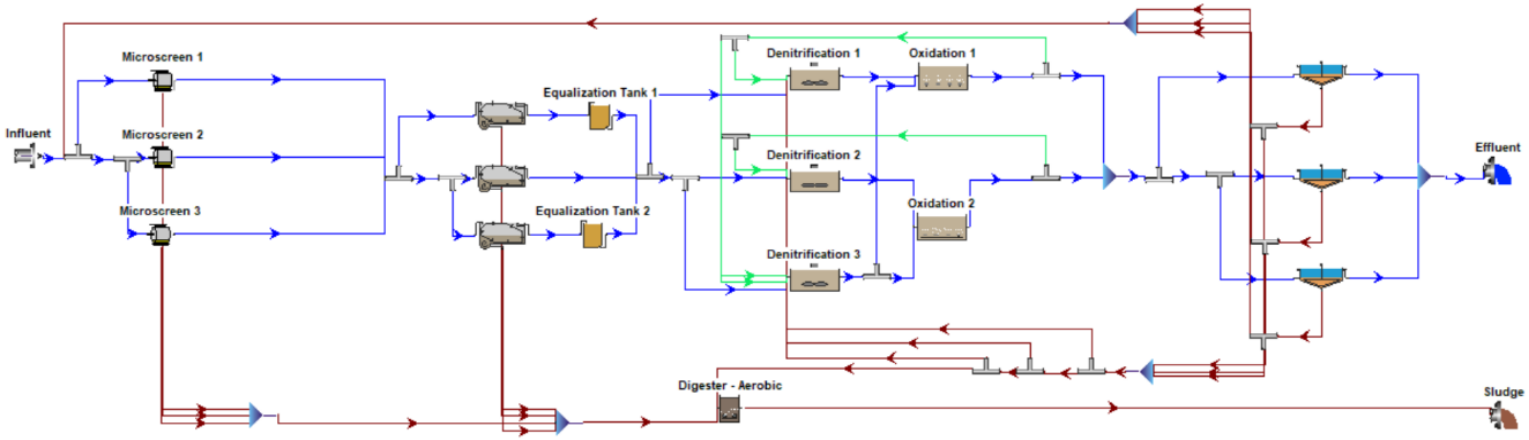
Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione

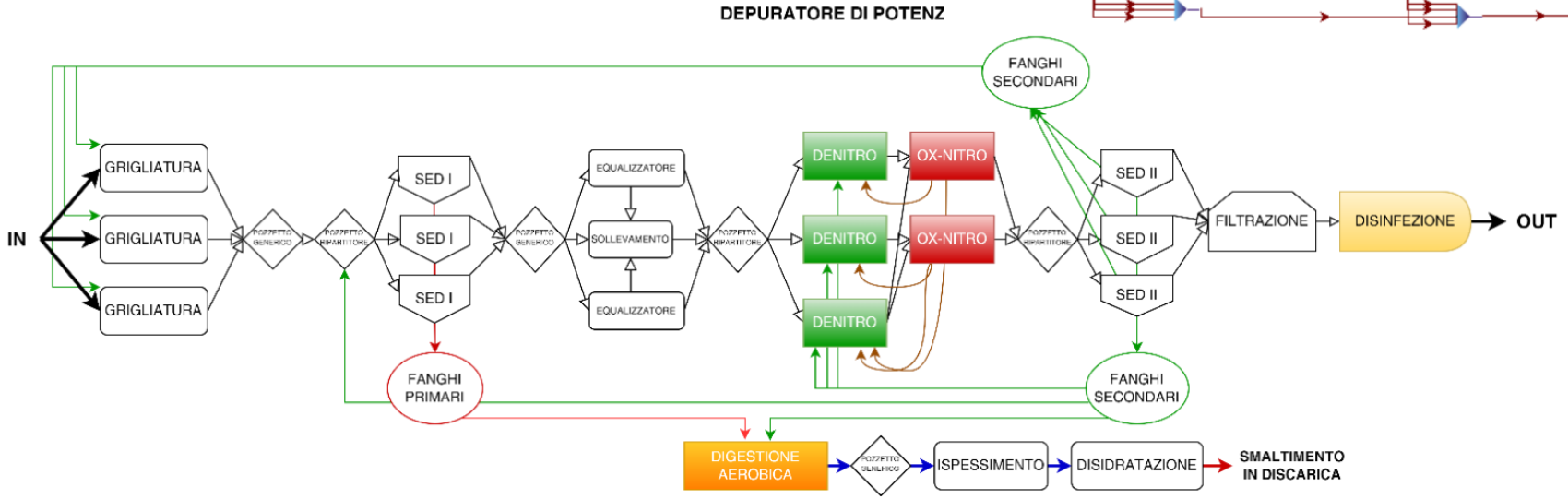
Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

OR4: Attività 4.2 Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione

In generale, l'energia elettrica totale consumata da un impianto:

- 50-70% → Aerazione biologica
- 15% → Sollevamento
- 5-10% → Digestione anaerobica dei fanghi





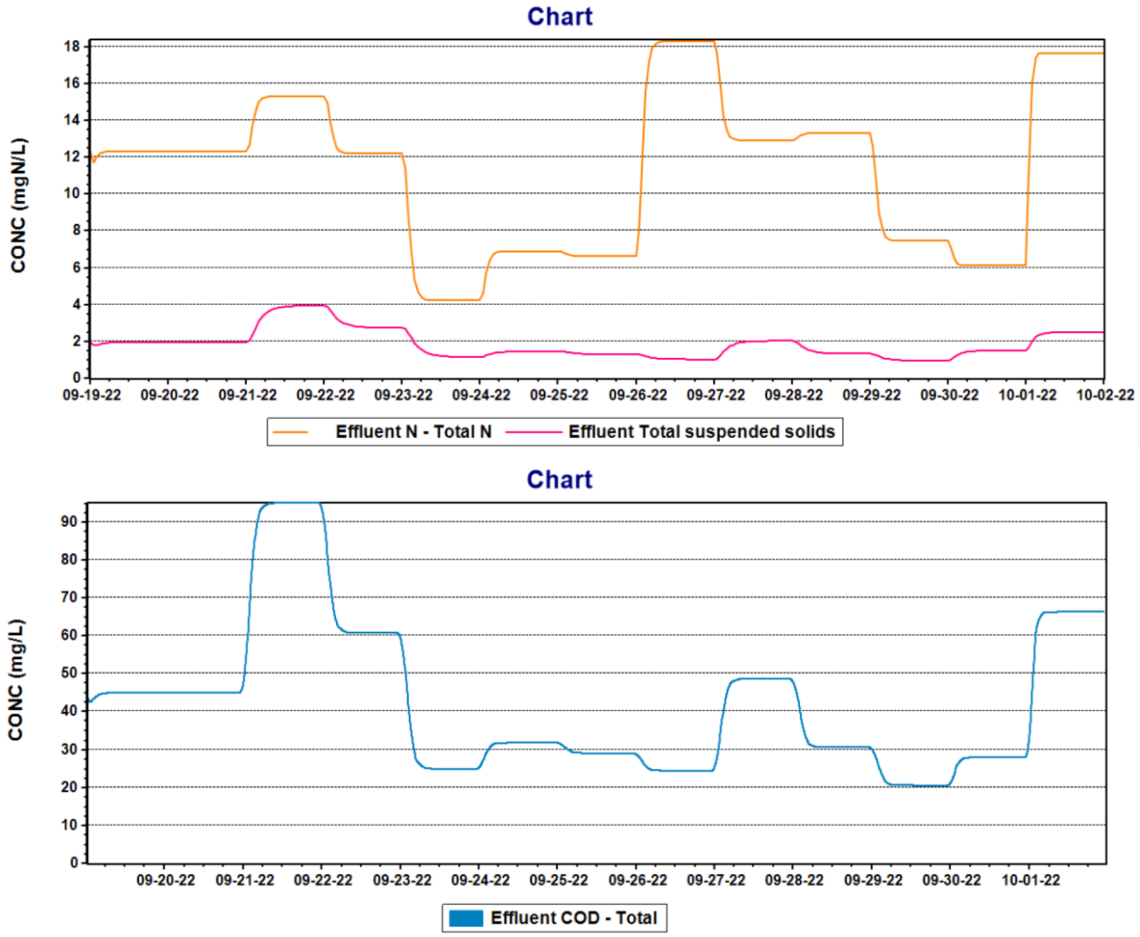
OR4: Attività 4.2 Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione

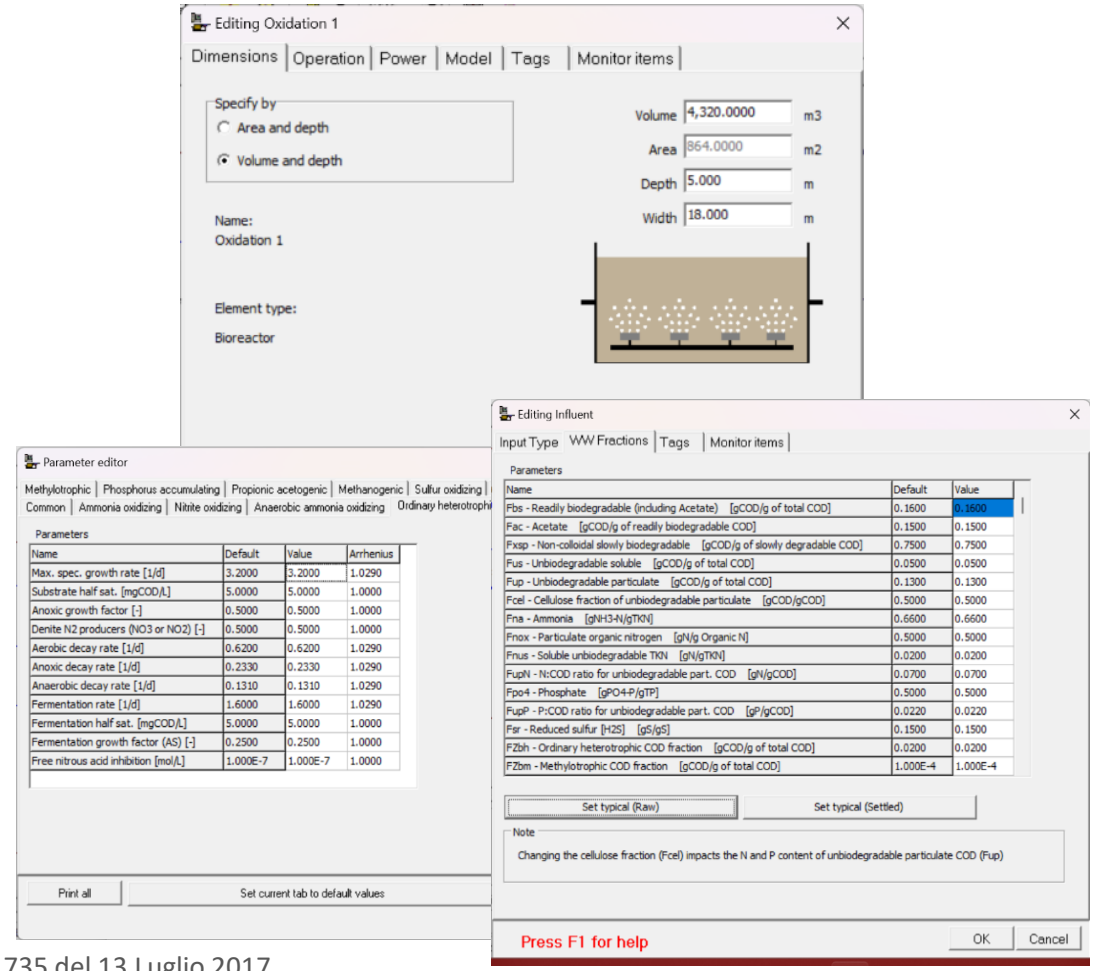
		IN (mg/L)						OUT (impianto) (mg/L)						Rendimento di rimozione(%)			
	Data prelievo	AZOTO AMMONIACALE	AZOTO NITRICO	AZOTO NITROSO	BOD5	COD	SOLIDI SOSPESI TOTALI	AZOTO AMMONIACALE	AZOTO NITRICO	AZOTO NITROSO	BOD5	COD	SOLIDI SOSPESI TOTALI	AZOTO TOTALE (circa)	BOD5	COD	SOLIDI SOSPESI TOTALI
1	15/06/2021	15	0	0	60	116	63	0	5,5	0	7	13	31	63,3	88,3	88,8	50,8
2	29/06/2021	19	0	0	97	246	111	0	5,9	0	10	14	14	68,9	89,7	94,3	87,4
5	27/07/2021	15	0	0	70	157	95	0	5,1	0	9	10	13	66,0	87,1	93,6	86,3
6	17/08/2021	5	0,1	0	44	64	42	0	1,8	0,4	12	16	10	56,9	72,7	75,0	76,2
7	31/08/2021	15	0,8	0	460	848	85	2	6,4	0	6	23	18	46,8	98,7	97,3	78,8
8	17/09/2021	8	0,2	0	35	82	52	0	7,4	0	6	11	6	9,8	82,9	86,6	88,5
9	30/09/2021	7	0,5	0	45	75	43	0	6,2	0	8	18	10	17,3	82,2	76,0	76,7
10	19/10/2021	21	0,3	0,2	48	63	30	0	7,4	0	8	11	5	65,6	83,3	82,5	83,3
11	26/10/2021	14	0,8	0	70	126	58	0	9,5	0,1	8	13	5	35,1	88,6	89,7	91,4
12	09/11/2021	-	0,2	0	41	79	43	-	8,1	0	9	15	7	-	78,0	81,0	83,7
13	23/11/2021	-	0,7	0,1	22	53	35	-	-	-	3	11	27	-	86,4	79,2	22,9
14	02/12/2021	-	-	-	30	72	67	-	-	-	8	9	6	-	73,3	87,5	91,0
15	14/12/2021	-	-	-	26	171	52	-	-	-	7	15	4	-	73,1	91,2	92,3
16	11/01/2022	-	-	-	20	34	28	-	-	-	18	113	78	-	10,0	-232,4	-178,6
17	25/01/2022	15,33	0,6	0	80	168	159,5	0	5,3	0	9	19	27	66,7	88,8	88,7	83,1
19	22/02/2022	17	0,4	0,3	55	83	6	0	5,5	0	7	18	13	68,9	87,3	78,3	-116,7
20	08/03/2022	14	1,4	0	27	58	42	2	1,7	0	6	7	7	76,0	77,8	87,9	83,3
23	05/04/2022	9	2	0,1	18	28	54	2	2,7	0	7	22	28	57,7	61,1	21,4	48,1

		Ingresso						Uscita					RENDIMENTI IMPIANTO TOTALE (%)			
TEMPO	Data campionamento	BODin (mg/L)	N-NH4+	N-NO3-	Norg	TKN	AZOTO TOTALE ipotesi	BODout (mg/L)	N-NH4+	N-NO3-	Azoto totale (come N)	TKN	Rendimento BOD	COD	Azoto totale stima	SST
SECCO	12-set-2022	119	9.16	0.38	4.58	13.740	14.16	18	0.25	8.05	8.56	0.49	84.9	83.5	39.55	38.46
SECCO	26-set-2022	111	8.61	0.44	4.305	12.915	13.42	13	0.16	7.91	8.33	0.40	88.3	86.6	37.91	47.37
SECCO	26-ott-2022	120	7.96	0.30	3.98	11.94	12.30	12	0.09	6.91	7.33	0.39	90.0	87.9	40.41	23.68
DILUITO	5-nov-2022	122	7.51	0.36	3.755	11.265	11.70	10	0.14	6.58	7.02	0.41	91.8	90.9	39.97	25.00
DILUITO	23-nov-2022	138	6.31	0.27	3.155	9.465	9.81	13	0.08	5.90	6.25	0.32	90.6	90.9	36.26	23.68
DILUITO	7-dic-2022	131	8.51	0.29	4.255	12.765	13.12	8	0.20	6.67	7.12	0.43	93.9	92.2	45.71	18.18
SECCO	23-dic-2022	120	9.20	0.33	4.6	13.800	14.21	8	0.17	7.18	7.62	0.41	93.3	93.1	46.38	20.69
SECCO	14-gen-2023	125	8.63	0.24	4.315	12.945	13.26	7	0.10	7.11	7.47	0.34	94.4	94.1	43.64	7.41
DILUITO	26-gen-2023	119	7.64	0.18	3.82	11.46	11.70	8	0.08	6.37	6.69	0.30	93.3	92.7	42.82	11.11
DILUITO	13-feb-2023	110	8.20	0.24	4.1	12.3	12.61	6	0.13	7.51	8.01	0.47	94.5	94.0	36.48	11.54

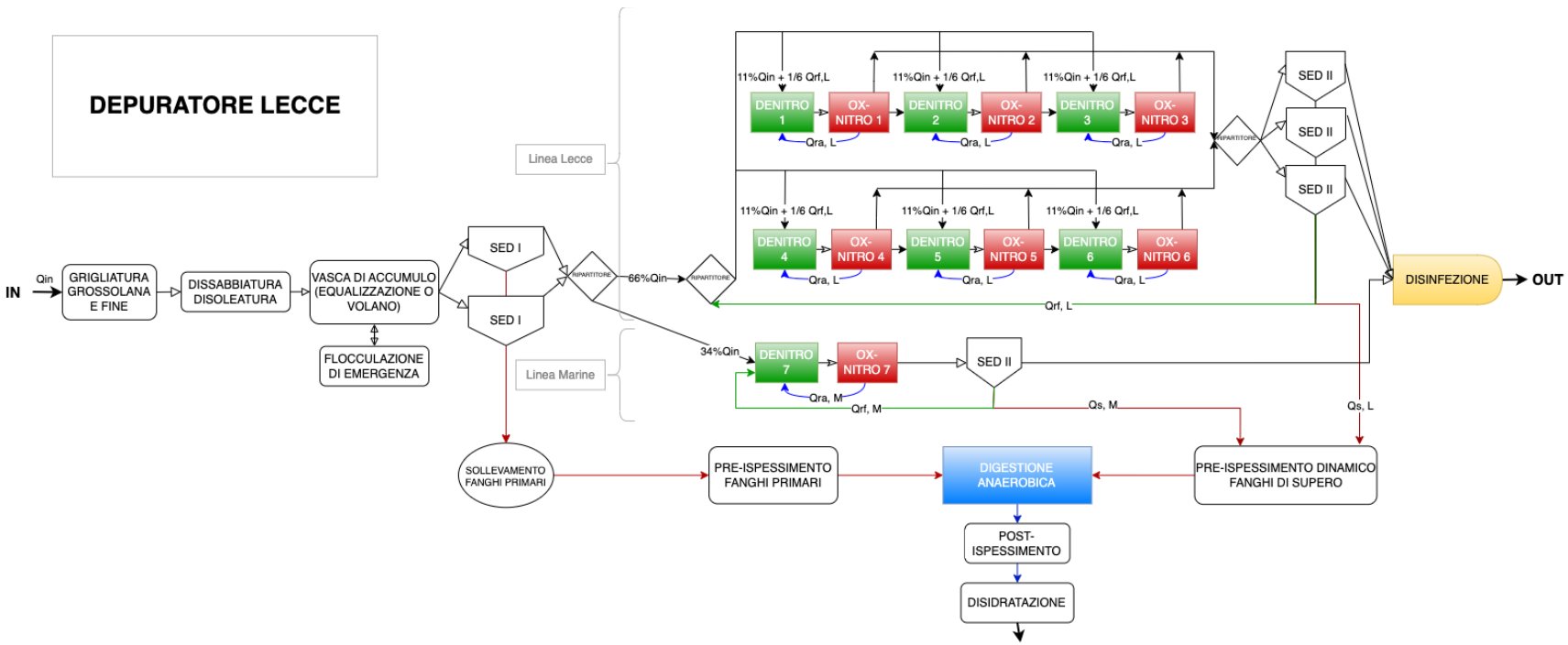
Ossigeno disciolto DOox (mg/L)
4.18
4.25
4.22
4.22
4.20
4.21
4.22
4.23
4.22
4.24

OR4: Attività 4.2 Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione

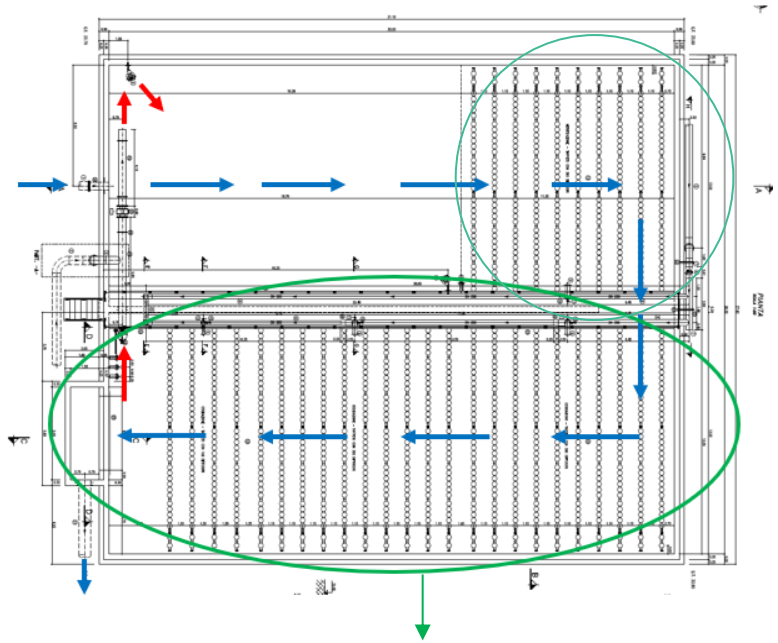




OR4: Attività 4.2 Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione



Planimetria Vasca Denitro-Nitro Linea Marine



Ossidazione-Nitrificazione

OR4: Attività 4.2 Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione

							N=BOD/4,5	P=BOD/35						-25% al PRIMARIO		-50% al PRIMARIO	-10% al PRIMARIO	x2 USCITA			= USCITA
	Q IN			CONCENTRAZIONI IN INGRESSO					CONCENTRAZIONI IN USCITA					INGRESSO VASCA DENITRO				USCITA SED II			
	TOTALE	*linea Lecce*	*linea Marine*	BOD	COD	SST	N tot calcolato	P tot calcolato	BOD	COD	SST	N tot	P tot	BOD	COD	SST	N tot calcolato	BOD	COD	SST	N tot
Data campionamento	*m3/h*	*m3/h*	*m3/h*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
17/01/22	990	653	337	220	346	190	48,9	6,3	5	30	4	5,8	1,1	165,0	259,5	95,0	44,0	10,0	60,0	8,0	5,8
16/02/22	1.092	721	371	150	268	187	33,3	4,3	7	31	8	10,3	3,9	112,5	201,0	93,5	30,0	14,0	62,0	16,0	10,3
16/03/22	1.033	682	351	190	321	174	42,2	5,4	10	29	8	10,7	2,2	142,5	240,8	87,0	38,0	20,0	58,0	16,0	10,7
20/04/22	989	653	336	220	314	215	48,9	6,3	7	31	4	8,8	0,5	165,0	235,5	107,5	44,0	14,0	62,0	8,0	8,8
16/05/22	858	567	292	440	671	305	97,8	12,6	10	31	13	16,0	3,3	330,0	503,3	152,5	88,0	20,0	62,0	26,0	16,0
MEDIA gen-mag 22	993	655	337	244	384	214	54,2	7,0	8	30	7	10,32	2,20	183,0	288,0	107,1	48,8	15,6	60,8	14,8	10,3

$$C_f = \frac{Q \cdot S_0}{x \cdot V}$$

LECCE (media)		MARINE		TOTALE IMPIANTO	
kgBOD/(kgSS d)		kgBOD/(kgSS d)		kgBOD/(kgSS d)	
0,08	Aeraz. prolung.	0,11	Basso carico	0,09	Aeraz. prolung
0,10	Aeraz. prolung.	0,08	Aeraz. prolung.	0,09	Aeraz. prolung
0,0993	Aeraz. prolung.	0,10	Basso carico	0,10	Basso carico
0,08	Aeraz. prolung.	0,11	Basso carico	0,09	Aeraz. prolung
0,14	Basso carico	0,20	Basso carico	0,15	Basso carico
0,098	Aeraz. prolung.	0,122	Basso carico	0,104	Basso carico

$$\vartheta = \frac{V x_e}{Q_S x_R}$$

TOTALE IMPIANTO				
LECCE (media)	MARINE	**con xr=8,5**	**con xr=9**	**con xr=8,75**
d	d	d	d	d
8,05	4,82	7,04	6,65	6,84
2,80	4,50	3,37	3,18	3,27
9,41	8,99	9,54	9,01	9,27
10,34	8,19	9,96	9,41	9,67
7,65	7,07	7,71	7,28	7,49
7,651	6,713	7,522	7,104	7,307

OR4: Attività 4.2 Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione

$$\Delta O_2 = AOR = a \cdot \Delta BOD + b \cdot x \cdot V + c \cdot \mathrm{TKN}_{ossidato} \qquad kg\ O_2/h$$

$$\Delta O_{2,st} = \frac{\Delta O_2}{\alpha \cdot 1{,}024^{(T-20)} \cdot \frac{(\beta \cdot C_{st} - C_e)}{C_s}}$$

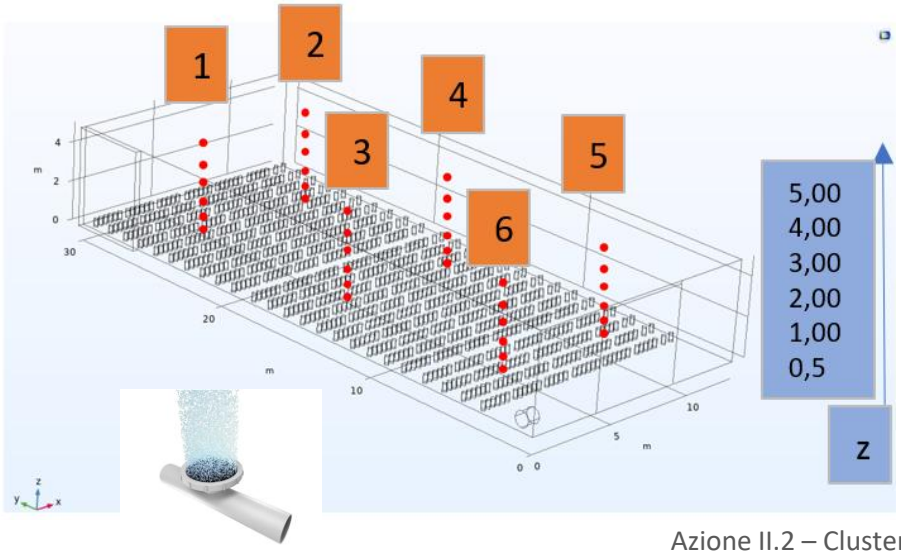
$$\frac{dm}{dt} = -D_L \cdot A \cdot \frac{C_s - C}{dL}$$

$$A = \frac{\Delta O_{2,st}}{0{,}280 \cdot \eta} \qquad \frac{Nm^3}{h}$$

$$\frac{dc}{dt} = \mathrm{KL} \cdot a \cdot (C_s - C)$$

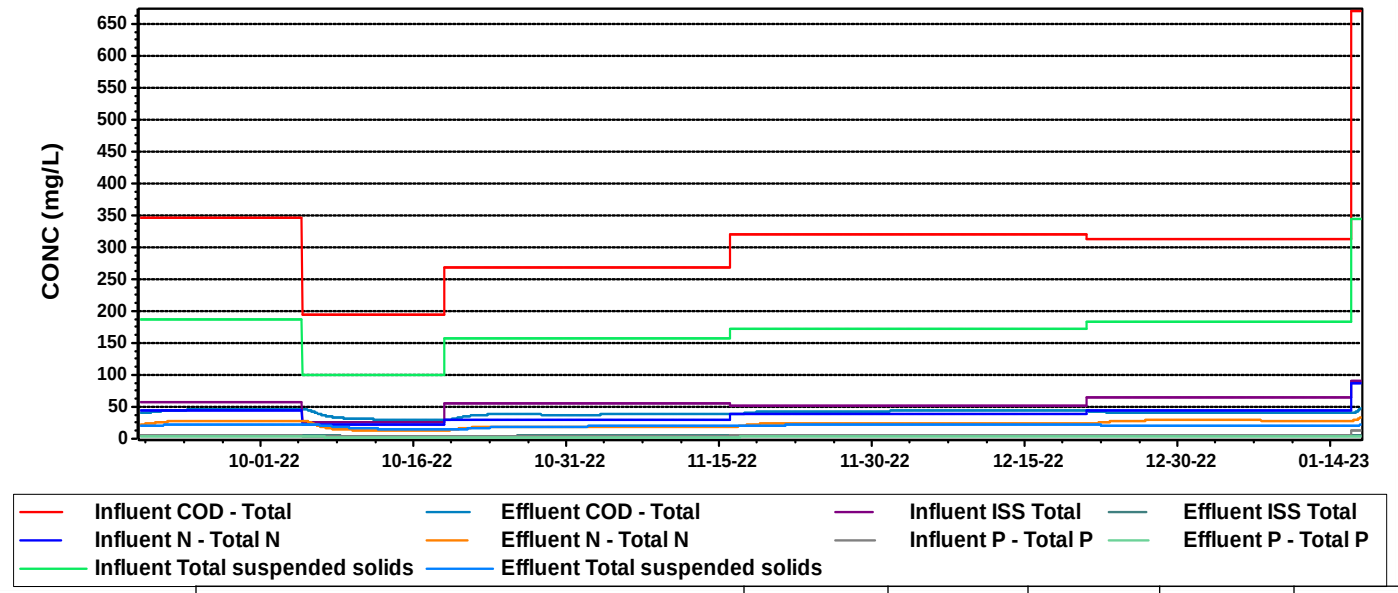
$$\mathrm{OC} = \mathrm{dC\ dt} \cdot \mathrm{V} = \mathrm{KL} \cdot a \cdot (C_s - C) \cdot \mathrm{V}$$

DO mg/L linea Lecce						
VASCA 1	VASCA 2	VASCA 3	VASCA 4	VASCA 5	VASCA 6	MEDIA
0,42	2,62	1,06	0,52	0,45	0,38	0,91
0,58	1,32	1,16	1,33	0,80	0,49	0,95
0,68	0,68	0,80	1,55	0,44	0,39	0,76
0,42	1,06	0,38	0,90	0,36	0,38	0,58
0,38	0,94	0,38	1,08	0,32	0,34	0,57
0,5	1,3	0,8	1,1	0,5	0,4	0,8



DO mg/L Linea Marine							
Quota z(m)	1	2	3	4	5	6	media sulla quota
0,50	0,30	0,50	0,90	1,00	1,58	1,30	0,9
1,00	0,30	0,50	0,90	1,02	1,52	1,40	0,9
2,00	0,40	0,60	1,01	1,15	1,65	1,52	1,1
3,00	0,40	0,80	1,04	1,20	1,60	1,58	1,1
4,00	0,50	0,80	1,10	1,20	1,68	1,68	1,2
5,00	0,50	0,90	1,10	1,30	1,88	1,65	1,2
media sulla verticale	0,4	0,7	1,0	1,2	1,7	1,6	1,1

OR4: Attività 4.2 Sviluppo di un modello di efficientamento energetico della fase di aerazione



Elements	Oxidation 1	Oxidation 2	Oxidation 3	Oxidation 4	Oxidation 5	Oxidation 6	Oxidation 7
Air flow rate [m3/hr (20C, 1 atm)]	2,159.51	1,410.03	1,212.54	2,159.51	1,410.03	1,212.54	1,772.48
Actual DO sat. conc. [mg/L]	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	10.08
Element HRT [hours]	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	1.1
OTR [kg/hr]	46.98	32.17	28.14	46.98	32.17	28.14	64.54
SOTR [kg/hr]	128.38	87.93	76.9	128.38	87.93	76.9	177.98
SOTE [%]	21.33	22.38	22.76	21.33	22.38	22.76	36.03
OUR - Total [mgO/L/hr]	33.5	22.36	19.33	33.5	22.36	19.33	22.81
Gas - Dissolved oxygen [mg/L]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.35
Nit - Ammonia removal rate [mgN/L/hr]	2.63	2.63	2.62	2.63	2.63	2.62	2.07

Power Categories	Power Demand [kW]	Euro
Blowers	211.94	2,208.72
Mixing	7,325.90	76,345.34
Mechanical	9	93.79
Heating	-----	-----
S/L sep./Disinfection	-----	-----
-----	-----	-----
Total of tabulated	7,546.84	78,647.85
-----	-----	-----
HVAC	-----	-----
Service Charge	-----	3.27
Peak Demand Charge	-----	6,978.35
-----	-----	-----
System total	7,546.84	85,629.47
Power (CHP)	-21.1	-----
-----	-----	-----
System net	7,525.74	85,409.56

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

SIMULAZIONE NUMERICA DELLA VASCA DI AERAZIONE PER IL TRATTAMENTO BIOLOGICO A FANGHI ATTIVI DEL DEPURATORE DI LECCE – LINEA MARINE

OR4: Efficientamento energetico degli impianti di trattamento delle acque reflue

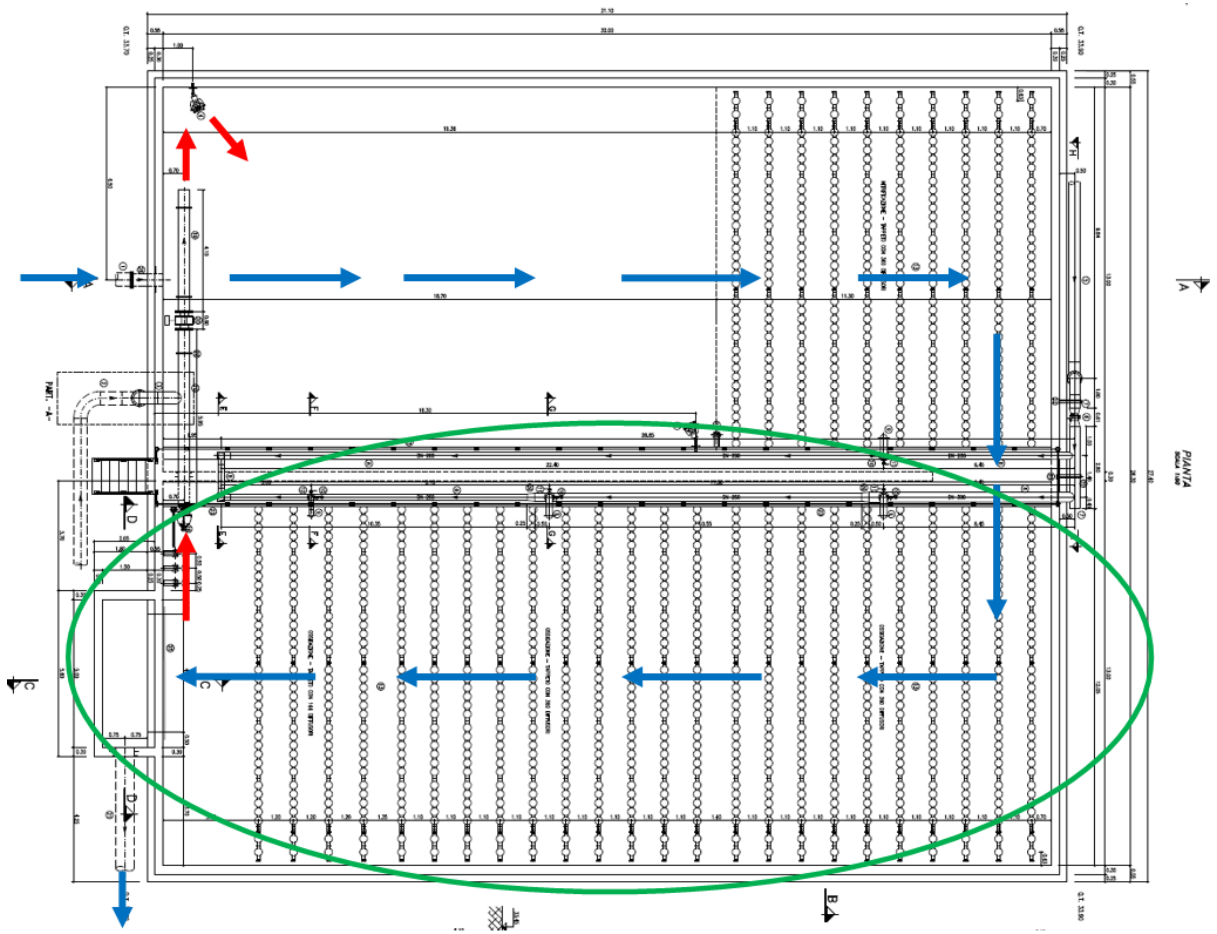
Attività 4.3 - Sviluppo di modelli CFD per l'ottimizzazione dei processi di efficientamento energetico

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020



FUNZIONAMENTO DELLA VASCA

- Due vasche adiacenti in serie;
- Trattamento a fanghi attivi predenitro-nitro;
- Zona anossica iniziale per la denitrificazione;
- Zona aerata con iniettori per la digestione aerobica e la nitrificazione;
- Ricircolo dei fanghi.

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

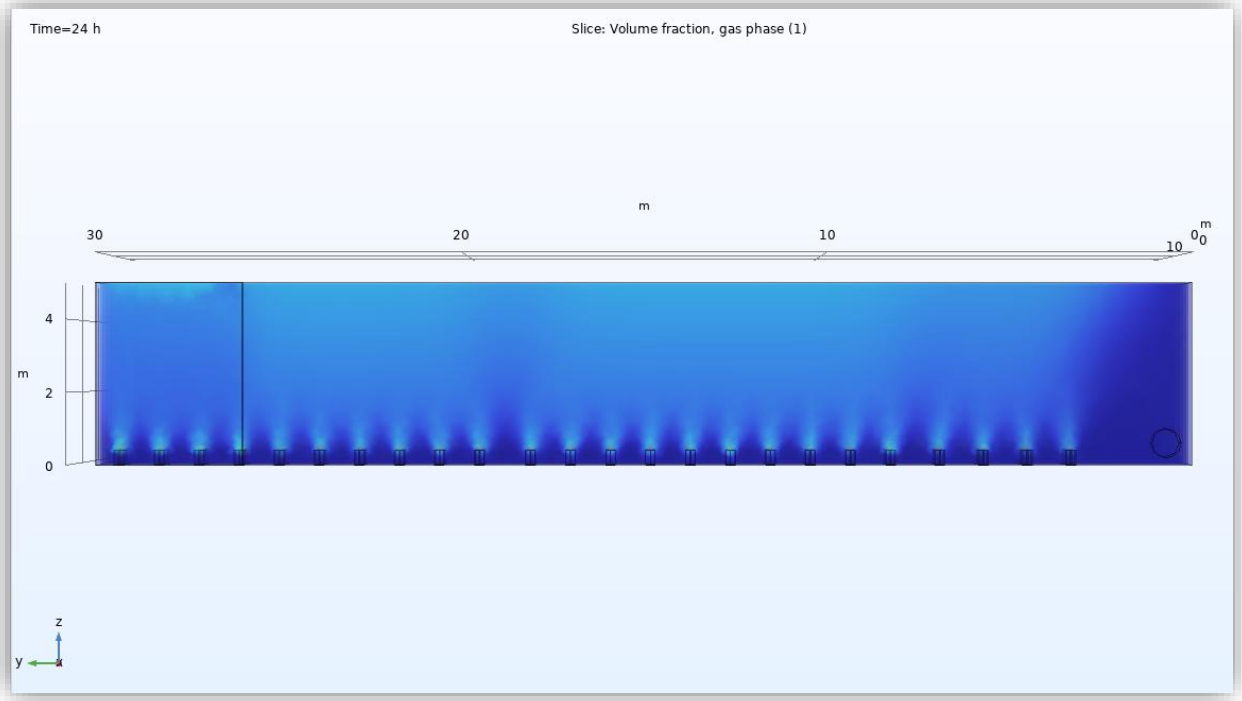
PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

SIMULAZIONE DELLO STATO DI FATTO

Le concentrazioni misurate di ossigeno disciolto rivelano una situazione di anossia anche nella zona di aerazione.

Simulazione numerica del funzionamento della vasca nelle condizioni attuali.

Z (m)	1	2	3	4	5	6
0,5	0,30	0,50	0,90	1,00	1,58	1,30
1	0,30	0,50	0,90	1,02	1,52	1,40
2	0,40	0,60	1,01	1,15	1,65	1,52
3	0,40	0,80	1,04	1,20	1,60	1,58
4	0,50	0,80	1,10	1,20	1,68	1,68
5	0,50	0,90	1,10	1,30	1,88	1,65

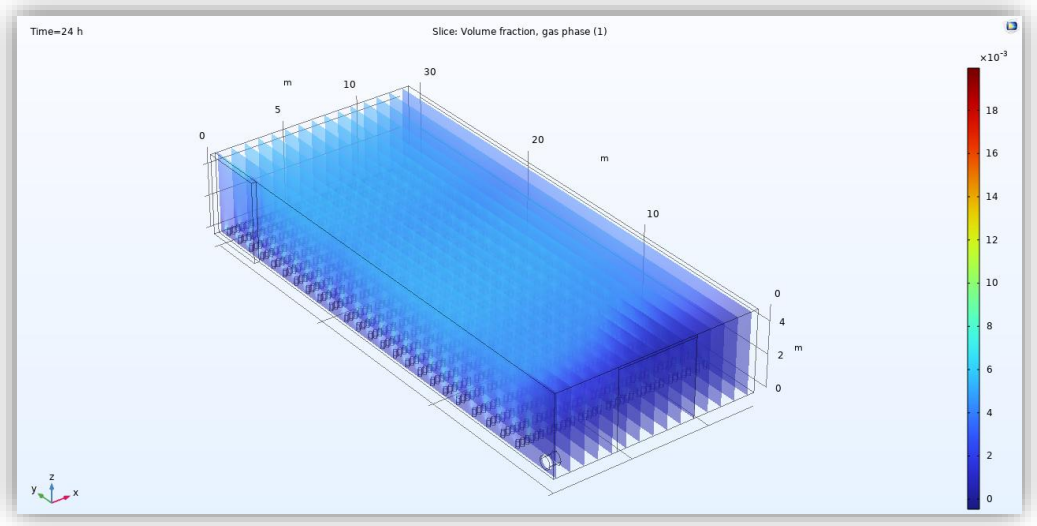


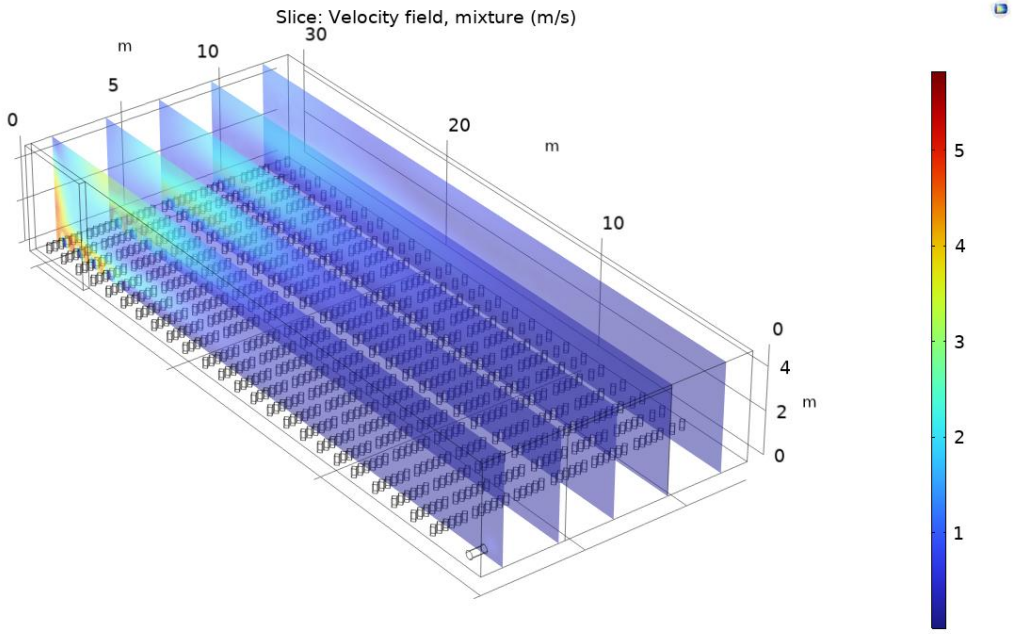
UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

SIMULAZIONE DELLE CONDIZIONI OTTIMALI DI AERAZIONE





Simulazione del funzionamento della vasca per ottenere condizioni ottimali di ossigenazione, tramite modifica della portata di aerazione.

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

RECUPERO DI POLIFENOLI MEDIANTE ADSORBIMENTO: TEST IN CONTINUO, MODELLAZIONE, SCALE-UP ED OTTIMIZZAZIONE ECONOMICA

OR 4 - attività 4.4 – Sviluppo di tecnologie per il trattamento e la valorizzazione energetica delle acque di vegetazione.

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

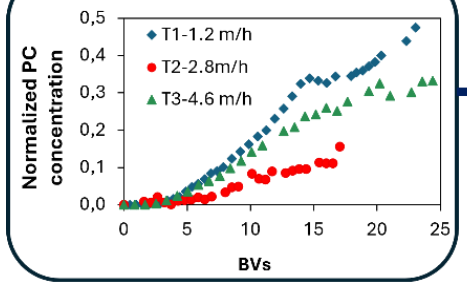
Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

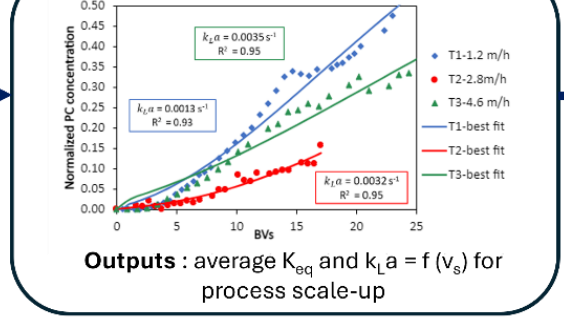
Indice:

1) Prove sperimentali di adsorbimento e desorbimento in continuo a diverse condizioni operative;
2) Modellazione delle curve sperimentali mediante Comsol Multiphysics;
3) Applicazione della Polynomial Chaos Expansion;
4) Ottimizzazione economica del processo;
5) Analisi di sensitività.

1. Experimental BT tests



2. Comsol simulation and model calibration



Outputs : average K_{eq} and $k_L a = f(v_s)$ for process scale-up

3. Polynomial Chaos Expansion (PCE)

- Definition of 2 design variables (**H, v_s**) and their variability range;
- Selection of **6 combinations of the 2 design variables** to develop the surrogate model for **Y_{ads}** and **η_{resin}**.

4. Comsol simulations for the 6 combinations of the 2 design variables

Calculation of **Y_{ads}** and **η_{resin}** for the 6 combinations of the 2 design variables using Comsol simulations, at 3 different BPs (10, 20 and 30 %).

5. Surrogate model for Y_{ads} and η_{resin}

Use of the outputs of the 6 Comsol simulations for PCE model calibration:
$Y_{ads} = g(H, v_s)$ at different BPs
$\eta_{resin} = h(H, v_s)$ at different BPs

6. CBA analysis and economic optimization

- Calculation of **IRR** and **NPV** for a specific scenario (Q, $V_{tot,\,OMW}$, $c_{L,0}$) by changing the design variables (H, v_s) and the BP.
  IRR = f_1 (H, v_s, BP)
  NPV= f_2 (H, v_s, BP)
- Attainment of the **optimal vector (H, v_s, BP)** that maximizes IRR and NPV.
- Detailed plant design (number of columns, tanks..) at optimal (H, v_s, BP) .

7. CBA sensitivity analysis for optimal conditions

For optimal plant conditions, conduction of a **sensitivity analysis** for **$c_{L,0}$**, **N_{cycles}** and electricity/natural gas prices to analyze the variation in PC selling price needed to achieve an IRR = 6 %.

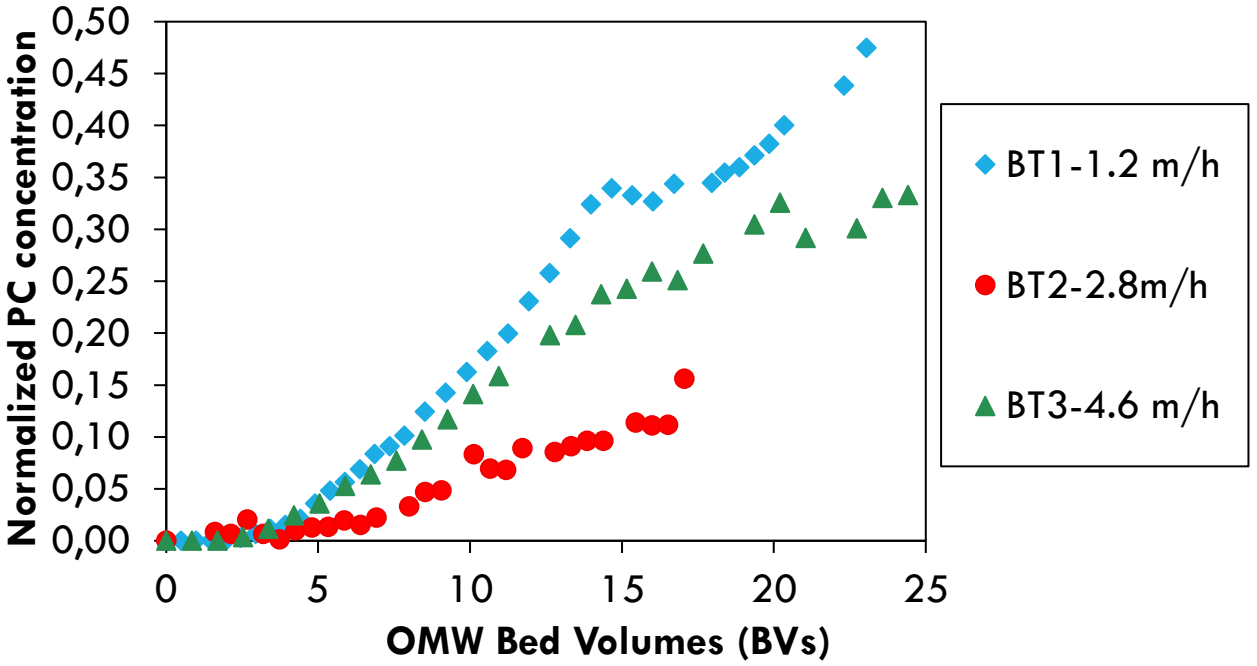
1. Prove sperimentali di adsorbimento e desorbimento per recuperare polifenoli da acque di vegetazione

Condizioni operative adsorbimento:

- Materiale adsorbente→ XAD16N.
- Altezza di letto→ circa 2 m suddivisi in 4 colonne in serie.
- Tempo di contatto (EBCT)→ variabile tra 0.5 h e 1.5 h modificando la portata in alimentazione.

Condizioni operative desorbimento:

- Soluzione rigenerante→ Etanolo acidificato con HCl.
- EBCT→ la metà di quello usato in adsorbimento.



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
Ministero dell'Università e della Ricerca
PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

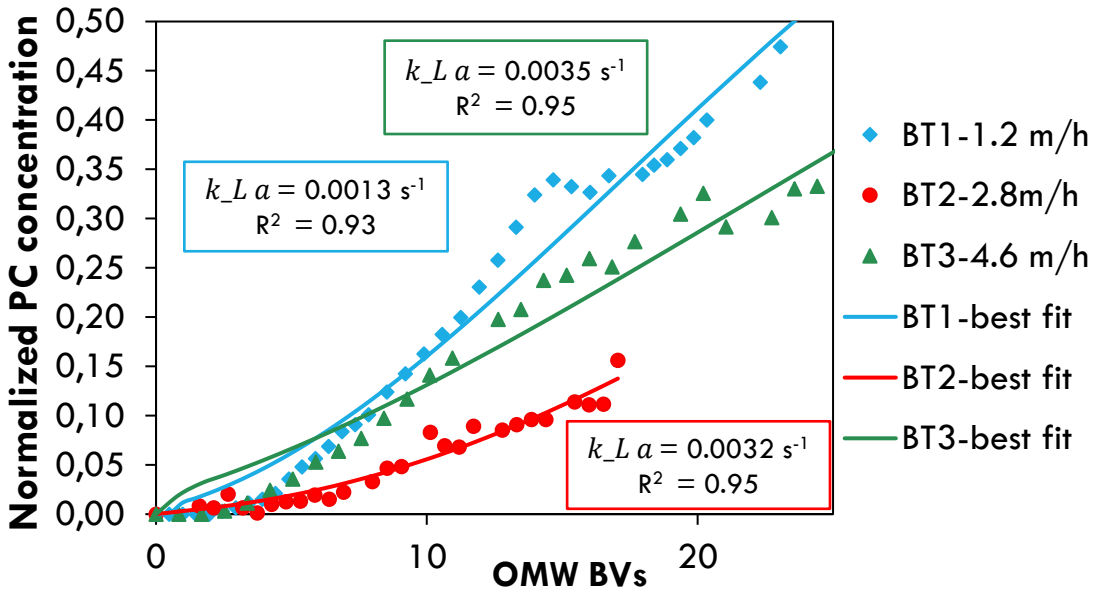
2. Sviluppo di un modello del processo di adsorbimento mediante Comsol Multiphysics

Modello 1-D di convezione-dispersione con trasporto di materia:

$$\frac{\partial c_{L,PC}}{\partial t} + \frac{\rho_b}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial c_{S,PC}}{\partial t} = -\frac{v_s}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial c_{L,PC}}{\partial z} + \alpha_L \cdot \frac{v_s}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial^2 c_{L,PC}}{\partial z^2}$$

$$\frac{\rho_b}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial c_{S,PC}}{\partial t} = k_L a \cdot \left(c_{L,PC} - \frac{c_{S,PC}}{K_{eq}}\right)$$

- α_L e ε sono la dispersività longitudinale e la porosità effettiva e sono stimati tramite test fluidodinamici.
- K_{eq} e $k_L a$ sono il coefficiente di ripartizione lineare ($L/g_{dry\ resin}$) e il coefficiente globale di trasporto di materia (s^{-1}) e sono stimati per ciascuna curva sperimentale.



- **Il modello consente una soddisfacente interpolazione dei dati sperimentali**
- Da tutte le prove sperimentali effettuate, è stato ricavato un valore medio per K_{eq} (0. 131 $L/g_{dry\ resin}$) ed una correlazione per $k_L a$ in funzione della velocità superficiale. In questo modo, **è possibile simulare curve di breakthrough in condizioni operative diverse da quelle sperimentali e procedere allo scale-up del processo.**

3. Applicazione della Polynomial Chaos Expansion al calcolo dei parametri Y_{ads} e η_{resin} per l'ottimizzazione economica

- La resa di adsorbimento Y_{ads} e l'efficienza di utilizzo del letto η_{resin} sono due parametri importanti per il calcolo dei ricavi e dei costi operativi per l'ottimizzazione economica. Sono calcolati a partire dalla curva di breakthrough simulata e variano in funzione dell'altezza di letto H e della velocità superficiale v_s a fissato breakpoint (BP).
- La Polynomial Chaos Expansion ci ha permesso di ottenere una relazione semplice e affidabile (errore < 10 %) da utilizzare per calcolare i due parametri in funzione dei due parametri di input scelti per l'ottimizzazione economica per 3 valori di BP considerati (10, 20 e 30 %):

$$Y_{ads} \cong a_0 + a_1 \cdot \hat{v}_s + a_2 \cdot \hat{H} + \frac{a_3}{2} \cdot \left(3 \cdot \hat{v}_s^2 - 1\right) + a_4 \cdot \hat{v}_s \cdot \hat{H} + \frac{a_5}{2} \cdot \left(3 \cdot \hat{H}^2 - 1\right)$$

$$\eta_{resin} \cong b_0 + b_1 \cdot \hat{v}_s + b_2 \cdot \hat{H} + \frac{b_3}{2} \cdot \left(3 \cdot \hat{v}_s^2 - 1\right) + b_4 \cdot \hat{v}_s \cdot \hat{H} + \frac{b_5}{2} \cdot \left(3 \cdot \hat{H}^2 - 1\right)$$

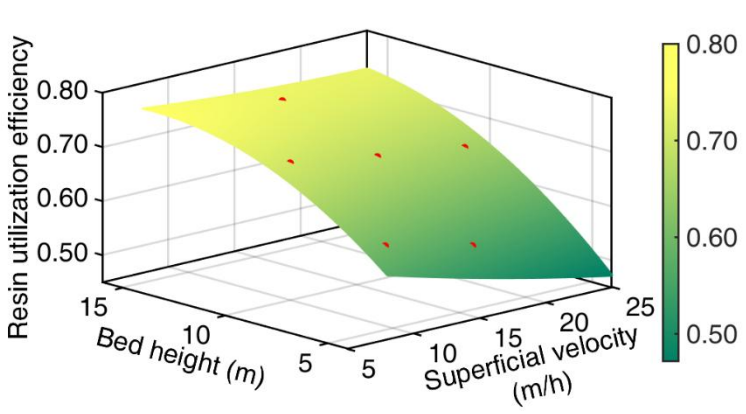
$$\hat{v}_s = 2 \cdot \left(\frac{v_s - v_{s,min}}{v_{s,max} - v_{s,min}} - \frac{1}{2}\right)$$

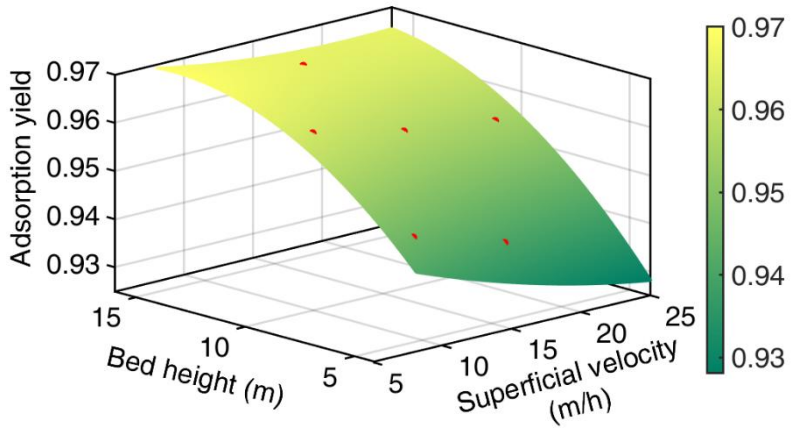
$$\hat{H} = 2 \cdot \left(\frac{H - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} - \frac{1}{2}\right)$$

$v_{s,min}$ = 8 m/h , $v_{s,max}$ = 25 m/h

H_{min} = 4 m , H_{max} = 16 m

Nelle figure sono mostrate le **superfici raffiguranti Y_{ads} e η_{resin} come funzione di H e v_s a BP = 20 %.**





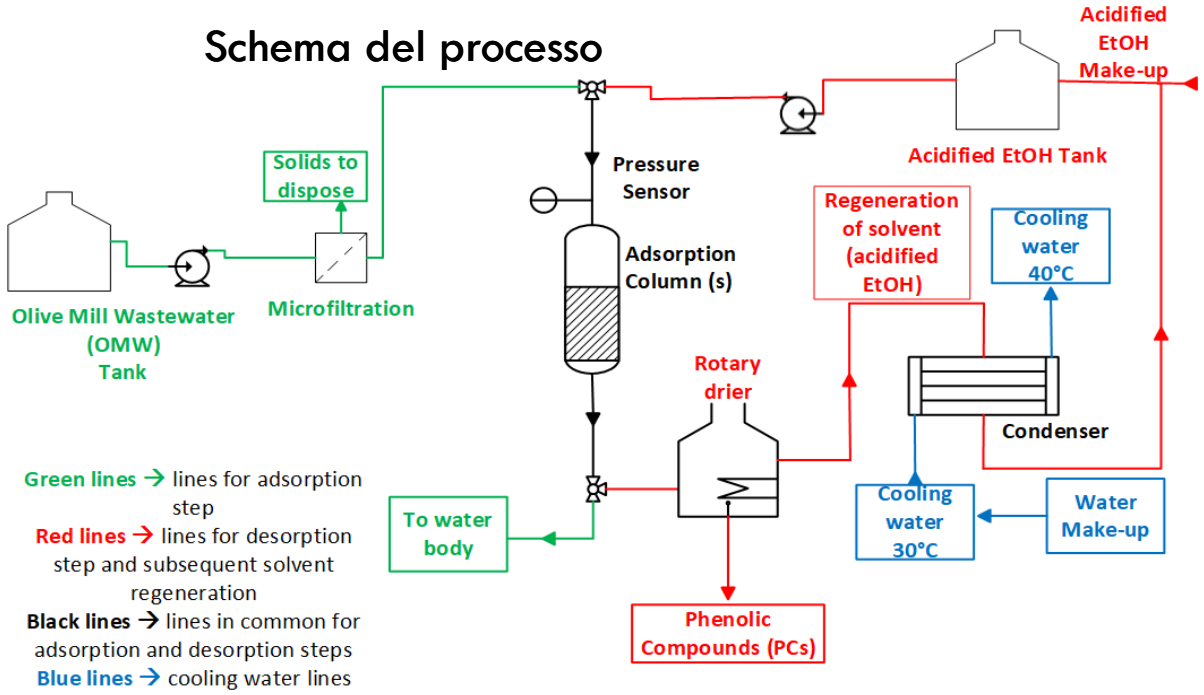
4. Ottimizzazione economica del processo

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Schema del processo



Per l'ottimizzazione economica, sono stati valutati due indicatori, il Net Present Value (NPV) e l' Internal Rate of Return (IRR):

1. $$NPV = -|capital\ cost| + \sum_{j=1}^{n} \frac{revenues_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=1}^{n} \frac{|operating\ costs,j|}{(1+i)^j}$$

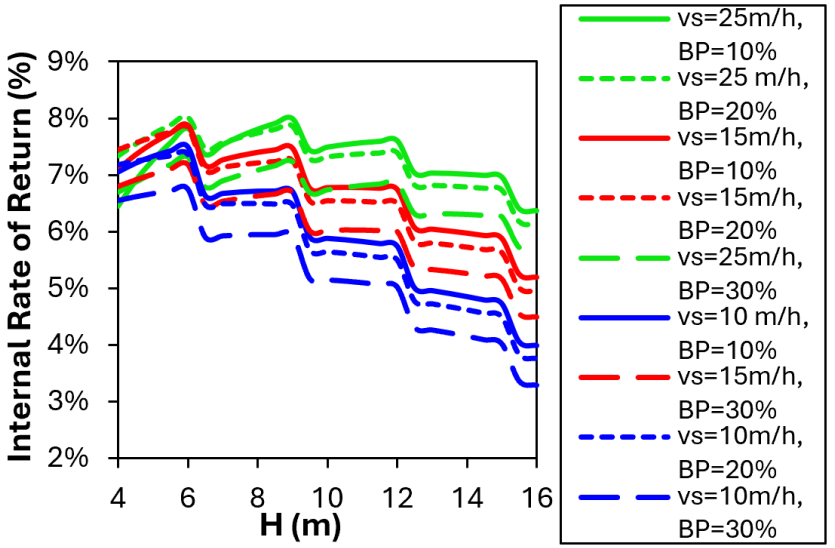
2. $$|capital\ cost| + \sum_{j=1}^{n} \frac{|operating\ costs,j|}{(1+IRR)^j} = \sum_{j=1}^{n} \frac{revenues_j}{(1+IRR)^j}$$

Parametri fissati per l'ottimizzazione economica:

- Q = 100 m^3/d ($V_{tot,OMW}$=10000 m^3) , $c_{L,0}$ = 2 g/L , N_{cycles} = 500, prezzo di vendita di 6 €/kg PC.
- Costo energia elettrica, costo gas naturale, materiale adsorbente, soluzione rigenerante (EtOH+ HCl).
- Tasso di sconto i = 4 %.

Parametri variabili

- H, v_s e BP



Condizioni ottimali:

H = 9m

v_s = 25 m/h

BP = 10%

Investimento molto redditizio:

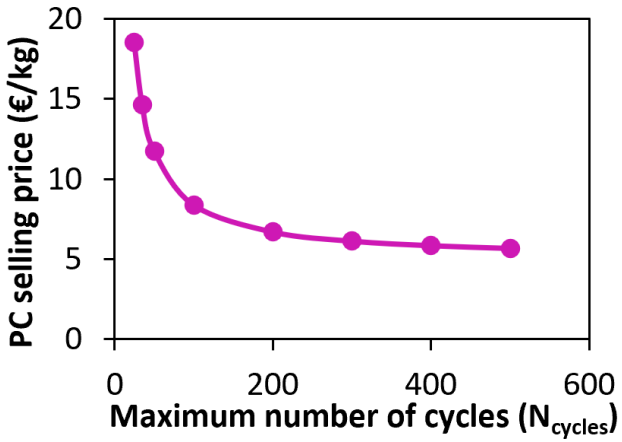
IRR = 8 %

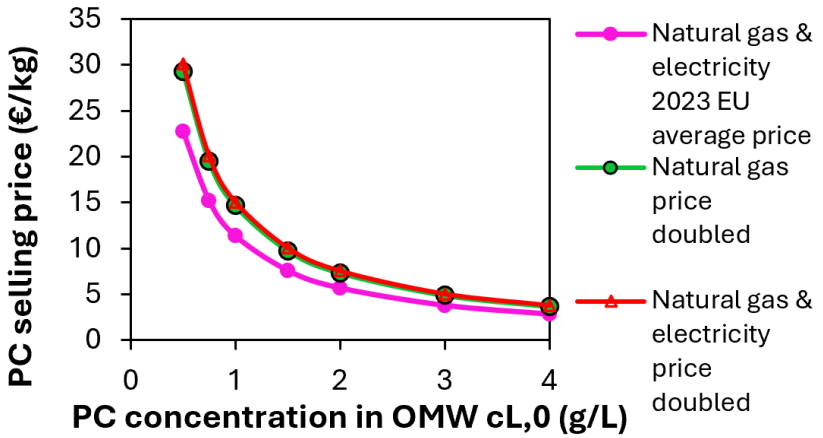
NPV = 152050 €

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

5. Analisi di sensitività applicata alle condizioni ottimali

Una volta trovate le condizioni ottimali, è stata fatta un'analisi di sensitività valutando la variazione del prezzo di vendita dei polifenoli al variare di due parametri che influenzano significativamente i costi, N_{cycles} e $c_{L,0}$, per ottenere un IRR del 6%, ovvero superiore del 2% al tasso di sconto.





L'investimento si mantiene molto attraente per gli investitori entro un'ampia gamma di variabilità dei parametri considerati ($c_{L,0}$ > 1 g/L, N_{cycles} > 150-200, prezzi di energia elettrica e gas raddoppiati)

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

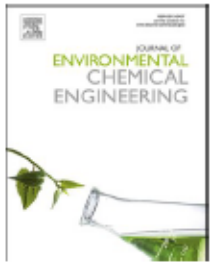
Per ulteriori informazioni e dettagli sul lavoro svolto, potete leggere l'articolo che ne è derivato:

Journal of Environmental Chemical Engineering 13 (2025) 116370

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Chemical Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jece



Polyphenol adsorption and recovery from olive mill wastewater: A model reduction-based optimization and economic assessment

Elisa Girometti, Dario Frascari *, Davide Pinelli, Vittorio Di Federico, Giulia Libero, Valentina Ciriello

Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering (DICAM), Alma Mater Studiorum – University of Bologna, via Terracini 28 / viale Risorgimento 2, Bologna 40131, Italy

https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116370

Grazie per l'attenzione!

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY