



VERSO LA NEUTRALITÀ ENERGETICA

Innovazioni e strategie per la riduzione dell'impronta di carbonio nel trattamento delle acque reflue

BILANCIO DI MATERIA E DI ENERGIA PER L'OTTIMIZZAZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI IN LINEA FANGHI

Simone Visigalli
18/10/2024

SEAM ENGINEERING

SETTORI DI APPLICAZIONE



INDICE DEGLI ARGOMENTI



La neutralità energetica negli impianti di depurazione



I consumi energetici in impianto



Non solo consumi energetici



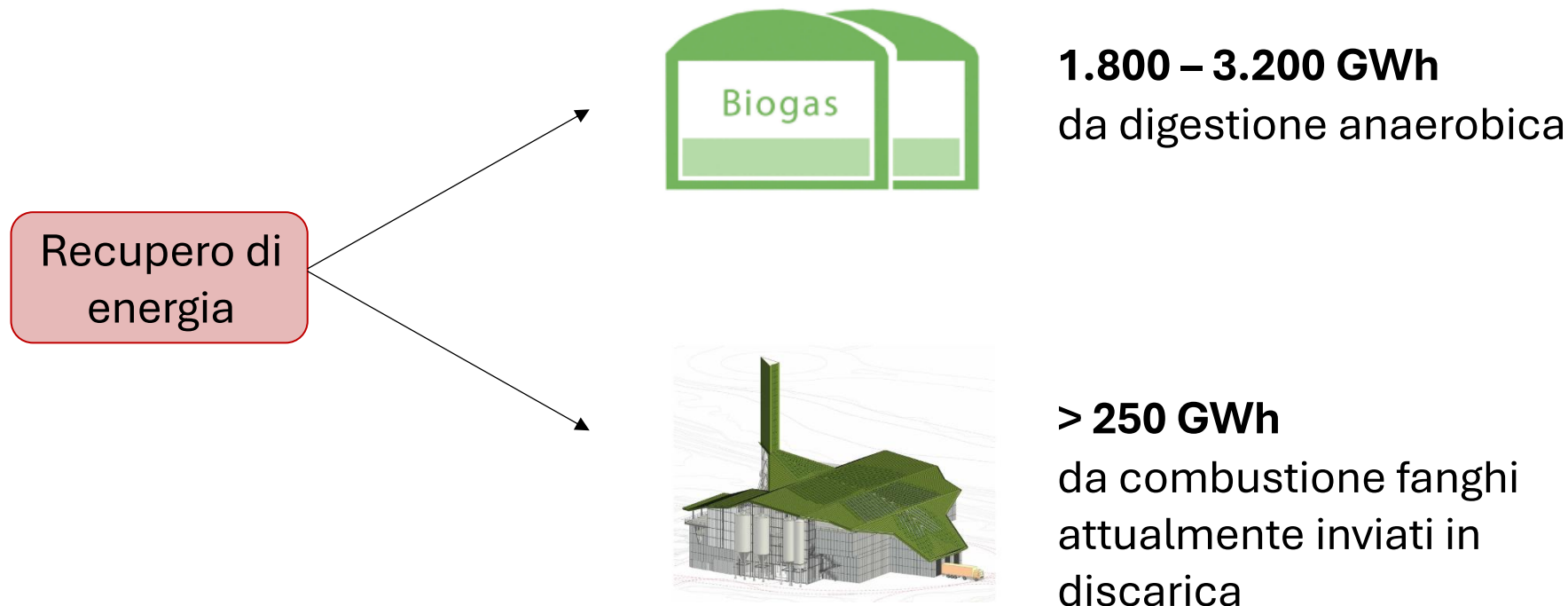
Conclusioni

LA DIRETTIVA EUROPEA – Articolo 11 EU Directive

1. Obbligo di effettuare **audit energetici ogni 4 anni** [...] *«con particolare attenzione all'individuazione e allo sfruttamento del potenziale di produzione di biogas o di recupero e uso del calore di scarto, in loco o tramite un sistema di teleriscaldamento / teleraffrescamento, riducendo al contempo le emissioni di gas a effetto serra»* :
 - a) entro il 31 dicembre **2028** per gli impianti > 100.000 A.E.;
 - b) entro il 31 dicembre **2032** per gli impianti tra 10.000 e 100.000 A.E.
2. L'**energia totale annua autoprodotta da fonti rinnovabili** per impianti che trattano un carico > **10.000 A.E.** equivalente :
 - a) al **20%** del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre **2030**;
 - b) al **40%** del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre **2035**;
 - c) al **70%** del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre **2040**;
 - d) al **100%** del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre **2045**.

LINEA FANGHI – COSA FARE?

Recupero di **MATERIA** ed **ENERGIA** (potenzialità EU)



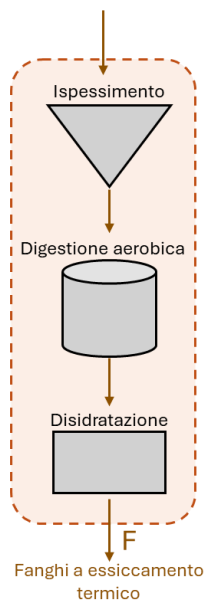
COSA FARE?

- Utilizzare **tecnologie** e apparecchiature più **efficienti**?
- Sostituire la stabilizzazione aerobica con la **digestione anaerobica**?
- Massimizzare la produzione di **biogas** in digestione anaerobica?
- **Monoincenerimento** dei fanghi?

LA LINEA FANGHI – SCENARI A CONFRONTO

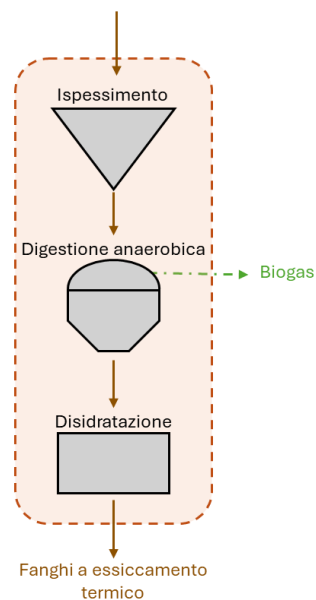
SCENARIO 0

- ✓ STABILIZZAZIONE AEROBICA



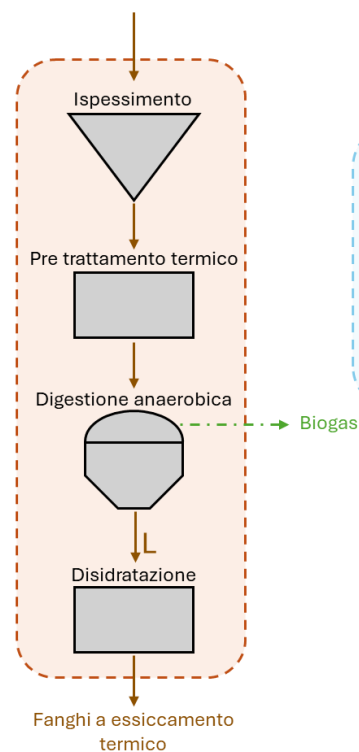
SCENARIO 1

- ✓ DIGESTIONE ANAEROBICA



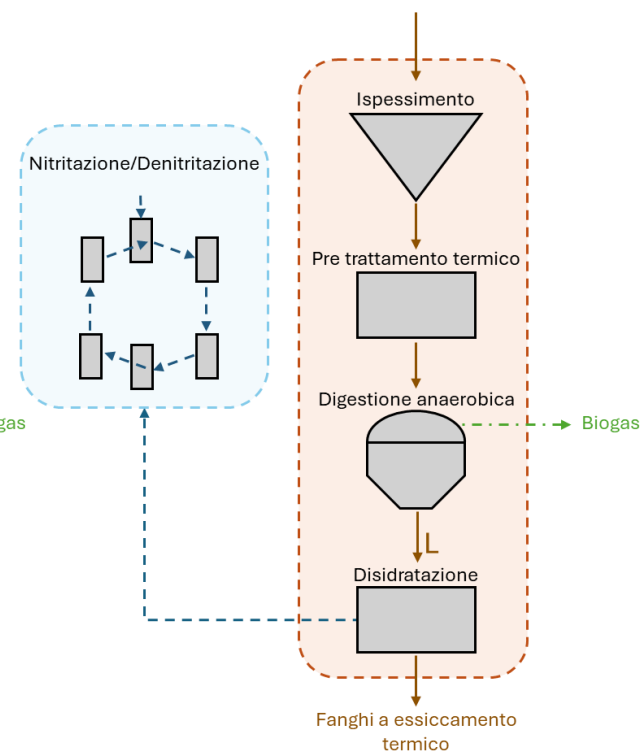
SCENARIO 2

- ✓ IDROLISI TERMICA
- ✓ DIGESTIONE ANAEROBICA

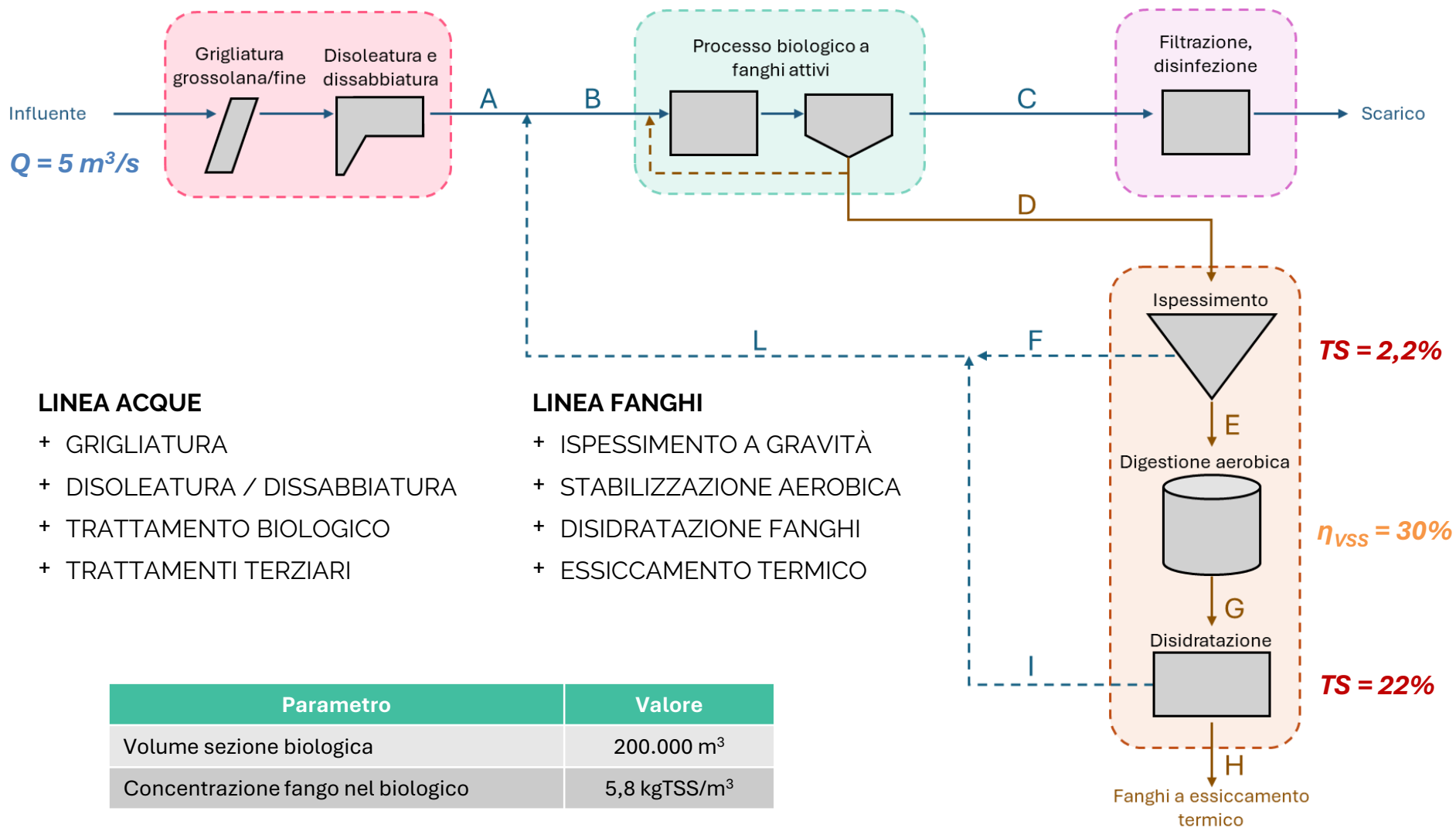


SCENARIO 3

- ✓ IDROLISI TERMICA
- ✓ DIGESTIONE ANAEROBICA
- ✓ PRE-TRATTAMENTO RICIRCOLI



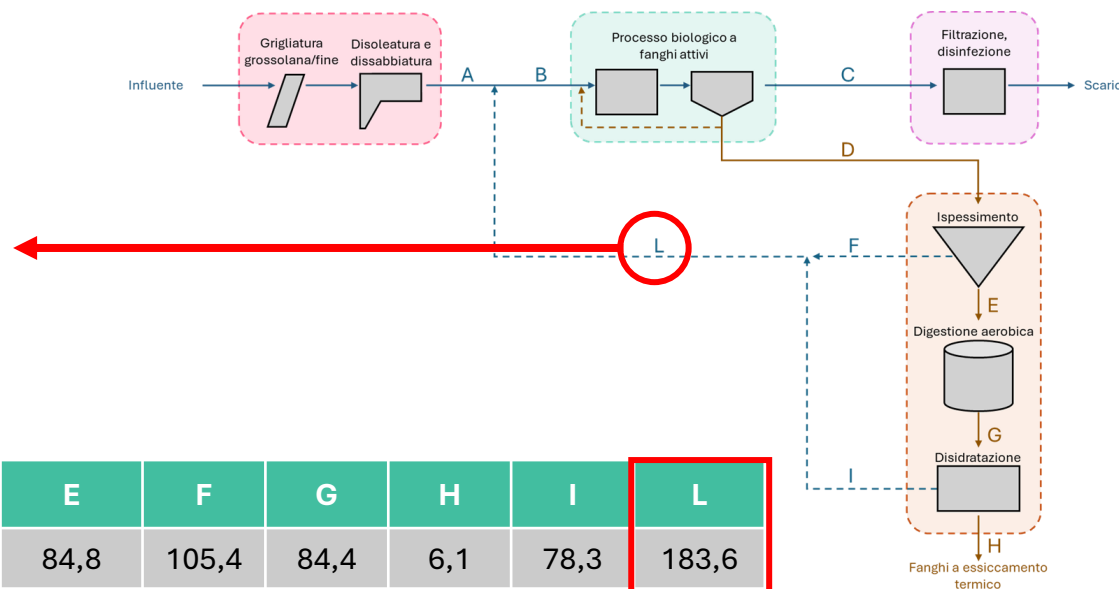
SCENARIO 0 - STABILIZZAZIONE AEROBICA



I CONSUMI ENERGETICI IN IMPIANTO

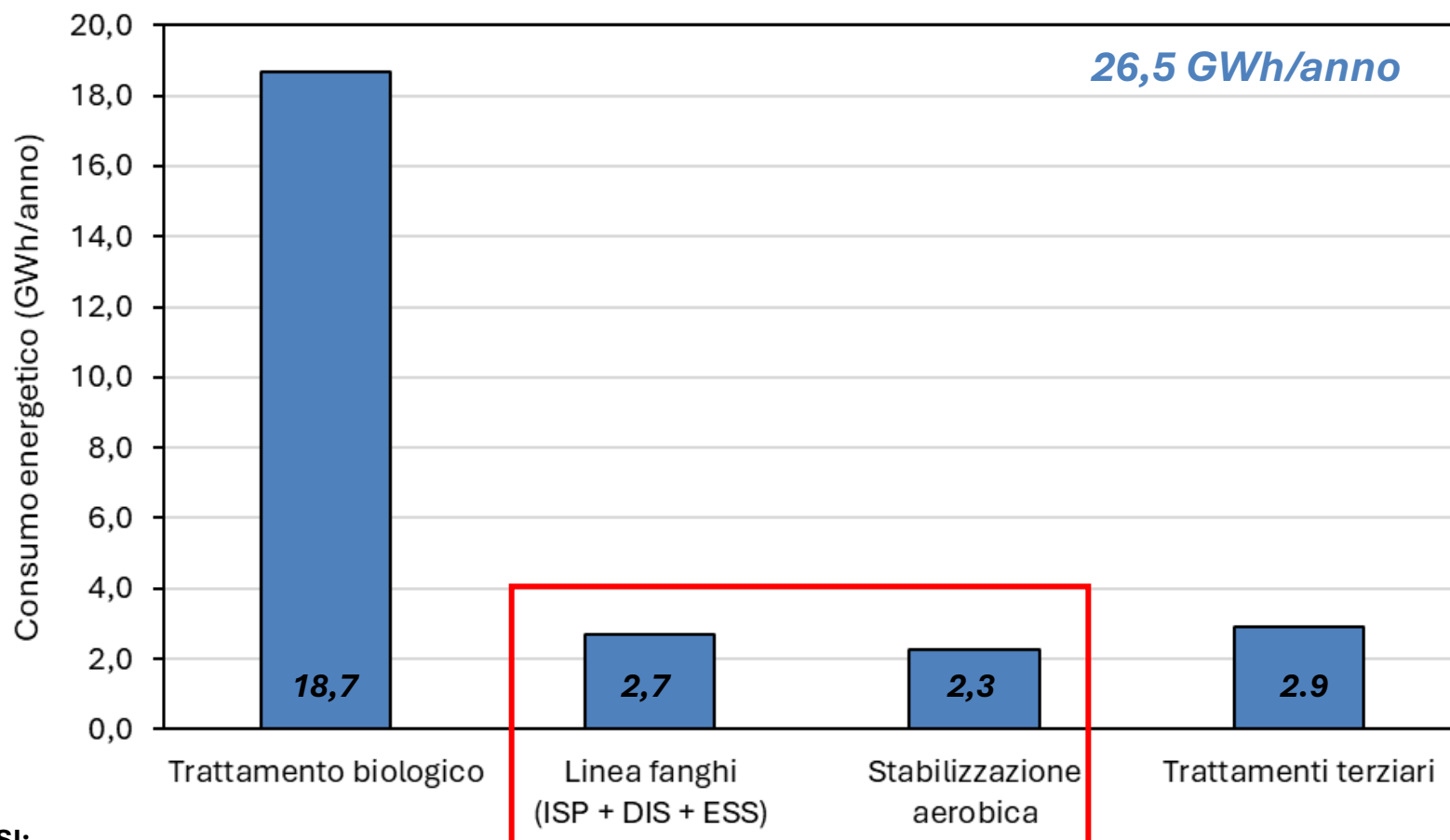
SCENARIO 0 - STABILIZZAZIONE AEROBICA

Parametro	Portata (kg/h)	Carico sul biologico
COD	117,7	2,6%
Ntot	8,6	2,0%
Ptot	2,0	3,7%



		A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
Q	m³/h	15.437	15.620	15.430	190,1	84,8	105,4	84,4	6,1	78,3	183,6
TSS	mg/l	176,0	180,8	15,0	10.256	22.082	740,3	17.005	230.493	366,6	581,0
	kg/h	2.717	2.824	231,4	1.950	1.872	78,0	1.435	1.406	28,7	106,7
COD	mg/l	291,0	295,1	60,0	11.584	24.943	836,2	17.546	237.828	378,3	641,0
	kg/h	4.492	4.610	925,8	2.203	2.115	88,1	1.480	1.451	29,6	117,7
Ntot	mg/l	28,0	28,2	8,0	726,3	1.555	59,9	1.095	14.770	29,5	46,9
	kg/h	432,2	440,8	123,4	138,1	131,8	6,3	92,4	90,1	2,3	8,6
Ptot	mg/l	3,5	3,6	3,6	198,1	198,1	14,3	300,1	4.068	6,5	11,0
	kg/h	54,0	56,0	55,4	37,7	36,2	1,5	25,3	24,8	0,5	2,0

SCENARIO 0 - STABILIZZAZIONE AEROBICA



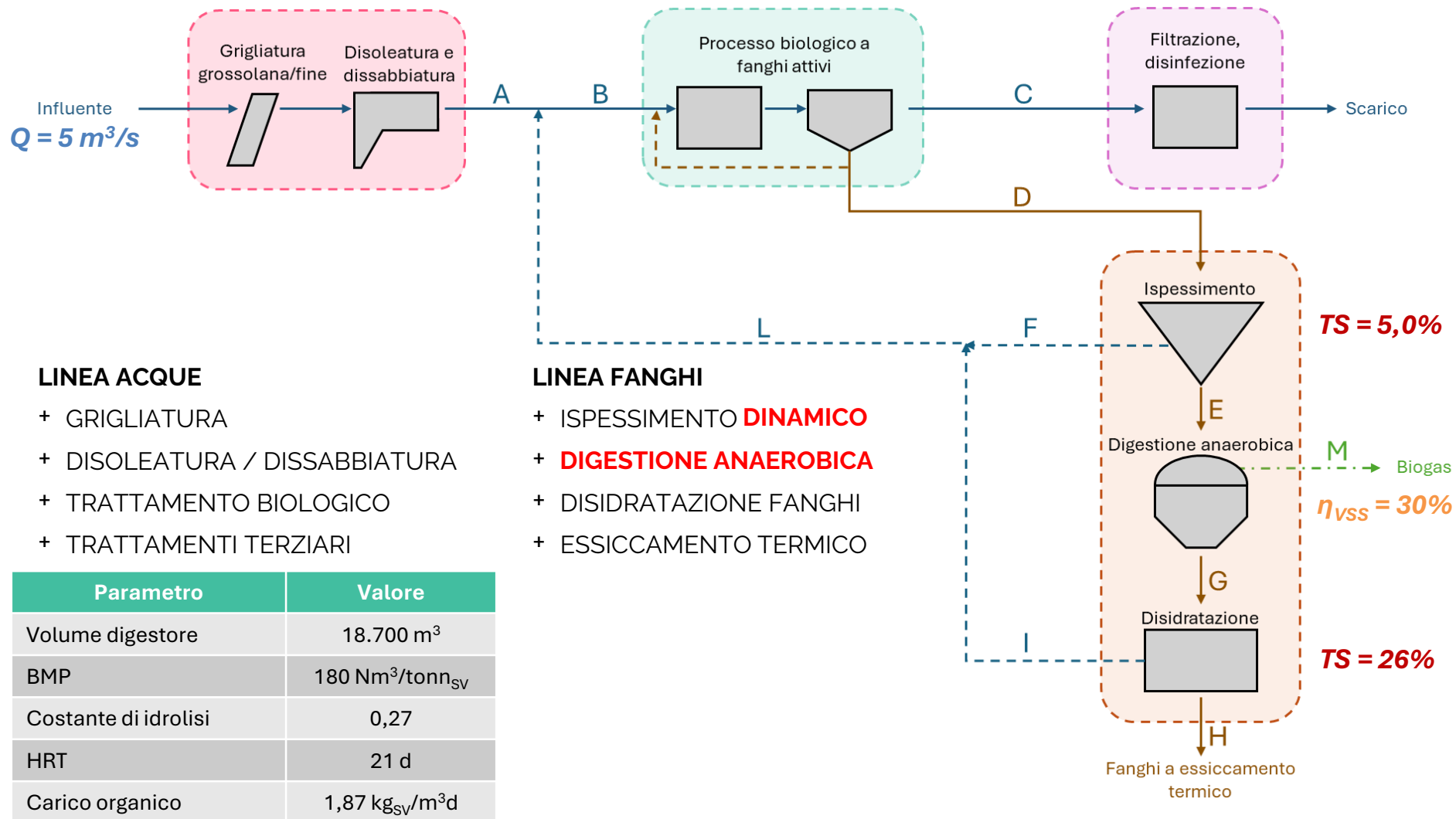
* **ESCLUSI:**

+ PRETRATTAMENTI

+ TRATTAMENTO ODORI

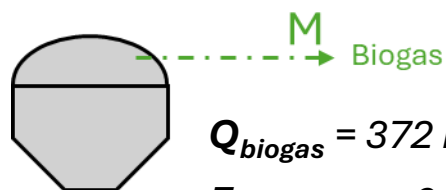
=19%

SCENARIO 1 – DIGESTIONE ANAEROBICA



SCENARIO 1 – DIGESTIONE ANAEROBICA

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
Q	m³/h	15.437	15.621	15.431	190,2	37,1	153,1	36,7	5,1	31,6	184,7
TSS	mg/l	176,0	180,7	15,0	10.253	50.428	509,6	39.040	274.802	907,1	577,5
	kg/h	2.717	2.823	231,5	1.950	1.872	78,0	1.432	1.404	28,6	106,6
COD	mg/l	291,0	295,1	60,0	11.581	56.961	575,6	40.257	283.371	935,4	637,1
	kg/h	4.492	4.610	925,8	2.203	2.115	88,1	1.477	1.447	29,5	117,6
Ntot	mg/l	28,0	30,4	8,0	726,1	3.540	43,7	3.582	18.658	1.144	231,8
	kg/h	432,2	475,0	123,4	138,1	131,4	6,7	131,4	95,3	36,1	42,8
Ptot	mg/l	3,5	4,3	4,3	198,1	198,1	9,8	985,7	4.846,6	361,3	69,9
	kg/h	54,0	66,9	66,1	37,7	36,2	1,5	36,2	24,8	11,4	12,9



$$Q_{biogas} = 372 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$E_{ELETTRICA} = 6,2 \text{ GWh/anno}$$

$$E_{TERMICA} = 7,8 \text{ GWh/anno}$$

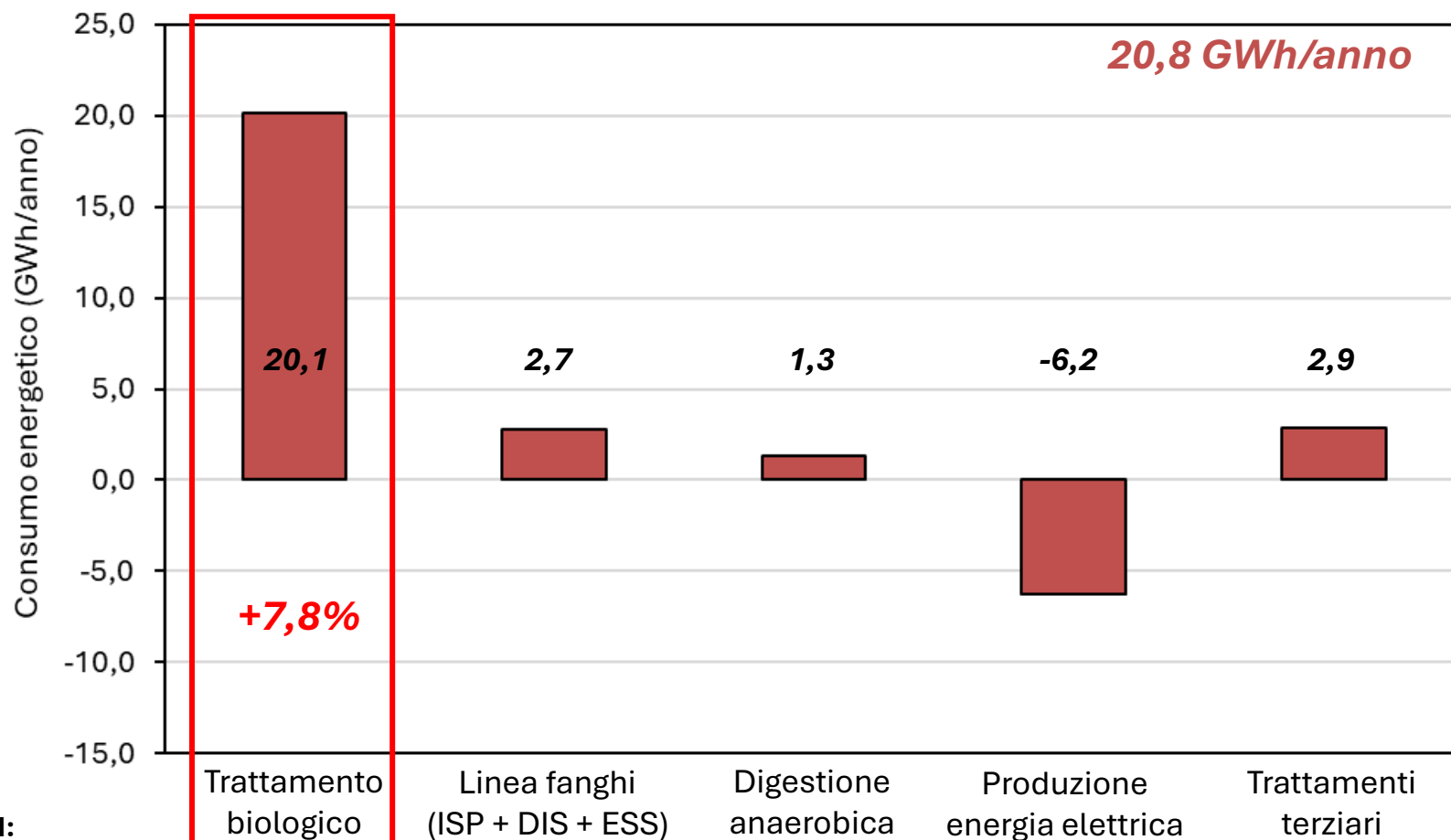
Parametro	Carico sul biologico
COD	2,6%
Ntot	9,9%
Ptot	23,9%

$$Q_{aria} = 145.800 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo rbCOD} = 0 \text{ kg/d}$$

* Biologico con potenzialità residua

SCENARIO 1 – DIGESTIONE ANAEROBICA



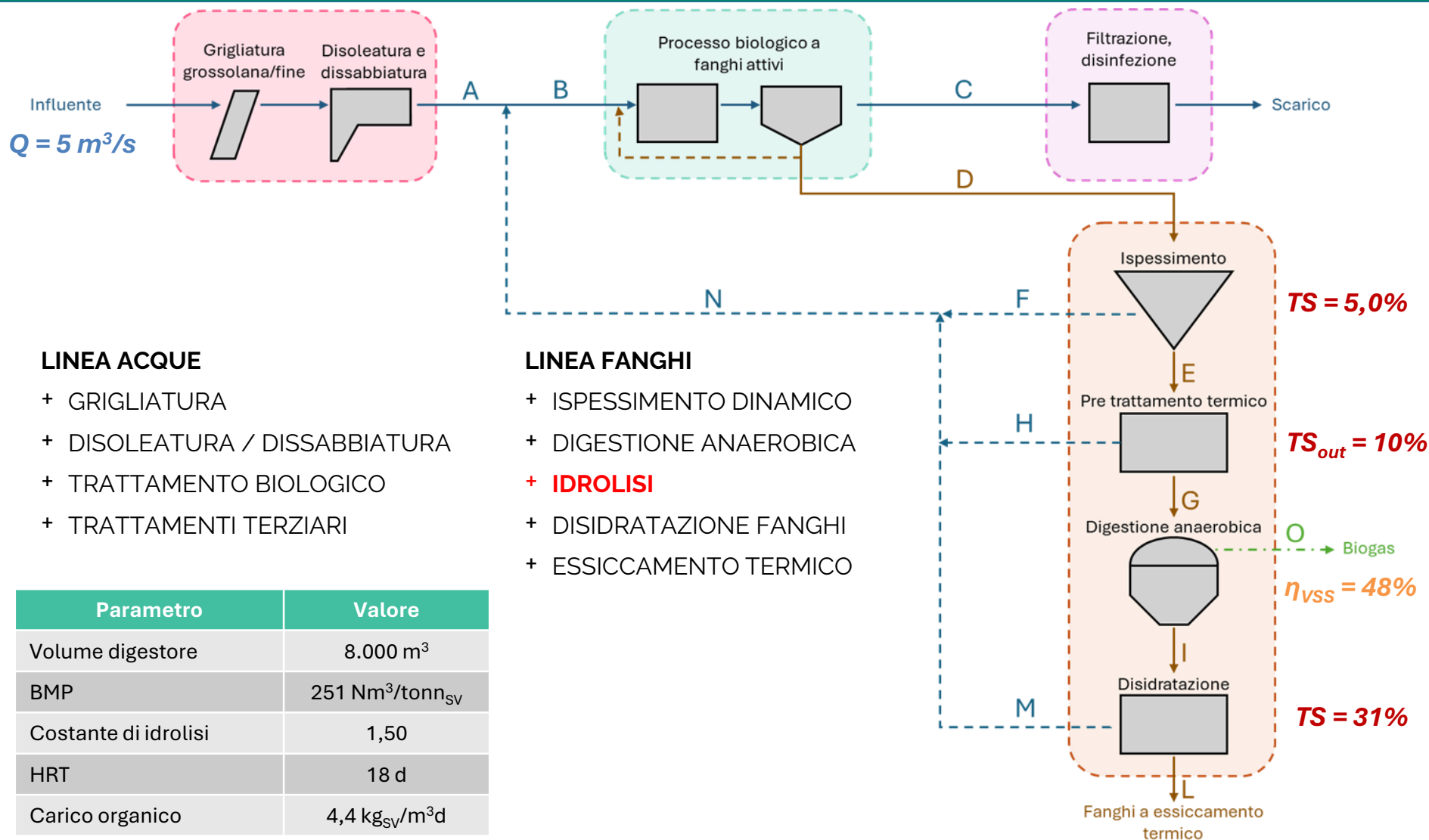
* **ESCLUSI:**

+ PRETRATTAMENTI

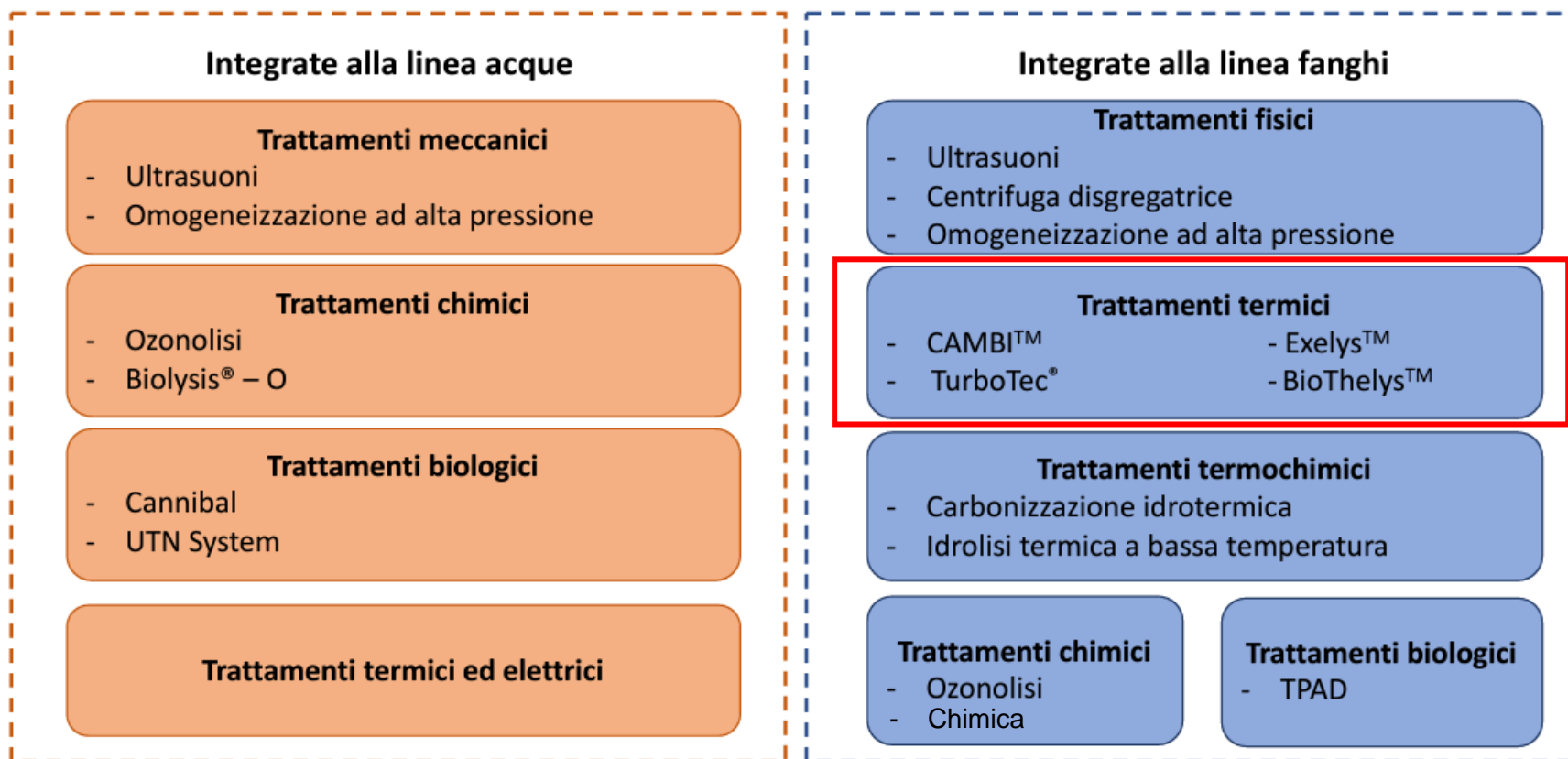
+ TRATTAMENTO ODORI

I CONSUMI ENERGETICI IN IMPIANTO

SCENARIO 2 – DIGESTIONE ANAEROBICA + IDROLISI



PROCESSI DI LISI

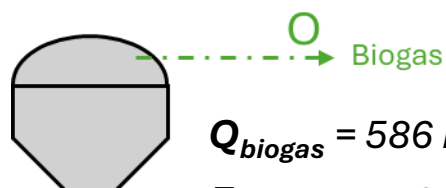


La lisi aumenta la frazione gassificante dei fanghi

- ✓ Fanghi idrolizzati al 12-13% di SS
- ✓ Maggiore produzione di biogas (dal 25 al 60%)
- ✓ DISTRUZIONE fino al 55 – 65% di VS
- ✓ Riduzione del 30% - 40% dei TS nei fanghi digeriti
- ✓ L'OLR del digestore può essere aumentato fino a 6 kgVS/m3/d

SCENARIO 2 – DIGESTIONE ANAEROBICA + IDROLISI

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
Q	m³/h	15.437	15.626	15.432	193,2	37,8	155,4	18,3	19,4	17,7	3,4	14,2	189,1
TSS	mg/l	176,0	182,9	15,0	10.267	50.428	510,5	101.726	1.961,4	66.411	335.127	1.648	745,1
	kg/h	2.717	2.858	231,5	1.983	1.904	79,33	1.866	38,1	1.173	1.149	23,5	140,9
COD	mg/l	291,0	297,4	60,0	11.597	56.961	576,6	114.905	2.215,5	62.435	315.059	1.550	818,1
	kg/h	4.492	4.647	925,9	2.240	2.151	89,6	2.108	43,0	1.102	1.080	22,0	154,7
Ntot	mg/l	28,0	31,6	8,0	727,1	3.540	43,8	7.133	145,4	7.410	23.075	3.634	324,4
	kg/h	432,2	493,6	123,5	140,5	133,7	6,8	130,8	2,8	130,8	79,1	51,7	61,3
Ptot	mg/l	3,5	4,7	4,7	198,4	198,4	9,9	1.965	37,9	2.041	5.389	1.235	104,9
	kg/h	54,0	73,9	73,0	38,3	36,8	1,5	36,0	0,7	36,0	18,5	17,6	19,8



$$Q_{biogas} = 586 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$E_{ELETTRICA} = 9,8 \text{ GWh/anno}$$

$$E_{TERMICA} = 12,3 \text{ GWh/anno}$$

Parametro	Carico sul biologico
COD	3,4%
Ntot	14,2%
Ptot	36,7%

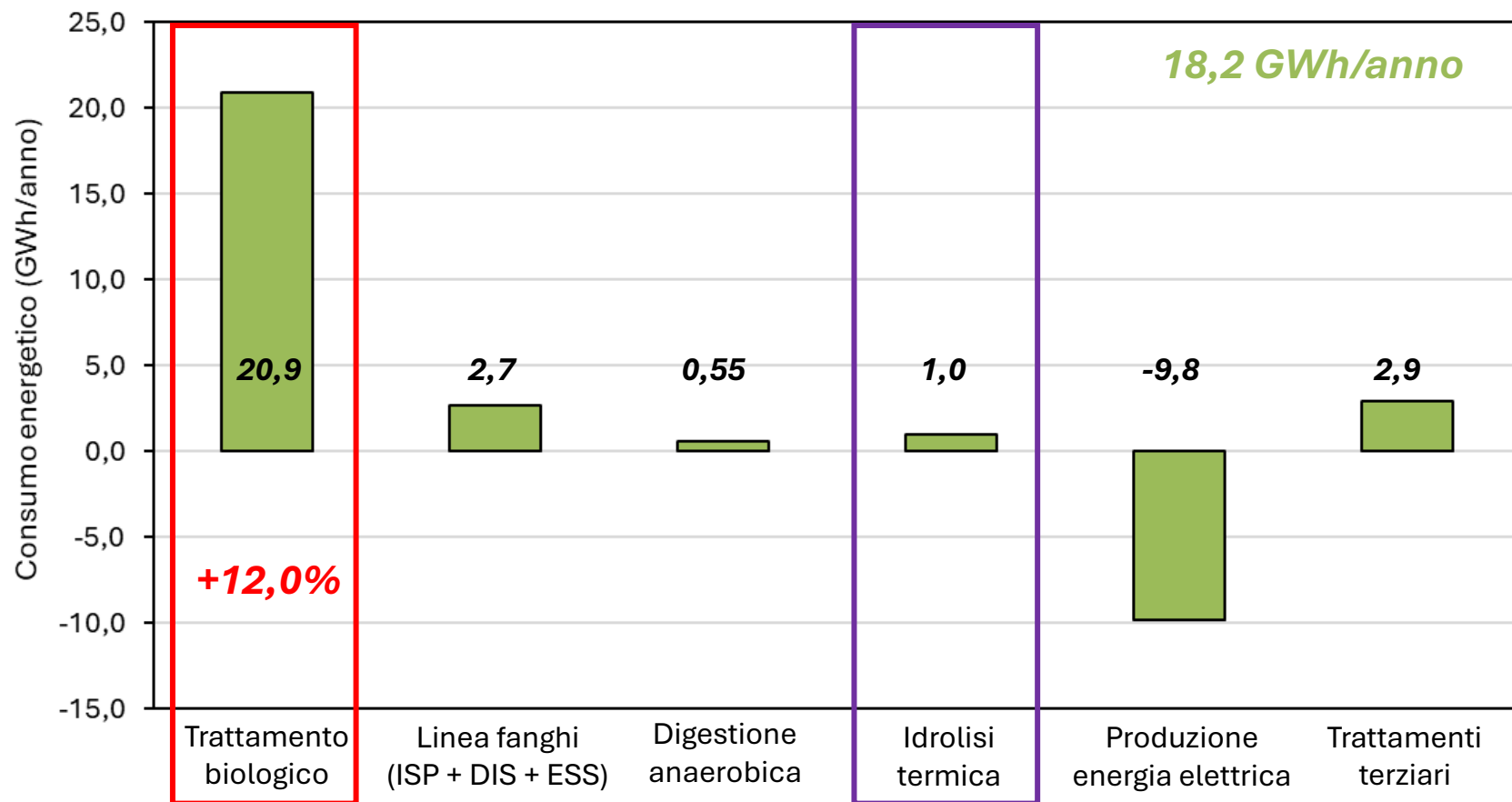
$$Q_{aria} = 147.300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo rbCOD} = 260 \text{ kg/d}$$

* Biologico con potenzialità residua

I CONSUMI ENERGETICI IN IMPIANTO

SCENARIO 2 – DIGESTIONE ANAEROBICA + IDROLISI

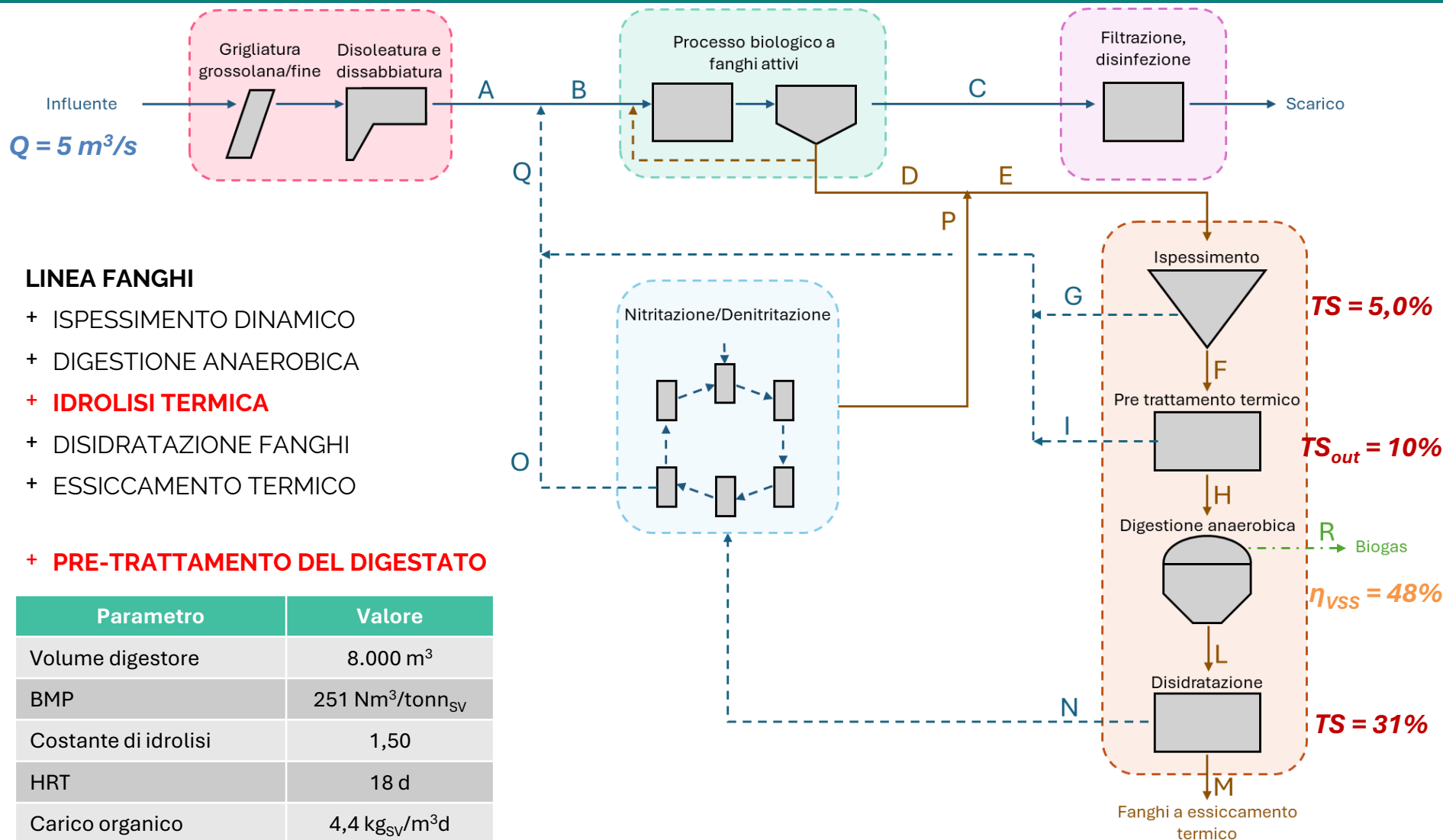


* **ESCLUSI:**

- + PRETRATTAMENTI
- + TRATTAMENTO ODORI

Consumo $E_{TERMICA}$ = 4,2 GWh/anno

SCENARIO 3 – DIGESTIONE AN. + IDROLISI + PRETRATTAMENTO DIGESTATO



PRE-TRATTAMENTO DEL DIGESTATO

DENITRIFICAZIONE

5,5 kg COD/kgN

NITRIFICAZIONE

Ossigeno = 4,6 kgO₂/kgN
Volume vasche 100%

DENITRITAZIONE

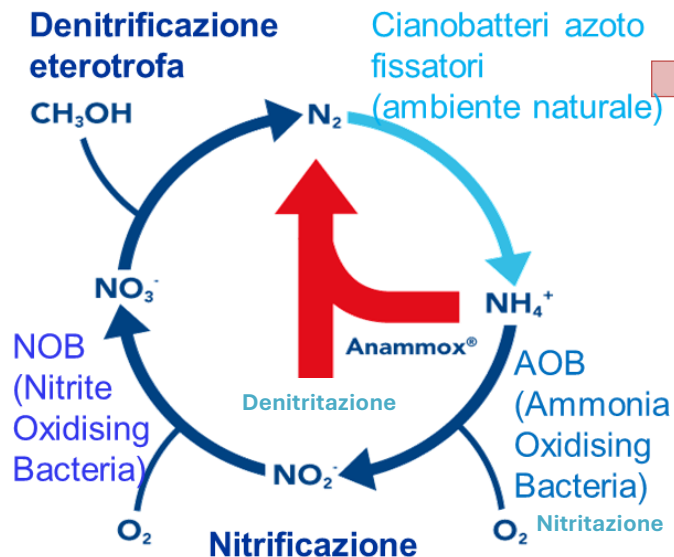
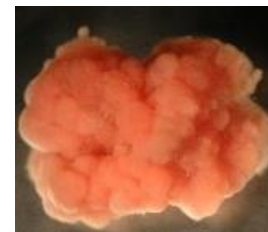
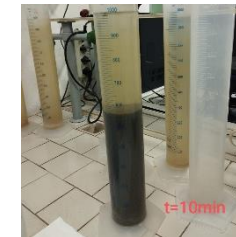
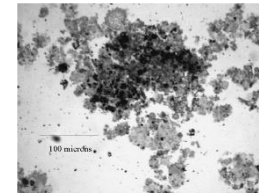
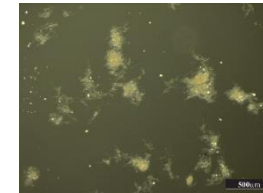
3,7 kg COD/kgN

NITRITAZIONE

Ossigeno = 3,4 kgO₂/kgN
Volume vasche 90%

PN / ANAMMOX

Ossigeno = 1,1 kgO₂/kgN
0,0 kg COD/kgN
Volume vasche 30%



Variabili di processo:

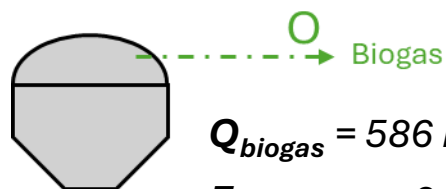
- ✓ Temperatura
- ✓ Ossigeno disciolto
- ✓ pH - Alcalinità
- ✓ Concentrazione di NH_4^+ e NO_2^-

Criticità:

- ❖ Stabilità processo
- ❖ Emissioni N_2O

SCENARIO 3 – DIGESTIONE AN. + IDROLISI + PRETRATTAMENTO DIGESTATO

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q
Q	m³/h	15.437	15.635	15.444	191,1	199,2	39,0	152,2	18,9	20,0	38,2	3,5	34,6	26,6	8,1	198,4
TSS	mg/l	176,0	181,3	15,0	10.268	10.257	50.428	515,9	101.726	1.961	31.691	335.127	698,6	20,0	10.004	596,3
	kg/h	2.717	2.835	231,7	1.962	2.043	1.965	78,5	1.926	39,3	1.210	1.186	24,2	0,5	80,8	118,3
COD	mg/l	291,0	296,1	60,0	11.598	11.586	56.961	582,7	114.905	2.215,5	29.793	315.059	656,7	150,0	11.300	690,6
	kg/h	4.492	4.629	926,6	2.217	2.308	2.219	88,7	2.175	44,4	1.138	1.115	22,8	4,0	91,3	137,0
Ntot	mg/l	28,0	28,4	8,0	727,2	729,0	3.543	47,2	7.136	147,9	3.537	21.227	1.730	70,0	770,7	60,5
	kg/h	432,2	444,2	123,5	139,0	145,2	138,0	7,2	135,1	3,0	135,1	75,1	60,0	1,9	6,2	12,0
Ptot	mg/l	3,5	4,7	4,7	198,4	198,2	198,2	10,0	1.965	37,9	974,2	5.389	523,3	623,9	193,3	95,0
	kg/h	54,0	72,9	72,0	37,9	39,5	38,0	1,5	37,2	0,8	37,2	19,1	18,1	16,6	1,6	18,8



$$Q_{biogas} = 586 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$E_{ELETTRICA} = 9,8 \text{ GWh/anno}$$

$$E_{TERMICA} = 12,3 \text{ GWh/anno}$$

Parametro	Valore
Volume SBR	9.400 m³
Concentrazione fango nel biologico	6,0 kgTSS/m³

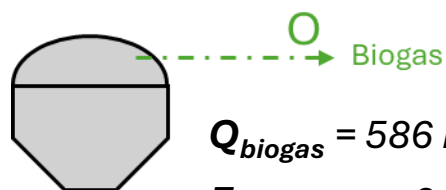
$$Q_{aria} = 4.500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo rbCOD} = 260 - 4.100 \text{ kg/d}$$

I CONSUMI ENERGETICI IN IMPIANTO

SCENARIO 3 – DIGESTIONE AN. + IDROLISI + PRETRATTAMENTO DIGESTATO

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q
Q	m³/h	15.437	15.635	15.444	191,1	199,2	39,0	152,2	18,9	20,0	38,2	3,5	34,6	26,6	8,1	198,4
TSS	mg/l	176,0	181,3	15,0	10.268	10.257	50.428	515,9	101.726	1.961	31.691	335.127	698,6	20,0	10.004	596,3
	kg/h	2.717	2.835	231,7	1.962	2.043	1.965	78,5	1.926	39,3	1.210	1.186	24,2	0,5	80,8	118,3
COD	mg/l	291,0	296,1	60,0	11.598	11.586	56.961	582,7	114.905	2.215,5	29.793	315.059	656,7	150,0	11.300	690,6
	kg/h	4.492	4.629	926,6	2.217	2.308	2.219	88,7	2.175	44,4	1.138	1.115	22,8	4,0	91,3	137,0
Ntot	mg/l	28,0	28,4	8,0	727,2	729,0	3.543	47,2	7.136	147,9	3.537	21.227	1.730	70,0	770,7	60,5
	kg/h	432,2	444,2	123,5	139,0	145,2	138,0	7,2	135,1	3,0	135,1	75,1	60,0	1,9	6,2	12,0
Ptot	mg/l	3,5	4,7	4,7	198,4	198,2	198,2	10,0	1.965	37,9	974,2	5.389	523,3	623,9	193,3	95,0
	kg/h	54,0	72,9	72,0	37,9	39,5	38,0	1,5	37,2	0,8	37,2	19,1	18,1	16,6	1,6	18,8



$$Q_{biogas} = 586 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$E_{ELETTRICA} = 9,8 \text{ GWh/anno}$$

$$E_{TERMICA} = 12,3 \text{ GWh/anno}$$

Parametro	Carico sul biologico
COD	3,1%
Ntot	2,8%
Ptot	34,9%

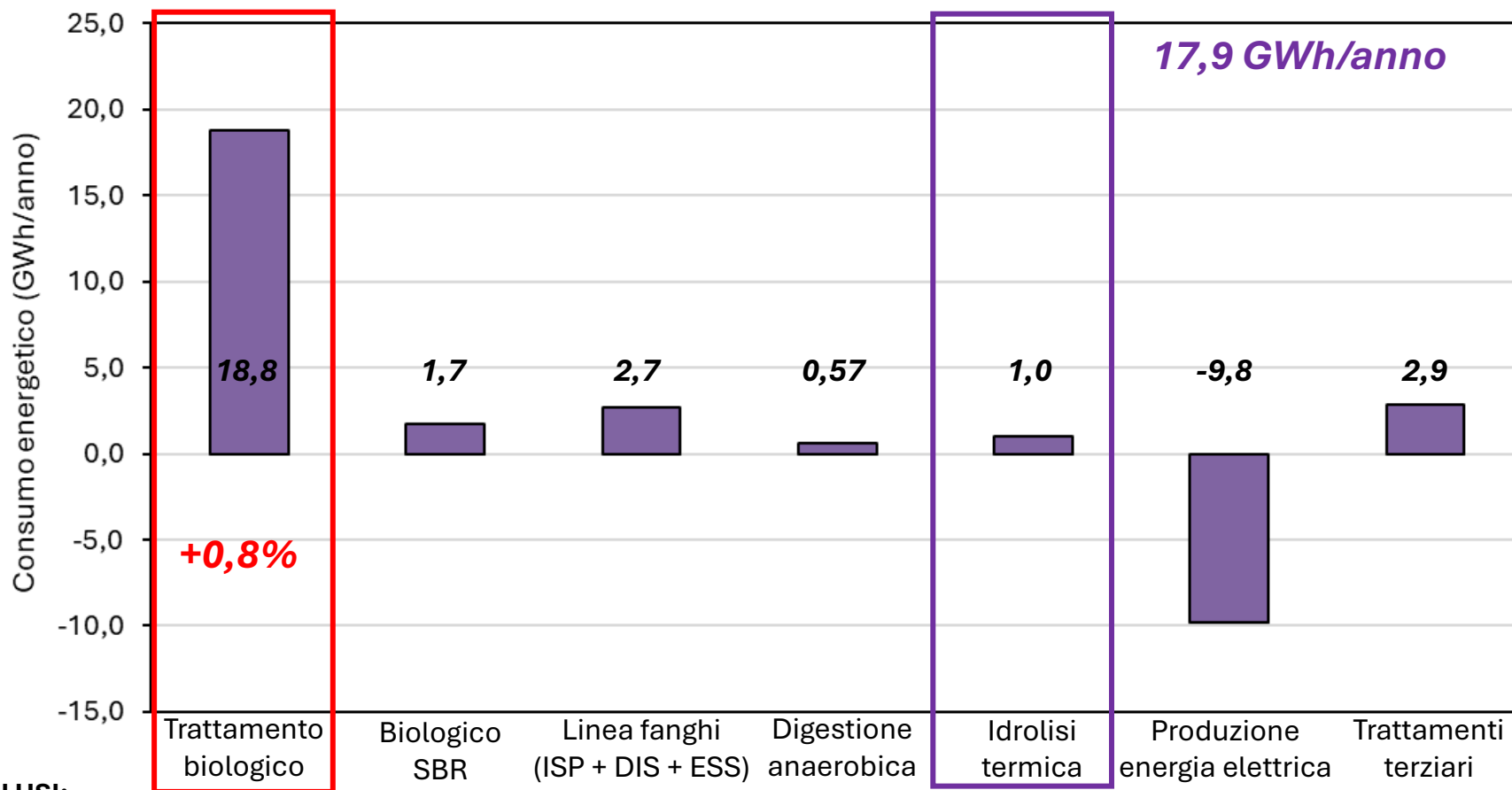
$$Q_{aria} = 144.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo rbCOD} = 0,0 \text{ kg/d}$$

* Biologico con potenzialità residua

I CONSUMI ENERGETICI IN IMPIANTO

SCENARIO 3 – DIGESTIONE AN. + IDROLISI + PRETRATTAMENTO DIGESTATO



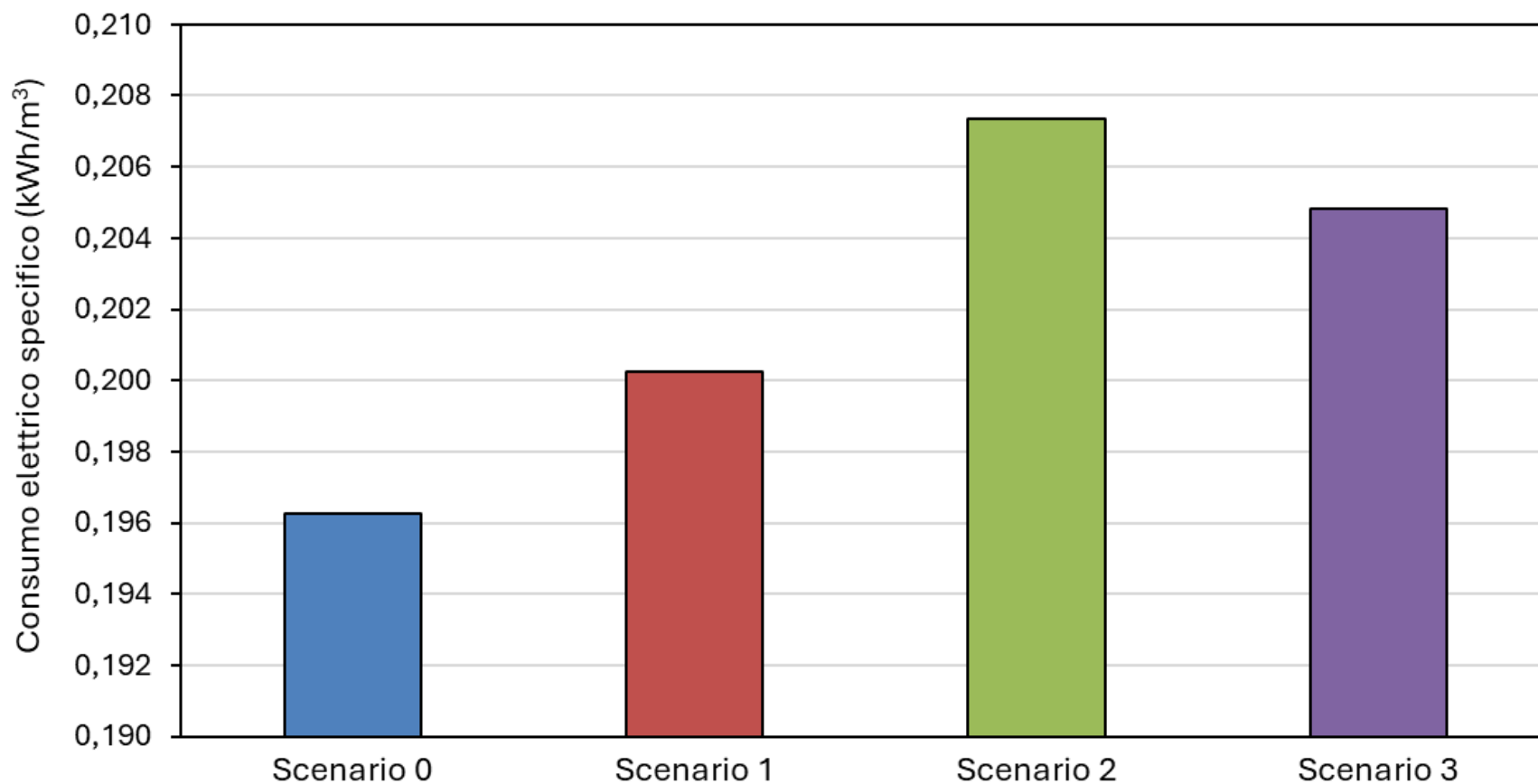
* **ESCLUSI:**

+ PRETRATTAMENTI

+ TRATTAMENTO ODORI

Consumo E_{TERMICA} = 4,2 GWh/anno

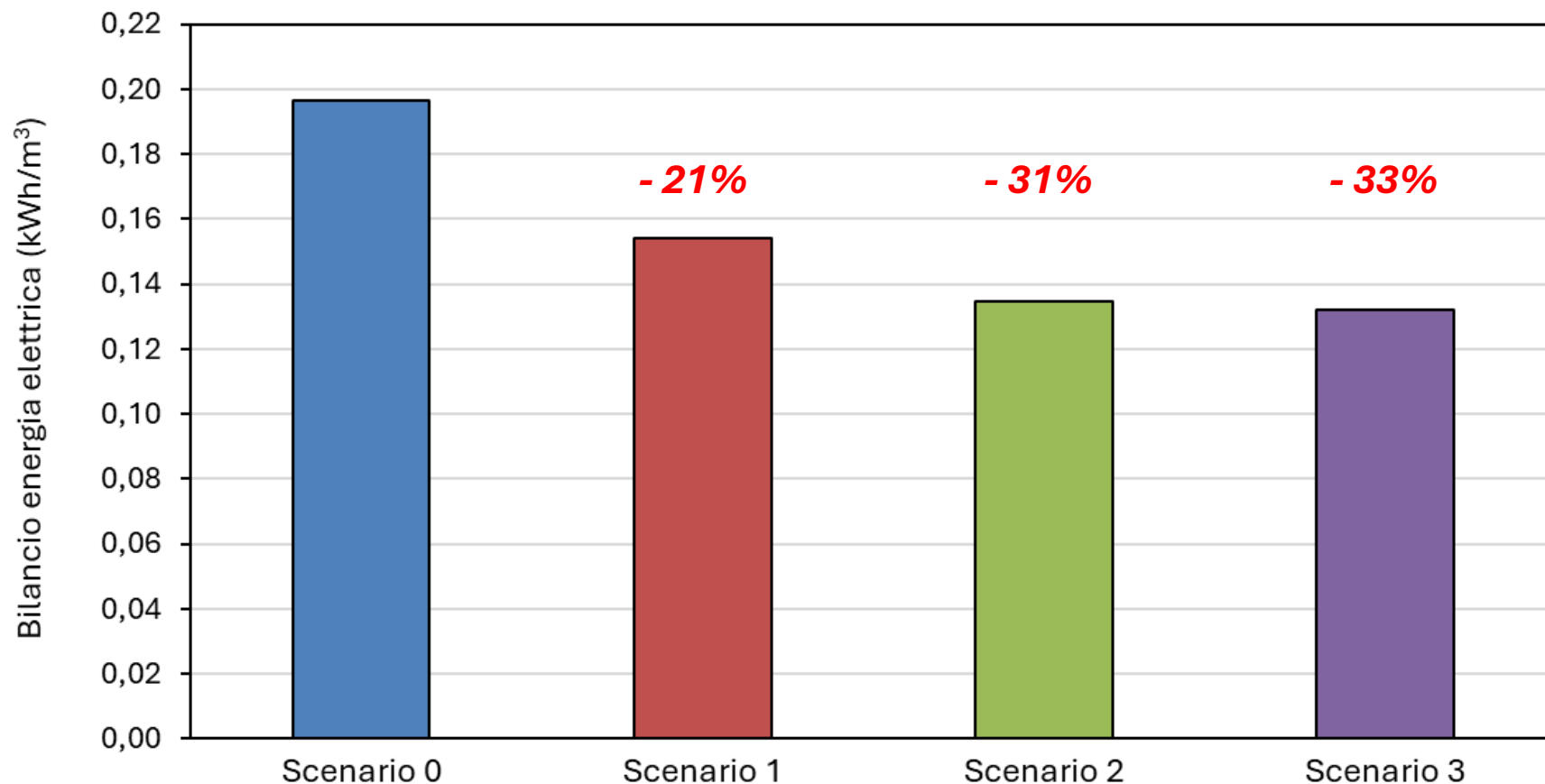
CONFRONTO SCENARI



* **ESCLUSI:**

- + PRETRATTAMENTI
- + TRATTAMENTO ODORI

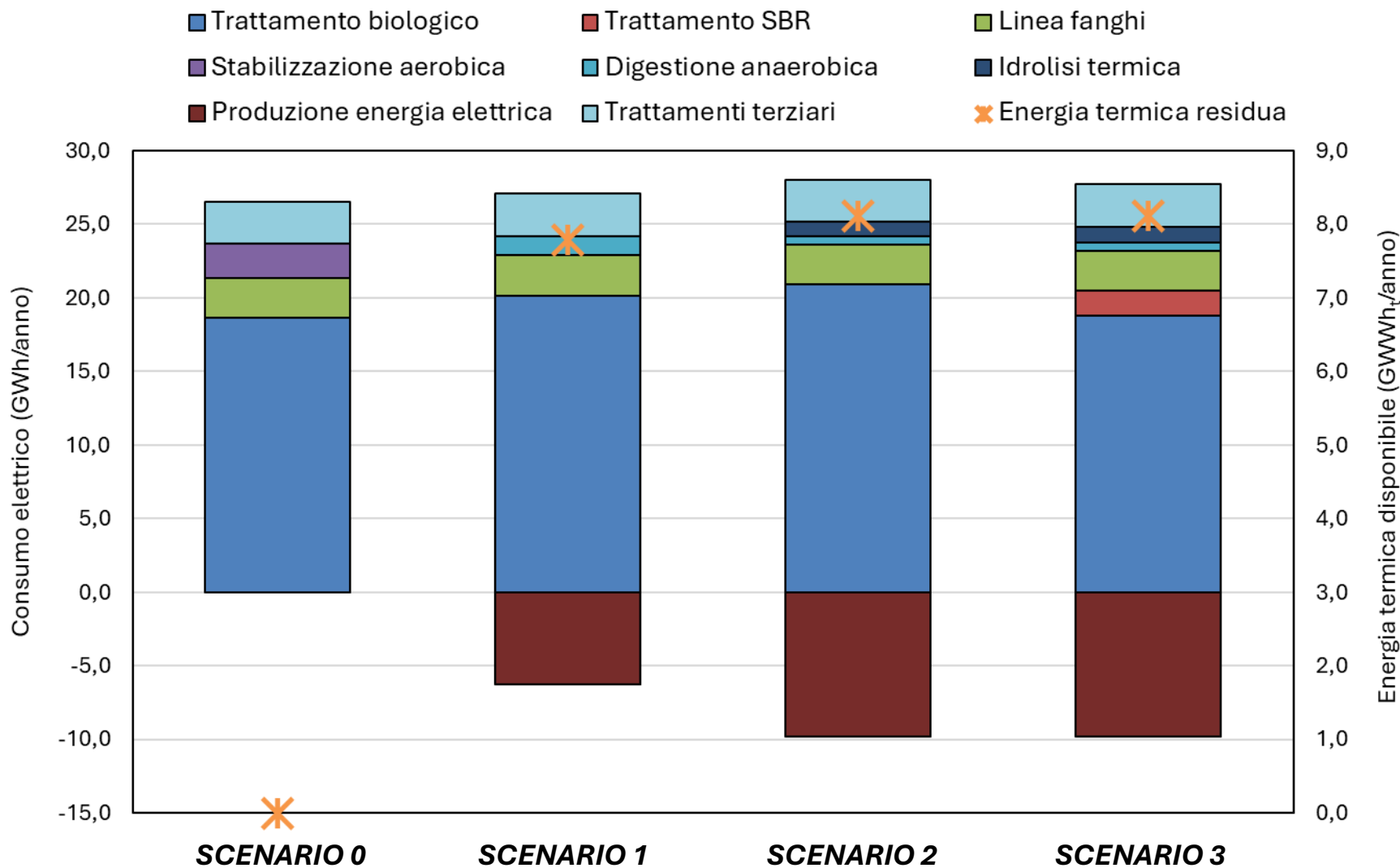
CONFRONTO SCENARI



* **ESCLUSI:**

- + PRETRATTAMENTI
- + TRATTAMENTO ODORI

CONFRONTO SCENARI



COSA VALUTARE?

CALCOLO OPEX, cosa manca?

- Smaltimento fango
- Dosaggio COD esterno
- Dosaggio chemicals per la rimozione del fosforo
- Manutenzione apparecchiature

Lisi termica-alcaina
 $Q_{\text{NaOH [30\%]}} > 2.000 \text{ m}^3/\text{anno}$

	TS fango disidratato	Fango disidratato prodotto	Dosaggio COD esterno	Dosaggio FeCl ₃ esterno
U.M.	%	kg/d	kg/d	m ³ /d
Scenario 0	22%	6.390	0	12,3
Scenario 1	26%	5.399	0	14,7
Scenario 2	31%	3.707	260	16,3
Scenario 3	31%	3.826	260 - 4.100	16,0

Valutare caso per caso, considerando la complessità dell'impianto

Gli OPEX dipendono anche dalla disponibilità di rbCOD nella sezione biologica!

Articolo 11 EU Directive:

«[...] riducendo al contempo le emissioni di gas a effetto serra»

Le iniziative volte a conseguire la neutralità energetica non dovrebbero comportare un aumento delle emissioni di metano e di protossido d'azoto.

- **Emissioni GHG:** il monitoraggio delle emissioni di N_2O è fondamentale per il funzionamento dei processi di nitrificazione-denitrificazione.

- **Impronta di carbonio:**
 - ✓ Costruzione nuove opere
 - ✓ Smaltimento fanghi
 - ✓ Consumo reagenti
 - ✓ Efficienza apparecchiature



LCA

- Dal punto di vista energetico, la sostituzione della stabilizzazione aerobica con la **digestione anerobica** rappresenta la soluzione più solida per avvicinarsi ad ottenere un bilancio pari a 0 dei consumi in impianto.
- L'ottimizzazione della produzione di biogas con **pretrattamenti di lisi** possono portare ad una riduzione complessiva del consumo energetico di impianto (da valutare in base alla tecnologia di lisi selezionata e alla configurazione di impianto).
- L'aumento della produzione di biogas con processi di lisi può avvenire solo con una sezione di trattamento biologica con **potenzialità residua oppure introducendo opportuni pretrattamenti**.
- Digestione anaerobica e idrolisi termica riducono i **volumi di fango a smaltimento**.
- **Pretrattamenti** mirati del digestato **riducono l'impatto di azoto e fosforo nei reflui riciccolati**.
- Non è sufficiente limitare l'analisi ai soli consumi energetici, risulta necessario valutare gli impatti degli altri fattori in una **valutazione completa sull'impronta di carbonio**.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

simone.visigalli@seam-eng.com



SEAM engineering srl

Parco Scientifico Tecnologico ComoNExT - Via Cavour 2, 22074 Lomazzo (CO)

+39 0236714388 | info@seam-eng.com | www.seam-eng.com