

0	31/03/17	ETC					EMISSIONE
REV.	DATA	SIGLA	DATA	SIGLA	DATA	SIGLA	DESCRIZIONE
	REDATTORE		VERIFICATORE		VALIDATORE		
FUNZIONE O SERVIZIO							
SERVIZIO INGEGNERIA E DIREZIONE LAVORI							
DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO							
ADEGUAMENTO POTENZIAMENTO LINEA FANGHI DEPURATORE BORGHERIA COMUNE DI PESARO							
LIVELLO DI PROGETTAZIONE							
PROGETTO DEFINITIVO							
DENOMINAZIONE DOCUMENTO							N° ELABORATO
RELAZIONE DI CALCOLO DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO							110-10
COMMESSA N° MT442D440417	ID DOCUMENTO D-R-110-10		NOME FILE D-R-110-10_Relazione di processo.docx			SCALA -	
IL PROGETTISTA							DATA 31/03/2017
 Via Colleoni 56/58 – 36016 Thiene (VI) Tel: 0445 375300 e.mail: info@studioaltieri.it							
 Via Praga 7 – 38121 Trento (TN) Tel: 0461 825966 e.mail: info@etc-eng.it							
 Via Praga 5 – 38121 Trento (TN) Tel: 0461 1633778 e.mail: info@studiozulberti.it							
 Via dei Canonici 144, 61122 Pesaro C.F./P.IVA/Reg. Imp. PU 02059030417 Cap. Soc. - € 13.484.242,00 i.v.			IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Simona Francolini				DATA
			VISTO IL DIRETTORE DEI LAVORI				DATA
							PAG.N° DI 1 97

INDICE

1	PREMESSA	5
2	DATI DI PROGETTO.....	8
2.1	Definizione delle portate di progetto	8
2.1.1	<i>Analisi delle portate trattate attualmente dall'impianto</i>	<i>8</i>
2.1.2	<i>Calcolo delle portate di progetto</i>	<i>9</i>
2.2	Definizione delle caratteristiche qualitative del refluo in ingresso	11
2.3	Carico attualmente afferente all'impianto e potenzialità di progetto	12
2.4	Frazionamento del COD in ingresso.....	13
2.5	Reflui extrafognari trattati presso l'impianto	14
2.6	Limiti allo scarico	16
2.7	Riepilogo degli scenari di verifica	17
3	FILIERA DI TRATTAMENTO DELL'IMPIANTO	21
3.1	Stato attuale	21
3.2	Stato di progetto	25
3.2.1	<i>Principali criticità da risolvere.....</i>	<i>25</i>
3.2.2	<i>Sintesi degli interventi previsti</i>	<i>26</i>
3.2.3	<i>Configurazione impiantistica di progetto</i>	<i>30</i>
4	RISULTATI DELLE VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO - LINEA ACQUE.....	34
4.1	Pre-trattamenti meccanici	34
4.1.1	<i>Grigliatura fine</i>	<i>34</i>
4.1.2	<i>Dissabbiatura-disoleatura.....</i>	<i>36</i>
4.1.3	<i>Ripartizione alle linee di trattamento biologico</i>	<i>37</i>
4.1.4	<i>Pre-trattamento dei reflui extra-fognari</i>	<i>38</i>
4.1.5	<i>Stazione di trattamento dell'aria esausta.....</i>	<i>41</i>
4.2	Comparto di trattamento biologico.....	42
4.2.1	<i>Il processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente.....</i>	<i>43</i>
4.2.2	<i>Il controller avanzato OSCAR® - Aerazione intermittente</i>	<i>45</i>
4.2.3	<i>Modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento del comparto biologico...</i>	<i>47</i>
4.2.4	<i>Parametri cinetici e stechiometrici</i>	<i>50</i>
4.2.5	<i>Risultati del dimensionamento in condizioni di medio carico</i>	<i>52</i>
4.2.5.1	<i>Linee A e B.....</i>	<i>53</i>

4.2.5.2	Linea C	56
4.2.5.3	Linea D	59
4.2.5.4	Caratteristiche attese dell'effluente dall'impianto.....	63
4.2.6	Risultati delle verifiche di funzionamento in condizioni di alto carico	63
4.2.6.1	Linee A e B.....	64
4.2.6.2	Linea C	65
4.2.6.3	Linea D	67
4.3	Sedimentazione secondaria	69
4.3.1	Criteri di dimensionamento e verifica	69
4.3.2	Risultati del dimensionamento	70
4.3.2.1	Linee A e B.....	70
4.3.2.2	Linea C	71
4.3.2.3	Linea D	73
4.4	Defosfatazione chimica	75
4.4.1	Criteri di dimensionamento e verifica	75
4.4.2	Risultati del dimensionamento	76
4.4.2.1	Linee A e B.....	76
4.4.2.2	Linea C	77
4.4.2.3	Linea D	78
4.4.2.4	Intero impianto.....	79
4.5	Filtrazione terziaria	79
4.6	Disinfezione UV	82
5	RISULTATI DELLE VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO - LINEA FANGHI	86
5.1	Produzione attesa di fanghi di supero	86
5.2	Pre-ispessimento	87
5.3	Stabilizzazione aerobica	89
5.4	Post-ispessimento	92
5.5	Disidratazione meccanica	93
5.6	Stazione di trattamento dell'aria esausta	95
6	BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA.....	96

1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta la relazione di calcolo di processo del progetto definitivo di "Adeguamento e potenziamento linea fanghi depuratore Borgheria - Comune di Pesaro". Vi vengono riepilogate le procedure di dimensionamento e i relativi risultati che hanno portato alla definizione degli interventi di potenziamento delle varie sezioni impiantistiche.

L'agglomerato di Pesaro dispone storicamente di un sistema fognario misto. Negli anni passati si è proceduto ad un notevole sforzo per separare le reti su tutto il territorio comunale. Quindi, ad oggi, si è in presenza di un sistema fognario in parte misto ed in parte separato. L'agglomerato è servito da un impianto di depurazione a cui sono collegate tutte le aree urbane che dispongono di fognatura separata e alcune aree servite da fognatura mista (Zona Industriale di via Toscana, Zona Vismara-Cattabrighe, Zona mare). I reflui sono alimentati al depuratore in pressione da alcune stazioni di sollevamento, a cui afferiscono le reti fognarie delle varie zone. Restano ancora da collegare al depuratore alcune aree urbane, tra cui spicca l'intero Centro Storico. Marche Multiservizi, concordemente con il Comune di Pesaro, e secondo quanto recepito nel PTA approvato con delibera della regione Marche n. 145 del 26/01/2010, negli anni scorsi aveva predisposto e iniziato ad attuare un piano di progressivo collegamento al depuratore di Borgheria delle aree cittadine in cui veniva via via completato il programma di separazione delle reti fognarie.

In data 19/05/2011, la Commissione Europea ha emesso il *Parere motivato di infrazione* n. 2009/2034 C(2011) 3272 def, nei confronti della Repubblica Italiana per la violazione degli articoli 3, 4, 5 e 10 della Direttiva del Consiglio 91/271/CEE del 21 maggio 1991, concernente il trattamento delle acque reflue urbane. Nell'*Annex I: Agglomerations in Beach* di detto Parere compare al n. 108 l'agglomerato di Pesaro per violazione dell'art. 4 della succitata Direttiva.

A seguito dell'attivazione di questa procedura di infrazione, Marche Multiservizi ha deciso di sospendere temporaneamente il programma generale di separazione delle reti e di procedere al collettamento verso il depuratore dei reflui fognari ancora non trattati, al fine di rendere conforme l'agglomerato di Pesaro ai dettami del D.Lgs 152/2006 e della Direttiva 91/271/CEE. In particolare, si prevede di completare il programma di separazione delle reti nelle sole sub-aree cittadine in cui tale separazione ha già raggiunto uno di stato di avanzamento significativo (Zona 1: Soria Alta – Borraccia, Zona 3: Ponte Valle, Zona 4: Edilstato, Zona 5: Calcinari, Zona 6: Pantano), mentre nelle altre sub-aree (Zona 2: Villa S. Martino; Zona 7: Centro Storico; Zona mare; Via Toscana; Vismara-

Cattabrighe) il sistema resterà misto, almeno nel medio periodo, ed i loro reflui saranno collettati al depuratore di Borgheria.

In definitiva, la configurazione della rete fognaria e dei sollevamenti al depuratore prevista a breve termine è quella riepilogata in Tabella 1.

Tabella 1: Configurazione della rete fognaria di pertinenza del depuratore di Borgheria

Area servita	Tipologia di fognatura	Stazione di sollevamento al depuratore
Soria-Tombaccia	separata	Baia Flaminia - Mosca
Zona mare	mista	
Villa San Martino	mista	Via Paganini
Ponte valle	separata	
Edilstato	separata (dopo intervento di adeguamento in corso)	
Calcinari	separata (dopo intervento di adeguamento in corso)	
Pantano	separata (dopo intervento di adeguamento in corso)	Villa Fastiggi (interna al sedime del depuratore)
Centro storico	mista	
Villa Fastiggi	separata	
Via Toscana	mista	
Torraccia	separata	San Cassiani
Vismara	mista	
Cattabrighe	mista	

L'impianto di depurazione di Borgheria presenta allo stato attuale alcune problematiche sia in linea acque che in linea fanghi. Le principali criticità in linea acque sono correlate con:

- l'inadeguatezza della sezione di pre-trattamento meccanico dei reflui (limitata ad una semplice grigliatura fine);
- le caratteristiche dimensionali delle sezioni di trattamento secondario e del relativo piping di collegamento, che limitano la capacità massima di trattamento dei carichi inquinanti e idraulici su valori non compatibili con lo scenario futuro di progetto;
- la mancanza di una sezione di affinamento terziario dell'effluente, in grado di fornire adeguate garanzie in termini di rispetto dei limiti restrittivi imposti allo scarico (10 mgSST/L);
- la presenza di trattamenti di disinfezione dell'effluente mediante clorazione, in contrasto con quanto prescritto dal Piano di Tutela delle Acque, che richiede l'impiego di tecnologie di disinfezione alternative;

- l'obsolescenza di alcune apparecchiature elettromeccaniche, poco efficienti e ormai prossime alla fine della loro vita utile;
- il cattivo stato di conservazione di alcuni dei manufatti più vecchi, risalenti alla fine degli anni '70, che presentano evidenti problemi anche dal punto di vista strutturale.

La linea di trattamento fanghi è invece carente soprattutto in termini di capacità di trattamento della sezione di stabilizzazione aerobica, con conseguenze negative correlate alla limitata efficienza di abbattimento dei composti organici putrescibili e al sovraccarico indotto sulla sezione di disidratazione meccanica.

L'impianto di Borgheria è attualmente autorizzato a trattare un carico corrispondente a 90 000 AE. Alla luce dell'elaborazione dei dati gestionali dell'ultimo quinquennio e della stima degli apporti aggiuntivi derivanti dai nuovi allacciamenti fognari, lo scenario di progetto prevede l'incremento di tale potenzialità, portando la capacità organica di progetto (COP) dell'impianto a 116 550 AE. Per risolvere le criticità riscontrate allo stato attuale e far fronte all'incremento dei carichi idraulici e inquinanti da trattare è dunque necessario che l'impianto venga sottoposto ad opportuni interventi di adeguamento e potenziamento.

Il documento definisce innanzitutto il quadro dati di progetto assunto alla base delle verifiche di calcolo effettuate (capitolo 2), per poi illustrare brevemente la filiera dell'impianto allo stato attuale e quella prevista a seguito degli interventi di adeguamento e potenziamento (capitolo 3) e quindi andare ad analizzare i risultati delle verifiche stesse relativamente ai diversi comparti di trattamento di linea acque (capitolo 4) e linea fanghi (capitolo 5) dando ragione delle scelte progettuali effettuate e degli accorgimenti tecnici adottati, oltre a fornire una descrizione dei principi di funzionamento delle varie sezioni di processo nella configurazione di progetto.

2 DATI DI PROGETTO

La definizione del quadro dei dati di progetto da assumere alla base delle verifiche di dimensionamento di processo e idraulico è avvenuta basandosi sull'analisi dei dati di gestione dell'ultimo quinquennio (2012÷2016), resi disponibili a Marche Multiservizi.

2.1 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

Dal punto di vista dei carichi idraulici, si è reso necessario stabilire la **portata media giornaliera di progetto in condizioni di tempo asciutto**, a partire dalla quale definire anche la portata massima da avviare a trattamento, sulla base di quanto prescritto dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Marche. Infatti, ai sensi dell'Art. 43, comma 6 delle Norme Tecniche di Attuazione del PTA, gli scolmatori di piena delle reti fognarie miste esistenti devono ottemperare a quanto previsto dal D.P.C.M. 4 marzo 1996, che stabilisce che **deve essere sottoposta a trattamento di depurazione una portata massima pari a tre volte la portata media di tempo asciutto**.

La portata media nera di progetto è stata ricavata nel caso specifico sommando alla portata media registrata attualmente in ingresso all'impianto in condizioni di tempo asciutto il contributo aggiuntivo atteso a seguito del completamento dei nuovi allacciamenti fognari e del potenziamento delle stazioni di sollevamento esistenti, determinato da parte di Marche Multiservizi in base alle caratteristiche dei bacini d'utenza serviti.

2.1.1 Analisi delle portate trattate attualmente dall'impianto

I liquami sono recapitati all'impianto di Borgheria mediante una serie di sollevamenti presenti sulla rete fognaria. Soltanto i reflui prodotti dalla zona di Villa Fastiggi giungono a gravità al depuratore, dove vengono sollevati da una stazione di pompaggio dedicata, ubicata all'interno del sedime dell'impianto.

Sono stati esaminati i dati registrati nel quinquennio 2012÷2016 dai misuratori di portata montati in linea sui collettori che alimentano le quattro linee di trattamento secondario. A causa di alcuni guasti incorsi ai misuratori, il periodo su cui sono effettivamente disponibili dati complessivi di portata trattata è limitato a circa 2 anni, tra aprile 2012 e aprile 2014. I dati ottenuti possono essere comunque ritenuti rappresentativi, anche alla luce del fatto che risultano del tutto in linea con quelli rilevati nel biennio precedente 2010-2011, analizzati in sede di progetto preliminare.

Al fine di estrapolare i valori di portata media nera, il set di dati considerati è stato filtrato sulla base delle precipitazioni meteoriche registrate presso l'Osservatorio "Valerio", situato presso gli Orti Giulii, messi a disposizione dal Comune di Pesaro - Servizio Risorse Sviluppo. Per tenere conto dei ritardi negli afflussi delle acque meteoriche in rete fognaria legati ai tempi di corrivazione, sono stati eliminati dall'analisi i dati relativi ai giorni in cui l'altezza cumulata di pioggia registrata nel giorno stesso e nel giorno precedente risultasse superiore a 2 mm e quelli relativi ai giorni in cui l'altezza cumulata di pioggia nel giorno stesso e nei due giorni precedenti risultasse superiore a 10 mm.

In Tabella 2 sono riepilogati i risultati ottenuti dall'analisi delle portate registrate in ingresso all'impianto. **La portata media nera attualmente trattata risulta di 754 m³/h.** Tale valore è stato quindi utilizzato come riferimento per la definizione delle portate da trattare nella configurazione di progetto. Sono stati inoltre ricavati anche **valori differenziati su base stagionale**, riferiti rispettivamente ai periodi invernale (dicembre÷febbraio), primaverile e autunnale (marzo÷maggio + settembre÷novembre) ed estivo (giugno÷agosto). Incrociandoli con l'elaborazione dei dati relativi alle concentrazioni di inquinanti effettuata in maniera analoga, tali valori sono stati impiegati per definire scenari di verifica più realistici, così da rendere quanto più possibile attendibili le simulazioni di processo tese a verificare la capacità depurativa dell'impianto su base annua e stagionale e permettere di dimensionare i nuovi comparti e le nuove apparecchiature elettromeccaniche nelle condizioni effettivamente più gravose (si veda al riguardo il paragrafo 2.7).

Tabella 2: Analisi dei dati di portata di refluo attualmente trattata all'impianto

Parametro	u.m.	INTERO ANNO	INVERNO	PRIMAVERA-AUTUNNO	ESTATE
Portata media giornaliera	m ³ /h	798	878	802	706
Portata massima giornaliera	m ³ /h	1105	1092	1105	936
Portata minima giornaliera	m ³ /h	427	627	553	427
Portata media nei giorni di tempo secco	m ³ /h	754	832	761	691

2.1.2 Calcolo delle portate di progetto

Il contributo aggiuntivo complessivo alla portata media nera affluente al depuratore che deriverà dai nuovi allacciamenti fognari e dai progetti degli interventi di potenziamento dei sollevamenti fognari esistenti ammonta, secondo quanto stimato da Marche Multiservizi, a **171 m³/h.**

La portata media di tempo secco nella configurazione di progetto Q_m risulta pertanto pari a 925 m³/h:

$$Q_m = Q_{m,attuale} + \Delta Q_{m,futura} = 754 \text{ m}^3/\text{h} + 171 \text{ m}^3/\text{h} = 925 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{Equazione 1}$$

Come già anticipato in precedenza, in ottemperanza a quanto prescritto dal Piano di Tutela delle Acque la portata massima da sottoporre a trattamento di depurazione è pari a tre volte la portata media di tempo asciutto. **Il valore massimo di portata da trattare presso l'impianto risulta pertanto pari a $Q_{pb}=3 \cdot Q_m=3 \cdot 925=2775 \text{ m}^3/\text{h}$.**

Tuttavia, a scopi cautelativi e per garantire il più alto livello di protezione ambientale possibile, **la portata massima di liquame che complessivamente può giungere all'impianto di depurazione è stata assunta pari a 4 volte la portata media in tempo secco.** Questa assunzione trae origine in particolare dal fatto che i sollevamenti fognari esistenti da zone servite da fognatura mista sono stati dimensionati su tale aliquota di portata.

La filiera di trattamento dell'impianto a seguito degli interventi in progetto consentirà pertanto di **avviare ai nuovi pre-trattamenti meccanici di grigliatura fine e dissabbiatura-disoleatura una portata massima di liquame pari a $Q_{pm}=4 \cdot Q_m=4 \cdot 925=3700 \text{ m}^3/\text{h}$.**

Nel ripartitore alle linee di trattamento biologico in uscita dai pre-trattamenti è pertanto previsto un sistema automatizzato di by-pass attraverso cui **l'eventuale aliquota di portata eccedente $Q_{pb}=3 \cdot Q_m$ verrà avviata alla prima delle due vasche di accumulo esistenti**, da cui potrà essere risolta successivamente alla vasca di arrivo liquami mediante la stazione di sollevamento esistente. Soltanto in caso di riempimento della vasca di accumulo si attiverà lo sfioro di troppo pieno nel collettore esistente di by-pass impianto.

In definitiva, il quadro di riferimento delle portate considerate nei calcoli di dimensionamento è riassunto in Tabella 3.

Tabella 3: Quadro di riferimento delle portate di progetto

Parametro	u.m.	Valore
Portata media di tempo secco Q_m	m^3/h	925
Coefficiente di punta per la portata avviata ai pre-trattamenti	-	4.0
Portata massima avviata ai pre-trattamenti Q_{pm}	m^3/h	3700
Coefficiente di punta per la portata avviata a trattamento biologico	-	3.0
Portata massima avviata a trattamento biologico Q_{pb}	m^3/h	2775

Le portate medie assunte come riferimento nei diversi scenari stagionali di verifica sono stati calcolati sommando il contributo aggiuntivo di portata media nera derivante dai nuovi allacciamenti alle portate medie di tempo secco registrate nei diversi periodi dell'anno, come riepilogato in Tabella 4. Rimangono invece invariate in tutti gli scenari le portate massime di progetto avviate a pre-trattamento e a trattamento biologico.

Tabella 4: Portate medie di tempo secco di riferimento nei diversi periodi stagionali

Parametro	u.m.	INVERNO	PRIMAVERA- AUTUNNO	ESTATE
Portata media giornaliera di tempo secco	m ³ /h	1003	932	862
Portata massima avviata ai pre-trattamenti Q_{pm}	m ³ /h	3700	3700	3700
Portata massima avviata a trattamento biologico Q_{pb}	m ³ /h	2775	2775	2775

Va infine sottolineato che il sistema di ripartizione del refluo fognario in uscita dai pre-trattamenti sulle quattro linee di trattamento biologico previste è stato dimensionato in maniera da **suddividere i carichi idraulici proporzionalmente alle effettive potenzialità di ciascuna linea**, sia in termini di volumetria disponibile di trattamento biologico che di superficie di sedimentazione secondaria. Le portate considerate nei calcoli di dimensionamento delle quattro linee di trattamento secondario sono riepilogate in Tabella 5.

Tabella 5: Ripartizione dei carichi alle linee di trattamento secondario

Parametro	u.m.	Valore				
		Linea A	Linea B	Linea C	Linea D	TOTALE
<u>INTERO ANNO</u>						
Aliquota di portata di trattata	-	27.5%	27.5%	27.5%	17.5%	100%
Portata media nera Q_m	m ³ /h	254	254	254	162	925
Portata massima in tempo di pioggia $Q_{pb}=3 \cdot Q_m$	m ³ /h	763	763	763	486	2775
<u>INVERNO</u>						
Portata media nera Q_m	m ³ /h	276	276	276	176	1003
<u>PRIMAVERA-AUTUNNO</u>						
Portata media nera Q_m	m ³ /h	256	256	256	163	932
<u>ESTATE</u>						
Portata media nera Q_m	m ³ /h	237	237	237	151	862

2.2 DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE QUALITATIVE DEL REFLUO IN INGRESSO

Le caratteristiche qualitative del refluo in ingresso all'impianto in termini di concentrazioni dei principali macroinquinanti sono state ricavate mediante l'elaborazione dei risultati delle analisi di laboratorio effettuate su campioni medi giornalieri prelevati dalla vasca di arrivo liquami nel corso dell'ultimo quinquennio (2012÷2016). Analogamente a quanto fatto per le portate, il set di dati a disposizione è stato filtrato in maniera da eliminare i campioni prelevati in occasione di giornate di pioggia, utilizzando i medesimi criteri illustrati in precedenza. Ciò ha permesso di eliminare dalla

definizione delle concentrazioni inquinanti in ingresso gli effetti di diluizione determinati dalle acque meteoriche. I risultati dell'elaborazione dei dati sono riassunti in Tabella 6.

Tabella 6: Elaborazione statistica dei risultati delle analisi sul refluo in ingresso all'impianto (2012÷2016)

Parametro	BOD ₅	COD	COD solubile	SST	SSV	TP	TN	BOD ₅ / COD	COD/ TN
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	-	-
Media	315	581	109	415	326	9.5	62.3	0.55	9.4
Massimo	620	1405	279	1068	864	31.1	142.0	0.76	20.1
Minimo	110	233	66	128	80	3.9	34.9	0.34	4.1
Dev. standard	97	189	30	177	146	3.8	16.0	0.07	2.3
85° percentile	400	763	130	592	490	13.6	75.8	0.61	11.2

La Tabella 7 riepiloga invece il valore medio e l'85° percentile delle concentrazioni inquinanti registrate nei diversi periodi stagionali, che sono stati utilizzati per le verifiche di processo nei differenti scenari considerati.

Tabella 7: Elaborazione statistica dei risultati delle analisi sul refluo in ingresso all'impianto nei differenti periodi stagionali

Parametro	BOD ₅	COD	COD solubile	SST	SSV	TP	TN	BOD ₅ / COD	COD/ TN
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	-	-
<u>INVERNO</u>									
Media	337	649	96	489	395	10.4	65.9	0.52	10.2
85° percentile	475	910	108	711	566	14.4	77.4	0.61	14.0
<u>PRIMAVERA-AUTUNNO</u>									
Media	314	573	111	402	311	9.4	62.1	0.55	9.2
85° percentile	388	755	138	551	459	13.6	74.3	0.62	11.1
<u>ESTATE</u>									
Media	299	549	114	385	304	9.1	60.2	0.55	9.2
85° percentile	332	574	129	471	384	10.6	71.0	0.61	10.4

2.3 CARICO ATTUALMENTE AFFERENTE ALL'IMPIANTO E POTENZIALITÀ DI PROGETTO

Considerando la portata media nera registrata negli ultimi anni, pari a 754 m³/h, e la concentrazione media di BOD₅ di 315 mg/L, si ricava un carico medio di BOD₅ di 5700 kg/d. Dividendo per l'apporto unitario di 60 gBOD₅/AE/d, si ottiene che **il carico effettivo medio**

attualmente afferente all'impianto è pari a circa 95 000 AE. Facendo riferimento a tale potenzialità del bacino d'utenza, la dotazione idrica netta pro-capite risulta pertanto di **190 L/AE/d.**

Considerando invece la portata media di progetto di 925 m³/h e la medesima concentrazione media di BOD₅ di 315 mg/L, si ricava un carico di BOD₅ di 6993 kg/d. Ne consegue che **la potenzialità di progetto dell'impianto (capacità organica di progetto COP) è pari dunque a 116 550 AE**, con un incremento del 22.7% rispetto allo stato attuale.

2.4 FRAZIONAMENTO DEL COD IN INGRESSO

Come verrà approfondito nel paragrafo 4.2.3, le verifiche di processo per il dimensionamento del comparto biologico sono state effettuate utilizzando un modello di calcolo avanzato che si basa sul parametro COD per quantificare il contenuto di sostanza organica presente nel refluo da trattare e, più in particolare, sulla ripartizione del COD in frazioni a diverso grado di biodegradabilità:

- COD solubile biodegradabile S_s (*Readily Biodegradable COD*, RBCOD);
- COD particolato biodegradabile X_s (*Slowly Biodegradable COD*, SBCOD);
- COD solubile inerte S_i ;
- COD particolato inerte X_i .

Nel caso in esame, il frazionamento del COD nel refluo in ingresso all'impianto è stato determinato, sia su base annua che su base stagionale, mediante l'applicazione della procedura sviluppata dall'ente olandese di ricerca sulle acque *Dutch Foundation for Applied Water Research* (STOWA, 1996 e STOWA, 1999) e descritta da Andreottola *et al.* (2005). Tale metodo permette di quantificare le diverse componenti del COD a partire da parametri convenzionalmente misurati in ingresso e in uscita dagli impianti di depurazione, quali COD, BOD₅ e SST. Nel caso specifico, è stato fatto riferimento ai dati di monitoraggio del liquame in ingresso e dell'effluente allo scarico del depuratore di Borgheria nel quinquennio 2012÷2016. I risultati ottenuti evidenziano che il tenore di RBCOD nel refluo si attesta su valori bassi nel range tipicamente osservato per reflui civili, pari al 10÷25% (Ekama *et al.*, 1984; Henze *et al.*, 2008; Metcalf & Eddy, 2014).

Tabella 8: Frazionamento del COD nel refluo in ingresso

Parametro	INTERO ANNO	INVERNO	PRIMAVERA-AUTUNNO	ESTATE
Frazione di COD solubile biodegradabile	16.0%	12.3%	16.6%	17.9%
Frazione di COD solubile non biodegradabile	2.8%	2.5%	2.8%	2.9%
Frazione di COD particolato biodegradabile	73.4%	73.0%	73.9%	72.0%
Frazione di COD particolato non biodegradabile	7.8%	12.2%	6.7%	7.3%

2.5 REFLUI EXTRAFOGNARI TRATTATI PRESSO L'IMPIANTO

L'impianto di Pesaro - Borgheria dispone di Autorizzazione Integrata Ambientale per il trattamento dei rifiuti speciali non pericolosi riepilogati in Tabella 9, in cui viene fornito anche un riepilogo dei quantitativi medi annui trattati per ciascuna tipologia, desunta dall'elaborazione dei dati di gestione dell'ultimo quinquennio.

Tabella 9: Rifiuti speciali non pericolosi trattati presso l'impianto di Pesaro - Borgheria e quantitativi medi attualmente conferiti

Cod. CER	Tipologia di rifiuto	Quantitativo annuo autorizzato da AIA (m ³ /anno)	Quantitativo annuo conferito (m ³ /anno)						Incidenza sul totale
			2012	2013	2014	2015	2016	MEDIA 2012-2016	
16 10 02	Acque lavaggio cassonetti e automezzi RSU	300	49	46	7	35	98	47	0.2%
19 07 03	Percolato di discarica	20 000	16029	19981	17649	18046	15500	17441	87.1%
19 08 05	Fanghi da trattamento acque reflue urbane	(*)	279	230	449	325	73	271	1.4%
19 08 99	Acque da sgrondo e spazzamento strade	500	189	140	222	195	150	179	0.9%
20 03 04	Fanghi da espurgo pozzi neri e fosse Imhoff	(*)	1624	1664	2546	1044	56	1387	6.9%
20 03 06	Rifiuti della pulizia delle fognature	(*)	198	279	263	1456	1274	694	3.5%
TOTALE			18367	22341	21136	21101	17151	20019	

(*) Ammessi nei limiti della capacità residua dell'impianto

Allo stato attuale, le stazioni di pre-trattamento dei reflui extrafogari presenti all'interno dell'impianto sono individuabili in:

- una stazione di pre-trattamento biologico per i rifiuti di cui ai codici CER 16 10 02, 19 07 03, 19 08 05 e 19 08 99. Tale stazione coincide con le due vasche di accumulo/equalizzazione, che dispongono complessivamente di un volume utile, in caso di massimo riempimento, di circa 2500 m³ e di un sistema di aerazione a bolle grossolane, in cui viene alimentato un flusso di fango attivo spillato dalle linee di trattamento biologico. Vi si realizza pertanto un processo biologico in cui la biomassa dell'impianto determina un abbattimento preliminare dei composti inquinanti. I liquami così pre-trattati vengono quindi sollevati alla vasca di arrivo liquami

da cui sono avviati a trattamento nella linea acque dell'impianto congiuntamente con i reflui fognari;

- una stazione di accettazione bottini, situata in adiacenza all'edificio disidratazione meccanica dei fanghi, che sottopone a pre-trattamento meccanico di grigliatura i rifiuti di cui ai codici CER 20 03 04 e 20 03 06. La fase liquida separata viene quindi avviata a trattamento biologico nella linea C mediante le pompe di rilancio delle acque madri di disidratazione. Il materiale grigliato viene raccolto in un cassone scarrabile per essere avviato a smaltimento;
- due letti di essiccamento drenati in cui vengono depositati i rifiuti caratterizzati dalla presenza di un'alta frazione di solidi grossolani come sabbie e ghiaie. Il drenaggio del liquido percolato, raccolto dal fondo, viene avviato alla vasca di sollevamento da Villa Fastiggi, che recapita attualmente nelle vasche di equalizzazione/accumulo reflui.

Dal punto di vista quantitativo, il contributo dei reflui extrafognari incide in maniera del tutto trascurabile sulla portata di refluo trattata presso l'impianto. L'apporto medio annuo corrisponde allo 0.30% della portata media nera attuale (754 m³/h) e allo 0.25% della portata media nera di progetto (925 m³/h). Alcuni flussi sono tuttavia caratterizzati da un significativo apporto di sostanze inquinanti. In particolare, la frazione preponderante, costituita dal percolato di discarica, apporta all'impianto un importante contributo in termini di azoto (per la quasi totalità in forma ammoniacale), oltre che di sostanza organica scarsamente biodegradabile. Le caratteristiche qualitative medie delle diverse tipologie di rifiuto e del rifiuto "medio ponderato", desunte dalle analisi di laboratorio effettuate a cadenza annuale da Marche Multiservizi nell'ambito del Piano di Monitoraggio e Controllo dell'AIA sono riepilogate in Tabella 10, unitamente alla stima dell'incidenza sui carichi inquinanti medi attualmente adottati all'impianto.

Tabella 10: Caratteristiche qualitative medie dei reflui extrafognari trattati presso l'impianto di Pesaro - Borgheria e incidenza sui carichi inquinanti attuali

Cod. CER	Tipologia di rifiuto	BOD ₅ mg/L	COD mg/L	SST mg/L	TP mg/L	TN mg/L
16 10 02	Acque lavaggio cassonetti e automezzi RSU	8913	24036	24965	212	79
19 07 03	Percolato di discarica	721	2878	200	14	1691
19 08 05	Fanghi da trattamento acque reflue urbane	8200	24067	24600	460	3174
19 08 99	Acque da sgrondo e spazzamento strade	3044	6470	6693	24	22
20 03 04	Fanghi da espurgo pozzi neri e fosse Imhoff	8180	23596	29000	162	628
20 03 06	Rifiuti della pulizia delle fognature	550	1118	1332	12	71

REFLUO MEDIO PONDERATO	1373	4621	2681	31	1562
Incidenza sui carichi inquinanti medi attuali	1.3%	2.4%	1.9%	1.0%	7.1%

Come si nota dai dati riportati, l'impatto dei reflui extrafognari è effettivamente rilevante quasi esclusivamente in termini di sovraccarico di composti azotati. Va peraltro sottolineato che **tale apporto è già stato considerato nella determinazione dei carichi inquinanti medi di progetto**, in quanto il campionamento del refluo in ingresso all'impianto è effettuato nella vasca di arrivo liquami, in cui i reflui fognari si miscelano con i reflui extrafognari pre-trattati. Di conseguenza, risulta cautelativo il fatto di assumere anche negli scenari di progetto considerati in sede di verifica di dimensionamento i valori delle concentrazioni medie e massime dei principali macroinquinanti registrate attualmente nel refluo in ingresso. Infatti, ciò significa estendere anche allo scenario futuro l'incidenza registrata attualmente in termini di sovraccarichi inquinanti indotti dai reflui extrafognari, sebbene in realtà all'aumento del 23% circa della portata media dei reflui fognari non corrisponderà un proporzionale incremento dei quantitativi di rifiuti speciali conferiti all'impianto, che rimarranno sostanzialmente invariati. Questo fatto rappresenta un fattore di sicurezza sul dimensionamento dell'impianto, che attribuisce un margine aggiuntivo di capacità residua che potrà essere sfruttato in futuro, ad esempio aumentando, se effettivamente necessario, i quantitativi di reflui extrafognari trattati.

2.6 LIMITI ALLO SCARICO

Come visto nel paragrafo 2.2, il potenziamento richiesto all'impianto determina il superamento della soglia di 100 000 AE sulla capacità organica di progetto (COP). Ai sensi del Piano di Tutela delle Acque della Regione Marche, ciò comporta una variazione dei limiti imposti allo scarico rispetto a quanto attualmente in vigore. La soluzione progettuale proposta è dunque finalizzata a garantire il **rispetto dei limiti allo scarico fissati dal PTA per impianti con potenzialità superiore a 100 000 AE che scaricano in corpi idrici superficiali entro 10 km dalla linea costiera**.

Si tratta in particolare di:

- **limiti da D.M. 185/2003 su BOD5, COD e SST**, anche se non è previsto il riutilizzo dell'effluente, ai sensi dell'art. 35 comma 1 delle Norme Tecniche di Attuazione del PTA;
- **limiti previsti su azoto totale e fosforo totale dalla Tabella 2 dell'Allegato 5 alla Parte terza del D.Lgs. 152/06 per impianti di potenzialità superiore a 100000 AE** recapitanti in aree sensibili, valutati come media annua, ai sensi dell'art. 33 delle NTA del PTA;
- **limite allo scarico di 3000 UFC/100 mL sul parametro microbiologico Escherichia Coli nel periodo tra il 15 marzo e il 30 settembre di ogni anno**, da ridurre a **1500 UFC/100 mL** nel caso in cui il

tratto di costa in cui sfocia il corpo idrico ricettore (fiume Foglia) sia stato dichiarato temporaneamente non idoneo alla balneazione, ai sensi dell'art. 32 comma 6 delle NTA del PTA. Si osserva che, in base a quanto disposto dal comma 5 dell'Art. 50, il trattamento di disinfezione finale deve essere effettuato impiegando sistemi che non prevedano l'impiego di cloro o composti derivati;

- **limiti previsti dalla Tabella 3 dell'Allegato 5 alla Parte terza del D.Lgs. 152/06.**

In sintesi, i principali standard qualitativi da rispettare allo scarico sono riassunti in Tabella 11.

Tabella 11: Limiti previsti allo scarico

Parametro	u.m.	Valore	Note
Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L	20	Limite da D.M. 183/2003 anche in assenza di riuso dell'effluente depurato
Sostanza organica come COD	mgCOD/L	100	Limite da D.M. 183/2003 anche in assenza di riuso dell'effluente depurato
Solidi sospesi totali (SST)	mgSST/L	10	Limite da D.M. 183/2003 anche in assenza di riuso dell'effluente depurato
Azoto totale (TN)	mgN/L	10	Come media su base annua di campioni medi sulle 24 ore
Fosforo totale (TP)	mgP/L	1	Come media su base annua di campioni medi sulle 24 ore
Escherichia coli	UFC/100 mL	3000 1500	Nel periodo 15 marzo - 30 settembre Nel periodo 15 marzo - 30 settembre, in caso di divieto alla balneazione del tratto di costa in cui sfocia il corpo idrico ricettore
Azoto ammoniacale (come NH ₄)	mgNH ₄ /L	15	Valore da rispettare per ogni campione
Azoto nitroso (N-NO ₂)	mgN/L	0.6	Valore da rispettare per ogni campione
Azoto nitrico (N-NO ₃)	mgN/L	20	Valore da rispettare per ogni campione

Si osserva che, per quanto riguarda l'azoto totale, che rappresenta il principale parametro di riferimento su cui dimensionare i processi di depurazione biologica a fanghi attivi, le verifiche di processo dei comparti di trattamento secondario sono state condotte, in via cautelativa, con l'obiettivo di garantire il rispetto del limite di 10 mgN/L non solo su base media annua, come richiesto a fini strettamente normativi, ma anche in condizioni di temperatura minima invernale di 12 °C, in corrispondenza dei carichi inquinanti medi di progetto.

2.7 RIEPILOGO DEGLI SCENARI DI VERIFICA

Le verifiche di dimensionamento delle sezioni di pre-trattamento e di trattamento terziario, che vengono effettuate sulla base di criteri correlati essenzialmente ai carichi idraulici applicati, sono state condotte con riferimento alle portate medie e massime di progetto.

Le verifiche di processo delle sezioni di trattamento secondario e della linea fanghi sono state invece condotte in **tre diversi scenari di temperatura e di carichi medi di inquinanti**, derivanti come visto nei paragrafi precedenti dalle elaborazioni dei dati storici di gestione (Tabella 5 e Tabella 7) e considerando i contributi aggiuntivi in termini di portata affluente derivanti dai nuovi allacciamenti fognari:

- **Scenario I-MC:** Periodo **invernale** (dicembre÷febbraio), con temperatura di riferimento di **12 °C** - Condizioni di **medio carico** in ingresso;
- **Scenario II-MC:** Periodo **primaverile-autunnale** (settembre÷novembre + marzo÷maggio), con temperatura di riferimento di **17 °C** - Condizioni di **medio carico** in ingresso;
- **Scenario III-MC:** periodo **estivo** (giugno÷agosto), con temperatura di riferimento di **23 °C** - Condizioni di **medio carico** in ingresso.

Per quanto riguarda la linea acque, i risultati ottenuti da queste simulazioni, condotte separatamente per le quattro linee di trattamento secondario previste, hanno permesso di determinare le condizioni operative e le prestazioni depurative attese da ciascuna linea e quindi, effettuando una media ponderata, di stimare le caratteristiche attese dell'effluente dell'intero impianto nei tre periodi stagionali considerati e nell'intero anno.

Le verifiche effettuate negli scenari con carichi inquinanti medi in ingresso sono state considerate anche al fine di determinare la produzione attesa di fanghi di supero su cui dimensionare le sezioni di trattamento della linea fanghi.

In aggiunta agli scenari di medio carico, sono state effettuate delle verifiche in **tre scenari di alti carichi di composti inquinanti in ingresso**, considerando i medesimi periodi stagionali in termini di temperatura ma in corrispondenza dell'85° percentile delle relative concentrazioni inquinanti:

- **Scenario I-AC:** Periodo **invernale** (dicembre÷febbraio), con temperatura di riferimento di **12 °C** - Condizioni di **alto carico** in ingresso;
- **Scenario II-AC:** Periodo **primaverile-autunnale** (settembre÷novembre + marzo÷maggio), con temperatura di riferimento di **17 °C** - Condizioni di **alto carico** in ingresso;
- **Scenario III-AC:** periodo **estivo** (giugno÷agosto), con temperatura di riferimento di **23 °C** - Condizioni di **alto carico** in ingresso.

Le simulazioni di processo condotte in questi scenari hanno permesso di dimensionare le apparecchiature elettromeccaniche facendo riferimento alle condizioni più gravose di esercizio. Va inoltre sottolineato che **il dimensionamento dei sistemi di aerazione dei comparti biologici e della stabilizzazione aerobica** è stato effettuato considerando, in tutti gli scenari di verifica, **le temperature massime attese nei vari periodi stagionali** (assunte pari a **16 °C**, **22 °C** e **28 °C** rispettivamente per i periodi invernale, primaverile-autunnale ed estivo). Tali condizioni risultano

infatti le più gravose per i sistemi di aerazione per effetto della riduzione della solubilità dell'ossigeno in acqua con l'aumento della temperatura.

I dati di riferimento per i diversi scenari di verifica sono riepilogati in Tabella 12.

Tabella 12: Quadro dei dati di progetto nei diversi scenari di verifica considerati

Parametro	u.m.	Scenario					
		MEDIO CARICO			ALTO CARICO		
		I-MC	II-MC	III-MC	I-AC	II-AC	III-AC
<u>Portate complessive trattate</u>							
Portata media nera Q_m	m³/h	1003	932	862	1003	932	862
Portata massima a pre-trattamento in tempo di pioggia $Q_{pm}=4\cdot Q_m$	m³/h	3700	3700	3700	3700	3700	3700
Portata massima a trattamento biologico in tempo di pioggia $Q_{pb}=3\cdot Q_m$	m³/h	2775	2775	2775	2775	2775	2775
<u>Ripartizione alla linea A</u>							
Aliquota di portata di trattata	-	27.5%			27.5%		
Portata media nera Q_m	m³/h	276	256	237	276	256	237
Portata massima in tempo di pioggia	m³/h	763	763	763	763	763	763
<u>Ripartizione alla linea B</u>							
Aliquota di portata di trattata	-	27.5%			27.5%		
Portata media nera Q_m	m³/h	276	256	237	276	256	237
Portata massima in tempo di pioggia	m³/h	763	763	763	763	763	763
<u>Ripartizione alla linea C</u>							
Aliquota di portata di trattata	-	27.5%			27.5%		
Portata media nera Q_m	m³/h	276	256	237	276	256	237
Portata massima in tempo di pioggia	m³/h	763	763	763	763	763	763
<u>Ripartizione alla linea D</u>							
Aliquota di portata di trattata	-	17.5%			17.5%		
Portata media nera Q_m	m³/h	176	163	151	176	163	151
Portata massima in tempo di pioggia	m³/h	486	486	486	486	486	486
<u>Concentrazioni di inquinanti nel refluo in ingresso</u>							
Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L	336	314	299	475	388	332
Sostanza organica come COD	mgCOD/L	649	572	549	910	755	574
Azoto totale (TN)	mgN/L	65.9	62.1	60.2	77.4	74.3	71.0
Solidi sospesi totali (SST)	mgSST/L	489	402	385	711	551	471
Fosforo totale (TP)	mgP/L	10.4	9.4	9.1	14.4	123.6	10.6

<u>Frazionamento del COD nel refluo in ingresso</u>							
Frazione di COD solubile biodegradabile	-	12.3%	16.6%	17.9%	12.3%	16.6%	17.9%
Frazione di COD solubile non biodegradabile	-	2.5%	2.8%	2.9%	2.5%	2.8%	2.9%
Frazione di COD particolato biodegradabile	-	73.0%	73.9%	72.0%	73.0%	73.9%	72.0%
Frazione di COD particolato non biodegradabile	-	12.2%	6.7%	7.3%	12.2%	6.7%	7.3%
<u>Temperature in vasca</u>							
Temperatura minima di progetto	°C	12	17	23	12	17	23
Temperatura massima (per il dimensionamento dei sistemi di aerazione)	°C	16	22	28	16	22	28

3 FILIERA DI TRATTAMENTO DELL'IMPIANTO

3.1 STATO ATTUALE

L'impianto di depurazione di Pesaro – Borgheria è, nella sua configurazione attuale, il risultato di vari ampliamenti e adeguamenti che si sono succeduti negli anni, a partire dall'impianto originario risalente alla seconda metà degli anni '70. Tali interventi sono stati attuati sia con la realizzazione di nuovi manufatti che mediante variazioni della destinazione d'uso di manufatti esistenti. Il layout dell'impianto con l'individuazione dei vari comparti di trattamento è mostrato nella planimetria di stato attuale (elaborato D-T-310-05).

La filiera di trattamento della **linea acque** è composta da:

- **una vasca di arrivo liquami**, a cui giungono i reflui fognari dai vari sollevamenti presenti sulla rete fognaria;
- **una sezione di grigliatura fine**, costituita da due sgrigliatori a tamburo rotante ospitati all'interno di un locale chiuso, dai quali il refluo viene scaricato al pozzo sottostante di ripartizione alle linee di trattamento biologico;
- **una stazione di aspirazione e trattamento dell'aria esausta prelevata dal locale di grigliatura**, costituita da un biofiltro a doppio stadio;
- **due vasche di accumulo reflui**, alimentate per troppo pieno dalla vasca di arrivo liquami con l'aliquota di portata eccedente la massima avviata a trattamento biologico. Le due vasche sono comunicanti a mezzo luci di fondo e vengono mantenute miscelate ed aerate mediante una rete di diffusori a bolle grossolane e una soffiante a canali laterali. Alla seconda vasca di accumulo sono recapitati anche i reflui provenienti dalla zona di Villa Fastiggi, sollevati da una stazione di pompaggio ubicata all'interno del sedime dell'impianto e posta in prossimità della parte terminale della vasca stessa. I reflui stoccati sono quindi risollevati alla vasca di arrivo liquami mediante una stazione di sollevamento dedicata. Le vasche sono dotate di una soglia di sfioro di troppo pieno che, in caso di riempimento, convoglia il refluo al collettore di by-pass generale impianto;
- **quattro linee di trattamento secondario** operanti in parallelo (**A – B – C – D**), con sezioni di trattamento biologico configurate secondo lo schema di pre-denitrificazione/nitrificazione. I comparti di pre-denitrificazione delle varie linee sono equipaggiati con miscelatori sommersi per il mantenimento in sospensione della biomassa, mentre quelli ossidazione/nitrificazione sono

dotate di reti di diffusori a bolle fini (tubolari nelle linee A e B, a disco nelle linee C e D). L'aria viene fornita da soffianti volumetriche a lobi installate in un locale comune alle linee A, B e C e in un locale dedicato per la linea D. Soltanto la linea C è dotata di pompe di ricircolo della miscelata aerata dalla nitrificazione alla pre-denitrificazione. La sedimentazione secondaria nelle linee A e B avviene in bacini a pianta rettangolare con carroponte va e vieni aspirato per la raccolta e il ricircolo dei fanghi, mentre le linee C e D sono dotate di sedimentatore a pianta circolare con carroponte raschiatore a trazione periferica;

- **una stazione di dosaggio di alluminato di sodio** in soluzione al 6% di Al_2O_3 **per la defosfatazione chimica in simultanea**, con immissione nelle quattro linee di trattamento biologico effettuato ad opera di pompe dosatrici dedicate;
- **due comparti di disinfezione finale con dosaggio di ipoclorito di sodio**, di cui uno in canale a serpentina, che tratta l'effluente chiarificato dalle linee A, B e D, ed uno in vasca miscelata dedicato all'effluente della linea C. Dai due comparti di clorazione traggono origine i collettori di scarico dell'effluente che si riuniscono poi nel pozzetto finale di campionamento prima dello scarico al corpo idrico ricettore (fiume Foglia);
- **due stazioni di ricezione e pre-trattamento di grigliatura dei bottini** (di cui una attualmente fuori servizio), situate in prossimità del locale disidratazione fanghi.
- **tre stazioni di pre-trattamento dei reflui extrafognari**, individuabili in:
 - una stazione di pre-trattamento biologico per i rifiuti di cui ai codici CER 16 10 02 (Acque lavaggio cassonetti e automezzi RSU), 19 07 03 (Percolato di discarica), 19 08 05 (Fanghi da trattamento acque reflue urbane) e 19 08 99 (Acque da sgrondo e spazzamento strade). Tale stazione coincide con le due vasche di accumulo/equalizzazione, che dispongono complessivamente di un volume utile, in caso di massimo riempimento, di circa 2500 m³ e di un sistema di aerazione a bolle grossolane, in cui viene alimentato un flusso di fango attivo spillato dalle linee di trattamento biologico. Vi si realizza pertanto un processo biologico in cui la biomassa dell'impianto determina un abbattimento preliminare dei composti inquinanti. I liquami così pre-trattati vengono quindi sollevati alla vasca di arrivo liquami da cui sono avviati a trattamento nella linea acque dell'impianto congiuntamente con i reflui fognari;
 - una stazione di ricezione e pre-trattamento di grigliatura dei bottini, situata in adiacenza all'edificio disidratazione meccanica dei fanghi, che sottopone a pre-trattamento meccanico di grigliatura i rifiuti di cui ai codici CER 20 03 04 (Fanghi da espurgo pozzi neri e fosse Imhoff) e 20 03 06 (Rifiuti della pulizia delle fognature). La fase liquida separata viene avviata a trattamento biologico nella linea C mediante le pompe di rilancio delle acque madri di disidratazione, mentre il materiale grigliato viene raccolto in un cassone scarrabile per essere avviato a smaltimento;

- due letti di essiccamento drenati in cui vengono depositati i rifiuti caratterizzati dalla presenza di un'alta frazione di solidi grossolani come sabbie e ghiaie. Il drenaggio del liquido percolato, raccolto dal fondo, viene avviato alla vasca di sollevamento da Villa Fastiggi, che recapita attualmente nelle vasche di equalizzazione/accumulo reflui.

La filiera di trattamento della **linea fanghi** è composta dalle seguenti unità:

- **due bacini di pre-ispessimento statico**, operanti in parallelo, dotati di ponti raschiatori a picchetti a trazione centrale;
- **una vasca di stabilizzazione aerobica**, ricavata all'interno della vasca di contenimento dell'ex gasometro e dotata di rete di diffusori a bolle fini alimentata da una soffiante volumetrica a lobi, situata all'interno del locale compressori comune alle linee di trattamento biologico A, B e C;
- **un bacino di post-ispessimento statico**, dotato di ponte raschiatore a picchetti a trazione centrale;
- **una sezione di disidratazione meccanica dei fanghi**, ospitata all'interno di un edificio dedicato e costituita da:
 - due estrattori centrifughi, ciascuno dotato delle proprie pompe monovite di caricamento fango e di dosaggio di polielettrolita;
 - una stazione comune di preparazione della soluzione di polielettrolita;
 - tre coclee in serie di evacuazione di fanghi disidratati (una orizzontale di raccolta, una inclinata di sollevamento e una brandeggiante di distribuzione a due cassoni scarrabili).

Delle due stazioni di disidratazione presenti, costituite da estrattore centrifugo, pompa fanghi e pompa poli, una è stata installata di recente e risulta pertanto in perfetta efficienza, mentre l'altra, utilizzata esclusivamente con funzioni di riserva o di supporto in caso di necessità, è dotata di apparecchiature più vecchie e di minore capacità di trattamento;

- **una stazione di aspirazione e trattamento dell'aria esausta prelevata dal locale di disidratazione**, costituita da uno scrubber a secco su zeolite attivata.

Presso l'impianto è infine presente un digestore anaerobico, mai entrato effettivamente in funzione, svuotato e bonificato e attualmente non utilizzato.

Il prospetto di Tabella 13 riepiloga le caratteristiche dimensionali dei manufatti esistenti.

Tabella 13: Caratteristiche dimensionali dei manufatti esistenti

Comparto	Numero vasche	Dimensioni planimetriche LxB o D	Battente utile H	Superficie unitaria	Volume unitario	Volume totale comparto
	(-)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³)
Accumulo reflui	2	20.20x12.00	5.25	242	1273	2545
<u>Trattamento biologico – Linea A</u>						
Pre-denitrificazione	1	35.15x8.85	2.20	311	684	684
Nitrificazione – reattore 1	1	6.20x14.65	4.70	91	427	427
reattore 2	1	28.40x14.65	4.70	416	1955	1955
Totale					2382	2382
TOTALE LINEA						3067
<u>Trattamento biologico – Linea B</u>						
Pre-denitrificazione	1	35.15x8.85	2.20	311	684	684
Nitrificazione – reattore 1	1	6.20x14.65	4.70	91	427	427
reattore 2	1	28.40x14.65	4.70	416	1955	1955
Totale					2382	2382
TOTALE LINEA						3067
<u>Trattamento biologico – Linea C</u>						
Pre-denitrificazione – reattore 1	2	25.15x7.65	3.10	192	596	1193
reattore 2	1	14.00x6.30	3.10	88	273	273
Totale						1466
Nitrificazione	2	30.00x9.85	4.85	296	1433	2866
TOTALE LINEA						4332
<u>Trattamento biologico – Linea D</u>						
Pre-denitrificazione – reattore 1	1	28.70x10.00	2.50	287	718	718
reattore 2	1	11.00x8.00	4.55	88	400	400
Totale						1118
Nitrificazione – reattore 1	1	18.80x8.00	4.55	150	684	684
reattore 2	1	28.90x8.00	4.55	231	1052	1052
Totale						1736
TOTALE LINEA						2854
TOTALE TRATTAMENTO BIOLOGICO						13047
Sedimentazione secondaria – Linea A	1	33.10x11.20	2.40	370	888	888
Sedimentazione secondaria – Linea B	1	33.10x11.20	2.40	370	888	888
Sedimentazione secondaria – Linea C	1	D=32.00	2.65 (sfioro)	804	2410	2410
Sedimentazione secondaria – Linea D	1	D=26.00	2.30 (sfioro)	531	1336	1336
TOTALE SEDIMENTAZIONE SECONDARIA				2075		5522
Pre-ispessimento	2	D=8.00	3.50 (sfioro)	50.3	161	322
Stabilizzazione aerobica	1	D=8.00	6.00	50.3	300	302
Post-ispessimento	1	D=8.00	3.50 (sfioro)	50.3	161	161

3.2 STATO DI PROGETTO

3.2.1 Principali criticità da risolvere

L'impianto di depurazione di Borgheria presenta allo stato attuale delle criticità sia in linea acque che in linea fanghi. Le principali criticità in linea acque sono correlate con:

- l'**inadeguatezza della sezione di pre-trattamento meccanico dei reflui** (limitata ad una semplice grigliatura fine);
- le **caratteristiche dimensionali delle sezioni di trattamento secondario e del relativo piping di collegamento**, che limitano la capacità massima di trattamento dei carichi inquinanti e idraulici su valori non compatibili con lo scenario futuro di progetto;
- la **manca di una sezione di affinamento terziario dell'effluente**, in grado di fornire adeguate garanzie in termini di rispetto dei limiti restrittivi imposti allo scarico (10 mgSST/L);
- la **presenza di trattamenti di disinfezione dell'effluente mediante clorazione**, in contrasto con quanto prescritto dal Piano di Tutela delle Acque, che richiede l'impiego di tecnologie di disinfezione alternative;
- l'**obsolescenza di alcune apparecchiature elettromeccaniche**, poco efficienti e ormai prossime alla fine della loro vita utile, come ad esempio le soffianti volumetriche a lobi per la fornitura dell'aria ai vari comparti aerati;
- il **cattivo stato di conservazione di alcuni dei manufatti più vecchi**, risalenti alla fine degli anni '70, che presentano evidenti problemi anche dal punto di vista strutturale. Quelli in condizioni più critiche sono il manufatto ripartitore sottostante alla sezione di grigliatura fine esistente, alcune porzioni delle vasche che compongono le linee trattamento secondario A e B e il secondo comparto di pre-denitrificazione della linea C.

La linea di trattamento fanghi è invece carente soprattutto per quanto concerne **la volumetria disponibile per la stabilizzazione aerobica**, che risulta insufficiente a garantire un idoneo grado di abbattimento dei solidi volatili. Oltre che sulla qualità dei fanghi da smaltire, che risultano appunto ancora caratterizzati da un elevato tenore di sostanza organica putrescibile, ciò ha effetti negativi anche sulla quantità dei fanghi stessi, sia per effetto del maggior quantitativo di secco residuo dovuto allo scarso abbattimento della frazione volatile, sia per effetto del peggioramento dell'efficienza di disidratazione ottenibile in presenza di fanghi ad elevato tenore di sostanza volatile. Il ridotto abbattimento dei solidi volatili effettivamente ottenibile nel comparto di stabilizzazione aerobica determina anche possibili **sovraccarichi sulla sezione di disidratazione meccanica esistente**.

3.2.2 Sintesi degli interventi previsti

Alla luce delle criticità riscontrate, per poter procedere all'allacciamento delle zone oggi non servite da depurazione è necessario che l'impianto venga opportunamente adeguato e potenziato. Gli interventi previsti a questo scopo dal presente progetto possono essere sintetizzati come segue:

- dismissione della sezione di grigliatura fine esistente e del manufatto di ripartizione alle linee di trattamento biologico;
- realizzazione di una nuova sezione di pre-trattamento meccanico, costituita da una sezione di grigliatura fine su quattro griglie a tappeto filtrante con luci di filtrazione di 3 mm, da due linee di dissabbiatura-disoleatura in parallelo e da un nuovo ripartitore di portata alle linee di trattamento biologico, munito di sistema di sfioro automatizzato di by-pass a vasca di accumulo dell'aliquota di portata eventualmente eccedente $3 \cdot Q_m$.
- spostamento della stazione di ricezione e pre-trattamento dei reflui extrafognari esistente e predisposizione per la futura installazione di una seconda unità analoga. Le macchine (esistente e futura) saranno alloggiate all'interno del locale chiuso in adiacenza alla nuova sezione di pre-trattamento in cui saranno ospitati anche i cassoni scarrabili di raccolta del materiale grigliato e delle sabbie, queste ultime separate da un apposito classificatore-lavatore;
- compartimentazione della seconda vasca di accumulo reflui per la realizzazione di una vasca di accumulo/equalizzazione dei reflui extrafognari, di un bacino aerato di pre-trattamento biologico dei reflui extrafognari stessi (mediante inoculo in continuo di fango attivo prelevato dalla linea D di trattamento biologico) e di una vasca di accumulo/equalizzazione delle acque madri di disidratazione e delle acque di lavaggio dei filtri terziari prima del loro rilancio a trattamento biologico;
- spostamento del punto di recapito del sollevamento dei reflui da Villa Fastiggi, che attualmente sono conferiti alla seconda vasca di accumulo che verrà riconvertita come visto ad altri usi, con prolungamento del collettore di mandata fino alla vasca di arrivo liquami, prevedendo inoltre una derivazione valvolata per consentirne l'alimentazione anche alla prima vasca di accumulo;
- spostamento del biofiltro a doppio stadio esistente in adiacenza alla nuova sezione di pre-trattamento, con realizzazione del nuovo piping di captazione e aspirazione dell'aria esausta dai canali di grigliatura fine, opportunamente isolati con grigliato chiuso pedonabile e con l'impiego di griglie a tappeto filtrante carterizzate, e dal locale che ospita i cassoni di raccolta di materiale grigliato e sabbie e le stazioni di ricezione reflui extrafognari. Il biofiltro viene sottoposto a manutenzione straordinaria in occasione dello spostamento, con sostituzione del materiale filtrante, ripristino delle sigillature e della rete di separazione e rifacimento dei circuiti idraulici, provvedendo infine ad inoculo batterico prima della nuova messa in servizio;

- posa dei collettori di alimentazione del refluo dal nuovo ripartitore di portata alle linee di trattamento biologico;
- demolizione dei manufatti che costituiscono le linee di trattamento secondario A e B;
- realizzazione di due nuove linee A e B di trattamento biologico, configurate secondo lo schema di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente in reattore unico, in cui l'alternanza delle fasi anossiche e aerobiche è gestita automaticamente da un *controller* di processo avanzato mediante il monitoraggio in continuo di indicatori sia diretti (concentrazione di ammoniaca) che indiretti (pH, concentrazione di ossigeno disciolto) dello stato di avanzamento del processo biologico (*controller* OSCAR® - Aerazione intermittente);
- realizzazione di due nuovi sedimentatori secondari a servizio delle linee A e B, a pianta circolare e flusso longitudinale e radiale, dotati di ponte raschiatore a trazione periferica, con pozzo di ricircolo dei fanghi sedimentati e di estrazione dei fanghi di supero e con collettori di scarico dell'effluente alla nuova sezione di filtrazione terziaria;
- dismissione e demolizione dell'attuale vasca di stabilizzazione aerobica dei fanghi e del locale officina meccanica, per creare lo spazio necessario alla realizzazione del nuovo sedimentatore a servizio della linea B;
- adeguamento della linea C di trattamento biologico, che verrà strutturata secondo uno schema di processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente di tipo "ibrido", in cui l'attuale reattore di ossidazione viene effettivamente gestito ad aerazione intermittente, mentre viene mantenuto in condizioni costantemente anossiche il primo comparto dell'attuale sezione di pre-denitrificazione. Gli interventi previsti sulla linea sono riassumibili come segue:
 - dismissione del secondo comparto di pre-denitrificazione, che presenta criticità dal punto di vista strutturale;
 - mantenimento in funzione in condizioni anossiche delle due vasche in parallelo che costituiscono il primo comparto di pre-denitrificazione, prevedendo interventi di adeguamento volti ad aumentare il battente in vasca fino 3.30 m per recuperare volume utile di processo, la chiusura dei collegamenti al secondo comparto dismesso, la realizzazione di un nuovo pozzetto di raccolta del fango e la posa del nuovo collettore di collegamento con la vasca di nitrificazione;
 - conversione dell'attuale sezione di nitrificazione in reattore di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente gestita automaticamente da un *controller* di processo avanzato mediante il monitoraggio in continuo di concentrazione di ammoniaca, ossigeno disciolto e pH (*controller* OSCAR® - Aerazione intermittente). Dal momento che le reti di diffusori a disco a bolle fini esistenti sono ancora adeguate alle esigenze di progetto, si prevede soltanto la sostituzione delle relative membrane e ghiera di fissaggio. Il battente in vasca viene

aumentato a 5.00 m mediante l'installazione di una lama di sfioro in acciaio inox AISI304 sulla canaletta di uscita del fango dal reattore, in maniera da aumentare il volume utile del reattore e l'efficienza di trasferimento dell'ossigeno;

- sostituzione delle pompe di ricircolo della miscela aerata con macchine adeguate alle esigenze di progetto e rifacimento del relativo piping di mandata alla vasca di pre-denitrificazione;
- mantenimento in funzione del sedimentatore secondario a servizio della linea C, sul quale sono previsti la sostituzione del profilo di sfioro di tipo Thompson e dell'anello deflettore paraschiuma, la sostituzione delle pompe di ricircolo dei fanghi e del tratto fuori terra della tubazione di mandata nella zona della vasca di pre-denitrificazione, attualmente in stato di degrado. Sono invece mantenute le pompe esistenti di estrazione dei fanghi di supero;
- realizzazione di un nuovo locale soffianti in cui ospitare i nuovi compressori volumetrici a servizio delle linee A, B e C e della stabilizzazione aerobica, nell'area libera presente a fianco del locale compressori esistente. Quest'ultimo verrà riconvertito ad officina meccanica, dopo aver rimosso le vecchie macchine, ormai obsolete e particolarmente rumorose, e aver provveduto al rifacimento della pavimentazione interna e alla tinteggiatura delle pareti. A fianco del nuovo locale soffianti verrà ricavato anche un nuovo locale quadri elettrici;
- adeguamento della linea D di trattamento biologico, che verrà strutturata secondo uno schema di processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente di tipo "ibrido", in cui vengono effettivamente gestiti ad aerazione intermittente i comparti esistenti a battente utile maggiore (secondo comparto di pre-denitrificazione e reattori di ossidazione/nitrificazione), mentre viene mantenuto in condizioni costantemente anossiche il primo comparto dell'attuale sezione di pre-denitrificazione. Gli interventi previsti sulla linea sono riassumibili come segue:
 - mantenimento in funzione in condizioni anossiche del primo comparto di pre-denitrificazione, prevedendo la sostituzione delle canalette di raccolta del fango in uscita con una canaletta più ampia, aumentando al contempo il battente in vasca fino 2.60 m per recuperare volume utile di processo;
 - conversione del secondo comparto attualmente di pre-denitrificazione e degli attuali comparti di nitrificazione in tre reattori in serie di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente, gestita automaticamente da un *controller* di processo avanzato mediante il monitoraggio in continuo di concentrazione di ammoniaca, ossigeno disciolto e pH (*controller* OSCAR® - Aerazione intermittente). Le soffianti e le reti di diffusori esistenti vengono rimossi e sostituiti con nuove apparecchiature più moderne ed efficienti e viene rifatto anche il relativo piping di distribuzione dell'aria. Le nuove soffianti vengono alloggiare all'interno

dell'edificio esistente, in cui si provvede alla realizzazione di una compartimentazione per la realizzazione del locale quadri elettrici dell'intera linea D;

- installazione delle pompe di ricircolo della miscela aerata nella parte terminale del terzo reattore ad aerazione intermittente e realizzazione del relativo piping di mandata alla vasca di pre-denitrificazione;
- mantenimento in funzione del sedimentatore secondario a servizio della linea D, delle pompe di ricircolo e delle pompe di estrazione dei fanghi di supero. Si prevede l'installazione, all'interno del pozzo di ricircolo fanghi, di una pompa sommergibile deputata allo spillamento di fango attivo da avviare alla nuova vasca di pre-trattamento biologico dei reflui extrafogari;
- posa dei nuovi collettori di scarico dell'effluente chiarificato dai sedimentatori delle linee C e D alla nuova sezione di filtrazione terziaria;
- dismissione della stazione di dosaggio della soluzione di alluminato di sodio al 6% in Al_2O_3 per la defosfatazione chimica;
- installazione, in prossimità della sezione di pre-trattamento del refluo, di una nuova stazione di dosaggio della soluzione di alluminato di sodio al 6% in Al_2O_3 per la defosfatazione chimica, costituita da un serbatoio cilindrico verticale da 30 m³, ospitato in apposita vasca di contenimento in cls, e da quattro pompe dosatrici per l'alimentazione ai pozzetti di distribuzione alle linee biologiche in uscita dal nuovo ripartitore di portata;
- realizzazione di una nuova sezione di filtrazione terziaria su tela, strutturata su sei filtri a dischi sommersi operanti in parallelo;
- dismissione dei comparti di disinfezione esistenti mediante clorazione;
- realizzazione di un nuovo comparto di disinfezione finale dell'effluente mediante irraggiamento UV, strutturato su due canali operanti in parallelo;
- posa della nuova tubazione di aspirazione della pompa di pressurizzazione della rete dell'acqua di servizio, spostando il punto di presa dalla vasca di clorazione esistente, da dismettere, al pozzetto in uscita dal comparto di disinfezione UV;
- posa del nuovo collettore di scarico dell'effluente dalla disinfezione UV al pozzetto esistente di campionamento. Dal momento che il nuovo collettore confluisce al primo dei due pozzetti esistenti da cui si dipartono le condotte di recapito al fiume Foglia, è previsto lo spostamento del punto di prelievo del campionario, attualmente posizionato nel secondo dei due pozzetti;
- conversione a vasca di stabilizzazione aerobica dell'ex digestore anaerobico, mediante riempimento e livellamento della tramoggia di fondo, installazione di una nuova rete di diffusori a disco a bolle fini alimentata da due nuovi compressori volumetrici a vite e installazione del piping di fornitura dell'aria, di alimentazione del fango dai pre-ispessitori e di scarico del fango stabilizzato al post-ispessitore;

- realizzazione di una nuova rete di drenaggio delle acque meteoriche nelle aree interessate dai lavori, completa di due vasche di laminazione e di accumulo delle acque di prima pioggia, che possono così essere avviate a trattamento di depurazione una volta concluso l'evento meteorico;
- spostamento in adiacenza al confine nord-ovest dell'impianto del cavidotto di alimentazione in MT alla cabina elettrica dell'impianto, in quanto interferente con le nuove opere in progetto;
- rifacimento degli impianti elettrici e di automazione delle sezioni di impianto interessate dalle lavorazioni. Non saranno oggetto di intervento i seguenti impianti:
 - Quadri di Media Tensione protezione trasformatori di potenza MT/BT;
 - Trasformatori di potenza MT/BT in resina aventi una potenza nominale di 800 kVA – Vcc=6% - 20.000/0,4 kV;
 - Cavi di potenza in Media Tensione;
 - Quadro generale di bassa tensione edificio trattamento fanghi e relativi sotto quadri elettrici;
 - Impianti elettrici palazzina uffici/servizi.

I restanti impianti elettrici saranno invece oggetto di rifacimento totale o comunque saranno adeguati alle nuove esigenze impiantistiche legate all'ampliamento dell'impianto di depurazione, come illustrato approfonditamente nella Relazione impianti elettrici e illuminotecnica (elaborato D-R-110-25).

Va puntualizzato che la fornitura di software e hardware del *controller* OSCAR® per la gestione dei comparti biologici secondo lo schema di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente avverrà in diretta amministrazione da parte di Marche Multiservizi, pertanto i relativi costi sono compresi tra le somme a disposizione della Stazione Appaltante. Rimangono a carico dell'Appaltatore gli oneri per l'interfacciamento del *controller* con il sistema di automazione e supervisione dell'impianto, come previsto dalla progettazione delle opere elettriche, oltre alla programmazione delle logiche di automazione delle varie sezioni di impianto, ad esclusione appunto delle logiche avanzate di gestione dei comparti biologici implementate dal *controller*.

3.2.3 Configurazione impiantistica di progetto

Viene di seguito riepilogata la configurazione di progetto dell'impianto di Borgheria a seguito della realizzazione degli interventi descritti nel paragrafo precedente. Il nuovo layout d'impianto è mostrato nella planimetria di stato di progetto (elaborato D-T-310-10).

La filiera di trattamento della **linea acque** è composta da:

- **una vasca di arrivo liquami**, a cui giungono i reflui fognari dai vari sollevamenti presenti sulla rete fognaria e, per i reflui prodotti dalla zona di Villa Fastiggi, dalla stazione di pompaggio ubicata all'interno del sedime dell'impianto;

- **un comparto di pre-trattamento meccanico**, costituito da:
 - una sezione di grigliatura fine a 3 mm su quattro griglie a tappeto filtrante;
 - una sezione di dissabbiatura-disoleatura su due bacini longitudinali aerati dotati di ponti raschiatori va e vieni;
 - un ripartitore di portata alle linee biologiche, con sistema automatizzato di by-pass alla vasca di accumulo reflui dell'aliquota di portata eccedente $Q_{pb}=3 \cdot Q_m$;
- **una stazione di aspirazione e trattamento dell'aria esausta** prelevata dai canali di grigliatura grigliatura e dal locale che ospita i cassoni di raccolta di materiale grigliato e sabbie e le stazioni di ricezione reflui extrafognari, costituita dal biofiltro a doppio stadio esistente riposizionato e sottoposto a manutenzione straordinaria;
- **una vasca di accumulo reflui**, alimentata dal nuovo ripartitore di portata con l'aliquota di portata eccedente la massima avviata a trattamento biologico ($Q > Q_{pb}=3 \cdot Q_m$). La vasca, quando attiva, viene mantenuta miscelata ed aerata mediante una rete di diffusori a bolle grossolane e una soffiante a canali laterali. I reflui stoccati sono quindi risollevati alla vasca di arrivo liquami mediante la stazione di sollevamento esistente dedicata. La vasca è dotata di soglia di sfioro di troppo pieno che, in caso di riempimento, convoglia il refluo al collettore di by-pass generale impianto;
- **una sezione di ricezione e pre-trattamento dei reflui extrafognari**, composta da due stazioni combinate di grigliatura e compattazione del materiale separato, di cui una esistente da riposizionare ed una di nuova installazione, alloggiate all'interno del locale chiuso in adiacenza alla nuova sezione di pre-trattamento in cui sono ospitati anche i cassoni scarrabili di raccolta del materiale grigliato e delle sabbie, queste ultime separate da un apposito classificatore-lavatore;
- **una vasca di accumulo/equalizzazione dei reflui extrafognari e un bacino aerato per il loro pre-trattamento biologico con inoculo di fango attivo dalla linea D del depuratore**, ricavati mediante la compartimentazione della seconda vasca di accumulo reflui esistente;
- **una vasca di accumulo/equalizzazione delle acque madri di disidratazione e delle acque di lavaggio dei filtri terziari**, prima del loro rilancio a trattamento biologico. Anche tale vasca è ospitata in una porzione dell'attuale seconda vasca di accumulo reflui;
- **quattro linee di trattamento secondario operanti in parallelo (A – B – C – D)**. Le linee A e B sono ospitate in manufatti di nuova realizzazione, mentre le linee C e D sfruttano le volumetrie già attualmente disponibili. Le sezioni di trattamento biologico delle linee A e B sono configurate secondo lo schema di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente in reattore unico, mentre le linee C e D prevedono il mantenimento, a monte del comparto ad aerazione intermittente, di una sezione costantemente anossica di pre-denitrificazione. La gestione delle

logiche di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente avviene per tutte le linee ad opera del controllore di processo OSCAR®. La sedimentazione secondaria avviene per le quattro linee in bacini a pianta circolare con carroponete raschiatore a trazione periferica;

- **una stazione di dosaggio di alluminato di sodio** in soluzione al 6% di Al_2O_3 **per la defosfatazione chimica in simultanea**, con immissione nei pozzetti di alimentazione del refluo alle linee di trattamento biologico posti in uscita dal nuovo ripartitore di portata;
- **una sezione di filtrazione terziaria su tela**, strutturata su sei filtri a dischi sommersi operanti in parallelo;
- **un comparto di disinfezione finale dell'effluente mediante irraggiamento UV**, strutturato su due canali operanti in parallelo, a valle dei quali trae origine il collettore di scarico dell'effluente al pozzetto esistente di campionamento.

La filiera di trattamento della **linea fanghi** è composta dalle seguenti unità:

- **due bacini di pre-ispessimento statico**, operanti in parallelo, dotati di ponti raschiatori a picchetti a trazione centrale;
- **una vasca di stabilizzazione aerobica**, ricavata all'interno dell'ex digestore anaerobico;
- **un bacino di post-ispessimento statico**, dotato di ponte raschiatore a picchetti a trazione centrale;
- **una sezione di disidratazione meccanica dei fanghi**, ospitata all'interno di un edificio e costituita da due estrattori centrifughi, ciascuno dotato delle proprie pompe monovite di caricamento fango e di dosaggio di polielettrolita, da una stazione comune di preparazione della soluzione di polielettrolita, da tre coclee in serie di evacuazione di fanghi disidratati (una orizzontale di raccolta, una inclinata di sollevamento e una brandeggiante di distribuzione a due cassoni scarrabili). Una delle due stazioni di disidratazione, costituite da estrattore centrifugo, pompa fanghi e pompa poli, è esistente, mentre l'altra è di nuova installazione, in sostituzione di apparecchiature obsolete;
- **una stazione di aspirazione e trattamento dell'aria esausta prelevata dal locale di disidratazione**, costituita da uno scrubber a secco su zeolite attivata.

Il prospetto di Tabella 14 riepiloga le caratteristiche dimensionali delle principali unità di trattamento nella configurazione impiantistica di progetto.

Dal confronto con i valori riportati in Tabella 13, emerge in particolare l'incremento delle volumetrie disponibili per le sezioni di trattamento biologico (+24%), di sedimentazione secondaria (+64% sui volumi e +33% sulle superfici) e di stabilizzazione aerobica (+620%), reso necessario per soddisfare le esigenze di processo nello scenario di progetto.

Tabella 14: Caratteristiche dimensionali dei manufatti principali nella configurazione di progetto

Comparto	Numero vasche	Dimensioni planimetriche LxB o D	Battente utile H	Superficie unitaria	Volume unitario	Volume totale comparto
	(-)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³)
Accumulo reflui fognari	1	20.20x12.00	5.05	242	1224	1224
Accumulo reflui extrafognari pre-trattati	1	3.50x12.00	3.50	42	147.0	147
Pre-trattamento biologico reflui extrafognari pre-trattati	1	7.00x12.00	4.80	84	403	403
Accumulo acque madri e acque di lavaggio filtri terziari	1	8.90x12.00	5.00	107	534	534
Dissabbiatura-disoleatura	2	15.00x4.20	3.50 (media)	63	208	417
<u>Trattamento biologico – Linea A</u>						
Nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente	1	35.00x19.80	6.50	692	4505	4505
<u>Trattamento biologico – Linea B</u>						
Nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente	1	35.00x19.80	6.50	692	4505	4505
<u>Trattamento biologico – Linea C</u>						
Pre-denitrificazione	2	25.15x7.65	3.30	192	634	1270
Nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente	2	30.00x9.85	5.00	296	1478	2955
TOTALE LINEA						4225
<u>Trattamento biologico – Linea D</u>						
Pre-denitrificazione	1	28.70x10.00	2.60	287	746	746
Nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente – reattore 1	1	11.00x8.00	4.55	88	400	400
reattore 2	1	18.80x8.00	4.55	150	684	684
reattore 3	1	28.90x8.00	4.55	231	1052	1052
Totale						2137
TOTALE LINEA						2883
TOTALE TRATTAMENTO BIOLOGICO						16117
Sedimentazione secondaria – Linea A	1	D=30.00	3.50 (sfioro)	707	2651	2651
Sedimentazione secondaria – Linea B	1	D=30.00	3.50 (sfioro)	707	2651	2651
Sedimentazione secondaria – Linea C	1	D=32.00	2.65 (sfioro)	804	2410	2410
Sedimentazione secondaria – Linea D	1	D=26.00	2.30 (sfioro)	531	1336	1336
TOTALE SEDIMENTAZIONE SECONDARIA				2749		9048
Filtrazione terziaria	6	4.00x2.50	2.65	10.0	26.5	159
Disinfezione UV	2	4.85x0.80	0.50	3.9	2.0	4.0
Pre-ispessimento	2	D=8.00	3.50 (sfioro)	50.3	161	322
Stabilizzazione aerobica	1	D=16.00	9.30	201	1870	1870
Post-ispessimento	1	D=8.00	3.50 (sfioro)	50.3	161	161

4 RISULTATI DELLE VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO - LINEA ACQUE

Nel presente capitolo e nel capitolo successivo vengono illustrati i risultati dei calcoli di processo effettuati rispettivamente sulla linea acque e sulla linea fanghi e finalizzati a verificare l'adeguatezza dei comparti esistenti mantenuti in funzione, dimensionare i comparti di trattamento di nuova realizzazione e definire le caratteristiche tecniche delle apparecchiature elettromeccaniche di nuova installazione.

Nella trattazione si fa riferimento separatamente alle diverse sezioni impiantistiche che compongono la filiera di processo, descrivendo anche i relativi principi di funzionamento e le soluzioni progettuali di cui si prevede l'implementazione. Le codifiche delle apparecchiature che vengono citate riprendono quelle riportate nei vari elaborati di progetto e in particolare nel P&ID (elaborato D-T-310-45), negli Elenchi apparecchiature elettromeccaniche (elaborato D-R-310-50) e nel Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici (elaborato D-R-120-05), mentre per i dettagli della configurazione di progetto dei diversi comparti si rimanda ai relativi elaborati grafici.

4.1 PRE-TRATTAMENTI MECCANICI

4.1.1 Grigliatura fine

Il refluo fognario viene recapitato dalla vasca di arrivo liquami esistente ad un pozzo di caricamento alla sezione di grigliatura attraverso un nuovo collettore De1000, presidiato da una valvola a ghigliottina ad azionamento manuale (100-VG-101), utile per regolare la portata soprattutto nelle fasi di transitorio, in cui, man mano che verranno completati gli interventi di adeguamento delle linee biologiche, occorrerà suddividere il flusso di refluo tra i nuovi pre-trattamenti e i pre-trattamenti esistenti (si veda al riguardo il Piano di gestione del transitorio D-R-110-35).

Il nuovo comparto di grigliatura fine è strutturato su quattro canali di grigliatura operanti in parallelo, alimentati da un canale di distribuzione attraverso paratoie ad azionamento manuale (100-SG-101-A/B/C/D). Le griglie a tappeto filtrante previste (100-GR-101-A/B/C/D) sono caratterizzate da luci di passaggio di 3 mm a foro circolare, con dimensioni dello schermo filtrante di 1250x1000 mm e portata nominale unitaria di circa 1000 m³/h.

Ciascun canale di grigliatura fine è dotato di paratoia di intercettazione anche a valle della griglia (100-SG-102-A/B/C/D), per poterlo isolare idraulicamente in occasione di interventi di manutenzione o pulizia.

Il refluo trattato dalle griglie fini si raccoglie in un canale comune di alimentazione alla sezione di dissabbiatura. L'attivazione dei sistemi automatici di pulizia delle griglie può avvenire, oltre che su base temporizzata, al raggiungimento di un livello massimo nei canali a monte delle griglie, individuato da appositi interruttori di livello ad aste conduttive (100-LSH-101-A/B/C/D).

In caso di necessità, la sezione di grigliatura fine può essere by-passata agendo sulla paratoia di intercettazione manuale 100-SG-103 che mette in comunicazione il canale di distribuzione con quello di raccolta.

Il materiale grigliato separato dalle griglie viene trasportato dalla coclea orizzontale 100-TR-101 al compattatore a coclea 100-K-101, dal quale viene scaricato nel cassone scarrabile di raccolta, situato all'interno dell'edificio pre-trattamenti.

Le caratteristiche dell'equipaggiamento della sezione sono riepilogate in Tabella 15.

Tabella 15: Stazione di grigliatura fine del refluo in ingresso

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Griglia a tappeto filtrante a pulizia automatica</u>		
Numero linee di grigliatura in parallelo	-	4
Portata massima (Q_{pm})	m ³ /h	3700
Dimensioni utili dei canali di grigliatura (LxBxH)	m	6.30x1.25x1.50
Altezza netta di grigliatura	mm	1000
Luci di filtrazione	mm	3
Potenza nominale singola griglia (motore tappeto + motore rotopazzola di pulizia)	kW	1.10 + 0.55
<u>Coclea di evacuazione del materiale grigliato</u>		
Numero unità installate	-	1
Lunghezza	mm	7500
Diametro spirale	mm	350
Potenza nominale	kW	3.00
<u>Compattazione del materiale grigliato</u>		
Numero unità installate	-	1
Lunghezza	mm	3800
Diametro spirale	mm	280
Potenza nominale	kW	4.00
Stima della produzione specifica media di grigliato	L _{gr} /m ³ liquame	0.10
Stima della produzione annua di grigliato	m ³ /anno	810

Grado di compattazione minimo atteso	-	75%
Peso specifico medio del materiale grigliato compattato	kg/m ³	1300
Stima della produzione annua di grigliato	m ³ /anno t/anno	607 790

4.1.2 Dissabbiatura-disoleatura

La sezione di dissabbiatura-disoleatura è costituita da due bacini aerati a flusso longitudinale, equipaggiati di ponte raschiatore va e vieni dotato di lama di fondo e di superficie (100-RF-101-A/B), pompa centrifuga sommergibile per l'estrazione delle sabbie (100-PS-101-A/B) e pompa sommergibile di rilancio delle sostanze surnatanti, raccolte in pozzetti dedicati, alla sezione di pre-ispessimento (100-PS-102-A/B).

La miscela acqua-sabbie estratte dai dissabbiatori è inviata ad un classificatore-lavatore (100-CS-101) situato all'interno dell'edificio pre-trattamenti, che scarica le sabbie separate all'interno di un cassone scarrabile per il successivo conferimento a discarica.

L'aerazione dei bacini di dissabbiatura è effettuata mediante sistemi di diffusori tubolari a bolle grossolane in acciaio inox AISI304 (15 diffusori per linea), alimentati dalle due soffianti volumetriche a lobi 100-CR-101-A/B (una per linea) installate all'interno di un locale compressori ricavato nell'edificio pre-trattamenti, assieme alle unità deputate alla fornitura dell'aria al pre-trattamento biologico dei reflui extrafognari.

L'alimentazione alle due linee di dissabbiatura può essere esclusa mediante le paratoie ad azionamento manuale 100-SG-104-A/B, così come l'uscita dalle due vasche, mediante le paratoie in parete 100-SG-106-A/B. È inoltre presente un canale di by-pass della sezione dissabbiatura, presidiato dalla paratoia 100-SG-105.

Il dimensionamento della sezione di dissabbiatura-disoleatura aerata a flusso longitudinale viene effettuato verificando il rispetto di opportuni vincoli sui principali parametri progettuali, desumibili dalla letteratura di settore (*inter alia* Metcalf & Eddy, 2014; Riva e Guadagni, 2011; Bonomo, 2008; Masotti, 1987).

Per quanto riguarda la stima della produzione di sabbie, è possibile fare riferimento a valori di produzione specifica, anch'essi ricavati da letteratura. In caso di fognature separate, la produzione si può stimare tra 0.004 e 0.04 $L_{sabbie}/m^3_{liquame}$, con valore tipico di 0.015 $L_{sabbie}/m^3_{liquame}$. Nel caso di reti fognarie miste il possibile intervallo si allarga molto, arrivando fino anche a 0.20 $L_{sabbie}/m^3_{liquame}$. Dato che le reti afferenti all'impianto di Pesaro sono solo in parte separate, si ipotizza in questa sede una produzione specifica di 0.04 $L_{sabbie}/m^3_{liquame}$.

I risultati del dimensionamento delle linee in progetto sono riportati in Tabella 16.

Tabella 16: Caratteristiche e condizioni operative del comparto di dissabbiatura-disoleatura

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Parametri progettuali di riferimento</u>		
Tempo minimo di residenza idraulica con Q_m	min	15
Tempo minimo di residenza idraulica con Q_{pm}	min	3
Velocità massima di attraversamento vasca con Q_{pm}	m/s	0.05
Portata d'aria da fornire per unità di lunghezza della vasca	Nm ³ /h/m	20
<u>Caratteristiche della vasca di dissabbiatura-disoleatura prevista</u>		
Numero vasche	-	2
Lunghezza vasca	m	15.00
Larghezza zona di dissabbiatura	m	3.20
Larghezza canale laterale di calma (disoleatura)	m	0.80
Altezza utile in vasca sopra ai diffusori	m	3.20
Altezza utile massima in vasca	m	4.40
Battente medio	m	3.50
Volume dissabbiatura singola linea	m ³	168
Volume complessivo dissabbiatura	m³	336
Volume disoleatura singola linea	m ³	40
Volume complessivo disoleatura	m³	80
Volume utile totale	m³	417
Portata d'aria da insufflare per linea	Nm³/h	300
Pressione differenziale richiesta alle soffianti	mbar	370
<u>Condizioni operative previste</u>		
Portata media di progetto Q_m	m ³ /h	925
Portata massima da avviare a trattamento primario Q_{pm}	m ³ /h	3700
Tempo di residenza idraulica in corrispondenza di Q_m	min	21.8
Tempo di residenza idraulica in corrispondenza di Q_{pm}	min	5.4
Velocità di attraversamento per Q_{pm}	m/s	0.046
Produzione specifica media di sabbie	L _{sabbie} /m ³ liquame	0.04
Peso specifico medio delle sabbie separate	kg/m ³	1600
Stima della produzione annua di sabbie	m ³ /anno t/anno	324 518

4.1.3 Ripartizione alle linee di trattamento biologico

La configurazione del nuovo ripartitore di portata alle linee di trattamento biologico è stata studiata per garantire una suddivisione del flusso di liquame in ingresso proporzionale alle potenzialità delle singole linee. In particolare, il flusso avviato a ciascuna linea è regolato attraverso

quattro soglie di sfioro presidiate da paratoie a stramazzo ad azionamento manuale (100-SG-107, 100-SG-207, 100-SG-307, 100-SG-407), di larghezza opportunamente tarata sulla capacità di trattamento delle varie linee (1.40 m per le soglie di alimentazione alle linee A, B e C e 0.90 m per la soglia di alimentazione alla linea D, così da avviare, nelle normali condizioni di esercizio, il 27.5% dei reflui alle linee A, B e C e il restante 17.5% alla linea D). Le soglie di sfioro alle linee A e B recapitano in un pozzetto comune da cui si diparte il collettore di alimentazione alle due linee. Una quinta soglia di sfioro, presidiate dalla paratoia automatica modulante 100-SGe-108, recapita nel pozzetto di derivazione alla vasca di accumulo reflui l'aliquota di liquame in eccedenza rispetto alla portata massima da avviare a trattamento biologico ($Q > Q_{pb} = 3 \cdot Q_m$). L'attivazione della paratoia è regolata in funzione del mantenimento di un set-point sul livello nel pozzo ripartitore, monitorato dal sensore ad ultrasuoni 200-LIT-101. Il valore di set-point va fissato in corrispondenza del battente sugli stramazzi fissi che determina l'avvio a trattamento biologico di una portata pari appunto a $Q_{pb} = 3 \cdot Q_m$. In questo modo, la paratoia di by-pass rimane chiusa (ossia completamente alzata) fintantoché la portata trattata è inferiore a $Q_{pb} = 3 \cdot Q_m$, mentre si abbassa progressivamente in caso di aumento di portata oltre tale soglia, mantenendo invariata e pari al valore massimo ammissibile Q_{pb} l'aliquota avviata a trattamento.

4.1.4 Pre-trattamento dei reflui extra-fognari

La nuova sezione di pre-trattamento dei reflui extrafognari è strutturata in tre comparti:

- un comparto di ricezione e pre-trattamento meccanico di grigliatura, costituita da una stazione combinata di ricezione, grigliatura e compattazione del materiale grigliato, deputata alla separazione dei corpi solidi grossolani, con predisposizione per la futura installazione di un'unità analoga aggiuntiva;
- un comparto di equalizzazione della frazione liquida, che funga da polmone di accumulo per compensare il conferimento in discontinuo dei reflui;
- un comparto di pre-trattamento biologico della frazione liquida prima del suo avvio alle linee di trattamento biologico del depuratore, operato mediante un inoculo di fango attivo prelevato in continuo dalla linea D.

La stazione di ricezione è costituita dall'apparecchiatura già attualmente in servizio (100-GR-102-A), con predisposizione per l'eventuale futura installazione di una seconda unità con caratteristiche analoghe (100-GR-102-B). Entrambi i package verranno posizionati all'interno del nuovo edificio pre-trattamenti, predisponendo apposite tubazioni per l'attacco delle autobotti all'esterno del locale. Il materiale grigliato separato viene scaricato in un cassone scarrabile di raccolta, unitamente al grigliato separato dalla sezione di grigliatura fine. La frazione liquida viene

invece scaricata, mediante una tubazione interrata, alla nuova vasca di accumulo/equalizzazione, ricavata all'interno della seconda vasca esistente di accumulo reflui mediante la realizzazione di un nuovo setto divisorio.

La nuova localizzazione della zona di ricezione dei reflui extrafognari rappresenta una razionalizzazione del layout dell'impianto e ottimizza i percorsi interni seguiti dalle autobotti di conferimento, andando a sgravare da buona parte del traffico pesante la zona nord-est del depuratore e l'area attorno all'edificio di disidratazione fanghi.

La vasca di equalizzazione della frazione liquida dei reflui extrafognari è caratterizzata da dimensioni planimetriche utili di 12.00x3.00 m, mentre il battente massimo ammissibile per consentire il deflusso libero della tubazione di alimentazione dei reflui dalle stazioni di ricezione e grigliatura è di circa 3.50 m.

Il liquame viene mantenuto miscelato in vasca ad opera di due mixer sommersi ad asse orizzontale (100-MX-101-A/B) e viene quindi sollevato alla vasca di pre-trattamento biologico mediante le due pompe centrifughe sommergibili 100-PS-104-A/R, di cui una con funzioni di riserva attiva. Il battente presente in vasca è monitorato dal misuratore ad ultrasuoni 100-LIT-103.

Considerando un'altezza di sommergezza minima di 0.50 m, la vasca garantisce un volume utile di 108 m³, più che adeguato a garantire l'equalizzazione dei flussi massimi di reflui extrafognari in ingresso su base giornaliera, dell'ordine di 80-100 m³/d.

La successiva vasca di pre-trattamento biologico dei reflui extrafognari è ricavata in una seconda porzione dell'attuale vasca di accumulo liquami, anche in questo caso con la realizzazione di un nuovo setto divisorio. Le dimensioni planimetriche utili sono pari a 12.00x7.00 m, con un battente massimo di 4.80 m, per un volume utile di 403 m³. La vasca è dotata di sistema di ossigenazione per insufflazione d'aria a bolle grossolane, che garantisce al contempo la miscelazione, mediante una rete di diffusori tubolari in acciaio inox AISI304 alimentati dalle due soffianti volumetriche a lobi 100-CR-102-A/B. Queste ultime sono in grado di fornire una portata d'aria di 500 Nm³/h cadauna alla pressione differenziale di 500 mbar e vengono alloggiati nel locale compressori dell'edificio pre-trattamenti.

Il pre-trattamento biologico di ossidazione del refluo avviene ad opera di biomassa batterica prelevata dal pozzo di ricircolo fanghi della linea D, ad opera della pompa 300-PS-404 di nuova installazione. L'attivazione della pompa di alimentazione del fango attivo avviene in maniera temporizzata, in funzione del mantenimento di un set-point sulla concentrazione di SST in vasca, monitorata dal misuratore ottico 100-CIT-101.

Un bilancio di massa sulla vasca, effettuato con riferimento alla portata massima di reflui extrafognari di 100 m³/d (4.2 m³/h) e ad una concentrazione di biomassa nel fango sedimentato prelevato dalla linea D di circa 9 kgSST/m³, ha permesso di calcolare la portata di fango attivo da alimentare per mantenere una concentrazione di 4 kgSST/m³ in vasca di pre-trattamento, che risulta dell'ordine di 3.3 m³/h. Considerata la portata complessiva in ingresso di 7.5 m³/h, la volumetria prevista garantisce un elevato tempo di residenza idraulica (circa 54 ore) e consente di effettuare un primo efficace abbattimento dei carichi inquinanti afferenti con i reflui extrafognari (in particolare con i percolati), senz'altro adeguato anche alla luce dell'incidenza molto bassa dei carichi inquinanti associati ai reflui extrafognari rispetto ai carichi addotti all'impianto con i reflui fognari (si veda al riguardo il paragrafo 2.5). In particolare, secondo le verifiche di processo effettuate, il trattamento previsto permette di rimuovere completamente la sostanza organica biodegradabile presente nel refluo extrafognario e di ossidare, al variare della temperatura in vasca tra 12 e 23 °C (temperature di riferimento per i periodi invernale ed estivo) un'aliquota compresa tra il 20% e il 70% circa del carico azotato in ingresso.

I reflui così pretrattati sono sollevati dalle pompe centrifughe sommergibili 100-PS-105-A/R, di cui una con funzioni di riserva attiva, e avviati direttamente ai pozzetti di alimentazione alle linee di trattamento biologico, evitando così il rischio di tracimazione nello sfioro a vasca di accumulo delle portate eccedenti $Q_{pb}=3 \cdot Q_m$. Il battente presente in vasca è monitorato dal misuratore ad ultrasuoni 100-LIT-104, permettendo di regolare il funzionamento della pompa tra due soglie di attacca-stacca, opportunamente impostate per mantenere il battente in vasca mediamente di 4.80 m.

I risultati delle verifiche di dimensionamento condotte sulla sezione di pre-trattamento dei reflui extrafognari sono riepilogati in Tabella 17.

Tabella 17: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di pre-trattamento dei reflui extrafognari

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Accumulo/egualizzazione dei reflui extrafognari</u>		
Dimensioni planimetriche utili vasca	m	12.00x3.00
Battente massimo	m	3.50
Volume massimo	m ³	126
Livello minimo di sommergenza pompe di rilancio	m	0.50
Escursione massima di livello	m	3.00
Volume utile effettivo	m³	108
<u>Pre-trattamento biologico dei reflui extrafognari</u>		
Portata massima reflui extrafognari	m³/d m ³ /h	100 4.2

Concentrazione media di sostanza organica come BOD ₅	mg/L	1373	
Concentrazione media di sostanza organica come COD	mg/L	4621	
Concentrazione media di solidi sospesi (SST)	mg/L	2681	
Concentrazione media di N totale (come TKN)	mg/L	1562	
Concentrazione di SST mantenuta in vasca di pre-trattamento	kgSST/m ³	4.0	
Concentrazione di SST nei fanghi sedimentati prelevati dalla linea D	kgSST/m ³	9.0	
Portata necessaria di fanghi sedimentati dalla linea D	m ³ /h	3.3	
Portata complessiva in ingresso	m³/h	7.5	
Dimensioni utili della vasca di pre-trattamento biologico	m	12.00x7.00x4.80	
Volume utile della vasca di pre-trattamento biologico	m³	403	
Tempo di residenza idraulica HRT	h	54	
Temperatura in vasca (inverno/estate)	°C	12	23
Efficienza stimata di rimozione di sostanza organica come BOD ₅	-	>95%	>95%
Efficienza stimata di ossidazione TKN	-	20%	70%
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR)	kgO ₂ /d kgO₂/h	292 12.2	751 31.3
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-	0.70	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P ¹	mgO ₂ /L	13.3	10.7
Fattore riduttivo β della concentrazione di saturazione dell'O ₂ per tener conto della salinità dell'acqua	-	0.98	
Stima del fabbisogno di ossigeno in condizioni standard SOTR	kgO₂/h	45	18
Numero di diffusori tubolari a bolle grossolane installati	-	48	
Efficienza di trasferimento dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) garantita dal sistema di diffusori nelle condizioni di installazione previste	-	15%	
Portata d'aria richiesta	Nm ³ /h	985	384
Numero di soffianti previste	-	2	
Portata d'aria unitaria	Nm³/h	500	
Pressione differenziale	mbar	500	

4.1.5 Stazione di trattamento dell'aria esausta

L'aria esausta prodotta dalle aree potenzialmente impattanti dal punto di vista delle emissioni odorigene della sezione di pre-trattamento viene captata, aspirata e trattata sul biofiltro a doppio stadio già esistente a servizio dell'impianto, che verrà sottoposto a manutenzione straordinaria, con

¹ Determinato considerando la pressione idrostatica media sui diffusori, assumendo un'altezza di installazione dei diffusori rispetto al fondo vasca pari a 0.25 m.

sostituzione del materiale filtrante, ripristino delle sigillature e della rete di separazione e rifacimento dei circuiti idraulici, provvedendo infine ad inoculo batterico prima del nuovo avviamento.

Il biofiltro è costituito da una struttura di contenimento in AISI304 di dimensioni di ingombro 6.00x2.50x2.50 m, ed è caratterizzato da un volume di riempimento di 21.6 m³, suddiviso su un doppio stadio e composto da speciali letti filtranti a substrato organico calcareo di altezza pari a 1.60 m (gusci di ostriche e di cozze), su cui vengono inoculati ceppi batterici selezionati. Il ventilatore di aspirazione, di potenza nominale pari a 3.00 kW, è asservito ad inverter, a mezzo del quale è possibile impostare la portata d'aria trattata, che può essere variata in maniera automatica in diverse fasce orarie (ad esempio prevedendo un regime differenziato giornaliero e notturno in base alla presenza del personale), mediante temporizzazione impostabile sul quadro elettrico di comando e controllo a bordo macchina.

Il biofiltro verrà riposizionato su un'apposita platea in adiacenza alla nuova sezione di pre-trattamento e aspirerà l'aria esausta dal locale che ospita i cassoni di raccolta di materiale grigliato e sabbie e le stazioni di ricezione reflui extrafognari e dai canali di grigliatura fine, opportunamente isolati a questo scopo con grigliato chiuso pedonabile e con l'impiego di griglie carterizzate.

La portata d'aria massima trattabile da parte del biofiltro è pari a 3000 m³/h, cui corrisponde un carico specifico massimo di 150 m³/h per m³ di letto filtrante e un tempo minimo di contatto di circa 26 secondi. Come riepilogato in Tabella 18, tale portata garantisce l'instaurazione di un adeguato regime di ricambio orario dei volumi d'aria trattare.

Tabella 18: Calcolo della portata d'aria da aspirare dalle varie sezioni sottoposte a deodorizzazione

Sezione	Volume da trattare (m ³)	Regime massimo di ricambio orario richiesto (m ³ /h/m ³)	Portata da aspirare (m ³ /h)
Canali di grigliatura fine	76	2	151
Locale cassoni scarrabili e ricezione reflui extrafognari	710	4	2842
Portata d'aria totale da trattare			2993

4.2 COMPARTO DI TRATTAMENTO BIOLOGICO

La soluzione impiantistica proposta per il potenziamento della capacità depurativa dell'impianto consiste nella dismissione e demolizione delle due linee di trattamento secondario più vecchie e meno efficienti (linee A e B), sostituendole con due nuove linee caratterizzate da volumetrie disponibili sensibilmente maggiori e configurate, nella sezione di trattamento biologico, secondo lo

schema di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente in reattore unico, gestito dal *controller* di automazione avanzato OSCAR®. Le altre due linee di trattamento secondario (C e D) sono invece mantenute in funzione, prevedendo interventi di adeguamento dei collegamenti idraulici e delle apparecchiature elettromeccaniche ed introducendo la logica di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente in forma "ibrida", mantenendo cioè un comparto di pre-denitrificazione in condizioni costantemente anossiche e quindi anche un sistema di ricircolo della miscela aerata. La scelta di non introdurre una logica ad aerazione intermittente anche negli attuali comparti di pre-denitrificazione è scaturita da un'analisi costi-benefici che ha tenuto conto di vari fattori, legati all'economicità dell'intervento, alle caratteristiche dimensionali delle vasche e alle dotazioni elettromeccaniche attualmente esistenti ed eventualmente richieste, tra cui i principali sono:

- i costi di investimento che si renderebbero necessari;
- le elevate differenze di battente idrostatico presenti tra i comparti esistenti delle linee C e D, che renderebbero difficoltosa la corretta distribuzione dell'aria ai diversi comparti;
- il basso battente che può essere mantenuto nei comparti di pre-denitrificazione, che riduce molto l'efficienza di trasferimento dell'ossigeno ivi ottenibile, rendendo quindi molto più dispendiosa dal punto di vista energetico l'aerazione.

Nei paragrafi seguenti sono innanzitutto illustrati i vantaggi associati all'introduzione del processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente e viene descritto il *controller* OSCAR® previsto per la gestione del processo, per poi presentare il modello di calcolo impiegato per il dimensionamento dei vari comparti e le verifiche di funzionamento nei diversi scenari considerati e, infine, riepilogare i risultati ottenuti e le caratteristiche delle linee di trattamento biologico nella configurazione di progetto.

4.2.1 Il processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente

Le tecnologie più usate ed economiche per la rimozione dei composti azotati dalle acque reflue sono di tipo biologico: esse sfruttano diverse popolazioni microbiche per ossidare dapprima l'ammoniaca a nitrito (autotrofi AOB, *Ammonia Oxidizing Bacteria*), poi a nitrato (autotrofi NOB, *Nitrite Oxidizing Bacteria*) ed infine per ridurre il nitrato ad azoto gassoso (eterotrofi denitrificanti).

Fra le diverse tecnologie che permettono di rimuovere i composti azotati, la più utilizzata è quella che prevede di articolare il processo biologico secondo lo schema di pre-denitrificazione/nitrificazione, noto come schema di Ludzack-Ettinger modificato (*Modified Ludzack Ettinger*, MLE), in cui il refluo, relativamente ricco di composti rapidamente biodegradabili, viene alimentato ad una vasca mantenuta permanentemente in condizioni anossiche nella quale avvengono le reazioni di riduzione dei nitrati ad azoto gassoso. Il fango viene quindi avviato ad un

reattore separato nel quale avvengono le reazioni di ossidazione del carbonio e di nitrificazione dell'azoto ammoniacale. La concentrazione di nitrati nell'effluente viene mantenuta bassa ricircolando dalla vasca di ossidazione/nitrificazione a quella di denitrificazione una portata in genere compresa tra 2 e 6 volte la portata media influente.

A fronte di una collaudata efficacia nella rimozione dell'azoto, il processo MLE presenta alcuni difetti, riassumibili nei seguenti punti:

- non è possibile variare la proporzione fra i volumi aerati e quelli anossici e pertanto è difficile adattare l'impianto alle diverse condizioni operative cui è sottoposto dalle variazioni settimanali e stagionali di carico, dalla variazione di temperatura, da eventuali scarichi anomali o guasti;
- è necessario ricircolare elevate portate (fino anche a 5-6 volte la portata media trattata), con conseguenti consumi energetici significativi e ricircolo nella vasca di denitrificazione di notevoli quantità di ossigeno che riducono l'efficienza di denitrificazione.

I vantaggi del processo ad aerazione intermittente sono invece identificabili in:

- **ottimizzazione energetica:** l'aerazione viene effettuata solo per il tempo effettivamente necessario ad ottenere gli effetti voluti di nitrificazione (e contestualmente di rimozione della sostanza organica), mentre nei periodi di basso carico vengono incrementati i tempi di spegnimento delle soffianti. La concentrazione di ossigeno ottimale da mantenere durante le fasi aerate viene calcolata in tempo reale in funzione dei principali parametri di processo (ammoniaca, pH, ossigeno disciolto) e delle loro variazioni, ottimizzando di conseguenza la frequenza di funzionamento delle soffianti. Il ricircolo della miscela aerata viene eliminato, dal momento che i nitrati prodotti in una fase aerata vengono ridotti ad azoto gassoso nella fase anossica successiva all'interno della stessa volumetria di processo;
- **miglioramento della qualità dell'effluente e riduzione del contenuto medio di azoto:** potendo bilanciare automaticamente le fasi di nitrificazione e denitrificazione in funzione del carico effettivo di nutrienti nel refluo da depurare, è possibile ottimizzare la performance depurativa;
- **riduzione della produzione di fango:** sottoponendo alternativamente i fanghi a condizioni anossiche e aerate si induce nella biomassa uno stato di stress, che comporta una riduzione dei coefficienti di crescita cellulare e quindi una riduzione della quantità di fango di supero da rimuovere dal sistema (Andreottola *et al.*, 2008);
- **incremento della rimozione biologica del fosforo:** nei periodi a più basso carico, è possibile prevedere di mantenere il sistema in condizioni non aerate per un tempo più lungo di quello strettamente necessario per la denitrificazione, determinando l'instaurarsi di brevi fasi anaerobiche. Questa opportunità, nel lungo periodo, comporta una selezione della biomassa fosforo-accumulante (*Polyphosphate Accumulating Organisms*, PAO), con conseguente

incremento della concentrazione di fosforo contenuto nei fanghi di supero e quindi dell'efficienza depurativa ottenibile, che determina una riduzione del dosaggio di reagenti defosfatanti, laddove questo sia richiesto per rispettare gli standard qualitativi imposti allo scarico.

4.2.2 Il controller avanzato OSCAR® - Aerazione intermittente

Quale sistema di controllo del processo depurativo finalizzato ad attuare la logica di nitrificazione e denitrificazione ad aerazione intermittente sulle linee di trattamento biologico dell'impianto di Pesaro – Borgheria, è prevista l'installazione del controller **OSCAR® - Aerazione intermittente**, sviluppato da ETC Sustainable Solutions srl.

OSCAR® - Aerazione intermittente costituisce un **sistema avanzato di automazione e controllo che permette di sottoporre ad aerazione intermittente la volumetria di trattamento biologico**, così da crearvi in alternanza condizioni aerobiche per la nitrificazione e la rimozione della sostanza organica e anossiche per la riduzione dei nitrati ad azoto gassoso, con cicli di durata regolata automaticamente in funzione del monitoraggio di parametri di processo sia diretti (concentrazione di ammoniaca) che indiretti (pH, ossigeno disciolto) dell'avanzamento dei processi biochimici.

Il controllore proposto è inoltre in grado di attuare, sempre all'interno dei volumi biologici dell'impianto, una **logica di miscelazione del fango attivo ad aerazione pulsata durante le fasi non aerate di denitrificazione**. Si tratta di brevi periodi di attivazione delle soffianti (di durata e frequenza impostabili da utente in funzione della sedimentabilità del fango, ma tipicamente dell'ordine di 1-2 minuti ogni 15-30 minuti) che, seppur ininfluenti per il processo di denitrificazione, assicurano il mantenimento in sospensione della biomassa durante le fasi anossiche, evitando possibili fenomeni di intasamento dei diffusori. Questa soluzione ha il pregio di eliminare i costi di investimento e di manutenzione legati all'installazione di miscelatori sommersi, oltre a contribuire all'ottimizzazione dei consumi energetici dell'impianto.

Rispetto ad altre tecnologie, OSCAR® - Aerazione intermittente presenta numerosi vantaggi sia processistici che impiantistici:

- **monitoraggio di indicatori diretti dello stato di avanzamento dei processi di nitrificazione e denitrificazione** (azoto ammoniacale) e non su parametri indiretti quali pH e potenziale redox, soggette a maggiori disturbi dovuti ad altre specie ioniche in soluzione;
- **maggiore garanzia per il gestore di evitare eventuali sforamenti dei parametri azotati**, sia per la possibilità di intervenire opportunamente sul settaggio dei parametri di temporizzazione delle fasi, sia grazie al monitoraggio in vasca biologica dei parametri oggetto dei limiti allo scarico imposti da normative vigenti;

- **possibilità di scegliere i parametri di regolazione in funzione delle priorità di gestione**, ossia, ad esempio, scegliere quanto favorire la riduzione dell'azoto nel refluo trattato rispetto alla riduzione del consumo energetico o viceversa. I sensori misurano in tempo reale la concentrazione di azoto ammoniacale effettivamente presente in vasca, mentre i metodi indiretti possono soltanto stimare i momenti in cui si esauriscono completamente l'ammoniaca o il nitrato;
- **configurazione hardware/software trasparente (glass-box)**: pur nascendo in ambiente di sviluppo dedicato, OSCAR® può essere installato ed eseguito anche su piattaforme HW/SW di sistemi di automazione industriale, a differenza di soluzioni di tipo a scatola nera (*black-box*).

I vantaggi di OSCAR® rispetto ad altre opzioni tecnologiche che operano su parametri diretti sono invece così riassumibili:

- **OSCAR® è ad oggi l'unico controllore di processo sul mercato in grado di attuare una logica di aerazione intermittente basata sul controllo della sola concentrazione di ossigeno disciolto nel volume biologico**. Tale modalità di funzionamento risulta disponibile come logica di *back-up* in caso di malfunzionamenti o manutenzioni alle altre sonde di processo;
- **capacità del controller di operare il downgrade automatico a diversi livelli di logica di automazione**, di volta in volta adeguati in funzione della dotazione strumentale effettivamente funzionante in campo:
 - aerazione intermittente con controllo su $N-NH_4$;
 - aerazione intermittente basata su O_2 disciolto;
 - aerazione intermittente su base temporale;
- **maggiore robustezza della componente HW** che, con uno schema integrato PLC-PC industriale, permette di coniugare al meglio la solidità dei PLC con la capacità di calcolo dei PC;
- **supporto tecnologico sul campo e da remoto da parte degli stessi sviluppatori degli algoritmi di automazione**, a differenza di altre figure di natura commerciale poco esperte nel settaggio dei parametri per la conduzione di processo;
- possibilità di regolare la gestione delle soffianti **sia su valori di set-point statico impostati dall'operatore che su set-point dinamici dell'ossigeno disciolto** che considerino i valori istantanei misurati in campo e le loro derivate prime e seconde.

L'implementazione del controllore OSCAR® - Aerazione intermittente garantisce un **considerevole incremento della capacità depurativa dell'impianto in termini di rimozione dei composti azotati e riduzione dei consumi elettrici associati al comparto biologico dell'impianto**. Sulla base di diversi monitoraggi effettuati su impianti in esercizio, a seguito dell'installazione del *controller* si sono ottenuti nel 70% dei casi **risparmi energetici superiori al 30%** rispetto alla situazione antecedente.

Dal punto di vista hardware, OSCAR® è costituito nel caso specifico da un PC *touch panel* industriale tipo Schneider Magelis, installato a fondo quadro di automazione e in comunicazione con lo SCADA generale dell'impianto. La visualizzazione dei parametri di processo è garantita dal pannello operatore, sul quale sono rappresentate le diverse pagine di lavoro, in particolare: pagine sinottiche, pannelli per la visualizzazione delle singole utenze elettromeccaniche e della strumentazione di processo installata, pagine di gestione dei parametri per l'impostazione dei set-point, pannelli di regolazione, pagine grafiche (trend), di comunicazione e di gestione allarmi. La comunicazione con il PLC principale dell'impianto avviene tramite OPC Server, con il quale l'hardware renderà anche disponibili le proprie variabili di set-point e funzionamento al sistema di telecontrollo.

Come già anticipato, la fornitura di software e hardware del *controller* OSCAR® per la gestione dei comparti biologici secondo lo schema di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente avverrà in diretta amministrazione da parte di Marche Multiservizi, pertanto i relativi costi sono compresi tra le somme a disposizione della Stazione Appaltante. Rimangono a carico dell'Appaltatore gli oneri per l'interfacciamento del *controller* con il sistema di automazione e supervisione dell'impianto, come previsto dalla progettazione delle opere elettriche, oltre alla programmazione delle logiche di automazione delle varie sezioni di impianto, ad esclusione appunto delle logiche avanzate di gestione dei comparti biologici implementate dal *controller*.

4.2.3 Modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento del comparto biologico

Le procedure di calcolo adottate tipicamente nella progettazione del comparto di trattamento biologico degli impianti di depurazione delle acque reflue fanno riferimento a criteri semi-empirici che assumono a base della progettazione il parametro BOD₅, ritenuto indicativo del livello di biodegradabilità dei substrati carboniosi avviati a trattamento.

Tuttavia, benché ancora oggi applicato negli approcci di dimensionamento convenzionali, il BOD₅ presenta numerose limitazioni come parametro di caratterizzazione del refluo influente per motivi legati ai tempi di esecuzione del test (da 5 a 20 giorni) e alla scarsa rappresentatività delle reali dinamiche del processo depurativo, poiché il tempo di residenza idraulico di un impianto di depurazione per reflui civili è nettamente inferiore a 5 giorni.

Per queste ragioni, a partire dalla metà degli anni '80 l'*International Water Association* (IWA) ha proposto e sviluppato delle metodologie di calcolo alternative secondo cui il carico organico influente viene espresso in termini di COD, a sua volta ripartito in frazioni differenti che vengono classificate in base al rispettivo grado di biodegradabilità. Come mostrato schematicamente in Figura 1, il COD può essere innanzitutto suddiviso in due aliquote: COD biodegradabile e COD non biodegradabile.

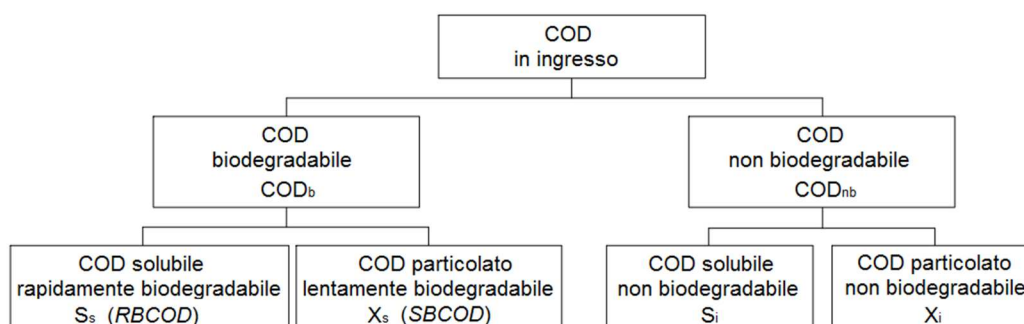


Figura 1: Suddivisione schematica del COD nelle sue forme a diverso grado di biodegradabilità

Il COD biodegradabile, riconducibile al BOD misurato dopo un tempo infinito, si scompone a sua volta in:

- COD rapidamente biodegradabile (*Readily Biodegradable COD*, RBCOD), che rappresenta la sostanza organica biodegradabile solubile o assimilabile a solubile (frazioni colloidali leggere), costituita da molecole di piccole dimensioni che possono essere facilmente metabolizzate dai batteri (acidi grassi volatili, alcoli, peptoni e amminoacidi). Tale frazione viene solitamente rimossa dalla biomassa acclimatata nell'arco di qualche ora o frazione di ora (o comunque inferiore al tempo di residenza idraulica dell'impianto) e riveste un ruolo cruciale nel dimensionamento dei processi di denitrificazione biologica, in quanto donatore preferenziale di elettroni nella riduzione dell'azoto nitrico $N-NO_3$ ad azoto gassoso N_2 ;
- COD lentamente biodegradabile (*Slowly Biodegradable COD*, SBCOD), costituito da tutti i composti organici biodegradabili complessi per i quali è richiesta una fase idrolitica preliminare (con trasformazione in RBCOD) prima di essere utilizzati come substrati dai microrganismi. Fisicamente si tratta di sostanza organica in forma colloidale e particolata, la cui degradazione avviene ad una velocità dipendente dalla velocità di conversione idrolitica, con variazioni significative tra condizioni anossiche e condizioni aerate.

Il contenuto di COD biodegradabile, nelle sue frazioni RBCOD e SBCOD, riveste un ruolo determinante nel dimensionamento del comparto di denitrificazione, dal momento che il tasso di riduzione di nitrato ad azoto gassoso biatomico è fortemente influenzato dalla natura del substrato organico che funge da donatore di elettroni: la velocità di denitrificazione risulta significativamente maggiore in presenza di RBCOD rispetto al caso in cui sia disponibile esclusivamente SBCOD, per poi ridursi drasticamente in presenza di solo substrato di origine endogena.

Il COD non biodegradabile rappresenta invece l'aliquota inerte della sostanza organica presente in un reflu e viene a sua volta classificato in base al proprio stato fisico in:

- COD solubile inerte, che rappresenta la quota di sostanza organica solubile refrattaria al trattamento biologico o, perlomeno, tale da non essere rimossa biologicamente nel tempo di permanenza idraulica del liquame nell'impianto, costituita dalle molecole non biodegradabili di dimensioni inferiori a quelle colloidali. Non essendo eliminabile né per via biologica né con gli usuali trattamenti chimico-fisici di sedimentazione e/o filtrazione necessita, qualora sia necessario rimuoverla, di trattamenti terziari specifici di tipo chimico-fisico (processi di ossidazione avanzata);
- COD particolato inerte, che rappresenta la frazione di sostanza organica che non può essere rimossa biologicamente, ma che è particolata o assimilabile a particolata. In gran parte viene rimossa per intrappolamento all'interno dei fiocchi di fango attivo (o del biofilm nel caso di processi a biomassa adesa), con successiva eliminazione con il fango di supero.

Il metodo di calcolo utilizzato per la verifica dimensionale del comparto di trattamento biologico a fanghi attivi deriva concettualmente dal metodo UCT (Ekama *et al.*, 1984), sviluppato e proposto inizialmente dal *Water Research Group* dell'Università di Cape Town (RSA) e successivamente adottato e descritto dall'*International Water Association* (Henze *et al.*, 2008).

Una volta definiti i limiti allo scarico e fissati i parametri cinetici e stechiometrici, il metodo calcola, secondo una procedura di ottimizzazione iterativa di alcuni parametri operativi, il valore minimo di età del fango che occorre garantire al sistema per raggiungere la concentrazione di azoto ammoniacale e azoto totale desiderata nell'effluente alla temperatura di processo selezionata.

Il modello è stato utilizzato per verificare le volumetrie di processo necessarie, il fabbisogno di ossigeno e, più in generale, i valori di tutti i parametri operativi, facendo riferimento alla schema di processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente, basato sul monitoraggio diretto della concentrazione di ammoniaca in vasca, che si prevede di implementare nelle linee di trattamento biologico nella configurazione di progetto (in reattore unico nelle linee A e B e in versione "ibrida", con mantenimento di un comparto costantemente anossico di pre-denitrificazione, nelle linee C e D).

La procedura di dimensionamento su cui si basa il modello è riassumibile nei seguenti punti:

- input dei dati di caratterizzazione del liquame influente da trattare, dei limiti di riferimento imposti allo scarico e del valore di temperatura di progetto (riequilibrati per il caso in esame nel paragrafo 2.7);
- input dei parametri cinetici e stechiometrici per la biomassa eterotrofa ed autotrofa (si veda il paragrafo 4.2.4);
- input delle condizioni operative in termini di concentrazione di SST mantenuta nel comparto biologico (x_b), della relativa frazione volatile SSV/SST, di rapporto di ricircolo dei fanghi dal

sedimentatore secondario (r_s), di concentrazione di ossigeno disciolto (O_d) nelle fasi di aerazione e dell'eventuale frazione di volume biologico mantenuta permanentemente in condizioni anossiche f_d (in caso di schema "ibrido" che preveda la presenza di reattori di pre-denitrificazione, come avviene nelle linee C e D);

- scelta di un valore di primo tentativo della frazione anossica f_{xt} , corrispondente alla percentuale di tempo dedicata al processo anossico di denitrificazione nel reattore ad aerazione intermittente;
- calcolo dell'età del fango di progetto (SRT);
- calcolo dei valori di massa di solidi sospesi volatili SSV associati alla biomassa attiva, al residuo endogeno e al materiale inerte;
- calcolo del volume totale V_t per il processo biologico di nitrificazione/denitrificazione, in base alla concentrazione di SST e alla frazione volatile SSV/SST ipotizzate in vasca;
- calcolo della capacità di nitrificazione del sistema (N_c), ovvero della massa di nitrati prodotti nelle fasi ossidative per unità di volume trattato;
- calcolo del potenziale di denitrificazione (D_p), ossia del quantitativo di nitrati che il sistema è effettivamente in grado di rimuovere nella frazione di tempo in condizioni anossiche calcolata e della capacità di denitrificazione richiesta (D_c), ossia del quantitativo di nitrati effettivamente da rimuovere;
- calcolo del rapporto ottimale di ricircolo della miscela aerata r_m dal reattore biologico di nitrificazione/denitrificazione al comparto di pre-denitrificazione, in caso di schema "ibrido" che preveda la presenza di un comparto costantemente anossico di pre-denitrificazione (linee C e D nel caso in esame);
- calcolo della concentrazione dei principali macroinquinanti nell'effluente;
- ottimizzazione iterativa dei parametri f_{xt} ed eventualmente r_m , x_b e r_s per consentire il raggiungimento degli standard depurativi richiesti, fino al calcolo del valore definitivo di SRT;
- determinazione della produzione di fanghi di supero nelle condizioni di progetto;
- calcolo del fabbisogno di ossigeno e dimensionamento del sistema di aerazione.

4.2.4 Parametri cinetici e stechiometrici

Come noto, i parametri cinetici di crescita e scomparsa cellulare sono influenzati dalle condizioni ambientali (pH, temperatura, ossigeno disciolto). In particolare, la dipendenza dalla temperatura viene di solito stimata utilizzando relazioni di tipo Van't Hoff-Arrhenius, assumendo come riferimento i valori delle cinetiche a 20 °C: per un generico parametro p , tale relazione assume la forma

$$p_T = p_{20} \cdot \alpha^{(T-20)}$$

Equazione 2

I valori dei parametri cinetici a 20 °C, dei relativi coefficienti α di correzione e dei parametri stechiometrici utilizzati nell'applicazione del modello di calcolo ai fini delle verifiche di dimensionamento dei comparti di trattamento biologico sono stati ricavati da letteratura (Ekama *et al.*, 1984; Metcalf & Eddy, 2014) e sono riassunti in Tabella 19.

Tabella 19: Valori dei parametri cinetici e stechiometrici assunti in sede di dimensionamento

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	μ_{n20}	d ⁻¹	0.60
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.123
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima di progetto (inverno / autunno-primavera / estate)	μ_{nT}	d ⁻¹	0.24 / 0.42 / 0.85
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	b_{n20}	d ⁻¹	0.04
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.029
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima di progetto (inverno / autunno-primavera / estate)	b_{nT}	d ⁻¹	0.032 / 0.037 / 0.044
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa nitrificante relativa al fabbisogno di substrato a 20 °C	K_{n20}	mgN-NH ₄ /L	1.0
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.123
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa nitrificante relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto (inverno / autunno-primavera / estate)	K_{nT}	mgN-NH ₄ /L	0.40 / 0.71 / 1.42
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa nitrificante relativa al fabbisogno di ossigeno disciolto	K_{O2}	mgO ₂ /L	0.20
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa eterotrofa a 20 °C	b_{h20}	d ⁻¹	0.24
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.029
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa eterotrofa alla T di progetto (inverno / autunno-primavera / estate)	b_{hT}	d ⁻¹	0.19 / 0.22 / 0.26
Resa cellulare della biomassa eterotrofa	Y_h	gSSV/gCOD	0.45
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile a 20 °C	$K_{1,20}$	gN-NO ₃ /gSSV/d	0.72
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.20
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile alla T di progetto (inverno / autunno-primavera / estate)	$K_{1,T}$	gN-NO ₃ /gSSV/d	0.17 / 0.42 / 1.24
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile a 20 °C	$K_{2,20}$	gN-NO ₃ /gSSV/d	0.101
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.08
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile alla T di progetto (inverno / autunno-primavera / estate)	$K_{2,T}$	gN-NO ₃ /gSSV/d	0.072 / 0.080 / 0.127

Frazione di azoto nel materiale particolato	f_n	gN/gSSV	0.1
Frazione di azoto organico solubile non biodegradabile nel refluo in ingresso	f_{nu}	-	0.02
Residuo endogeno non biodegradabile (frazione non biodegradabile del COD derivante dalla lisi cellulare)	f	-	0.20
Fattore di conversione COD/SSV	f_{cv}	gCOD/gSSV	1.48

4.2.5 Risultati del dimensionamento in condizioni di medio carico

I calcoli di processo sono stati effettuati separatamente per le differenti linee di trattamento biologico previste nella configurazione di progetto, così da poter determinare le condizioni operative e le dotazioni elettromeccaniche necessarie in ogni linea, determinando poi le prestazioni attese per l'intero impianto come media ponderata dei carichi trattati sulle varie linee. Le verifiche sulle linee A e B, perfettamente identiche tra loro, sono condotte congiuntamente.

Le verifiche sono state inoltre ripetute per i tre scenari stagionali considerati, a temperatura e carichi inquinanti variabili (si veda la Tabella 12 nel paragrafo 2.7). L'efficienza complessiva di abbattimento dell'azoto su base annua è stata quindi stimata effettuando una media ponderata delle prestazioni ottenibili nei diversi periodi stagionali dalle quattro linee di trattamento, in funzione delle differenti aliquote di portata trattata.

Le dotazioni elettromeccaniche di nuova installazione, con particolare riferimento ai sistemi di diffusori a bolle fini e alle soffianti volumetriche, sono stati dimensionati in maniera da soddisfare le esigenze nel periodo più gravoso, derivanti dalle verifiche effettuate per le singole linee in condizioni di carico massimo riportati nel paragrafo 4.2.6. I valori relativi alle condizioni medie di carico sono riportati quindi esclusivamente a scopo di verifica e per valutare le effettive condizioni medie di funzionamento attese. Va osservato al riguardo che, in uno schema di processo ad aerazione intermittente, la capacità massima di ossigenazione richiesta è influenzata, oltre che dai carichi inquinanti in ingresso e dalla solubilità dell'ossigeno in acqua (inversamente proporzionale alla temperatura), dall'effettiva entità della frazione di tempo prevista in condizioni anossiche, a sua volta influenzata dalle diverse condizioni operative. Infatti, se da un lato il prolungamento delle fasi anossiche reso possibile dal *controller* ad aerazione intermittente consente di massimizzare l'efficienza depurativa e il risparmio energetico, dall'altro richiede di poter soddisfare l'intero fabbisogno di ossigeno necessario al completamento delle reazioni di ossidazione della sostanza organica e dell'ammoniaca in un tempo inferiore, aumentando di fatto la capacità di ossigenazione di punta richiesta ai sistemi di aerazione. È proprio per questo motivo che spesso non si osservano, per sistemi gestiti ad aerazione intermittente, elevate differenze in termini di SOTR di punta richiesto negli scenari a medio e ad alto carico: di fatto, nel periodo a medio carico il fabbisogno di ossigeno del sistema, sebbene più basso, deve essere soddisfatto in un tempo di

aerazione anche di molto inferiore rispetto allo scenario di alto carico, in cui invece si riduce la frazione anossica e si allungano i tempi di aerazione.

4.2.5.1 Linee A e B

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate nei diversi scenari stagionali di medio carico per le linee A e B sono riepilogati in Tabella 20.

Tabella 20: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico negli scenari di medio carico - LINEE A e B

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Condizioni operative</u>				
Frazione di portata trattata	-		27.5%	
Portata media di tempo secco Q_m	m³/h	276	256	237
Temperatura di progetto	°C	12	17	23
Concentrazione di COD in ingresso	mgCOD/L	649	572	549
Concentrazione di SST in ingresso	mgSST/L	65.9	62.1	60.2
Concentrazione di azoto totale in ingresso	mgN/L	489	402	385
Concentrazione di fosforo totale in ingresso	mgP/L	10.4	9.4	9.1
Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate	mgO ₂ /L		2.0	
Concentrazione di SST nel comparto biologico (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m³	5.3	4.5	4.5
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi di progetto	m³/h	276	256	237
Portata massima di ricircolo dei fanghi ²	m³/h		380	
Rapporto di ricircolo dei fanghi massimo riferito a Q_m	-	1.37	1.48	1.60
Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero	kgSST/m³	10.6	9.0	9.0
<u>Risultati delle verifiche di dimensionamento</u>				
Volume utile totale	m³		4505	
Età del fango (SRT)	d	17.4	21.4	25.0
Frazione volatile attesa (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Frazione anossica (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	53%	58%	59%
Produzione attesa di fanghi di supero biologico	kgSST/d	1318	861	720
Produzione attesa di fanghi chimici (precipitati da defosfatazione, cfr. par. 4.4.2.1)	kgSST/d	58	88	87
Portata volumetrica di fanghi di supero	m³/d	129.2	105.0	90.0

² La portata di ricircolo è monitorata dai misuratori 300-FIT-101 e 300-FIT-102. Il rapporto di ricircolo può quindi essere regolato mediante temporizzazione del funzionamento delle pompe di ricircolo 300-PS-101-A/R e 300-PS-201-A/R.

Caratteristiche attese dell'effluente (a valle della filtrazione terziaria a dischi)

Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L		<5	
Sostanza organica come COD	mgCOD/L		<30	
Solidi sospesi totali SST	mgSST/L		<10	
Azoto totale	mgN/L	9.4	6.8	6.5
Fosforo totale (con defosfatazione chimica, cfr. par. 4.4.2.1)	mgP/L		<1.0	
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale	-	86%	89%	89%
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale (media annua)	-		88%	

Dimensionamento del sistema di aerazione

Battente in vasca	m		6.50	
Temperatura massima di riferimento	°C	16	22	28
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	3515	3265	2967
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) <u>da soddisfare nelle fasi aerate</u>	kgO ₂ /h	311	325	298
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot \alpha$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-		0.60	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P ³	mgO ₂ /L	13.0	11.7	10.5
Fattore riduttivo β della concentrazione di saturazione dell'O ₂ per tener conto della salinità dell'acqua	-		0.98	
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	480	498	449
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" installati	-		1512	
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ⁴	-		37.8%	
Portata d'aria massima richiesta	Nm ³ /h	4224	4388	3954
Numero di soffianti previste a servizio di ogni linea	-		2	
Portata d'aria massima unitaria	Nm ³ /h		2500	
Pressione differenziale	mbar		700	

L'alimentazione del liquame pre-trattato dal nuovo ripartitore alle linee A e B avviene attraverso una nuova tubazione De800. Il liquame viene ripartito ai due reattori biologici ad aerazione intermittente da un pozzetto di distribuzione, attraverso due luci di fondo presidiate da paratoie manuali (200-SG-101 e 200-SG-201). Al pozzetto di distribuzione sono alimentati anche i flussi di fango di ricircolo provenienti dai due nuovi sedimentatori secondari, attraverso due tubazioni

³ Determinato considerando la pressione idrostatica media sui diffusori, assumendo un'altezza di installazione dei diffusori rispetto al fondo vasca pari a 0.25 m.

⁴ SOTE ottenibile con l'impiego di diffusori a disco a bolle fini nelle condizioni di installazione previste.

DN300, sul cui tratto terminale verticale fuori terra sono montati i due misuratori elettromagnetici di portata 300-FIT-101 e 300-FIT-201.

I due reattori sono caratterizzati da dimensioni utili $L \times B \times H = 35.00 \times 19.80 \times 6.50$ m, per un volume unitario di 4505 m^3 . Il fango fuoriesce dai due reattori attraverso due soglie di sfioro, passando alle canalette di raccolta che lo convogliano ai pozzetti di alimentazione ai due bacini di sedimentazione secondaria. I due pozzetti possono essere messi in comunicazione idraulica agendo sulla paratoia 200-SG-103 posta a presidio di una luce di fondo, mentre l'alimentazione del fango a ciascuno dei due sedimentatori può essere esclusa mediante le paratoie 200-SG-102 e 200-SG-202. Questi accorgimenti consentono di isolare idraulicamente in maniera indipendente ciascuno dei due reattori biologici e ciascuno dei due nuovi sedimentatori, permettendo, con le opportune limitazioni sulla portata massima trattabile, di mantenere in funzione entrambe le linee di sedimentazione secondaria in caso di fuori servizio di uno dei due reattori biologici e, analogamente, di mantenere in esercizio entrambi i reattori biologici in caso di fuori servizio di una linea di sedimentazione secondaria. Risultano quindi semplificate le operazioni periodiche di manutenzione e ridotti i relativi tempi di fuori servizio dei vari comparti di trattamento.

La dotazione elettromeccanica e strumentale prevista a servizio delle due linee soddisfa le esigenze processistiche di progetto e consente l'implementazione della logica di nitrificazione-denitrificazione ad aerazione intermittente. Si tratta in particolare di:

- due soffianti volumetriche a lobi a servizio di ciascuna linea (200-CR-101-A/B e 200-CR-201-A/B) di potenza nominale unitaria pari a 90.00 kW , operanti sotto inverter e in grado di fornire una portata d'aria massima unitaria di $2500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ alla pressione differenziale di 700 mbar . Tali macchine sono alloggiare all'interno del locale soffianti di nuova realizzazione, unitamente a quelle a servizio della linea C e della nuova stabilizzazione aerobica.
Il numero di soffianti attive e la frequenza di funzionamento durante le fasi aerate è regolata dal sistema di automazione con l'obiettivo di mantenere un set-point dinamico di concentrazione di ossigeno disciolto in vasca, rilevato dai sensori 200-OIT-101 e 200-OT-201;
- installazione di reti di diffusori a disco a bolle fini da $9''$ per l'insufflazione dell'aria nei reattori. La configurazione del sistema prevede l'installazione di 756 diffusori per ogni reattore.
- installazione, in ciascuno dei due reattori, di una sonda multiparametrica per il monitoraggio in tempo reale della concentrazione di ammoniaca, del pH e della temperatura (200-NH4IT-101, 200-pHIT-101, 200-TIT-101 e 200-NH4IT-201, 200-pHIT-201, 200-TIT-201). Tali parametri sono impiegati nelle logiche di controllo del sistema ad aerazione intermittente;
- installazione, in ciascuno dei due reattori, di un sensore ottico per la misura della concentrazione di solidi sospesi totali nel fango attivo (200-CIT-101 e 200-CIT-201). Tali misure forniscono un utile supporto in fase di gestione per regolare l'estrazione dei fanghi di supero,

oltre a permettere di monitorare, unitamente alla portata di refluo trattata dalla linea e alla portata di ricircolo, il flusso solido applicato ai sedimentatori secondari.

Il mantenimento in sospensione della biomassa durante le fasi anossiche di denitrificazione avverrà secondo una logica ad aerazione pulsata, con brevi periodi di accensione delle soffianti di durata e frequenza impostabili da utente.

4.2.5.2 Linea C

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate nei diversi scenari stagionali di medio carico per la linea C sono riepilogati in Tabella 21.

Tabella 21: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico negli scenari di medio carico - LINEA C

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Condizioni operative</u>				
Frazione di portata trattata	-		27.5%	
Portata media di tempo secco Q_m	m³/h	276	256	237
Temperatura di progetto	°C	12	17	23
Concentrazione di COD in ingresso	mgCOD/L	649	572	549
Concentrazione di SST in ingresso	mgSST/L	65.9	62.1	60.2
Concentrazione di azoto totale in ingresso	mgN/L	489	402	385
Concentrazione di fosforo totale in ingresso	mgP/L	10.4	9.4	9.1
Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate	mgO ₂ /L		2.0	
Concentrazione di SST nel comparto biologico (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m³	5.3	4.5	4.5
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi di progetto	m³/h	276	256	237
Portata massima di ricircolo dei fanghi ⁵	m³/h		380	
Rapporto di ricircolo dei fanghi massimo riferito a Q_m	-	1.37	1.48	1.60
Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero	kgSST/m³	10.6	9.0	9.0
<u>Risultati delle verifiche di dimensionamento</u>				
Volume utile totale	m³		4225	
Volume utile di pre-denitrificazione (costantemente in condizioni anossiche)	m³		1270	
Volume utile comparto ad aerazione intermittente	m³		2955	
Età del fango (SRT)	d	16.0	19.7	23.1

⁵ Il rapporto di ricircolo può quindi essere regolato mediante temporizzazione del funzionamento delle pompe di ricircolo 300-PS-301-A/R.

Frazione volatile attesa (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Frazione di volume biologico mantenuta permanentemente in condizioni anossiche	-		30%	
Frazione anossica nel reattore ad aerazione intermittente (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	30%	36%	38%
Portata richiesta di ricircolo della miscela aerata	m ³ /h	1000	990	990
Produzione attesa di fanghi di supero biologico	kgSST/d	1345	881	733
Produzione attesa di fanghi chimici (precipitati da defosfatazione, cfr. par. 4.4.2.1)	kgSST/d	54	85	84
Portata volumetrica di fanghi di supero	m ³ /d	129.2	107.4	91.6

Caratteristiche attese dell'effluente (a valle della filtrazione terziaria a dischi)

Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L		<5	
Sostanza organica come COD	mgCOD/L		<30	
Solidi sospesi totali SST	mgSST/L		<10	
Azoto totale	mgN/L	10.3	7.6	6.9
Fosforo totale (con defosfatazione chimica, cfr. par. 4.4.2.2)	mgP/L		<1.0	
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale	-	84%	88%	89%
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale (media annua)	-		87%	

Dimensionamento del sistema di aerazione

Battente nel reattore ad aerazione intermittente	m		5.00	
Temperatura massima di riferimento	°C	16	22	28
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	3489	3252	2956
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) <u>da soddisfare nelle fasi aerate</u>	kgO ₂ /h	206	213	200
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-		0.60	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P ⁶	mgO ₂ /L	12.3	11.0	9.9
Fattore riduttivo β della concentrazione di saturazione dell'O ₂ per tener conto della salinità dell'acqua	-		0.98	
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	341	351	323
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" installati (reti esistenti con sostituzione membrane e ghiere di fissaggio)	-		1585	
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ⁷	-		29.5%	
Portata d'aria massima richiesta	Nm ³ /h	3847	3956	3643
Numero di soffianti previste a servizio della linea	-		2	

⁶ Determinato considerando la pressione idrostatica media sui diffusori, assumendo un'altezza di installazione dei diffusori rispetto al fondo vasca pari a 0.25 m.

⁷ SOTE ottenibile con l'impiego di diffusori a disco a bolle fini nelle condizioni di installazione previste.

Portata d'aria massima unitaria	Nm³/h	2100
Pressione differenziale	mbar	560

L'alimentazione del liquame pre-trattato dal nuovo ripartitore alla sezione di pre-denitrificazione della linea C avviene attraverso una nuova tubazione De800. Il liquame viene ripartito alle due vasche in parallelo attraverso le luci esistenti. I reattori hanno dimensioni utili LxBxH=25.15x7.65x3.30 m, per un volume unitario di 635 m³, e la biomassa viene mantenuta in sospensione ad opera dei quattro miscelatori sommersi esistenti (200-MX-301-A/B/C/D). Il fango fuoriesce dal primo reattore sfiorando nella canaletta esistente, su cui viene applicata una lama in acciaio inox AISI304 per aumentare il battente in vasca a 3.30 m. Nel secondo reattore viene invece installata una nuova canaletta terminale di sfioro e raccolta in lamiera di acciaio inox AISI304, posizionata anche in questo caso in maniera da mantenere un battente di 3.30 m. Le due canalette recapitano poi il fango in un pozzetto di nuova realizzazione, da cui trae origine il nuovo collettore De630 di alimentazione del reattore ad aerazione intermittente. Viene dismesso l'attuale secondo comparto di pre-denitrificazione, che presenta criticità dal punto di vista strutturale, prevedendo la chiusura dei collegamenti esistenti con il primo comparto mantenuto in funzione.

Al pozzetto di distribuzione alla pre-denitrificazione è alimentato anche il flusso di fango di ricircolo provenienti dal sedimentatore secondario (pompe 300-PS-301-A/R di nuova installazione in sostituzione delle pompe esistenti), attraverso una tubazione DN300, di cui viene sostituito il tratto terminale fuori terra su cui è montato il misuratore elettromagnetico di portata 300-FIT-301.

Il comparto ad aerazione intermittente è costituito da due reattori in serie di identiche dimensioni (LxBxH=30.00x9.85x5.00 m), per un volume unitario di 1478 m³, in comunicazione tra loro mediante una luce in parete. Il fango fuoriesce dal secondo reattore attraverso una soglia di sfioro, sulla quale viene applicata una nuova lama in acciaio inox AISI304 per aumentare il battente in vasca a 5.00 m. Mediante una canaletta di raccolta viene quindi convogliato al pozzetto di alimentazione al sedimentatore secondario.

La dotazione elettromeccanica e strumentale a servizio della linea soddisfa le esigenze processistiche di progetto e consente l'implementazione della logica di nitrificazione-denitrificazione ad aerazione intermittente. Si tratta in particolare di:

- due nuove soffianti volumetriche a lobi (200-CR-301-A/B), in sostituzione delle tre macchine esistenti, di potenza nominale unitaria pari a 75.00 kW, operanti sotto inverter e in grado di fornire una portata d'aria massima unitaria di 2100 Nm³/h alla pressione differenziale di 560 mbar. Tali macchine sono alloggiare all'interno del locale soffianti di nuova realizzazione, unitamente a quelle a servizio della linee A e B e della nuova stabilizzazione aerobica.

Il numero di soffianti attive e la frequenza di funzionamento durante le fasi aerate è regolata dal sistema di automazione con l'obiettivo di mantenere un set-point dinamico di concentrazione di ossigeno disciolto in vasca, rilevato dal sensore 200-OIT-301;

- mantenimento delle reti di diffusori a disco a bolle fini da 9" esistenti per l'insufflazione dell'aria nei reattori, complessivamente costituite da 1585 diffusori e risultate adeguate alle esigenze di processo. Il progetto prevede quindi la sola sostituzione delle membrane dei diffusori e delle relative ghiera di fissaggio;
- sostituzione delle pompe di ricircolo della miscela aerata con le due nuove pompe 200-PS-301-A/B, di potenza nominale unitaria pari a 9.00 kW e in grado di sollevare una portata di 500 m³/h alla prevalenza di 4.50 m, e rifacimento del relativo piping di mandata al comparto di pre-denitrificazione;
- installazione di una sonda multiparametrica per il monitoraggio in tempo reale della concentrazione di ammoniaca, del pH e della temperatura (200-NH4IT-301, 200-pHIT-301, 200-TIT-301). Tali parametri sono impiegati nelle logiche di controllo del sistema ad aerazione intermittente;
- installazione di un sensore ottico per la misura della concentrazione di solidi sospesi totali nel fango attivo (200-CIT-301), utile supporto in fase di gestione per regolare l'estrazione dei fanghi di supero, oltre a permettere di monitorare, unitamente alla portata di refluo trattata dalla linea e alla portata di ricircolo, il flusso solido applicato ai sedimentatori secondari.

Come già visto per le linee A e B, il mantenimento in sospensione della biomassa durante le fasi anossiche di denitrificazione nei reattori ad aerazione intermittente avverrà secondo una logica ad aerazione pulsata, con brevi periodi di accensione delle soffianti di durata e frequenza impostabili da utente.

4.2.5.3 Linea D

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate nei diversi scenari stagionali di medio carico per la linea D sono riepilogati in Tabella 22.

Tabella 22: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico negli scenari di medio carico - LINEA D

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Condizioni operative</u>				
Frazione di portata trattata	-		17.5%	
Portata media di tempo secco Q_m	m³/h	176	163	151

Temperatura di progetto	°C	12	17	23
Concentrazione di COD in ingresso	mgCOD/L	649	572	549
Concentrazione di SST in ingresso	mgSST/L	65.9	62.1	60.2
Concentrazione di azoto totale in ingresso	mgN/L	489	402	385
Concentrazione di fosforo totale in ingresso	mgP/L	10.4	9.4	9.1
Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate	mgO ₂ /L		2.0	
Concentrazione di SST nel comparto biologico (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m³	5.3	4.5	4.5
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q _m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi di progetto	m ³ /h	176	163	151
Portata massima di ricircolo dei fanghi ⁸	m ³ /h		250	
Rapporto di ricircolo dei fanghi massimo riferito a Q _m	-	1.42	1.53	1.66
Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero	kgSST/m ³	10.6	9.0	9.0

Risultati delle verifiche di dimensionamento

Volume utile totale	m³		2883	
Volume utile di pre-denitrificazione (costantemente in condizioni anossiche)	m³		746	
Volume utile comparto ad aerazione intermittente	m³		2137	
Età del fango (SRT)	d	17.6	21.6	25.2
Frazione volatile attesa (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Frazione di volume biologico mantenuta permanentemente in condizioni anossiche	-		26%	
Frazione anossica nel reattore ad aerazione intermittente (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	33%	39%	44%
Portata richiesta di ricircolo della miscela aerata	m ³ /h	457	522	634
Produzione attesa di fanghi di supero biologico	kgSST/d	837	547	457
Produzione attesa di fanghi chimici (precipitati da defosfatazione, cfr. par. 4.4.2.3)	kgSST/d	37	56	55
Portata volumetrica di fanghi di supero	m ³ /d	82.1	66.7	57.2

Caratteristiche attese dell'effluente (a valle della filtrazione terziaria a dischi)

Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD₅/L		<5	
Sostanza organica come COD	mgCOD/L		<30	
Solidi sospesi totali SST	mgSST/L		<10	
Azoto totale	mgN/L	9.8	7.6	6.2
Fosforo totale (con defosfatazione chimica, cfr. par. 4.4.2.1)	mgP/L		<1.0	
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale	-	85%	88%	90%
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale (media annua)	-		88%	

⁸ La portata di ricircolo è monitorata dai misuratori 300-FIT-401-A/B. Il rapporto di ricircolo può quindi essere regolato mediante temporizzazione del funzionamento delle pompe di ricircolo 300-PS-401-A/B.

Dimensionamento del sistema di aerazione

Battente nel reattore ad aerazione intermittente	m		4.55	
Temperatura massima di riferimento	°C	16	22	28
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	2264	2090	1887
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) <u>da soddisfare nelle fasi aerate</u>	kgO ₂ /h	140	143	141
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-		0.60	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P ⁹	mgO ₂ /L	12.1	10.8	9.8
Fattore riduttivo β della concentrazione di saturazione dell'O ₂ per tener conto della salinità dell'acqua	-		0.98	
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	236	241	233
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" installati	-		696	
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ¹⁰	-		28%	
Portata d'aria massima richiesta	Nm ³ /h	2805	2861	2774
Numero di soffianti previste a servizio della linea	-		2	
Portata d'aria massima unitaria	Nm ³ /h		1500	
Pressione differenziale	mbar		520	

L'alimentazione del liquame pre-trattato dal nuovo ripartitore alla sezione di pre-denitrificazione della linea D avviene attraverso una nuova tubazione De450. Il reattore ha dimensioni utili LxBxH=28.70x10.00x2.60 m, per un volume unitario di 746 m³, e la biomassa viene mantenuta in sospensione ad opera dei due miscelatori sommersi esistenti (200-MX-401-A/B). Il fango fuoriesce dal reattore sfiorando in una nuova canaletta terminale di raccolta in lamiera di acciaio inox AISI304, posizionata in maniera da mantenere un battente di 2.60 m in sostituzione delle due canalette esistenti. Il passaggio del fango dalla nuova canaletta al comparto ad aerazione intermittente viene attraverso una luce di passaggio creata mediante una demolizione localizzata, allargando le luci esistenti.

In testa alla pre-denitrificazione sono alimentati anche i flussi di fango sedimentato provenienti dalle pompe di ricircolo esistenti (300-PS-401-A/B, mantenute in esercizio), attraverso due tubazioni DN150, di cui vengono sostituiti i tratti iniziali fuori terra montandovi i misuratori elettromagnetici di portata 300-FIT-401-A/B.

⁹ Determinato considerando la pressione idrostatica media sui diffusori, assumendo un'altezza di installazione dei diffusori rispetto al fondo vasca pari a 0.25 m.

¹⁰ SOTE ottenibile con l'impiego di diffusori a disco a bolle fini nelle condizioni di installazione previste.

Il comparto ad aerazione intermittente è costituito da tre reattori in serie, di dimensioni rispettivamente pari a LxBxH=11.00x8.00x4.55 m, 18.80x8.00x4.55 m e 28.90x8.00x4.55 m, per un volume complessivo di 2137 m³, comunicanti mediante luci di fondo. Il fango fuoriesce dal terzo reattore attraverso una soglia di sfioro, dalla quale passa al pozzetto di alimentazione al sedimentatore secondario.

La dotazione elettromeccanica e strumentale a servizio della linea soddisfa le esigenze processistiche di progetto e consente l'implementazione della logica di nitrificazione-denitrificazione ad aerazione intermittente. Si tratta in particolare di:

- due nuove soffianti volumetriche a lobi (200-CR-401-A/B), in sostituzione delle tre macchine esistenti, di potenza nominale unitaria pari a 45.00 kW, operanti sotto inverter e in grado di fornire una portata d'aria massima unitaria di 1500 Nm³/h alla pressione differenziale di 520 mbar. Tali macchine sono alloggiate all'interno del locale soffianti esistente, previa rimozione delle macchine esistenti e nuova compartimentazione del locale per realizzare il vano quadri elettrici a servizio delle linee.

Il numero di soffianti attive e la frequenza di funzionamento durante le fasi aerate è regolata dal sistema di automazione con l'obiettivo di mantenere un set-point dinamico di concentrazione di ossigeno disciolto in vasca, rilevato dal sensore 200-OIT-401;

- rimozione delle reti di diffusori esistenti ed installazione di nuove reti di diffusori a disco a bolle fini da 9" per l'insufflazione dell'aria nei reattori. Si tratta di tre reti rispettivamente da 168, 222 e 306 unità, per un totale di 696 diffusori;
- installazione, nella parte terminale del terzo reattore ad aerazione intermittente, di due nuove pompe di ricircolo della miscelata aerata (200-PS-401-A/B), di potenza nominale unitaria pari a 9.00 kW e in grado di sollevare una portata di 320 m³/h alla prevalenza di 4.50 m, e realizzazione del relativo piping di mandata in testa al reattore di pre-denitrificazione;
- installazione di una sonda multiparametrica per il monitoraggio in tempo reale della concentrazione di ammoniaca, del pH e della temperatura (200-NH4IT-401, 200-pHIT-401, 200-TIT-401). Tali parametri sono impiegati nelle logiche di controllo del sistema ad aerazione intermittente;
- installazione di un sensore ottico per la misura della concentrazione di solidi sospesi totali nel fango attivo (200-CIT-401), utile supporto in fase di gestione per regolare l'estrazione dei fanghi di supero, oltre a permettere di monitorare, unitamente alla portata di refluo trattata dalla linea e alla portata di ricircolo, il flusso solido applicato ai sedimentatori secondari.

Come già visto per le altre linee biologiche, il mantenimento in sospensione della biomassa durante le fasi anossiche di denitrificazione nei reattori ad aerazione intermittente avverrà secondo

una logica ad aerazione pulsata, con brevi periodi di accensione delle soffianti di durata e frequenza impostabili da utente.

4.2.5.4 Caratteristiche attese dell'effluente dall'impianto

Le simulazioni in condizioni di carico medio, condotte separatamente per le quattro linee di trattamento secondario, hanno permesso di determinare le condizioni operative e le prestazioni depurative di ciascuna linea. Effettuando delle opportune medie ponderate, è possibile stimare le caratteristiche medie attese dell'effluente dall'intero impianto sia nei tre periodi stagionali considerati che nell'intero anno. I risultati ottenuti, riepilogati in Tabella 23, permettono di concludere che le prestazioni depurative attese consentono di rispettare, con buoni margini di sicurezza, i limiti allo scarico imposti, con particolare riguardo a quello particolarmente restrittivo di 10 mg/L come media annua sull'azoto totale. Si evidenzia inoltre come il limite di 10 mg/L sull'azoto totale sia rispettato non solo su base media annua, ma anche nel periodo invernale più gravoso.

Tabella 23: Caratteristiche attese dell'effluente medio ponderato dall'intero impianto nei tre periodi stagionali considerati e su base annua

Parametro	u.m.	Valore			
		I-MC	II-MC	III-MC	INTERO ANNO
Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L		<5		<5
Sostanza organica come COD	mgCOD/L		<30		<30
Solidi sospesi totali SST	mgSST/L		<10		<10
Azoto totale	mgN/L	9.7	7.2	6.6	7.7
Fosforo totale	mgP/L		<1.0		<1.0
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale	-	85%	88%	89%	88%

4.2.6 Risultati delle verifiche di funzionamento in condizioni di alto carico

Nei paragrafi seguenti sono riassunti in forma tabellare i risultati delle verifiche di funzionamento delle quattro linee di trattamento biologico negli scenari di alto carico, corrispondenti a concentrazioni di inquinanti in ingresso all'impianto pari all'85° percentile dei valori desunti in sede di analisi dei dati (si veda il paragrafo 2.7).

Le simulazioni di processo condotte in questi scenari hanno permesso di verificare l'adeguatezza delle dotazioni elettromeccaniche a servizio di ciascuna linea facendo riferimento alle condizioni più gravose di esercizio. Ciò vale in particolare per i sistemi di aerazione (soffianti e reti di diffusori) e, nel caso delle linee C e D in configurazione "ibrida", delle pompe di ricircolo della miscela aerata dal comparto ad aerazione intermittente a quello di pre-denitrificazione.

4.2.6.1 Linee A e B

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate nei diversi scenari stagionali di alto carico per le linee A e B sono riepilogati in Tabella 24.

Tabella 24: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico negli scenari di alto carico - LINEE A e B

Parametro	u.m.	Valore		
		I-AC	II-AC	III-AC
<u>Condizioni operative</u>				
Frazione di portata trattata	-		27.5%	
Portata media di tempo secco Q_m	m³/h	276	256	237
Temperatura di progetto	°C	12	17	23
Concentrazione di COD in ingresso	mgCOD/L	910	755	574
Concentrazione di SST in ingresso	mgSST/L	77.4	74.3	71.0
Concentrazione di azoto totale in ingresso	mgN/L	711	551	471
Concentrazione di fosforo totale in ingresso	mgP/L	14.4	13.6	10.6
Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate	mgO ₂ /L		2.0	
Concentrazione di SST nel comparto biologico (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m³	5.3	4.5	4.5
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi di progetto	m³/h	276	256	237
Portata massima di ricircolo dei fanghi	m³/h		380	
Rapporto di ricircolo dei fanghi massimo riferito a Q_m	-	1.37	1.48	1.60
Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero	kgSST/m³	10.6	9.0	9.0
<u>Risultati delle verifiche di dimensionamento</u>				
Volume utile totale	m³		4505	
Età del fango (SRT)	d	11.4	14.6	22.9
Frazione volatile attesa (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Frazione anossica (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	39%	51%	50%
<u>Caratteristiche attese dell'effluente (a valle della filtrazione terziaria a dischi)</u>				
Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L		<5	
Sostanza organica come COD	mgCOD/L		<30	
Solidi sospesi totali SST	mgSST/L		<10	
Azoto totale	mgN/L	11.2	7.8	7.4
Fosforo totale (con defosfatazione chimica)	mgP/L		<1.0	
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale	-	85%	90%	90%
<u>Dimensionamento del sistema di aerazione</u>				
Battente in vasca	m		6.50	

Temperatura massima di riferimento	°C	16	22	28
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	4457	4045	3170
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) <u>da soddisfare nelle fasi aerate</u>	kgO ₂ /h	305	343	265
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-		0.60	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P ¹¹	mgO ₂ /L	13.0	11.7	10.5
Fattore riduttivo β della concentrazione di saturazione dell'O ₂ per tener conto della salinità dell'acqua	-		0.98	
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	471	526	399
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" installati	-		1512	
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ¹²	-		37.8%	
Portata d'aria massima richiesta	Nm ³ /h	4143	4630	3512
Numero di soffianti previste a servizio di ogni linea	-		2	
Portata d'aria massima unitaria	Nm ³ /h		2500	
Pressione differenziale	mbar		700	

4.2.6.2 Linea C

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate nei diversi scenari stagionali di alto carico per la linea C sono riepilogati in Tabella 25.

Tabella 25: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico negli scenari di alto carico - LINEA C

Parametro	u.m.	Valore		
		I-AC	II-AC	III-AC
<u>Condizioni operative</u>				
Frazione di portata trattata	-		27.5%	
Portata media di tempo secco Q_m	m³/h	276	256	237
Temperatura di progetto	°C	12	17	23
Concentrazione di COD in ingresso	mgCOD/L	910	755	574
Concentrazione di SST in ingresso	mgSST/L	77.4	74.3	71.0
Concentrazione di azoto totale in ingresso	mgN/L	711	551	471

¹¹ Determinato considerando la pressione idrostatica media sui diffusori, assumendo un'altezza di installazione dei diffusori rispetto al fondo vasca pari a 0.25 m.

¹² SOTE ottenibile con l'impiego di diffusori a disco a bolle fini nelle condizioni di installazione previste.

Concentrazione di fosforo totale in ingresso	mgP/L	14.4	123.6	10.6
Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate	mgO ₂ /L		2.0	
Concentrazione di SST nel comparto biologico (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m ³	5.3	4.5	4.5
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q _m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi di progetto	m ³ /h	276	256	237
Portata massima di ricircolo dei fanghi	m ³ /h		380	
Rapporto di ricircolo dei fanghi massimo riferito a Q _m	-	1.37	1.48	1.60
Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero	kgSST/m ³	10.6	9.0	9.0

Risultati delle verifiche di dimensionamento

Volume utile totale	m ³		4225	
Volume utile di pre-denitrificazione (costantemente in condizioni anossiche)	m ³		1270	
Volume utile comparto ad aerazione intermittente	m ³		2955	
Età del fango (SRT)	d	10.5	13.4	21.1
Frazione volatile attesa (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Frazione di volume biologico mantenuta permanentemente in condizioni anossiche	-		30%	
Frazione anossica nel reattore ad aerazione intermittente (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	6%	23%	24%
Portata richiesta di ricircolo della miscela aerata	m ³ /h	985	990	985

Caratteristiche attese dell'effluente (a valle della filtrazione terziaria a dischi)

Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L		<5	
Sostanza organica come COD	mgCOD/L		<30	
Solidi sospesi totali SST	mgSST/L		<10	
Azoto totale	mgN/L	11.9	8.3	8.0
Fosforo totale (con defosfatazione chimica)	mgP/L		<1.0	
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale	-	83%	87%	87%

Dimensionamento del sistema di aerazione

Battente nel reattore ad aerazione intermittente	m		5.00	
Temperatura massima di riferimento	°C	16	22	28
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	4451	4031	3176
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) da soddisfare nelle fasi aerate	kgO ₂ /h	206	219	174
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento K _L a rispetto alle condizioni di acqua pulita	-		0.60	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P	mgO ₂ /L	12.3	11.0	9.9
Fattore riduttivo β della concentrazione di saturazione dell'O ₂ per tener conto della salinità dell'acqua	-		0.98	

Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	340	360	281
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" installati (reti esistenti con sostituzione membrane e ghiere di fissaggio)	-		1585	
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE)	-		29.5%	
Portata d'aria massima richiesta	Nm ³ /h	3831	4066	3169
Numero di soffianti previste a servizio della linea	-		2	
Portata d'aria massima unitaria	Nm ³ /h		2100	
Pressione differenziale	mbar		560	

4.2.6.3 Linea D

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate nei diversi scenari stagionali di alto carico per la linea D sono riepilogati in Tabella 26.

Tabella 26: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico negli scenari di alto carico - LINEA D

Parametro	u.m.	Valore		
		I-AC	II-AC	III-AC
<u>Condizioni operative</u>				
Frazione di portata trattata	-		17.5%	
Portata media di tempo secco Q_m	m ³ /h	176	163	151
Temperatura di progetto	°C	12	17	23
Concentrazione di COD in ingresso	mgCOD/L	910	755	574
Concentrazione di SST in ingresso	mgSST/L	77.4	74.3	71.0
Concentrazione di azoto totale in ingresso	mgN/L	711	551	471
Concentrazione di fosforo totale in ingresso	mgP/L	14.4	123.6	10.6
Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate	mgO ₂ /L		2.0	
Concentrazione di SST nel comparto biologico (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m ³	5.3	4.5	4.5
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi di progetto	m ³ /h	176	163	151
Portata massima di ricircolo dei fanghi	m ³ /h		250	
Rapporto di ricircolo dei fanghi massimo riferito a Q_m	-	1.42	1.53	1.66
Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero	kgSST/m ³	10.6	9.0	9.0
<u>Risultati delle verifiche di dimensionamento</u>				
Volume utile totale	m ³		2883	
Volume utile di pre-denitrificazione (costantemente in condizioni anossiche)	m ³		746	

Volume utile comparto ad aerazione intermittente	m ³		2137	
Età del fango (SRT)	d	11.5	14.8	23.1
Frazione volatile attesa (tenendo conto dei precipitati da defosfatazione chimica)	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Frazione di volume biologico mantenuta permanentemente in condizioni anossiche	-		26%	
Frazione anossica nel reattore ad aerazione intermittente (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	15%	27%	31%
Portata richiesta di ricircolo della miscela aerata	m ³ /h	633	530	635

Caratteristiche attese dell'effluente (a valle della filtrazione terziaria a dischi)

Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L		<5	
Sostanza organica come COD	mgCOD/L		<30	
Solidi sospesi totali SST	mgSST/L		<10	
Azoto totale	mgN/L	11.6	9.5	8.0
Fosforo totale (con defosfatazione chimica)	mgP/L		<1.0	
Efficienza di abbattimento dell'azoto totale	-	85%	87%	89%

Dimensionamento del sistema di aerazione

Battente nel reattore ad aerazione intermittente	m		4.55	
Temperatura massima di riferimento	°C	16	22	28
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	2867	2599	2024
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) <u>da soddisfare nelle fasi aerate</u>	kgO ₂ /h	141	149	122
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-		0.60	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P	mgO ₂ /L	12.1	10.8	9.8
Fattore riduttivo β della concentrazione di saturazione dell'O ₂ per tener conto della salinità dell'acqua	-		0.98	
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	238	250	202
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" installati	-		696	
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE)	-		28%	
Portata d'aria massima richiesta	Nm ³ /h	2825	2968	2561
Numero di soffianti previste a servizio della linea	-		2	
Portata d'aria massima unitaria	Nm ³ /h		1500	
Pressione differenziale	mbar		520	

4.3 SEDIMENTAZIONE SECONDARIA

4.3.1 Criteri di dimensionamento e verifica

Le verifiche di dimensionamento dei comparti di sedimentazione sono finalizzate ad accertare che i valori dei principali parametri operativi (flusso solido FS , carico idraulico superficiale C_i , tempo di residenza idraulica HRT , carico allo sfioro CS) risultino compresi all'interno dei *range* utilizzati come riferimento nella pratica progettuale per applicazioni analoghe, suggeriti dai più importanti manuali tecnici nazionali ed internazionali di settore (*inter alia* Metcalf & Eddy, 2014; Riva e Guadagni, 2011; Bonomo, 2008; Masotti, 1987).

Il carico idraulico (o velocità di risalita) applicato alla superficie utile di sedimentazione A_{sed} viene calcolato con riferimento alla sola aliquota di liquame in ingresso Q (flusso di ricircolo escluso) secondo l'equazione

$$C_i = \frac{Q}{A_{sed}} \quad \text{Equazione 3}$$

Il flusso solido FS corrisponde al carico di SST applicato per unità di superficie utile del sedimentatore, secondo la relazione

$$FS = \frac{M(SST)}{A_{sed}} = \frac{Q_{in, sed} \cdot x_b}{A_{sed}} = \frac{(Q + Q_{ric}) \cdot x_b}{A_{sed}} \quad \text{Equazione 4}$$

in cui:

- $M(SST)$ (kgSST/h) rappresenta la portata massica di SST in ingresso alla vasca di sedimentazione;
- x_b (kgSST/m³) rappresenta la concentrazione di solidi sospesi nel reattore biologico;
- $Q_{in, sed}$ (m³/h) rappresenta la portata di fango in ingresso al sedimentatore, somma della portata di liquame Q e di quella di ricircolo dei fanghi Q_{ric} .

Per quanto riguarda il carico idraulico applicato si possono considerare accettabili valori inferiori a 0.6 m³/m²/h con riferimento alla portata media e a 1.2 m³/m²/h con riferimento alla portata massima in tempo pioggia.

Per quanto concerne il flusso solido FS occorre verificare il rispetto del cosiddetto flusso solido limite (FS_L), che, per il tipo di impianto in esame, può essere assunto pari a 6 kgSST/m²/h con riferimento alla portata media e a 9 kgSST/m²/h con riferimento alla portata massima.

Il valore minimo di riferimento per il tempo di residenza idraulica HRT (valutato come rapporto della sola portata massima di liquame rispetto al volume disponibile, non considerando il flusso ricircolo) può infine essere assunto pari a 3 ore, mentre il carico allo sfioro C_s (rapporto tra portata di liquame

trattata e lunghezza complessiva del profilo perimetrale di sfioro) deve risultare inferiore a 250 m³/m/d in corrispondenza della portata media.

4.3.2 Risultati del dimensionamento

4.3.2.1 Linee A e B

I risultati delle verifiche di dimensionamento dei sedimentatori di nuova realizzazione a servizio delle linee A e B sono riassunti in Tabella 27.

Tabella 27: Risultati delle verifiche di dimensionamento della nuova sezione di sedimentazione secondaria a servizio delle linee A e B

Parametro	u.m.	Valore		
		I Inverno	II Primavera- Autunno	III Estate
<u>Vincoli operativi</u>				
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_m	kgSST/m ² /h		6.0	
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/m ² /h		9.0	
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_m	m/h		0.6	
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_{pb}	m/h		1.2	
Tempo di residenza idraulica minimo con Q_m	h		3.0	
Carico allo sfioro massimo con Q_m	m ³ /m/d		250	
<u>Caratteristiche del bacino di sedimentazione secondaria</u>				
Diametro utile	m		30.00	
Profondità utile allo sfioro	m		3.50	
Pendenza del fondo	-		5%	
Profondità utile massima a centro vasca (tramoggia esclusa)	m		4.25	
Superficie utile	m ²		707	
Volume utile	m ³		2651	
<u>Condizioni operative previste</u>				
Portata media Q_m	m ³ /h	276	256	237
Portata massima Q_{pb}	m ³ /h	763	763	763
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi	m ³ /h	276	256	237
Concentrazione di SST nel comparto biologico	kgSST/m ³	5.3	4.5	4.5
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_m	kgSST/h	2937	2330	2190
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/h	5532	4633	4621
Flusso solido con Q_m	kgSST/m ² /h	4.1	3.3	3.1
Flusso solido con Q_{pb}	kgSST/m ² /h	7.7	6.6	6.5

Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_m	$m^3/m^2/h$	0.39	0.36	0.34
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_{pb}	$m^3/m^2/h$	1.08	1.08	1.08
Tempo di residenza idraulica con Q_m	h	9.6	10.3	11.2
Carico allo sfioro con Q_m	$m^3/m/d$	74	69	64

I due sedimentatori circolari di nuova realizzazione a servizio delle linee A e B sono dotati di ponte raschiatore a trazione periferica (300-RF-101 e 300-RF-201) con lama di fondo a profilo logaritmico, lama di superficie e *scum-box* di evacuazione delle sostanze surnatanti.

Il fango sedimentato viene sospinto dalla raschia di fondo in una tramoggia centrale, dalla quale passa, mediante un'apposita tubazione DN250 dotata di valvole manuali a saracinesca, al pozzetto di raccolta in cui sono alloggiate le pompe centrifughe sommergibili deputate al ricircolo (300-PS-101-A/R e 300-PS-201-A/R) e all'estrazione dei fanghi di supero (300-PS-102 e 300-PS-202).

Le pompe di ricircolo 300-PS-101-A/R e 300-PS-201-A/R, di cui una con funzioni di riserva attiva, sono dotate di motore da 9.00 kW e permettono di sollevare una portata di 380 m^3/h alla prevalenza di 5.00 m. I collettori di mandata DN300 recapitano i fanghi nel pozzetto di distribuzione ai reattori biologici delle linee A e B. Sul tratto terminale fuori terra dei collettori sono installati i misuratori elettromagnetici di portata 300-FIT-101 e 300-FIT-302.

Le pompe 300-PS-102 e 300-PS-202 sono invece deputate all'estrazione dei fanghi di supero, che vengono avviati al comparto di pre-ispessimento esistente, innestandosi sulla tubazione esistente di distribuzione ai due ispessitori.

Le sostanze surnatanti che si separano nei due sedimentatori sono sospinte dalle lame superficiali solidali ai carroporti agli appositi *scum-box*, dai quali passano nei pozzetti di raccolta. I surnatanti separati dalla linea A passano quindi a gravità al pozzetto esistente di rilancio in testa impianto dei surnatanti dei pre-ispessitori, mentre quelli separati dalla linea B sono convogliati al pozzetto di scarico dei surnatanti del post-ispessitore, per essere poi risollevati a trattamento in linea acque contestualmente alle acque madri di disidratazione.

L'effluente chiarificato dai sedimentatori, raccolto in canalette perimetrali dotate di profilo di sfioro tipo Thompson e anello deflettore paraschiuma, viene avviato al nuovo comparto di filtrazione terziaria attraverso due tubazioni interrate De630.

4.3.2.2 Linea C

I risultati delle verifiche di funzionamento del sedimentatore esistente della linea C negli scenari di progetto sono riepilogati in Tabella 28.

Tabella 28: Risultati delle verifiche di funzionamento della sezione di sedimentazione secondaria esistente a servizio della linea C

Parametro	u.m.	Valore		
		I Inverno	II Primavera- Autunno	III Estate
<u>Vincoli operativi</u>				
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_m	kgSST/m ² /h		6.0	
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/m ² /h		9.0	
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_m	m/h		0.6	
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_{pb}	m/h		1.2	
Tempo di residenza idraulica minimo con Q_m	h		3.0	
Carico allo sfioro massimo con Q_m	m ³ /m/d		250	
<u>Caratteristiche del bacino di sedimentazione secondaria</u>				
Diametro utile	m		32.00	
Profondità utile allo sfioro	m		2.65	
Pendenza del fondo	-		6.5%	
Profondità utile massima a centro vasca (tramoggia esclusa)	m		3.70	
Superficie utile	m ²		804	
Volume utile	m ³		2410	
<u>Condizioni operative previste</u>				
Portata media Q_m	m ³ /h	276	256	237
Portata massima Q_{pb}	m ³ /h	763	763	763
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi	m ³ /h	276	256	237
Concentrazione di SST nel comparto biologico	kgSST/m ³	5.3	4.5	4.5
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_m	kgSST/h	2926	2304	2115
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/h	5510	4581	4462
Flusso solido con Q_m	kgSST/m ² /h	3.6	2.9	2.6
Flusso solido con Q_{pb}	kgSST/m ² /h	6.9	5.7	5.6
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_m	m ³ /m ² /h	0.34	0.32	0.29
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_{pb}	m ³ /m ² /h	0.95	0.95	0.95
Tempo di residenza idraulica con Q_m	h	8.7	9.4	10.2
Carico allo sfioro con Q_m	m ³ /m/d	69	64	60

Il sedimentatore circolare esistente a servizio della linea C è dotato di ponte raschiatore a trazione periferica (300-RF-301) con lama di fondo a profilo logaritmico, lama di superficie e scum-box di evacuazione delle sostanze surnatanti.

Il fango sedimentato viene sospinto dalla raschia di fondo in una tramoggia centrale, dalla quale passa, mediante un'apposita tubazione DN400 dotata di valvola manuale telescopica, al pozzetto di raccolta in cui sono alloggiati le pompe centrifughe sommergibili deputate al ricircolo (300-PS-301-A/R) e all'estrazione dei fanghi di supero (300-PS-302-A/R).

Le pompe di ricircolo esistenti vengono sostituite con due nuove unità (300-PS-301-A/R), di cui una con funzioni di riserva attiva, dotate di motore da 9.00 kW e in grado di sollevare una portata di 380 m³/h alla prevalenza di 6.00 m. Il collettore di mandata DN300 recapita i fanghi al pozzetto di distribuzione ai reattori di pre-denitrificazione della linea C. Il tratto terminale fuori terra del collettore viene sostituito e vi viene installato il misuratore elettromagnetico di portata 300-FIT-301.

Le pompe 300-PS-302-A/R esistenti sono invece deputate all'estrazione dei fanghi di supero, che vengono avviati al comparto di pre-ispessimento sfruttando la tubazione di mandata esistente.

Le sostanze surnatanti che si separano nel sedimentatore sono sospinte dalla lama superficiale solidale al carro ponte all'apposito *scum-box*, dal quale passano a gravità al pozzetto esistente di rilancio in testa impianto dei surnatanti dei pre-ispessitori.

L'effluente chiarificato dal sedimentatore, raccolto nella canaletta perimetrale dotata di profilo di sfioro tipo Thompson e anello deflettore paraschiuma, viene avviato al nuovo comparto di filtrazione terziaria attraverso un collettore interrato De710 di nuova realizzazione. Il progetto prevede la sostituzione del profilo di sfioro di tipo Thompson e del deflettore paraschiuma, che risultano ammalorati, e il contestuale riposizionamento alla quota corretta dello *scum-box* di raccolta surnatanti.

4.3.2.3 Linea D

I risultati delle verifiche di funzionamento del sedimentatore esistente della linea D negli scenari di progetto sono riepilogati in Tabella 29.

Tabella 29: Risultati delle verifiche di funzionamento della sezione di sedimentazione secondaria esistente a servizio della linea D

Parametro	u.m.	Valore		
		I Inverno	II Primavera- Autunno	III Estate
<u>Vincoli operativi</u>				
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_m	kgSST/m ² /h		6.0	
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/m ² /h		9.0	
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_m	m/h		0.6	
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_{pb}	m/h		1.2	

Tempo di residenza idraulica minimo con Q_m	h	3.0		
Carico allo sfioro massimo con Q_m	m ³ /m/d	250		
<u>Caratteristiche del bacino di sedimentazione secondaria</u>				
Diametro utile	m	26.00		
Profondità utile allo sfioro	m	2.30		
Pendenza del fondo	-	5.0%		
Profondità utile massima a centro vasca (tramoggia esclusa)	m	2.95		
Superficie utile	m ²	531		
Volume utile	m ³	1336		
<u>Condizioni operative previste</u>				
Portata media Q_m	m ³ /h	176	163	151
Portata massima Q_{pb}	m ³ /h	486	486	486
Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-		1.0	
Portata di ricircolo dei fanghi	m ³ /h	176	163	151
Concentrazione di SST nel comparto biologico	kgSST/m ³	5.3	4.5	4.5
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_m	kgSST/h	1870	1475	1353
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/h	3522	2933	2854
Flusso solido con Q_m	kgSST/m ² /h	3.5	2.8	2.6
Flusso solido con Q_{pb}	kgSST/m ² /h	6.6	5.5	5.4
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_m	m ³ /m ² /h	0.33	0.31	0.28
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_{pb}	m ³ /m ² /h	0.91	0.91	0.91
Tempo di idraulica con Q_m	h	7.6	8.2	8.9
Carico allo sfioro con Q_m	m ³ /m/d	55	51	47

Il sedimentatore circolare esistente a servizio della linea D è dotato di ponte raschiatore a trazione periferica (300-RF-401) con lama di fondo a profilo logaritmico, lama di superficie e scum-box di evacuazione delle sostanze surnatanti.

Il fango sedimentato viene sospinto dalla raschia di fondo in una tramoggia centrale, dalla quale passa, mediante un'apposita tubazione DN500 dotata di valvola manuale telescopica, al pozzetto di raccolta in cui sono alloggiare le pompe centrifughe sommergibili deputate al ricircolo (300-PS-401-A/B/R). Le pompe esistenti di ricircolo risultano adeguate alle nuove esigenze di processo e vengono pertanto mantenute. Si provvede alla sostituzione dei tratti iniziali delle tubazioni di mandata delle due pompe titolari 300-PS-401-A/B (motore da 4.00 kW, portata di 125 m³/h alla prevalenza di 7.00 m), con installazione dei due misuratori elettromagnetici di portata 300-FIT-301-A/B. La terza pompa di ricircolo esistente (300-PS-401-R), che recapita in testa al comparto ad aerazione intermittente anziché al reattore di pre-denitrificazione, viene mantenuta con funzioni di riserva.

Sul tratto terminale di una delle due tubazioni di ricircolo è presente una derivazione valvolata per lo spillamento del fango di supero, che viene recapitato al pozzetto di rilancio al pre-ispessimento, ad opera delle pompe esistenti (300-PS-402-A/R).

Le sostanze surnatanti che si separano nel sedimentatore sono sospinte dalla lama superficiale solidale al carroponete all'apposito scum-box, dal quale passano a gravità al pozzetto esistente di rilancio in testa impianto, ad opera della pompa esistente 300-PS-404.

L'effluente chiarificato dal sedimentatore, raccolto nella canaletta perimetrale dotata di profilo di sfioro tipo Thompson e anello deflettore paraschiuma, viene avviato al nuovo comparto di filtrazione terziaria attraverso un collettore interrato De630 di nuova realizzazione.

4.4 DEFOSFATAZIONE CHIMICA

4.4.1 Criteri di dimensionamento e verifica

Come già avviene attualmente, la rimozione del fosforo necessaria per garantire il rispetto del limite allo scarico di 1 mgP/L viene effettuata anche nella configurazione di progetto mediante precipitazione chimica in simultanea con dosaggio di soluzione di alluminato di sodio al 6% in termini di Al_2O_3 .

In via generale, la verifica di dimensionamento di una stazione di stoccaggio e dosaggio di reagente flocculante per la defosfatazione chimica va condotta sulla base del quantitativo di fosforo effettivamente da rimuovere, calcolato come differenza tra il carico di fosforo in ingresso, il carico massimo ammesso in uscita e l'aliquota assimilata nel comparto biologico dalla biomassa batterica per soddisfare le proprie esigenze metaboliche e quindi rimossa contestualmente ai fanghi di supero. La frazione rimossa per sintesi batterica può essere determinata sulla base del contenuto specifico di fosforo nei fanghi, che nel caso di schemi di processo convenzionali di pre-denitrificazione/nitrificazione si attesta in genere su valori non superiori a $0.02 \div 0.03$ gP/gSSV.

Nel caso di schemi di processo di denitrificazione/nitrificazione ad aerazione intermittente si assiste ad un incremento dell'assimilazione del fosforo per via biologica, con conseguente incremento della concentrazione di fosforo nei fanghi di supero. Il contenuto specifico di fosforo si attesta solitamente su valori dell'ordine di $0.04 \div 0.06$ gP/gSSV. Come anticipato nel paragrafo 4.2.1, questo fenomeno è imputabile al fatto che lo schema di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente permette, nei periodi di basso carico in ingresso, di mantenere il sistema in condizioni non aerate per un tempo più lungo di quello strettamente necessario per la denitrificazione, sottoponendo quindi il fango anche a brevi fasi anaerobiche. Ciò promuove, sul lungo periodo, la selezione di una biomassa fosforo-accumulante (*Polyphosphate Accumulating Organisms*, PAO),

responsabile appunto dell'aumentata assimilazione di fosforo. Ne consegue che, tra i vantaggi correlati all'introduzione del processo ad aerazione intermittente, rientra anche una riduzione dei consumi di reagente chimico flocculante.

Nel caso in esame, questo effetto è stato esplicitato nelle verifiche di dimensionamento assumendo un contenuto specifico di fosforo nei fanghi pari a 0.05 gP/gSSV.

La soluzione progettuale prevede la dismissione della stazione di dosaggio esistente, ormai obsoleta, e l'installazione di una nuova, costituita da quattro pompe dosatrici (200-PD-101-A/B/C/D) e da un serbatoio di stoccaggio cilindrico verticale da 30000 L (200-TK-101), munito di indicatore di livello e tubazione di riempimento valvolata, posizionato all'interno di una vasca di contenimento in cls posta in adiacenza al nuovo edificio pre-trattamenti.

Le verifiche di calcolo del fabbisogno di alluminato di sodio sulla base del quale andare a dimensionare la stazione di dosaggio sono state condotte con riferimento ai tre diversi scenari stagionali considerati.

Noto il quantitativo di fosforo da rimuovere, il fabbisogno giornaliero di reagente chimico e della relativa soluzione commerciale impiegata può essere calcolato a partire dal rapporto stechiometrico $Al/P = 0.87 \text{ gAl/gP}$ delle reazioni di precipitazione chimica con impiego di sali di alluminio, cui è poi opportuno applicare un opportuno coefficiente di sovradosaggio, nel caso in esame assunto del 20%.

La produzione di fango chimico da sommare a quella di fango di supero biologico e da tenere in considerazione nel computo della concentrazione di SST presente nei reattori biologici, viene infine stimata a partire dai rapporti stechiometrici delle reazioni di precipitazione dei fosfati come sali metallici e degli idrossidi generati dall'eccesso di dosaggio:



4.4.2 Risultati del dimensionamento

4.4.2.1 Linee A e B

Il riepilogo delle verifiche del fabbisogno di dosaggio nelle linee A e B è riportato in Tabella 30.

Tabella 30: Stima del fabbisogno di alluminato di sodio e dei fanghi chimici prodotti nelle linee A e B

Parametro	u.m.	Valore		
		I Inverno	II Primavera- Autunno	III Estate

Dati di progetto

Portata media	m ³ /h	276	256	237
Concentrazione di fosforo nel liquame in ingresso	mgP/L	10.4	9.4	9.1
Produzione giornaliera di fanghi biologici di supero (si veda il paragrafo 4.2.5.1)	kgSST/d kgSSV/d	1318 988	861 646	720 540
Contenuto specifico di fosforo nei fanghi	gP/gSSV		0.05	
Concentrazione di fosforo assimilata biologicamente e rimossa con i fanghi di supero	mgP/L	7.5	5.3	4.7
Limite allo scarico	mgP/L		1.0	
Concentrazione residua di fosforo da rimuovere per via chimica per rispettare il limite allo scarico	mgP/L	1.9	3.1	3.4

Calcolo del fabbisogno di reagente defosfatante

Fabbisogno giornaliero di Al ₂ O ₃ (con coefficiente di sovradosaggio del 20%)	kg/d	50.6	76.5	75.4
Concentrazione in peso di Al ₂ O ₃ nella soluzione commerciale di alluminato sodico	-		6%	
Densità della soluzione commerciale	kg/m ³		1300	
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale	kg/d L/h	843 27.0	1276 40.9	1257 40.3
Produzione giornaliera di fanghi chimici	kgSST/d	58	88	87

4.4.2.2 Linea C

Il riepilogo delle verifiche del fabbisogno di dosaggio nella linea C è riportato in Tabella 31.

Tabella 31: Stima del fabbisogno di alluminato di sodio e dei fanghi chimici prodotti nella linea C

Parametro	u.m.	Valore		
		I Inverno	II Primavera- Autunno	III Estate
<u>Dati di progetto</u>				
Portata media	m³/h	276	256	237
Concentrazione di fosforo nel liquame in ingresso	mgP/L	10.4	9.4	9.1
Produzione giornaliera di fanghi biologici di supero (si veda il paragrafo 4.2.5.2)	kgSST/d	1345	881	733
	kgSSV/d	1008	661	550
Contenuto specifico di fosforo nei fanghi	gP/gSSV		0.05	
Concentrazione di fosforo assimilata biologicamente e rimossa con i fanghi di supero	mgP/L	7.6	5.4	4.8
Limite allo scarico	mgP/L		1.0	
Concentrazione residua di fosforo da rimuovere per via chimica per rispettare il limite allo scarico	mgP/L	1.8	3.0	3.3
<u>Calcolo del fabbisogno di reagente defosfatante</u>				

Fabbisogno giornaliero di Al_2O_3 (con coefficiente di sovradosaggio del 20%)	kg/d	46.6	73.6	73.4
Concentrazione in peso di Al_2O_3 nella soluzione commerciale di alluminato sodico	-		6%	
Densità della soluzione commerciale	kg/m ³		1300	
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale	kg/d L/h	777 24.9	1227 39.3	1224 39.2
Produzione giornaliera di fanghi chimici	kgSST/d	54	85	84

4.4.2.3 Linea D

Il riepilogo delle verifiche del fabbisogno di dosaggio nella linea D è riportato in Tabella 32.

Tabella 32: Stima del fabbisogno di alluminato di sodio e dei fanghi chimici prodotti nella linea D

Parametro	u.m.	Valore		
		I Inverno	II Primavera- Autunno	III Estate
<u>Dati di progetto</u>				
Portata media	m³/h	176	163	151
Concentrazione di fosforo nel liquame in ingresso	mgP/L	10.4	9.4	9.1
Produzione giornaliera di fanghi biologici di supero (si veda il paragrafo 4.2.5.2)	kgSST/d	837	547	457
	kgSSV/d	628	410	343
Contenuto specifico di fosforo nei fanghi	gP/gSSV		0.05	
Concentrazione di fosforo assimilata biologicamente e rimossa con i fanghi di supero	mgP/L	7.5	5.2	4.7
Limite allo scarico	mgP/L		1.0	
Concentrazione residua di fosforo da rimuovere per via chimica per rispettare il limite allo scarico	mgP/L	1.9	3.2	3.4
<u>Calcolo del fabbisogno di reagente defosfatante</u>				
Fabbisogno giornaliero di Al2O3 (con coefficiente di sovradosaggio del 20%)	kg/d	32.4	48.9	48.1
Concentrazione in peso di Al2O3 nella soluzione commerciale di alluminato sodico	-		6%	
Densità della soluzione commerciale	kg/m³		1300	
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale	kg/d	540	814	801
	L/h	17.3	26.1	25.7
Produzione giornaliera di fanghi chimici	kgSST/d	37	56	55

4.4.2.4 Intero impianto

Il fabbisogno complessivo di soluzione commerciale di reagente defosfatante e la produzione complessiva attesa di fanghi di supero nell'intero impianto sono riassunti in Tabella 33. Effettuando una media ponderata sulle durate dei tre periodi stagionali considerati, è possibile stimare un consumo medio annuo di soluzione commerciale di alluminato di sodio pari a 1477 m³/anno (1832 t/anno).

Tabella 33: Stima del fabbisogno di alluminato di sodio e dei fanghi chimici prodotti nell'intero impianto

Parametro	u.m.	Valore		
		I Inverno	II Primavera- Autunno	III Estate
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale – LINEA A	L/h	27.0	40.9	40.3
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale – LINEA B	L/h	27.0	40.9	40.3
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale – LINEA C	L/h	24.9	39.3	39.2
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale – LINEA D	L/h	17.3	26.1	25.7
Fabbisogno complessivo di soluzione commerciale	L/h L/d	96 2311	147 3533	146 3491
Volume di stoccaggio previsto	L		30000	
Autonomia di esercizio	d	13.0	8.5	8.6
Stima del consumo medio annuo di reagente (come media ponderata sui tre scenari stagionali)	m ³ /anno t/anno		1174 1526	
Produzione giornaliera complessiva di fanghi chimici	kgSST/d	207	317	313

Prevedendo un eccesso di dosaggio del 20%, il quantitativo massimo di reagente chimico da utilizzare è pari dunque a circa 50 L/h nelle linee A, B e C e a circa 33 L/h in linea D. La soluzione progettuale proposta prevede l'installazione di 4 pompe dosatrici a membrana (200-PD-101-A/B/C/D), una a servizio di ciascuna linea, con portata regolabile tra 10 e 100 L/h in maniera da garantire la massima flessibilità gestionale. I tubi di mandata delle quattro pompe recapitano il reagente nei pozzetti di alimentazione alla singole linee biologiche.

4.5 FILTRAZIONE TERZIARIA

La nuova sezione di filtrazione terziaria su tela, finalizzata al controllo della concentrazione residua di solidi sospesi al di sotto del limite allo scarico di 10 mgSST/L, è realizzata con l'impiego di sei filtri a dischi rotanti funzionanti a gravità, operanti in parallelo in configurazione sommersa all'interno di bacini in calcestruzzo e dotati di sistema di lavaggio automatico. La soluzione adottata offre,

rispetto ad altre tecnologie, vantaggi in termini di riduzione delle superfici d'ingombro e di contenimento delle perdite di carico sul circuito idraulico.

Il dimensionamento del comparto è stato condotto sulla base della portata massima avviata a trattamento biologico in tempo di pioggia Q_{pb} , imponendo per il carico idraulico specifico un valore inferiore a $7.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ e verificando che, con una concentrazione di solidi sospesi nel refluo alimentato di 50 mgSST/L (nell'ipotesi di occasionali fughe di SST nell'effluente chiarificato dai sedimentatori secondari), il carico specifico di solidi non superi il valore di $0.30 \div 0.35 \text{ kgSST/m}^2/\text{h}$. Nelle condizioni medie di funzionamento (portata media e 30 mgSST/L in ingresso), il massimo carico idraulico specifico ammissibile è ridotto a $5.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ mentre il massimo carico specifico di solidi diviene di $20 \text{ kgSST/m}^2/\text{h}$.

I risultati di dimensionamento sono riportati in Tabella 34, unitamente alla verifica di funzionamento in caso di fuori servizio di una linea in occasione degli interventi di manutenzione.

Tabella 34: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di filtrazione terziaria a dischi

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Dati di progetto</u>		
Portata media di progetto (Q_m)	m^3/h	925
Portata di picco in tempo di pioggia (Q_{pb})	m^3/h	2775
Concentrazione massima di SST in ingresso ai filtri nelle normali condizioni di esercizio	mgSST/L	30
Concentrazione massima di SST in ingresso ai filtri (nell'ipotesi di occasionali fughe di solidi dai sedimentatori secondari)	mgSST/L	50
Carico medio di SST in ingresso	kgSST/h	27.8
Carico massimo di SST in ingresso	kgSST/h	138.8
Concentrazione attesa di SST in uscita in corrispondenza di Q_m	mgSST/L	<5
Concentrazione attesa di SST in uscita in corrispondenza di Q_{pb}	mgSST/L	<10
<u>Risultati del dimensionamento</u>		
Superficie filtrante minima necessaria	m^2	462.5
Numero di linee di filtrazione previste	-	6
Superficie filtrante per ogni disco	m^2	5.0
Numero dischi filtranti per linea	-	16
Superficie filtrante effettiva per ogni linea	m^2	80
Superficie filtrante complessiva	m^2	480
Carico idraulico specifico in condizioni medie	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$	1.9
Carico idraulico specifico in condizioni massime	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$	5.8
Carico specifico di solidi in condizioni medie	$\text{kgSST/m}^2/\text{h}$	0.058

Carico specifico di solidi in condizioni massime	kgSST/m²/h	0.29
<i>Verifiche di funzionamento con un filtro fuori servizio</i>		
Numero di linee di filtrazione in funzione	-	5
Superficie filtrante disponibile	m ²	400
Carico idraulico specifico in condizioni medie	m³/m²/h	2.3
Carico idraulico specifico in condizioni massime	m³/m²/h	6.9
Carico specifico di solidi in condizioni medie	kgSST/m²/h	0.069
Carico specifico di solidi in condizioni massime	kgSST/m²/h	0.35

La sezione di filtrazione è disposta su sei linee funzionanti in parallelo, ciascuna delle quali può essere esclusa dal funzionamento attraverso un'apposita paratoia a stramazzo ad azionamento manuale posta in testa alla vasca di alloggiamento del filtro (400-SG-101-A/B/C/D/E/F).

I filtri funzionano a gravità, sommersi in vasche in calcestruzzo. L'acqua da trattare viene convogliata alla vasca di contenimento del filtro, che lavora completamente immerso, e passa attraverso la tela filtrante, mentre le sostanze solide vengono trattenute dalle fibre di quest'ultima. L'acqua pulita è avviata allo scarico dall'albero centrale, per mezzo dello stramazzo di scarico. Durante il normale funzionamento non ci sono organi in movimento, minimizzando così l'usura ed il consumo energetico. Il progressivo deposito di sostanze solide sulla tela comporta l'aumento delle perdite di carico attraverso il filtro; il livello dell'acqua nel bacino aumenta rispetto alla quota dello stramazzo di uscita. Quando si raggiunge una differenza di livello di circa 25 cm, monitorata da appositi sensori, si attiva il dispositivo di controlavaggio delle tele: i filtri vengono messi in rotazione e un sistema di pompe, collegato ad una serie di ugelli aspiratori, rimuove i solidi trattenuti dalle tele, ripristinando le capacità filtranti della macchina. Eventuali sostanze solide sedimentate sul fondo della vasca del filtro vengono periodicamente rimosse per mezzo di una pompa ad attivazione temporizzata. La portata massima di acque di lavaggio estratta da ciascun filtro è pari a circa 40 m³/h. Nelle condizioni più gravose di tutti i filtri in lavaggio in contemporanea, la portata massima estratta è dell'ordine di 240 m³/h. La soluzione progettuale prevede pertanto la posa di 2 collettori interrati De200 di mandata delle acque di lavaggio, ciascuno a servizio di tre filtri, che recapitano alla vasca di accumulo ricavata in una porzione della seconda vasca di accumulo reflui esistente, per essere successivamente rilanciata, unitamente alle acque madri di disidratazione, alle linee di trattamento biologico dell'impianto a mezzo delle pompe centrifughe sommergibili 100-PS-106-A/B/R.

Il by-pass della sezione di filtrazione è reso possibile mediante un apposito canale, presidiato dalla paratoia manuale 400-SG-102.

4.6 DISINFEZIONE UV

Il controllo della carica batterica residua nell'effluente è conseguito mediante un sistema di disinfezione UV, che sfrutta appunto le radiazioni nel campo dei raggi ultravioletti (lunghezza d'onda di 254 nm), la cui efficacia è dovuta alla modifica delle informazioni genetiche dei microrganismi sottoposti a irraggiamento, che diventano incapaci di svolgere sia le reazioni metaboliche che le funzioni riproduttive. La tecnologia ha il pregio di associare all'elevata efficacia nei confronti di virus e batteri il vantaggio di non apportare ulteriori modificazioni alle caratteristiche dell'effluente, a differenza di quanto avviene nei processi che impiegano prodotti chimici. Inoltre il trattamento necessita di limitate superfici di installazione, dovute ai brevissimi tempi di contatto richiesti, non produce alcun residuo potenzialmente tossico e non presenta rischi di sovradosaggio.

Il dimensionamento di un sistema di disinfezione UV è tipicamente condotto fissando il valore limite richiesto per la carica batterica di *Escherichia Coli* residua ammessa nell'effluente e assumendo un valore di carica batterica in ingresso al comparto di disinfezione.

La dose minima di radiazione UV (D , espressa in J/m^2) necessaria ad ottenere la concentrazione batterica obiettivo del trattamento è ricavabile dalla relazione:

$$D = \frac{\left[1 - 2d \cdot \ln \left(\frac{N_{out}}{N_{in}} - c \cdot SST^m \right) \right]^2 - 1}{4d \cdot k} \quad \text{Equazione 5}$$

nella quale:

- N_{in}, N_{out} = concentrazioni batteriche rispettivamente in ingresso e uscita (UFC/100mL);
- d = coefficiente di dispersione;
- k = tasso di inattivazione [m^2/J];
- SST = concentrazione di solidi sospesi nell'influente alla disinfezione;
- c, m = costanti sperimentali.

Nel caso in esame la carica batterica residua imposta è pari a $N_{out}=1500$ UFC/100 mL, come richiesto dal Piano di Tutela delle Acque nel periodo tra il 15 marzo e il 30 settembre, nel caso in cui venga emesso un divieto di balneazione sul tratto di costa in cui sfocia il corpo idrico ricettore. La concentrazione di *Escherichia Coli* in ingresso agli UV è stata assunta pari a $N_{in}=10^5$ UFC/100 mL.

Vengono inoltre fissati il valore della concentrazione di solidi sospesi in ingresso (SST), nel caso in esame di 10 mgSST/L in uscita dalla filtrazione terziaria, ed il valore della trasmittanza del refluo ai raggi UV, pari al 65%. Sulla base di tali dati è possibile calcolare il valore della dose UV necessaria in corrispondenza della portata massima di progetto a fine vita delle lampade, dalla quale ricavare il

numero complessivo di lampade richiesto. Considerando la portata massima avviata trattamento biologico in tempo di pioggia Q_{pb} , la dose UV richiesta risulta pari a 28 mJ/cm².

Volendo valutare un valore medio di E-coli in uscita, raggiungibile dalla apparecchiatura in progetto a pieno regime di funzionamento, si può reimpostare il calcolo, considerando non la portata massima, ma la portata media di 925 m³/h. In tali condizioni il reattore UV è in grado di erogare una dose molto più elevata. Vale infatti che

$$D = I_m \cdot t_m \quad \text{Equazione 6}$$

dove:

- I_m è l'intensità media luminosa all'interno del reattore che dipende dalla qualità dell'acqua e dalle caratteristiche tecnologiche del sistema e quindi risulta costante nell'ipotesi di trasmittanza costante;
- t_m è il tempo di esposizione, che è inversamente proporzionale alla portata.

In condizioni di portata media e con moduli UV funzionanti a pieno regime, la dose effettivamente fornita risulta di 79 mJ/cm². Applicando l'equazione 5, è possibile ricavare, con tale dose applicata, la concentrazione attesa di UFC di E-coli in uscita, che risulta inferiore al limite previsto per il riuso dal D.M. 185/2003, ovvero 100 UFC/100 mL. Va tuttavia osservato che, non essendo necessario spingere la disinfezione fino a queste prestazioni, la dose UV effettivamente applicata verrà regolata automaticamente grazie all'apposito sistema di modulazione della radiazione in funzione della portata trattata e della trasmittanza, in maniera da ottimizzare i consumi energetici. I risultati del dimensionamento del comparto di disinfezione sono riportati in Tabella 35.

Tabella 35: Risultato dei calcoli di dimensionamento della sezione di disinfezione UV

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Dati di dimensionamento</u>		
Portata massima di progetto (Q_{pb})	m ³ /h	2775
Portata media (Q_m)	m ³ /h	925
Trasmittanza UV	%	≥65
Solidi sospesi totali in ingresso	mgSST/L	≤10
Carica microbiologica in ingresso	UFC E-Coli/100 mL	10 ⁵
Limite di disinfezione (valore puntuale)	UFC E-Coli/100 mL	≤1500
Dose UV applicata alla portata di progetto a fine vita delle lampade	mJ/cm²	>28
<u>Risultati del dimensionamento</u>		
Numero di canali	-	2
Lunghezza del canale	m	5.20

Larghezza del canale	m	0.80
Profondità del canale	m	0.50
Numero di banchi per canale	-	1
Numero di moduli per banco	-	4
Numero di lampade per modulo	-	10
Numero totale di lampade	-	80
Potenza singola lampada	W	320
Potenza complessiva alle lampade	kW	25.60
Dose UV massima applicabile in condizioni di portata media	mJ/cm ²	79
Limite di disinfezione ottenibile a pieno regime in condizioni di portata media	UFC E-Coli/100 mL	≤100
Numero di quadri di distribuzione potenza	-	2
Potenza installata del singolo quadro di distribuzione	kW	15.00
Numero di quadri di controllo generale	-	1
Potenza installata del quadro di controllo generale	kW	4.00
Numero di sistemi meccanici di pulizia dei tubi in quarzo a protezione delle lampade	-	2
Numero di sensori di radiazione UV per banco	-	1
Numero di controllori di livello previsti (Misuratore di livello ad ultrasuoni + Paratoia motorizzata a stramazzo)	-	1

L'effluente dalla sezione di filtrazione terziaria viene convogliato in un pozzetto che alimenta i due canali di disinfezione UV.

I singoli canali UV possono essere isolati idraulicamente attraverso apposite paratoie manuali di intercettazione, poste in testa e in coda (400-SG-103-A/B e 400-SG-104-A/B). Un'ulteriore paratoia presidia il collegamento di by-pass della sezione (400-SG-106).

Il battente idrico all'interno dei canali è mantenuto costantemente sul valore ottimale per massimizzare l'efficacia di disinfezione mediante una paratoia motorizzata modulante a stramazzo (400-SGe-105), che agisce in funzione del mantenimento di un set-point di livello impostato sul segnale del misuratore ad ultrasuoni 400-LIT-101. Il medesimo sistema di controllo del livello consente, sulla base del segnale del segnale inviato dal posizionatore della paratoia automatica, di monitorare la portata trattata. Unitamente alla trasmittanza UV rilevata dai sensori di intensità UV presenti in ciascun banco, tale dato è impiegato dal PLC di gestione dell'impianto per modulare la dose di radiazione UV emessa in funzione delle effettive esigenze di disinfezione, consentendo di minimizzare i consumi energetici.

Va segnalato che il sistema è dimensionato dal punto di vista idraulico per poter smaltire l'intera portata massima di progetto anche su un solo canale UV, in caso di fuori servizio di una delle due

linee di trattamento. Dal punto di vista dell'efficienza depurativa, con un solo canale in esercizio è possibile garantire il rispetto del limite di 1500 UFC/100 mL su E.Coli per portate fino a $1.5 \cdot Q_m$ (circa $1500 \text{ m}^3/\text{h}$)

Il flusso in uscita dai due canali si raccoglie in un pozzetto, da cui si diparte il nuovo collettore De1000 di scarico dell'effluente al pozzetto di campionamento esistente. Tale pozzetto viene realizzato a profondità sufficiente a garantire costantemente un adeguato battente per l'aspirazione della pompa esistente di pressurizzazione dell'acqua di servizio nell'autoclave posta in testa alla rete di distribuzione (900-PK-101). Il progetto prevede a tal fine la posa del nuovo tratto interrato della tubazione di aspirazione della pompa, munito di valvola di non ritorno sui punti di presa per impedire il disinnescamento del circuito.

5 RISULTATI DELLE VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO - LINEA FANGHI

5.1 PRODUZIONE ATTESA DI FANGHI DI SUPERO

La produzione complessiva di fango da avviare alla linea di trattamento dedicata deriva dalla miscelazione, nel comparto di pre-ispessimento esistente, dei fanghi di supero prodotti dalle quattro linee di trattamento secondario, a loro volta costituiti per un'aliquota preponderante dalla biomassa in eccesso e, in misura minore, dai fanghi prodotti dalla precipitazione chimica in simultanea del fosforo, come riassunto in Tabella 36.

Tabella 36: Produzione di fanghi attesa negli scenari progettuali di medio carico

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Linea A</u>				
Produzione di fanghi di supero biologico	kgSST/d	1318	861	720
Produzione di fanghi chimici	kgSST/d	58	88	87
Produzione in termini complessiva di SST	kgSST/d	1376	949	807
Frazione volatile attesa	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Tenore di SST atteso	kgSST/m³	10.6	9.0	9.0
Portata volumetrica	m³/d	129.2	105.0	90.0
<u>Linea B</u>				
Produzione di fanghi di supero biologico	kgSST/d	1318	861	720
Produzione di fanghi chimici	kgSST/d	58	88	87
Produzione in termini complessiva di SST	kgSST/d	1376	949	807
Frazione volatile attesa	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Tenore di SST atteso	kgSST/m³	10.6	9.0	9.0
Portata volumetrica	m³/d	129.2	105.0	90.0
<u>Linea C</u>				
Produzione di fanghi di supero biologico	kgSST/d	1345	881	733
Produzione di fanghi chimici	kgSST/d	54	85	84
Produzione in termini complessiva di SST	kgSST/d	1398	966	818
Frazione volatile attesa	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Tenore di SST atteso	kgSST/m³	10.6	9.0	9.0
Portata volumetrica	m³/d	131.8	107.4	91.6

Linea D

Produzione di fanghi di supero biologico	kgSST/d	837	547	457
Produzione di fanghi chimici	kgSST/d	37	56	55
Produzione in termini complessiva di SST	kgSST/d	874	603	513
Frazione volatile attesa	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Tenore di SST atteso	kgSST/m ³	10.6	9.0	9.0
Portata volumetrica	m ³ /d	82.1	66.7	57.2

TOTALE IMPIANTO

Produzione di fanghi di supero biologico	kgSST/d	4817	3150	2631
Produzione di fanghi chimici	kgSST/d	207	317	313
Produzione in termini complessiva di SST	kgSST/d	5025	3467	2944
Frazione volatile attesa	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Tenore di SST atteso	kgSST/m ³	10.6	9.0	9.0
Portata volumetrica	m³/d	472	326	276

5.2 PRE-ISPESSIMENTO

La sezione di pre-ispezzimento ha la funzione di estrarre una parte dell'acqua contenuta nei fanghi di supero, in maniera da ridurre il quantitativo volumetrico dei fanghi da trattare e quindi, nel caso specifico, di aumentare il tempo di residenza nella successiva sezione di digestione aerobica, incrementando l'efficienza di stabilizzazione ottenibile.

Il dimensionamento del comparto di ispezzimento statico richiede di verificare che i valori dei principali parametri operativi (flusso solido FS , carico idraulico superficiale C_i , tempo di residenza idraulica HRT) risultino compresi all'interno di *range* utilizzati nella pratica progettuale per applicazioni analoghe, suggeriti dai più importanti manuali tecnici nazionali ed internazionali di settore (*inter alia* Metcalf & Eddy, 2014; Riva e Guadagni, 2011; Bonomo, 2008; Masotti, 1987). Più in particolare, in caso di fanghi di supero secondari, è suggerito un flusso solido compreso tra 20 e 40 kgSST/m²/d, un carico idraulico superficiale tra 5 e 8 m³/m²/h e un tempo di residenza idraulica tra 1 giorno (sufficiente per ispessire il fango) e 2 giorni (in maniera da evitare il rischio dell'insorgere di fenomeni di putrefazione).

Come mostrato dai risultati delle verifiche, riepilogati in Tabella 37, le caratteristiche dimensionali dei pre-ispezzitori esistenti determinano valori di flusso solido applicato abbastanza elevati rispetto agli intervalli tipicamente applicati e, nello scenario invernale, appena di poco superiore al limite massimo suggerito. Per tener conto di ciò, l'efficienza di ispezzimento ottenibile è stata assunta piuttosto bassa, con tenore di secco atteso nei fanghi ispessiti del 2%, quando in genere si possono

raggiungere valori con fanghi secondari valori fino al 2.5-3.0%. Come illustrato nel paragrafo 5.3, i tempi di residenza nel comparto di stabilizzazione aerobica risultano comunque adeguati, pertanto il progetto non prevede alcun intervento di potenziamento della sezione di pre-ispessimento.

Gli unici interventi che coinvolgono la sezione consistono nell'installazione dei due misuratori elettromagnetici di portata 300-FIT-102-A/B sulle tubazioni di alimentazione ai due bacini. In tal modo, prevedendo a PLC la non contemporaneità dell'estrazione dei fanghi di supero dalle diverse linee di trattamento secondario, sarà possibile monitorare il quantitativo di fanghi di supero effettivamente estratti da ciascuna linea, ricavando informazioni utili a determinare l'età del fango SRT mantenuta nel sistema.

Vengono mantenute le tre pompe monovite 500-PM-101-A/R1/R2 di estrazione dei fanghi ispessiti, di cui una attiva e le altre con funzioni di riserva, essendo adeguate alle esigenze di processo. In particolare, la pompa titolare è in grado di sollevare una portata regolabile tra 20 e 56 m³/h a mezzo motovariatore manuale di giri, alla prevalenza di 1 bar. Si osserva che, nelle condizioni di funzionamento previste, tale prevalenza risultata sufficiente per l'alimentazione dei fanghi al nuovo comparto di stabilizzazione aerobica ricavato nell'ex digestore anaerobico (si veda la Relazione di calcolo idraulico D-R-110-15). Viene a questo scopo posata la nuova tubazione di mandata, con possibile alimentazione alla stabilizzazione aerobica o anche, a mezzo di opportune valvole manuali a saracinesca, direttamente al post-ispessimento.

Viene mantenuto inalterato anche il pozzetto di raccolta e rilancio alla vasca di arrivo liquami delle acque surnatanti separate, cui confluiscono anche le sostanze surnatanti separate dai sedimentatori secondari delle linee A e C.

Tabella 37: Verifiche di funzionamento del comparto di pre-ispessimento

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Dati di progetto</u>				
Portata massica di fango in ingresso	kgSST/d	5025	3467	2944
Portata volumetrica di fango in ingresso	m³/d	472	326	276
<u>Dimensioni delle vasche</u>				
Numero vasche	-		2	
Diametro interno	m		8.00	
Superficie utile unitario	m²		50.3	
Volume utile unitario	m³		161	
<u>Condizioni operative di progetto</u>				
Flusso solido	kgSST/m²/d	50.0	34.5	29.3

Carico idraulico	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$	4.7	3.2	2.7
Tempo di residenza idraulica	d	1.0	1.0	1.2
<u>Caratteristiche dei fanghi ispessiti</u>				
Tenore di secco atteso	-	2%	2%	2%
Concentrazione del fango ispessito	kgSST/m^3	20.1	20.1	20.1
Portata massica di fango ispessito in uscita	kgSST/d	5025	3467	2944
Portata di fango ispessito in uscita	m^3/d	250	173	147
Portata di surmatante riportato in testa impianto	m^3/d	222	153	130

5.3 STABILIZZAZIONE AEROBICA

Il comparto di stabilizzazione aerobica esistente risulta, già allo stato attuale, fortemente sottodimensionato per raggiungere un'adeguata efficienza di stabilizzazione dei fanghi. La soluzione progettuale proposta ne prevede pertanto la dismissione e demolizione, ricavando un nuovo bacino di stabilizzazione aerobica all'interno dell'ex digestore anaerobico, mediante riempimento e livellamento della tramoggia di fondo, installazione di una nuova rete di diffusori a disco a bolle fini alimentata da due compressori volumetrici a vite e installazione del piping di fornitura dell'aria, di alimentazione del fango fresco dai pre-ispessitori e di scarico del fango stabilizzato al post-ispessitore.

Il dimensionamento di un comparto di stabilizzazione aerobica è finalizzato a verificare che l'età del fango complessiva SRT_{tot} , pari alla somma tra quella garantita nel comparto biologico (SRT_{bio}) e quella fornita in stabilizzazione (SRT_{dig}), sia sufficiente ad ottenere un abbattimento dei solidi volatili sufficiente a poter considerare stabilizzato il fango. Dato che un ruolo preponderante nei processi biologici è svolto dalla temperatura di processo T , l'andamento della riduzione percentuale dei solidi volatili ottenibile in vasca di stabilizzazione aerobica è espresso in funzione del prodotto $SRT_{tot} \cdot T$, desunto da dati sperimentali registrati su impianti a scala reale e mostrato nel grafico riportato in Figura 2, tratto da Metcalf & Eddy (2014). A fini cautelativi, la temperatura di riferimento considerata è quella minima di progetto. Un fango attivo si può considerare stabilizzato se si raggiunge un abbattimento pari al 30-40% della frazione volatile putrescibile dei solidi totali, cui corrispondono dunque valori minimi di $SRT_{tot} \cdot T$ dell'ordine di $250 \div 350 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{d}$.

I risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione sono riepilogati in Tabella 38.

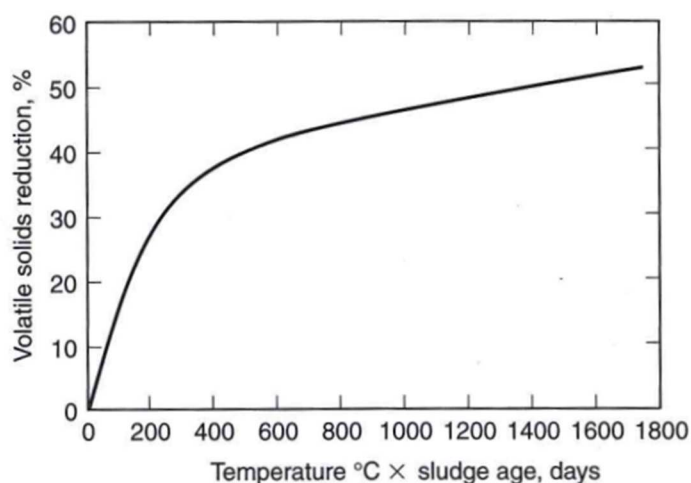


Figura 2: Andamento dell'efficienza di stabilizzazione dei fanghi in funzione del parametro $SRT_{tot} \cdot T$

Tabella 38: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di stabilizzazione aerobica

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Caratteristiche del bacino di stabilizzazione aerobica</u>				
Diametro utile	m		16.0	
Battente in vasca	m		9.30	
Superficie utile	m ²		201	
Volume utile	m ³		1870	
<u>Condizioni operative previste</u>				
Portata massica di fango pre-ispessito in ingresso	kgSST/d	5025	3467	2944
Concentrazione del fango pre-ispessito	kgSST/m ³	20.1	20.1	20.1
Portata volumetrica di fango pre-ispessito	m ³ /d	250	173	147
Rapporto SSV/SST nel fango pre-ispessito	gSSV/gSST	0.72	0.68	0.67
Età del fango garantita nel comparto biologico ¹³	d	17.1	21.0	24.5
Temperatura minima di progetto	°C	12	17	23
Temperatura massima per il dimensionamento del sistema di aerazione	°C	16	22	28
Età del fango aggiuntiva in stabilizzazione SRT_{dig}	d	7.5	10.9	12.7
Età del fango complessiva SRT_{tot} ($=SRT_{bio} + SRT_{dig}$)	d	24.5	31.8	37.2
Verifica parametro $SRT_{tot} \cdot T$	°C·d	294	541	857
Stima della percentuale di riduzione dei SSV ottenibile (efficienza di stabilizzazione)	-	30%	40%	43%

¹³ Calcolata in maniera ponderata sulle quattro linee di trattamento biologico come rapporto tra il quantitativo di biomassa complessivamente presente nell'intero impianto (in termini di kgSST) e la produzione complessiva di fanghi di supero (in kgSST/d) nei tre scenari considerati.

Caratteristiche dei fanghi digeriti

Portata massica di fango digerito	kgSST/d	3941	2522	2095
Portata volumetrica di fango digerito	m ³ /d	250	173	147
Concentrazione del fango digerito	kgSST/m ³	15.7	14.6	14.3
Rapporto SSV/SST atteso nel fango digerito	gSSV/gSST	0.64	0.56	0.54

Dimensionamento del sistema di aerazione (a T_{max})

Fabbisogno specifico di O ₂	gO ₂ /gSSV _{rim}		2.3	
Portata massica di solidi volatili rimossi	kgSSV _{rim} /d	1084	945	848
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	2493	2174	1951
Fabbisogno di ossigeno di picco nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR), considerando un fattore di punta di 1.4	kgO ₂ /h	145	127	114
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento K _L a rispetto alle condizioni di acqua pulita	-		0.40	
Concentrazione di ossigeno disciolto da mantenere in vasca	mgO ₂ /L		2.0	
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	300	259	228
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" installati	-		460	
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ¹⁴	-	46%	46%	46%
Portata d'aria richiesta	Nm ³ /h	2168	1873	1647
Numero di soffianti a vite previste	-		2	
Portata d'aria fornita dalla soffiante	Nm ³ /h		1100	
Pressione differenziale	mbar		1000	
Portata specifica minima d'aria per la miscelazione ¹⁵	Nm ³ /h/m ²		3.0	
Portata d'aria minima per la miscelazione	Nm ³ /h		605	

L'aria viene fornita da parte di due compressori volumetrici a vite (600-CR-101-A/B), funzionanti sotto inverter, con motore da 45.00 kW e in grado di fornire una portata d'aria massima unitaria di 1100 Nm³/h alla pressione differenziale di 1 bar. I compressori sono alloggiati nel locale soffianti di nuova realizzazione che ospita anche le macchine a servizio dei comparti biologici delle linee A, B e C. Per contenere i consumi energetici, il numero di compressori attivi e la frequenza di funzionamento sarà regolata automaticamente in funzione del mantenimento di un set-point di ossigeno disciolto in vasca, rilevato dal sensore a 600-OIT-101. In ogni caso, il sistema di automazione verifica che venga fornita costantemente la portata minima di circa 600 Nm³/h per

¹⁴ SOTE ottenibile con l'impiego di diffusori a disco a bolle fini nelle condizioni di installazione previste.

¹⁵ Il valore minimo di portata d'aria specifica suggerito per garantire la miscelazione con reti di diffusori a bolle fini è di almeno 2.0 Nm³/h/m².

garantire una buona miscelazione della vasca. Infine, il battente presente in vasca sarà monitorato in continuo attraverso il sensore di livello ad ultrasuoni 600-LIT-101.

Completano gli interventi relativi alla vasca di stabilizzazione aerobica la realizzazione di una nuova tubazione di scarico dei fanghi digeriti, dotata di un calice di troppo pieno e di opportune derivazioni valvolate tramite cui è possibile by-passare la vasca, inviando i fanghi pre-ispessiti direttamente al post-ispessitore, o anche procedere al completo svuotamento della vasca di stabilizzazione a mezzo autobotte, mediante un apposito stacco con giunti di attacco rapido e un'apposita presa dal fondo della vasca stessa.

È previsto inoltre l'inserimento di una derivazione valvolata che colleghi il nuovo collettore di alimentazione del fango digerito al post-ispessitore con il collettore esistente di alimentazione dei fanghi dal post-ispessitore alla sezione di disidratazione meccanica (aspirazione delle pompe monovite di alimentazione agli estrattori centrifughi). Come già avviene attualmente, tale derivazione consentirà di by-passare, in caso di necessità, la sezione di post-ispessimento.

Ulteriori interventi di sistemazione riguardano la realizzazione di un accesso in quota all'ex-digestore anaerobico, con creazione di un'apertura in parete, accessibile dal vano scale esistente. In corrispondenza di tale apertura è prevista la realizzazione di un ballatoio, attraverso il quale poter accedere ai sensori di misura. Per garantire un adeguato ricambio d'aria all'interno del digestore è inoltre prevista la realizzazione di ulteriori tre finestre sulla parete laterale, che si vanno ad aggiungere al foro già presente in copertura.

5.4 POST-ISPESSIMENTO

Il bacino di post-ispessimento esistente viene mantenuto inalterato rispetto allo stato attuale, essenzialmente con funzioni di volume di accumulo prima della successiva disidratazione meccanica.

Le condizioni operative del comparto negli scenari di progetto sono riepilogate in Tabella 39.

Tabella 39: Verifiche di funzionamento del comparto di post-ispessimento

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Dati di progetto</u>				
Portata massica di fango in ingresso	kgSST/d	3941	2522	2095
Portata volumetrica di fango in ingresso	m³/d	250	173	147
<u>Dimensioni della vasca</u>				
Diametro interno	m		8.00	
Superficie utile	m²		50.3	

Volume utile	m ³	161		
<u>Condizioni operative di progetto</u>				
Flusso solido	kgSST/m ² /d	78.4	50.2	41.7
Carico idraulico	m ³ /m ² /d	5.0	3.4	2.9
Tempo di residenza idraulica	d	1.0	1.0	1.1
<u>Caratteristiche dei fanghi ispessiti</u>				
Tenore di secco atteso	-	2%	2%	2%
Concentrazione del fango ispessito	kgSST/m ³	20.1	20.1	20.1
Portata massica in uscita	kgSST/d	3941	2522	2095
Portata di fango ispessito in uscita	m ³ /d	196	125	104
Portata di surnatante riportato in testa impianto	m ³ /d	54	48	43

Come mostrato dai risultati delle verifiche, le caratteristiche dimensionali del post-ispessitore determinano valori di flusso solido applicato piuttosto elevati. Ne consegue che l'efficienza di ispessimento ottenibile risulterà piuttosto bassa: partendo dal tenore di secco dell'1.5% circa atteso nei fanghi digeriti, si stima raggiungibile un tenore di secco nei fanghi ispessiti non superiore al 2%. Ciò è accettabile nelle condizioni di esercizio previste, tenendo conto che la funzione principale del comparto è, come detto, quella di polmone di accumulo a monte della disidratazione meccanica, dato che la capacità e l'efficienza di trattamento degli estrattori centrifughi è correlata più al quantitativo di fango alimentato su base secca che non su base volumetrica.

Il comparto viene quindi mantenuto inalterato, provvedendo soltanto all'adeguamento dei circuiti idraulici di alimentazione del fango dalla nuova vasca di stabilizzazione aerobica. Nel pozzetto di raccolta delle acque surnatanti separate, collegato alla vasca di raccolta e rilancio delle acque madri di disidratazione, confluiscono anche le sostanze surnatanti separate dal sedimentatore secondario della linea B.

5.5 DISIDRATAZIONE MECCANICA

La sezione di disidratazione meccanica dei fanghi, ospitata all'interno di un edificio dedicato, è costituita da:

- due estrattori centrifughi, ciascuno dotato delle proprie pompe monovite di caricamento fango e di dosaggio di polielettrolita;
- una stazione comune di preparazione della soluzione di polielettrolita;
- tre coclee in serie di evacuazione di fanghi disidratati (una orizzontale di raccolta, una inclinata di sollevamento e una brandeggiante di distribuzione a due cassoni scarrabili).

Delle due stazioni di disidratazione presenti, costituite da estrattore centrifugo, pompa fanghi e pompa poli, una è stata installata di recente e risulta pertanto in perfetta efficienza, mentre l'altra, utilizzata esclusivamente con funzioni di riserva o di supporto in caso di necessità, è dotata di apparecchiature più vecchie e di minore capacità di trattamento.

Il progetto prevede il mantenimento in funzione della sezione di disidratazione meccanica nella configurazione attuale, avendo verificato che le apparecchiature esistenti sono in grado di trattare efficacemente i carichi di fango attesi negli scenari di progetto con la sola stazione di recente installazione in funzione. Le condizioni operative del comparto negli scenari di progetto sono riassunte in Tabella 40.

Effettuando una media ponderata sulle durate dei tre periodi stagionali considerati, è possibile stimare una produzione media annua di fango disidratato da smaltire pari a 4596 t/anno (corrispondenti a 4316 m³/anno con un tenore di secco del 22% e un rapporto SSV/SST mediamente del 58%).

Tabella 40: Verifiche di funzionamento della sezione di disidratazione meccanica

Parametro	u.m.	Valore		
		I-MC	II-MC	III-MC
<u>Dati di progetto</u>				
Portata massica di fango in ingresso	kgSST/d	3941	2522	2095
Portata volumetrica di fango in ingresso	m³/d	196	125	104
Rapporto SSV/SST atteso nel fango in ingresso	gSSV/gSST	0.64	0.56	0.54
<u>Condizioni operative di progetto</u>				
Numero di linee di disidratazione disponibili	-		2	
Numero di linee di disidratazione in esercizio	-		1	
Regime di funzionamento ipotizzato	d/w	5	5	5
	h/d	9.5	6.0	5.5
Carico di SST applicato nelle ore di esercizio	kgSST/h	581	588	587
Portata di fango alimentata nelle ore di esercizio	m³/h	28.9	29.3	29.2
<u>Alimentazione fanghi alla disidratazione</u>				
Pompe monovite installate	-		2	
Unità in funzione	-		1	
Portata massima	m³/h		30	
<u>Condizionamento chimico del fango</u>				
Consumo specifico massimo di polielettrolita ¹⁶	gpoli/kgSST		10	
Concentrazione in peso del polielettrolita in soluzione acquosa ¹⁶	-		0.2÷0.5%	

¹⁶ Valori indicativi da verificare mediante jar test

Consumo di polielettrolita	kg/d	39.4	25.2	21.0
Consumo medio annuo di polielettrolita (come media ponderata sui tre scenari stagionali)	t/anno		10.1	
Portata di soluzione di polielettrolita	m ³ /d	19.7÷7.9	12.6÷5.0	10.5÷4.2
Portata di soluzione di polielettrolita nelle ore di esercizio	L/h	2904÷1161	2942÷1177	2933÷1173

Unità di disidratazione

Estrattori centrifughi disponibili	-		2	
Estrattori centrifughi previsti in funzione	-		1	
Carico massimo di sostanza secca trattabile dall'estrattore centrifugo in esercizio	kgSST/h		600	
Portata volumetrica massima di fango al 2% di SST	m ³ /h		30	

Caratteristiche dei fanghi disidratati

Tenore di secco minimo atteso nei fanghi disidratati	-		22%	
Produzione di residui solidi nei giorni di esercizio	t/d	25.1	16.0	13.3
	m ³ /d	23.7	15.0	12.4
Produzione media annua di residui solidi (come media ponderata sui tre scenari stagionali)	t/anno		4596	
Portata di acque madri nei giorni di esercizio	m ³ /d	262	168	139
Portata di acque madri nelle ore di esercizio	m ³ /h	27.6	27.9	29.2

5.6 STAZIONE DI TRATTAMENTO DELL'ARIA ESAUSTA

La stazione di aspirazione e trattamento dell'aria esausta prelevata dal locale di disidratazione, costituita da uno scrubber a secco su zeolite attivata e in grado di trattare una portata massima di circa 3000 m³/h, viene mantenuta inalterata rispetto allo stato attuale. Non cambia infatti la volumetria del locale da captare ed è lecito anzi attendersi una riduzione dei carichi odorigeni da abbattere grazie al maggior grado di stabilizzazione dei fanghi avviati a disidratazione derivante dal significativo potenziamento della sezione di digestione aerobica.

6 BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA

- Andreottola G., Cadonna M., Foladori P., Frigo P., Nardelli P. (2004), *Simulation of an intermittently aerated process for nitrogen removal in municipal wastewater*, Proceedings of SIDISA 2004.
- Andreottola G., Foladori P., Ziglio G. (2005), *Dal monitoraggio convenzionale alla verifica avanzata dei processi a fanghi attivi*. Quaderni del dipartimento (SAN 4), Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Trento.
- Andreottola G., Foladori P., Ziglio G. (2008), *Minimizzare i fanghi di depurazione – Strategie integrate nel trattamento delle acque reflue*. Quaderni del dipartimento (SAN 6) – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Trento.
- Bonomo L. (2008), *Trattamenti delle acque reflue*. McGraw-Hill.
- Ekama G.A., Marais G.v.R., Siebritz I.P., Pitman A.R., Keay G.F.P., Buchan L., Gerber A., Smollen M. (1984), *Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes*. Water Research Commission, Pretoria (Sud Africa).
- Germain E., Nelles F., Drews A., Pearce P., Kraume M., Reid E., Judd S.J., Stephenson T. (2007), *Biomass effects on oxygen transfer in membrane bioreactors*. Water Research 41,1038-1044.
- Guadagni A. (a cura di, 2010), *Prontuario dell'ingegnere*. 3^a Edizione, Hoepli, Milano.
- Henze M., van Loosdrecht M.C.M., Ekama G.A., Brdjanovic D. (2008) *Biological Wastewater Treatment – Principles, Modelling and Design*, 1st Edition, IWA Publishing - London (UK).
- Masotti L. (1987), *Depurazione delle acque – Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*. 1^a Edizione, Calderini, Bologna.
- Metcalf & Eddy (2014), *Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill, 5th Edition.
- Riva P.A., Guadagni, A. (a cura di, 2011), *Manuale dell'ingegnere civile e ambientale*. Hoepli, Milano.
- STOWA – Dutch Foundation for Applied Water Research (1996), *Methods for wastewater characterization, inventory and guidelines* (in Dutch). STOWA-report 97-23, Hageman Fulfilment, Zwijndrecht, The Netherlands.

-
- STOWA – Dutch Foundation for Applied Water Research (1999), *Wastewater characterization of raw and pre-treated wastewater, the influence of primary sedimentation and pre-precipitation* (in Dutch). STOWA-report 99-13, Hageman Fulfilment, Zwijndrecht, The Netherlands.
 - van Haandel A., van der Lubbe J. (2012), *Handbook Biological Waste Water Treatment – Design and optimisation of activated sludge systems*. 2nd Edition, IWA Publishing - London (UK).