Comune

SESTRI LEVANTE

Provincia

GENOVA

Titolo del progetto

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE DI RAMAIA, A SERVIZIO DEI COMUNI DI SESTRI L., CASARZA L., CASTIGLIONE C.

Livello di progettazione	Settore di business	Disciplina
D - DEFINITIVO	I2 - DEPURAZIONE	IMP - IMPIANTI

Numero	Titolo	Scala
RT - 001	RELAZIONE DI CALCOLO DI PROCESSO	-

ID Progetto	Titolo sintetico (nome file di stampa)	Codifica WBS
2017GESI0005-00	2017GESI0005-D-I2-IMP-RT-001.pdf	C10I2-L059-01-0002

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
02	17/01/2020	Integrazione	ETC	PP	CZ
01	09/08/2019	Aggiornamento layout	ETC	PP	CZ
00	28/06/2018	Emissione	ETC	PP	CZ

Redatto:

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TRENTO
dott. ing. Angelo Cantatore
Ingegnere civile e ambientale, industriale e dell'informazione
Iscritto al N. 2532 d'Albo - Sezione A degli Ingegneri

ing. Angelo Cantatore

Verificato:

ing. Pietro Pedrazzoli

Approvato:

ing. Christian Zanni

Funzione Ingegneria e realizzazioni
IRETI S.p.A. - Società con socio unico IREN S.p.A.
Sottoposta a direzione e coordinamento di IREN S.p.A.
Sede Legale: S.P.95 per Castelnovo Scrivia - 15057 Tortona (AL)
Cod.fisc. e P.IVA n° 01791490343 pec: ireti@pec.ireti.it

E.T.C. Engineering s.r.l.
Via dei Palustei 16, 38121 Meano (TN)
Tel./Fax: 0461 825966 - e-mail: info@etc-eng.it
Cod.fisc. e P.IVA n° 02067250221

INDICE

1 PREMESSA 5
2 DATI DI PROGETTO 6
2.1 Caratteristiche del refluo in ingresso e scenari di verifica 6
2.2 Stima dell'apporto di reflui di origine industriale 9
2.3 Limiti allo scarico 10
3 FILIERA DI TRATTAMENTO DELL'IMPIANTO 11
3.1.1 Linea acque 12
3.1.2 Modalità di gestione dello scarico di emergenza al torrente Gromolo 13
3.1.3 Linea fanghi 14
3.1.4 Sistema di trattamento dell'aria 14
3.1.5 Locali tecnici di servizio 15
3.1.6 Riepilogo delle dimensioni delle unità di trattamento principali 15
4 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO – LINEA ACQUE 17
4.1 Pre-trattamenti meccanici 17
4.1.1 Arrivo liquame e grigliatura grossolana 17
4.1.2 Grigliatura fine 18
4.1.3 Dissabbiatura-disoleatura 20
4.1.4 Ripartizione alle linee di trattamento biologico 21
4.2 Sezione di trattamento biologico MBR 22
4.2.1 Modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento del comparto biologico 22
4.2.2 Parametri cinetici e stechiometrici 25
4.2.3 Dimensionamento del comparto di filtrazione 26
4.2.4 Dimensionamento del comparto di trattamento biologico 31
4.2.5 Verifica del bilancio dell'alcalinità 34
4.2.6 Dimensionamento del comparto di deossigenazione 35
4.2.7 Descrizione dell'impianto MBR 37
4.2.7.1 Comparto di trattamento biologico 37
4.2.7.2 Comparto di filtrazione a membrana 38
4.2.7.3 Comparto di deossigenazione 41
4.3 Defosfatazione chimica 42

4.4 Disinfezione UV 43
4.5 Sistema di sollevamento finale dell'effluente 46
5 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO – LINEA FANGHI 48
5.1 Produzione attesa di fanghi 48
5.2 Pre-ispessimento 48
5.3 Stabilizzazione aerobica 50
5.4 Disidratazione meccanica 52
6 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO – SISTEMI DI TRATTAMENTO ARIA E APPARECCHIATURE DI SERVIZIO 55
6.1 Sistemi di trattamento e ricambio dell'aria 55
6.2 Gruppo di pressurizzazione dell'acqua di servizio e predisposizione per futuro gruppo per il riuso 59
6.3 Vasca di accumulo/equalizzazione delle acque madri e di lavaggio 60
7 CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA 63
7.1 Procedura per la stima dei consumi energetici 63
7.2 Stima dei consumi medi di energia elettrica 63
8 PRODUZIONE DI RESIDUI SOLIDI E CONSUMO DI *CHEMICALS* 75
8.1 Stima della produzione di residui solidi 75
8.2 Stima dei consumi di *chemicals* 76
9 BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA 77

1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta la relazione di calcolo di processo e dimensionamento del progetto definitivo per la realizzazione dell'impianto di depurazione delle acque reflue di Ramaia, a servizio dei comuni di Sestri Levante, Casarza Ligure, Castiglione Chiavarese. Vi vengono riepilogate le procedure di dimensionamento e i relativi risultati che hanno portato alla definizione delle caratteristiche dimensionali delle varie sezioni impiantistiche e delle specifiche tecniche delle apparecchiature elettromeccaniche.

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 di progetto dell'impianto (capitolo 3). Sono quindi presentati i risultati delle verifiche di calcolo relative ai diversi comparti di trattamento di linea acque (capitolo 4) e linea fanghi (capitolo 5), dei sistemi di trattamento dell'aria e delle apparecchiature di servizio (capitolo 6), 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. Il capitolo 7 presenta la stima dei consumi medi di energia elettrica, mentre il capitolo 8 riassume le stime della produzione di residui solidi da smaltire e del consumo dei reagenti chimici necessari.

2 DATI DI PROGETTO

2.1 CARATTERISTICHE DEL REFLUO IN INGRESSO E SCENARI DI VERIFICA

La definizione del quadro dei dati di progetto da assumere alla base delle verifiche di dimensionamento di processo e idraulico ha fatto riferimento agli approfondimenti tecnici condotti da IRETI in fase di redazione dello Studio preliminare di fattibilità tecnica ed economica, basati sull'analisi dei dati storici raccolti da Mediterranea delle Acque negli ultimi anni e su una campagna di analisi e rilievi integrativi effettuata tra agosto 2014 e ottobre 2015. È stato così possibile stabilire, tenendo conto anche dei possibili futuri incrementi del bacino di utenza servito, i carichi inquinanti e idraulici da trattare. Inoltre, il significativo incremento del numero di abitanti da servire nel periodo estivo per effetto dell'importante afflusso turistico richiede di verificare l'adeguatezza dell'impianto sia in condizioni di **alta stagione** (periodo estivo, appunto) che in condizioni di **bassa stagione** (il resto dell'anno), prevedendo gli opportuni accorgimenti per massimizzare la flessibilità gestionale e l'affidabilità operativa.

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 nei periodi di alta e bassa stagione, ricavate dall'analisi dei bacini di utenza effettuata in sede di Studio preliminare di fattibilità tecnica ed economica.

Le verifiche di processo delle sezioni di trattamento secondario e della linea fanghi sono state invece condotte in **due diversi scenari di temperatura e di carichi inquinanti**:

- **Scenario AS-MC (alta stagione - medio carico)**: periodo estivo, con temperatura minima di riferimento di **20 °C** e concentrazioni dei principali macroinquinanti pari ai **valori medi** di progetto del periodo;
- **Scenario BS-MC (bassa stagione - medio carico)**: resto dell'anno, con temperatura minima di riferimento di **12 °C** e concentrazioni dei principali macroinquinanti pari ai **valori medi** di progetto del periodo.

Per quanto riguarda la linea acque, i risultati ottenuti da queste simulazioni hanno permesso di determinare le condizioni operative e le prestazioni depurative attese nei due periodi stagionali considerati. 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 **due scenari di alti carichi inquinanti in ingresso**, considerando i medesimi periodi stagionali in termini di temperatura e le medesime portate medie di progetto, ma in corrispondenza dell'85° percentile delle relative

concentrazioni inquinanti, desumibili dai risultati ottenuti dalla campagna di monitoraggio effettuata:

- **Scenario AS-AC (alta stagione - alto carico)**: periodo estivo, con temperatura minima di riferimento di **20 °C** e concentrazioni dei principali macroinquinanti pari all'**85° percentile** dei valori ricavati dalla campagna di monitoraggio per il periodo;
- **Scenario BS-AC (bassa stagione - alto carico)**: resto dell'anno, con temperatura minima di riferimento di **12 °C** e concentrazioni dei principali macroinquinanti pari all'**85° percentile** dei valori ricavati dalla campagna di monitoraggio per il periodo.

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 sezione di stabilizzazione aerobica** è stato effettuato considerando **le temperature massime attese nei vari periodi stagionali** (assunte pari a **28 °C** e **24 °C** rispettivamente per il periodo di alta stagione (estate) e quello di bassa stagione (resto dell'anno). 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.

Come verrà approfondito nel paragrafo 4.2.1, 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 ipotizzato facendo riferimento a valori cautelativi nei *range* tipicamente osservati per reflui urbani (Ekama *et al.*, 1984; Andreottola *et al.*, 2005; Henze *et al.*, 2008; Metcalf & Eddy, 2014).

I dati di riferimento per i diversi scenari di verifica sono riepilogati in Tabella 1.

Tabella 1: Quadro dei dati di progetto nei diversi scenari di verifica considerati

Parametro	**Unità di misura**	**Scenario**			
		ALTA STAGIONE		**BASSA STAGIONE**	
		Medio carico (AS-MC)	**Alto carico (AS-AC)**	**Medio carico (BS-MC)**	**Alto carico (BS-AC)**
Portate di progetto					
Bacino di utenza servito	**AE**	**70000**	**70000**	**46000**	**46000**
Dotazione idrica pro-capite	L/AE/d	200	200	200	200
Coefficiente di afflusso in fognatura	-	0.80	0.80	0.80	0.80
Portata media nera $\mathbf{Q_m}$	m^3/d m^3/h	11200 **467**	11200 **467**	7360 **307**	7360 **307**
Portata massima a pre-trattamento $\mathbf{Q_{pm}=5 \cdot Q_m}$	m^3/h	**2333**	**2333**	**1533**	**1533**
Portata massima a trattamento biologico $\mathbf{Q_{pb}=3 \cdot Q_m}$	**m^3/h**	**1400**	**1400**	**920**	**920**
Caratteristiche qualitative del refluo in ingresso					
Sostanza organica come BOD_5	**mgBOD_5/L**	**350**	**450**	**250**	**300**
Sostanza organica come COD	**mgCOD/L**	**700**	**900**	**500**	**600**
Azoto totale (TN)	**mgN/L**	**45.0**	**62.5**	**45.0**	**62.5**
Solidi sospesi totali (SST)	**mgSST/L**	**450**	**800**	**250**	**300**
Fosforo totale (TP)	**mgP/L**	**11.3**	**12.5**	**11.3**	**12.5**
Alcalinità	mg$CaCO_3$/L	112	112	112	112
Carichi di inquinanti in ingresso					
Sostanza organica come BOD_5	kgBOD_5/d	3920	5040	1840	2208
Sostanza organica come COD	kgCOD/d	7840	10080	3680	4416
Azoto totale (TN)	kgN/d	700	700	460	460
Solidi sospesi totali (SST)	kgSST/d	5040	8960	1840	2208
Fosforo totale (TP)	kgP/d	126	140	83	92
Potenzialità dell'impianto su base BOD_5 (60 gBOD_5/AE/d)	AE	65333	84000	30667	36800
Frazionamento del COD nel refluo in ingresso					
Frazione di COD solubile biodegradabile	-	0.20	0.20	0.20	0.20
Frazione di COD solubile non biodegradabile	-	0.05	0.05	0.05	0.05
Frazione di COD particolato biodegradabile	-	0.60	0.60	0.60	0.60
Frazione di COD particolato non biodegradabile	-	0.15	0.15	0.15	0.15
Temperature in vasca					
Temperatura minima di progetto	**°C**	**20**	**20**	**12**	**12**
Temperatura massima (per il dimensionamento dei sistemi di aerazione)	°C	28	28	24	24

2.2 STIMA DELL'APPORTO DI REFLUI DI ORIGINE INDUSTRIALE

Il refluo attualmente afferente alla rete fognaria dell'agglomerato è caratterizzato da ridotti apporti di origine industriale. Secondo le autorizzazioni allo scarico in fognatura attualmente in vigore, condizionate al rispetto dei limiti di emissione in rete fognaria previsti dalla Tabella 3 (II colonna) dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs. 152/06, l'apporto complessivo massimo dei reflui di origine industriale è equivalente a circa 380 AE[1]. Rispetto ai carichi medi di progetto afferenti all'impianto nei periodi di alto e basso carico, tale apporto incide rispettivamente per lo 0.6% e l'1.2%.

Oltre a tali scarichi industriali sono presenti nel territorio quelli generati dalle acque di vegetazione dei frantoi oleari presenti sul territorio comunale (ad oggi risulta autorizzato solamente lo scarico della Olivicoltori Sestresi Società Cooperativa) che ai sensi dell'art. 101 comma 7bis del D.Lgs. n°152 del 3 aprile 2006, risultano assimilate alle reflue domestiche. I reflui oleari sono però caratterizzati da concentrazioni particolarmente elevate di alcuni dei parametri previsti dalla Tabella 3 dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs. 152/06 (quali in particolare BOD_5, COD, SST, grassi, oli e fenoli). Per l'autorizzazione allo scarico degli stessi si farà riferimento a quanto previsto dal "Regolamento di utenza del Servizio Idrico Integrato" recentemente approvato dalla città metropolitana con Delibera di Consiglio metropolitano n°32/2019, all'Art. 43 e all'Art.48. Stando a quanto ad oggi autorizzato in via sperimentale, l'apporto massimo generato dallo scarico dal frantoio citato genera un carico inquinante corrispondente a 3300 AE, valutato compatibile con il funzionamento dell'impianto.

Va sottolineato che, ai sensi dell'Art. 43 del Regolamento servizio utenze, qualsiasi autorizzazione in deroga è comunque subordinata alla preventiva emissione di un parere da parte del gestore del sistema di depurazione e, comunque, al pre-trattamento del refluo prima dello scarico in fognatura secondo le indicazioni fornite dal gestore stesso. Questo sarà quindi l'iter da seguire anche in futuro per qualsiasi eventuale nuova richiesta di autorizzazione allo scarico in fognatura da parte di altri frantoi presenti sul territorio. A tal riguardo, va peraltro considerato che lo scarico dei reflui oleari da parte dei frantoi avviene esclusivamente nel periodo della molitura (tra novembre e marzo). Pertanto, esso contribuisce ai carichi afferenti all'impianto di depurazione esclusivamente nel periodo di basso carico, durante il quale l'impianto risulta caratterizzato da un ampio margine di potenzialità di trattamento residua, in particolare nei confronti dei parametri inquinanti maggiormente significativi per i reflui oleari. Ciò rappresenta quindi un importante fattore che potrà essere tenuto in considerazione dal gestore per valutare eventuali future richieste di autorizzazione allo scarico in deroga che dovessero pervenire dai frantoi.

[1] Si ricorda che, ai sensi dell'art. 74 del D.Lgs. 152/06, con abitante equivalente (AE) si intende il carico organico biodegradabile convogliato in fognatura da utenze civili o assimilabili, avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD_5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno.

2.3 LIMITI ALLO SCARICO

Ai fini strettamente normativi, l'impianto deve garantire un effluente conforme a quanto previsto dal D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152; più in particolare deve **rispettare i limiti qualitativi per lo scarico in acque superficiali ai sensi delle tabelle 1 e 3 dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs. 152/06** e dovrà quindi essere autorizzato in tal senso.

Tuttavia, come specificato nel paragrafo 3, la necessità di limitare la minimo gli spazi occupati dal nuovo depuratore ha fatto propendere per l'impiego della tecnologia MBR. Tra i vantaggi di tale tecnologia, che sfrutta il processo di chiarificazione del fango mediante ultrafiltrazione su membrana, c'è quello di generare un'effluente depurato di elevatissima qualità, al punto da consentire, con l'introduzione di ulteriori minime implementazioni impiantistiche (nel caso specifico limitate ad una stazione di dosaggio di reagente chimico flocculante per l'abbattimento del fosforo per precipitazione in simultanea), il rispetto delle caratteristiche richieste dal D.M. 12 giugno 2003, n. 185 per il riutilizzo delle acque reflue, più restrittive rispetto ai limiti qualitativi previsti dal D.Lgs. 152/06. Ciò permette di conseguire un più elevato livello di protezione ambientale e consente l'eventuale futuro reimpiego dell'acqua depurata per le destinazioni d'uso ammissibili. Peraltro, a tal riguardo, l'Amministrazione Comunale di Sestri Levante ha già prospettato in via informale l'interesse per il possibile riuso dell'effluente depurato prodotto dall'impianto per l'irrigazione dei parchi cittadini o a scopi antincendio. Visto che i costi aggiuntivi indotti risultano trascurabili, il nuovo impianto di depurazione è stato pertanto progettato prevedendo tutte le predisposizioni volte a semplificare, in futuro, la realizzazione di un sistema di riutilizzo dell'effluente. Esso sarà in ogni caso oggetto di un progetto dedicato, per il quale dovrà essere seguito lo specifico iter autorizzativo previsto dalla normativa vigente.

In sintesi, i principali standard qualitativi da rispettare allo scarico sono riassunti in Tabella 2.

Tabella 2: Limiti previsti allo scarico ai sensi del D.M. 185/2003

Parametro	Unità di misura	Valore	Note
Sostanza organica come BOD_5	mgBOD_5/L	**20**	
Sostanza organica come COD	mgCOD/L	**100**	
Solidi sospesi totali (SST)	mgSST/L	**10**	
Azoto totale (TN)	mgN/L	**15**	
Azoto ammoniacale (come NH_4)	mgNH_4/L	**2**	Corrispondente a 1.67 mgN-NH_4/L
Fosforo totale (TP)	mgP/L	**2**	
Escherichia coli	UFC/100 mL	**10** **100**	Limite da rispettare sull'80% dei campioni Valore massimo puntuale

3 FILIERA DI TRATTAMENTO DELL'IMPIANTO

La scelta della tecnologia impiantistica da adottare è scaturita da un'approfondita analisi svolta in sede di Studio preliminare di fattibilità, confrontando le soluzioni tecniche che potessero garantire il conseguimento stabile delle elevate efficienze depurative desiderate e consentire al contempo una gestione efficiente, flessibile ed affidabile nel contesto di progetto.

Ai fini della loro applicabilità, le opzioni impiantistiche considerate sono state:

- Impianto tradizionale a fanghi attivi (*Activated Sludge Process*)
- Impianto MBR (*Membrane Biological Reactor*)
- Impianto MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) in versione base e IFAS

L'analisi condotta ha fatto propendere per la tecnologia MBR, che consente di abbinare vantaggiosamente la provata affidabilità dei sistemi convenzionali a fanghi attivi e le elevate prestazioni della filtrazione su membrana, garantendo un'elevatissima qualità dell'effluente depurato, come confermato dalle numerose installazioni già presenti in Italia e nel mondo, tra le quali alcune significative anche nel contesto territoriale ligure (si citano ad esempio gli impianti di Genova-Quinto, Santa Margherita Ligure, Recco, Levanto e il costruendo impianto di Rapallo).

Un ulteriore vantaggio, risultato decisivo nella scelta, è legato al fatto che la tecnologia MBR permette più di ogni altra di limitare i volumi impiantistici, consentendo di limitare l'occupazione di superfici e quindi l'impatto territoriale, a tutto vantaggio del contesto circostante l'impianto. Questi elementi sono particolarmente importanti nel caso in esame in quanto il territorio afferente all'impianto è ad alto pregio ambientale e ad alta vocazione turistica, con spazi disponibili ridotti ed economicamente impegnativi proprio perché principalmente destinati ad altro uso.

La scelta della tecnologia impiantistica da adottare è scaturita da un'approfondita analisi svolta in sede di Studio preliminare di fattibilità, confrontando le soluzioni tecniche che potessero garantire il conseguimento stabile delle elevate efficienze depurative desiderate e consentire al contempo una gestione efficiente, flessibile ed affidabile nel contesto di progetto.

Ai fini della loro applicabilità, le opzioni impiantistiche considerate sono state:

- Impianto tradizionale a fanghi attivi (Activated Sludge Process)
- Impianto MBR (*Membrane Biological Reactor*)
- Impianto MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) in versione base e IFAS

L'analisi condotta ha fatto propendere per la tecnologia MBR, che consente di abbinare vantaggiosamente la provata affidabilità dei sistemi convenzionali a fanghi attivi e le elevate prestazioni della filtrazione su membrana, garantendo un'elevatissima qualità dell'effluente depurato, come confermato dalle numerose installazioni già presenti in Italia e nel mondo, tra le quali alcune significative anche nel contesto territoriale ligure (si citano ad esempio gli impianti di Genova-Quinto, Santa Margherita Ligure, Recco, Levanto e il costruendo impianto di Rapallo).

Un ulteriore vantaggio, risultato decisivo nella scelta, è legato al fatto che la tecnologia MBR permette più di ogni altra di limitare i volumi impiantistici, consentendo di limitare l'occupazione di superfici e quindi l'impatto territoriale, a tutto vantaggio del contesto circostante l'impianto. Questi elementi sono particolarmente importanti nel caso in esame in quanto il territorio afferente all'impianto è ad alto pregio ambientale e ad alta vocazione turistica, con spazi disponibili ridotti ed economicamente impegnativi proprio perché principalmente destinati ad altro uso.

3.1.1 Linea acque

L'impianto MBR di Ramaia è ospitato interamente all'interno di un capannone. La filiera di trattamento della **linea acque** è composta da:

- **condotta di arrivo liquami** dalla nuova stazione di sollevamento fognario, realizzata nell'ambito di un altro lotto di lavori, sul cui tratto terminale verrà installato un misuratore di portata elettromagnetico con sistema valvolato di by-pass. Il limite di batteria è individuato dal punto di connessione con il nuovo collettore fognario, posto in corrispondenza del pozzetto interrato di by-pass del misuratore, mostrato nella planimetria 2017GESI0005-00-D-I2-IMP-EG-003;
- **stazione di grigliatura grossolana**, realizzata su due griglie automatiche a barre con spaziatura 20 mm installate in canale, con predisposizione di un terzo canale di by-pass;
- **stazione di grigliatura fine**, su tre griglie a cestello in cassone con luci di passaggio di 1.5 mm a foro circolare e sistema di compattazione del materiale grigliato costituito da due filtrocolee compattatrici in contenitore;
- **sezione di dissabbiatura-disoleatura**, su tre impianti compatti in cassone longitudinale aerato, munito di sistema di estrazione di sabbie e grassi, e due classificatori/lavatori delle sabbie separate;
- **ripartitore di portata alle linee di trattamento biologico**, con sistema automatizzato di by-pass allo scarico dell'aliquota di portata eccedente $Q_{pb}=3\cdot Q_m$;
- **quattro linee di trattamento secondario con tecnologia MBR operanti in parallelo**, composte da:
  - n. 4 linee di trattamento biologico configurato secondo lo schema di pre-denitrificazione/nitrificazione;
  - n. 1 canale comune di raccolta e distribuzione del fango alle celle di filtrazione;
  - n. 4 celle di ultrafiltrazione a membrana;
  - n. 2 vasche di deossigenazione, ciascuna equipaggiata con 2+1R pompe di sollevamento dei fanghi ai canali di ricircolo in testa al trattamento biologico;
  - n. 1 vasca di accumulo del permeato con funzione di polmone in occasione delle operazioni di lavaggio delle membrane;
- **una stazione di dosaggio di soluzione di cloruro ferrico al 40% per la defosfatazione chimica in simultanea**, con immissione nel canale di distribuzione alle linee biologiche;

- **una stazione di dosaggio di soluzione di idrossido di sodio al 30% per l'eventuale correzione del pH**, con immissione ne canale di distribuzione alle linee biologiche;
- **un comparto di disinfezione finale dell'effluente mediante irraggiamento UV**, strutturato su due canali operanti in parallelo con terzo canale di by-pass;
- **una vasca di accumulo dell'effluente trattato**, con funzioni di volume polmone per l'eventuale futuro riutilizzo e da cui preleva anche il gruppo di pressurizzazione dell'acqua di servizio dell'intero depuratore;
- **sistema di scarico dell'effluente**, composto da:
  - camera di arrivo dell'effluente trattato e dell'eventuale aliquota di portata di by-pass del trattamento biologico;
  - torrino di scarico, da cui traggono origine le condotte per il recapito a mare e per lo scarico di emergenza al torrente Gromolo;
  - camera di sollevamento finale al torrino di scarico.

La realizzazione della nuova condotta di scarico a mare non è compresa tra le opere del presente progetto, ma è oggetto di un altro lotto d'intervento, unitamente alla realizzazione della nuova rete fognaria di collettamento dei liquami al depuratore. Il limite di batteria è rappresentato dalla valvola di intercettazione a ghigliottina motorizzata montata sul tronchetto di tubazione in uscita dal torrino e alloggiata in un pozzetto interrato ad esso adiacente. L'esecuzione dei lavori previsti dal progetto per la realizzazione della nuova rete fognaria e della nuova condotta di scarico a mare sarà coordinata in maniera da ultimare e collaudare le opere prima del completamento dei lavori del nuovo depuratore, in maniera da non ritardare il collaudo e la messa in esercizio dell'impianto stesso. Il presente progetto prevede invece la realizzazione del collettore di scarico di emergenza al torrente Gromolo: si tratta di una condotta interrata in PEAD PN10 De630, presidiata da una valvola di intercettazione a ghigliottina motorizzata alloggiata in un secondo pozzetto interrato adiacente al torrino. Il collettore di scarico di emergenza segue il tracciato mostrato nella planimetria 2017GESI0005-00-D-I2-IMP-EG-003 e termina in corrispondenza del muro arginale in sponda sinistra del torrente Gromolo, dove è prevista l'installazione di una valvola anti-reflusso a clapet.

3.1.2 Modalità di gestione dello scarico di emergenza al torrente Gromolo

Le modalità di attivazione dello scarico di emergenza al torrente Gromolo seguiranno procedure rigorose volte a limitarne l'utilizzo ai soli casi in cui ciò non determini rischi di aggravio dello stato ecologico e chimico del corpo idrico, né possibili problemi igienico-sanitari con conseguenze sulla balneabilità della costa in prossimità della foce. Di conseguenza, **l'attivazione dello scarico di emergenza potrà avvenire nel caso in cui si verifichino <u>contemporaneamente</u> le seguenti condizioni**:

- fuori servizio della condotta di scarico a mare;
- impianto di depurazione perfettamente funzionante ed efficiente, in grado di garantire lo scarico di effluente conforme ai limiti autorizzati allo scarico;

- evento di emergenza occorso al di fuori del periodo estivo, al fine di evitare che lo scarico dell'effluente nel torrente, spesso in secca in tale periodo, possa determinare il ri-sollevamento di depositi naturali accumulatisi nel letto e il loro trasporto fino alla foce, determinando possibili problemi sulla balneabilità del tratto di costa in prossimità di quest'ultima.

Va segnalato che il sistema di automazione e controllo prevede la possibilità di fermare i nuovi sollevamenti fognari all'impianto di depurazione, con conseguente attivazione degli scarichi diretti a mare attraverso le condotte attualmente esistenti a servizio degli impianti di Sestri Levante (Baia) e Riva Trigoso. Ciò consentirà di gestire lo scarico in maniera efficiente e tempestiva, evitando qualunque possibile ripercussione sul torrente Gromolo e sulla costa in caso di fuori servizio della condotta di scarico a mare (ad esempio in caso di rottura o guasto o attività di manutenzione).
In aggiunta a ciò, la dotazione strumentale dell'impianto prevede l'installazione di sensori di torbidità sulla mandata delle pompe di estrazione del permeato dal comparto di filtrazione su membrane. Tali sensori permetteranno il monitoraggio in continuo della qualità dell'effluente dall'impianto, evidenziando in tempo reale eventuali problemi e permettendo di conseguenza di mettere in atto le opportune contromisure di manutenzione. Qualora si manifestasse un inconveniente che determini la riduzione dell'efficienza depurativa dell'impianto in contemporanea al fuori servizio della condotta di scarico a mare, verranno automaticamente fermate le stazioni di sollevamento fognario al depuratore e si attiveranno gli scarichi diretti a mare esistenti presso gli impianti di Sestri Levante (Baia) e Riva Trigoso. Va puntualizzato al riguardo che, in caso di black-out elettrico, un gruppo elettrogeno di emergenza da 600 kVA permetterà di mantenere attive le sezioni di pre-trattamento e di sollevamento al torrino di scarico dell'effluente nella condotta a mare.

3.1.3 Linea fanghi

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

- **sezione di pre-ispessimento**, su due ispessitori dinamici a coclea operanti in parallelo;
- **comparto di stabilizzazione aerobica**, strutturato su due vasche operanti in parallelo;
- **sezione di disidratazione meccanica**, su due decanter centrifughi operanti in parallelo;
- **vasca di accumulo ed equalizzazione** delle acque madri separate dalle sezioni di ispessimento e disidratazione e delle le acque di lavaggio delle apparecchiature di pre-trattamento meccanico del refluo in ingresso.

3.1.4 Sistema di trattamento dell'aria

Completa la dotazione impiantistica il **sistema di trattamento dell'aria**, che prevede la compartimentazione e il mantenimento in leggera depressione delle aree a maggiore impatto odorigeno, mediante captazione e trattamento dedicato dell'aria esausta, oltre all'aspirazione e al trattamento del resto dell'aria ambiente (aree d'impianto a ridotto impatto odorigeno), al fine di

garantire un ricambio adeguato a mantenere la salubrità dei luoghi di lavoro. Più in dettaglio, la configurazione prevista è composta da:

- **stazione di aspirazione e trattamento su filtri a secco** dell'aria esausta prelevata dalle **sezioni di pre-trattamento meccanico** (opportunamente compartimentate e isolate dal resto dell'ambiente);
- **stazione di aspirazione e trattamento su filtri a secco** dell'aria esausta prelevata dalle **vasche di stabilizzazione aerobica e dalla vasca di accumulo/equalizzazione delle acque madri e di lavaggio;**
- **stazione di aspirazione e trattamento su filtri a secco** dell'aria esausta prelevata dal locale di disidratazione.
- **stazione di aspirazione e trattamento su filtri a secco** dell'aria ambiente generale;
- **stazione di immissione forzata dell'aria all'interno del capannone**, al fine di migliorare la circolazione dell'aria ambiente soprattutto nelle zone potenzialmente più umide (vasche di trattamento biologico e filtrazione, in cui è prevista insufflazione di aria di processo), massimizzando l'efficacia del sistema di ricambio aria.

3.1.5 Locali tecnici di servizio

La configurazione impiantistica proposta prevede infine i **locali tecnici e di servizio** necessari a garantire funzionalità, affidabilità e fruibilità impiantistica e gestionale, comprensivi di spazi dedicati non solo alla gestione del depuratore ma anche all'intero Centro Zona di Sestri Levante, tra cui:

- edificio di servizio, che ospita la sala controllo, gli uffici e gli spogliatoi;
- locali ad uso magazzino, deposito e officina;
- locale soffianti, che ospita le macchine deputate alla fornitura dell'aria alle vasche di ossidazione/nitrificazione, alle celle di filtrazione a membrana e ai bacini di stabilizzazione aerobica;
- cabina elettrica;
- locali trasformatori;
- locali quadri elettrici;
- locale gruppo elettrogeno.

3.1.6 Riepilogo delle dimensioni delle unità di trattamento principali

Il prospetto di Tabella 3 riepiloga le caratteristiche dimensionali delle principali unità di trattamento nella configurazione impiantistica di progetto.

Tabella 3: Caratteristiche dimensionali dei manufatti principali nella configurazione di progetto

Comparto	Num. vasche	Dimensioni planimetriche LxW	Battente utile max H	Superficie unitaria	Volume unitario	Volume totale comparto
	(-)	(m)	(m)	(m^2)	(m^3)	(m^3)
Trattamento biologico						
Pre-denitrificazione	4	11.80x8.50	4.50	100.3	451	*1805*
Ossidazione/Nitrificazione	4	14.40x8.50	4.50	122.4	551	*2203*
TOTALE					**1002**	**4008**
Filtrazione a membrana						
Filtrazione	4	7.00x6.20	3.10	43.4	135	**538**
Deossigenazione						
Canale uscita celle filtrazione	4	6.60x1.30	1.30	8.6	11	*45*
Vasca di deossigenazione	2	8.70x4.30	3.60	37.4	135	*269*
TOTALE						**314**
TOTALE IMPIANTO MBR						**4861**
Accumulo permeato per lavaggio membrane	1	4.00x3.50	2.50 (*)	14.0	35	**35**
Disinfezione UV	2	6.20x0.40	0.60	2.5	1.5	**3.0**
Vasca di accumulo effluente per il riuso						
Camera 1 (a lato canali UV)	1	12.90x4.50	4.60	58.1	267	*267*
Camera 2 (sotto canali UV)	1	8.20x5.50	4.40	45.1	198	*198*
Camera 3 (a monte sfioro in uscita)	1	10.00x2.60	4.60	26.0	120	*120*
TOTALE						**585**
Sollevamento finale						
Camera di scarico (conformata a L)	1	4.00x6.20	2.10 (**)	24.8	52	*52*
	1	5.90x2.00	2.10 (**)	11.8	25	*25*
Camere pompe	2	3.70x3.30	2.10 (**)	12.2	26	*52*
TOTALE						**129**
Torrino di caricamento delle condotte di scarico effluente	1	7.70x2.00	11.00	15.4	169	**169**
Stabilizzazione aerobica	2	14.00x6.50	4.50	91.0	410	**819**
Accumulo/equalizzazione acque madri e acque di lavaggio	1	10.65x15.50	4.50	165.1	743	**743**

(*) Battente utile sopra la quota di immissione dei collettori di estrazione del permeato
(**) Battente utile tra livello minimo di sommergenza delle pompe di sollevamento finale e il w.l. di set-point mantenuto in esercizio

4 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO – LINEA ACQUE

4.1 PRE-TRATTAMENTI MECCANICI

4.1.1 Arrivo liquame e grigliatura grossolana

Il liquame viene recapitato alla camera di caricamento alla sezione di grigliatura attraverso la condotta premente in arrivo dalla stazione di sollevamento fognario (in ghisa DN600). La portata in arrivo è monitorata attraverso il misuratore elettromagnetico 100-FIT-101 (installato su un tratto di tubo a diametro ridotto a DN500 in un apposito pozzetto esterno adiacente al capannone del depuratore, ma con elettronica in versione separata posizionata all'interno del capannone stesso). È inoltre prevista la posa di un collegamento di by-pass per eventuali interventi di manutenzione sul misuratore, con due pozzetti di manovra a monte e a valle del misuratore stesso per ospitare le valvole di intercettazione.

Il comparto di grigliatura grossolana è strutturato su due canali di grigliatura operanti in parallelo, alimentati dalla camera di arrivo liquami attraverso paratoie ad azionamento manuale (100-SGm-101-A/B/C). Ciascuna delle due griglie a barre (100-GR-101-A/R), caratterizzate da luci di passaggio di 20 mm, è dimensionata per trattare l'intera portata massima di progetto di alta stagione ($Q_{pm}=5\cdot Q_m=2333$ m^3/h), garantendo quindi la massima flessibilità di esercizio.

Ciascun canale di grigliatura fine è dotato di paratoia di intercettazione anche a valle della griglia (100-SGm-102-A/B), per poterlo isolare idraulicamente in occasione di interventi di manutenzione o pulizia. La sezione di grigliatura fine può anche essere by-passata mediante un terzo canale, presidiato dalle paratoie di intercettazione manuali 100-SGm-101-C e 100-SGm-102-C).

Il refluo trattato dalle griglie si raccoglie in una camera comune di alimentazione alla sezione di grigliatura fine, mentre il materiale grigliato separato viene avviato ai cassonetti di raccolta dai nastri trasportatori orizzontali 100-TR-101-A/R.

L'installazione e l'eventuale movimentazione delle griglie grossolane può essere effettuata con l'ausilio dei due paranchi elettrici a catena con carrello monorotaia 100-TP-101-A/B.

Le caratteristiche dell'equipaggiamento della sezione sono riepilogate in Tabella 4, unitamente ad una stima approssimativa della produzione media attesa di materiale grigliato.

Tabella 4: Sezione di grigliatura grossolana del refluo in ingresso

Parametro	Unità di misura	Valore
Griglie a barre a pulizia automatica		
Numero linee di grigliatura in parallelo	-	2
Portata massima (Q_{pm})	m³/h	2333
Dimensioni utili dei canali di grigliatura (LxWxH)	m	8.10x1.00x1.80
Altezza netta di grigliatura	mm	1570

Luci di filtrazione	mm	20
Potenza nominale unitaria	kW	0.75
Nastri di evacuazione del materiale grigliato		
Numero unità installate	-	2
Lunghezza nastro	mm	1900 - 3200
Larghezza nastro	mm	400
Potenza nominale unitaria	kW	0.37
Stima della produzione media di materiale grigliato		
Produzione specifica di grigliato	L_{gr}/m^3_{refluo}	0.04
Produzione giornaliera grigliato in ALTA STAGIONE (mesi estivi)	m^3	0.45
Produzione giornaliera grigliato in BASSA STAGIONE	m^3	0.29
Peso specifico medio del materiale grigliato	kg/m^3	800
Stima della produzione media annua di grigliato (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	m^3/anno t/anno	121 97

4.1.2 Grigliatura fine

Il refluo in uscita dalla grigliatura grossolana si raccoglie in un collettore che lo convoglia alle tre griglie fini a cestello in cassone operanti in parallelo, con luci di filtrazione di 1.5 mm a foro circolare (100-GR-102-A/B/C). Ciascuna griglia è isolabile idraulicamente mediante apposite valvole motorizzate ON/OFF a ghigliottina, poste in ingresso e in uscita (100-VGeo-101-A/B/C e 100-VGeo-102-A/B/C).

Le griglie sono dimensionate per trattare la portata media di progetto di alta stagione (467 m^3/h), con la concentrazione di SST prevista nello scenario di alto carico (800 mg/L) con sole due unità in funzione. Ciascuna macchina è quindi in grado di trattare il carico massimo di SST di 187 kgSST/h. Dal punto di vista idraulico, due macchine sono sufficienti per trattare la portata massima da avviare a trattamento biologico in alta stagione ($Q_{pb}=3\cdot Q_m=1400$ m^3/h), mentre la portata di picco di alta stagione ($Q_{pm}=5\cdot Q_m=2333$ m^3/h) richiede tre macchine in esercizio.

La movimentazione delle griglie fini legata alla necessità di effettuare interventi di manutenzione può essere effettuata con l'ausilio di un paranco elettrico a catena con carrello monorotaia (100-TP-102).

Il refluo trattato dalle griglie fini viene alimentato, mediante un sistema i collettori, alla successiva sezione di dissabbiatura disoleatura. Il materiale grigliato separato dalle griglie fini viene invece flussato con le acque di lavaggio al sistema di compattazione, costituito da due filtrococlee compattatrici in cassone (100-GR-103-A/R), di cui una con funzioni di riserva attiva. Le tubazioni di alimentazione delle single unità sono presidiate valvole motorizzate ON/OFF a ghigliottina (100-VGeo-106-A/B) per gestire l'alternanza di funzionamento delle due apparecchiature, mentre le

tubazioni in uscita sono presidiate da valvole manuali a ghigliottina (100-VGm-107-A/B) per permettere di isolare idraulicamente le macchine.
Le acque drenate dalle filtrococlee sono convogliate alla vasca di accumulo/equalizzazione delle acque madri e di lavaggio, mentre il materiale grigliato compattato viene scaricato al cassone scarrabile di raccolta.
Le caratteristiche dell'equipaggiamento della sezione sono riepilogate in Tabella 5, unitamente ad una stima approssimativa della produzione media attesa di materiale grigliato.

Tabella 5: Sezione di grigliatura fine del refluo in ingresso

Parametro	Unità di misura	Valore
Griglie fini a cestello		
Numero linee di grigliatura in parallelo	-	3
Portata massima in alta stagione (Q_{pm})	m³/h	2333
Portata media in alta stagione (Q_m)	m³/h	467
Portata unitaria di punta	m³/h	778
Carico massimo unitario di SST	kgSST/h	187
Diametro cestello filtrante	mm	1556
Inclinazione cestello sull'orizzontale	-	5°
Luci di filtrazione	mm	3
Potenza nominale unitaria	kW	1.50
Filtrococlee compattatrici del materiale grigliato		
Numero unità installate	-	2
Diametro coclea	mm	355
Inclinazione cestello sull'orizzontale	-	35°
Grado di compattazione del grigliato	-	fino a 40%SS
Potenza nominale unitaria	kW	4.00
Stima della produzione media di materiale grigliato		
Produzione specifica di grigliato	L_{gr}/m^3_{refluo}	0.10
Stima del tenore di secco del grigliato in ingresso alle filtrococlee	-	15%
Stima del tenore di secco del grigliato in uscita dalle filtrococlee	-	30%
Produzione giornaliera grigliato in ALTA STAGIONE (mesi estivi)	m³/d	0.56
Produzione giornaliera grigliato in BASSA STAGIONE	m³/d	0.37
Peso specifico medio del materiale grigliato	kg/m³	1200
Stima della produzione media annua di grigliato (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	m³/anno t/anno	152 182

4.1.3 Dissabbiatura-disoleatura

La sezione di dissabbiatura-disoleatura è costituita da tre impianti compatti in cassone aerato a flusso longitudinale (100-PK-101-A/B/C), equipaggiati di soffiante rotativa e diffusori di insufflazione aria, coclea di fondo di raccolta sabbie, pompa centrifuga a secco di rilancio sabbie ai classificatori/lavatori, dispositivo a setto trascinato di asporto grassi ad una trappola di raccolta e di pompa monovite di rilancio grassi alla stabilizzazione aerobica.

Ciascun dissabbiatore-disoleatore è isolabile idraulicamente mediante apposite valvole motorizzate ON/OFF a ghigliottina, poste in ingresso e in uscita (100-VGeo-104-A/B/C e 100-VGeo-105-A/B/C).

I dissabbiatori sono dimensionati per trattare la portata di picco di alta stagione ($Q_{pm}=5\cdot Q_m=2333$ m^3/h) con tre unità in esercizio, con portata unitaria massima di 778 m^3/h. Ne consegue che la portata massima da avviare a trattamento biologico in alta stagione ($Q_{pb}=3\cdot Q_m=1400$ m^3/h) può essere trattata agevolmente con solo due unità in funzione, alla portata di 700 m^3/h cadauna.

Per esigenze legate al profilo idraulico, i dissabbiatori-disoleatori sono alloggiati in una vasca ribassata rispetto al piano di camminamento della zona dei pre-trattamenti. In un angolo di tale vasca è pertanto previsto un pozzetto in cui alloggiare una pompa di sentina per il rilancio di eventuali acque di drenaggio alla camera alimentazione della grigliatura grossolana (900-PS-102).

La miscela acqua-sabbie estratte dai dissabbiatori è inviata a due classificatori-lavatori (100-CS-101-A/R), di cui uno con funzioni di riserva attiva, che scaricano le sabbie separate all'interno del cassone scarrabile di raccolta. Ciascuna macchina è in grado di trattare la portata di miscela acqua /sabbie estratta in contemporanea da due dissabbiatori-disoleatori. Le tubazioni di alimentazione delle single unità sono presidiate valvole motorizzate ON/OFF a ghigliottina (100-VGeo-108-A/B) per gestire l'alternanza di funzionamento delle due apparecchiature. Le acque drenate dai classificatori sono convogliate alla vasca di accumulo/equalizzazione delle acque madri e di lavaggio.

Le caratteristiche dell'equipaggiamento della sezione sono riepilogate in Tabella 6, unitamente ad una stima approssimativa della produzione media attesa di materiale grigliato.

Tabella 6: Sezione di dissabbiatura-disoleatura fine del refluo in ingresso

Parametro	Unità di misura	Valore
Dissabbiatori-disoleatori compatti		
Numero linee di dissabbiatura-disoleatura in parallelo	-	3
Portata massima in alta stagione (Q_{pm})	m³/h	2333
Portata unitaria di punta	m³/h	778
Volume utile unitario	m³	~33
Tempo minimo di residenza idraulica	min	2.5
Efficienza di separazione delle sabbie (particelle Ø 0.25 mm)	-	92%
Potenza nominale unitaria complessiva	kW	5.87

Classificatori-lavatori delle sabbie		
Numero unità installate	-	2
Portata massima	m^3/h	58
Capacità di asporto sabbie	t/h	1
Potenza nominale unitaria complessiva	kW	2.05
Stima della produzione media di sabbie		
Produzione specifica di sabbie	L_{sabbie}/m^3_{refluo}	0.05
Produzione giornaliera grigliato in ALTA STAGIONE (mesi estivi)	m^3/d	0.56
Produzione giornaliera grigliato in BASSA STAGIONE	m^3/d	0.37
Peso specifico medio delle sabbie	kg/m^3	1600
Stima della produzione media annua di sabbie (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	m^3/anno t/anno	152 243

4.1.4 Ripartizione alle linee di trattamento biologico

In uscita dalla sezione di pre-trattamento meccanico è prevista la realizzazione di un sistema di ripartizione automatica della portata che permette di avviare a trattamento biologico un'aliquota massima pari a $Q_{pb}=3\cdot Q_m$, deviando l'eventuale flusso eccedente al canale di by-pass diretto alla camera di scarico.

Il ripartitore è costituito da un canale che raccoglie il refluo in uscita dai dissabbiatori-disoleatori e lo recapita al canale di distribuzione alle quattro linee di trattamento biologico attraverso due soglie fisse a stramazzo in lamiera di acciaio inox di lunghezza pari a 1.0 m ciascuna, per una lunghezza complessiva di sfioro di 2.0 m. La portata complessiva avviata a trattamento biologico è monitorata in continuo in funzione del battente presente sulle soglie di sfioro, rilevato mediante un apposito sensore di livello ad ultrasuoni (200-LIT-101). L'aliquota di liquame in eccedenza rispetto alla portata massima da avviare a trattamento biologico ($Q>Q_{pb}=3\cdot Q_m$) viene invece deviata al canale di by-pass attraverso una luce in parete, presidiata da paratoia automatica modulante munita di finecorsa e posizionatore (100-SGer-101). Il grado di apertura della paratoia è regolato mediante un controllore PID in funzione del mantenimento di un set-point di livello nel canale ripartitore, pari al battente sulle soglie di sfioro fisse che determina l'invio 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 abbassata) fintantoché la portata trattata è inferiore a $Q_{pb}=3\cdot Q_m$, mentre si apre 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. Al fine di migliorare la precisione del PID di regolazione, dietro lo scudo della paratoia è fissata una lamiera sagomata a V, in maniera da creare una luce di passaggio triangolare anziché rettangolare e quindi di fatto dimezzare la luce di passaggio utile a parità di grado di apertura della paratoia. La paratoia, così come il canale di by-

pass, sono stati dimensionati in base ad apposite verifiche di calcolo idraulico, per le quali si rimanda alla relazione 2017GESI0005-00-D-I2-IMP-RT-002.

4.2 SEZIONE DI TRATTAMENTO BIOLOGICO MBR

4.2.1 Modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento del comparto biologico

Il corretto dimensionamento di un sistema MBR deve considerare necessariamente la duplice natura (biologica e idraulica) del processo, basandosi sia sulla determinazione delle cinetiche che descrivono i processi biologici sia sull'individuazione di un flusso di permeato in grado di ottimizzare i costi di installazione e manutenzione delle membrane.

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 BOD_5, ritenuto indicativo del livello di biodegradabilità dei substrati carboniosi avviati a trattamento.

Tuttavia, benché ancora oggi applicato negli approcci di dimensionamento convenzionali, il BOD_5 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 urbani 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.

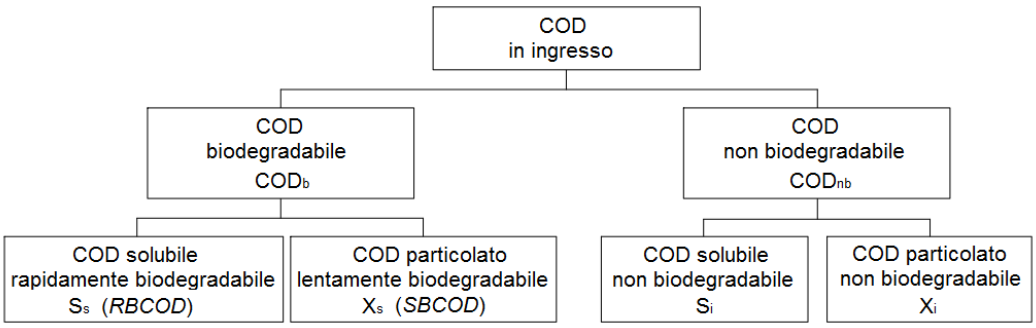


Figura 1: Suddivisione schematica del COD nelle sue forme a diverso grado di biodegradabilità

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

- COD rapidamente biodegradabile (*Readily Biodegradabile 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 $N\text{-}NO_3$ ad azoto gassoso N_2;
- COD lentamente biodegradabile (*Slowly Biodegradabile 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 refluo 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 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, 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.

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 configurazione di pre-denitrificazione/nitrificazione che si prevede di implementare sull'impianto.

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 (riepilogati per il caso in esame nel capitolo 2);
- input dei parametri cinetici e stechiometrici per la biomassa eterotrofa ed autotrofa (si veda il paragrafo 4.2.2);
- input delle condizioni operative in termini di concentrazione di SST mantenuta nel comparto biologico, della relativa frazione volatile SSV/SST e della concentrazione di ossigeno disciolto in vasca di ossidazione-nitrificazione. Va osservato che, nel caso di impianti MBR, è opportuno in realtà stabilire la concentrazione di SST non nel comparto biologico, bensì in quello di filtrazione, fissandolo su valori compatibili per il corretto funzionamento delle membrane utilizzate. La concentrazione di SST all'interno del comparto biologico può essere quindi dedotta impostando un bilancio di massa sulla sezione di filtrazione, in funzione del rapporto di ricircolo del fango applicato;
- scelta di un valore di primo tentativo della frazione anossica f_{xt}, corrispondente alla percentuale del volume complessivo del comparto biologico occupata dal comparto di denitrificazione;
- 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 richiesto per il processo biologico di nitrificazione/denitrificazione, in base alla concentrazione di SST e alla frazione volatile SSV/SST del fango in vasca;
- calcolo della capacità di nitrificazione del sistema (N_c), ovvero della massa di nitrati prodotti nel comparto ossidativo per unità di volume trattato;
- calcolo del potenziale di denitrificazione richiesto (D_p), ossia del quantitativo di nitrati che il sistema è in grado di rimuovere nel volume anossico calcolato, e della capacità di denitrificazione (D_c), ossia del quantitativo di nitrati effettivamente ricircolato, tenendo conto nel

calcolo anche del carico equivalente di nitrati apportato dalla concentrazione di O_2 disciolto nel flusso di ricircolo;

- calcolo del rapporto ottimale di ricircolo del fango dal comparto di filtrazione a membrana (o, come nel caso in esame, dal comparto di deossigenazione) a quello di pre-denitrificazione, imponendo che la capacità di denitrificazione sia pari al potenziale di denitrificazione. Nel caso di impianti MBR va inoltre verificato che il rapporto di ricircolo sia sufficiente a limitare l'effetto di concentrazione della biomassa all'interno del comparto di filtrazione, che deve rimanere in ogni caso inferiore al valore massimo indicato dai produttori delle unità filtranti per non determinare un incremento della velocità di sporcamento (tenore massimo di SST dell'ordine di 12 kgSST/m^3 in caso di impiego di membrane a fibra cava);
- calcolo della concentrazione dei principali macroinquinanti nell'effluente;
- ottimizzazione iterativa della frazione anossica f_{xt} e del rapporto di ricircolo del fango r_m 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, con riferimento alle condizioni più gravose di temperatura massima.

4.2.2 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

$$p_T = p_{20} \cdot \alpha^{(T-20)} \qquad \text{Equazione 1}$$

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 7.

Tabella 7: Valori dei parametri cinetici e stechiometrici assunti in sede di dimensionamento

Parametro	Simbolo	Unità di misura	Valore
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	μ_{n20}	d^{-1}	0.50
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1.123
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T di progetto (alta stagione / bassa stagione)	μ_{nT}	d^{-1}	0.50 / 0.25

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 di progetto (alta stagione / bassa stagione)	b_{nT}	d^{-1}	0.04 / 0.034
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa nitrificante relativa al fabbisogno di substrato a 20 °C	K_{n20}	$mgN\text{-}NH_4/L$	1.0
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1.123
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto (alta stagione / bassa stagione)	K_{nT}	$mgN\text{-}NH_4/L$	1.0 / 0.5
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 (alta stagione / bassa stagione)	b_{hT}	d^{-1}	0.24 / 0.21
Resa cellulare della biomassa eterotrofa	Y_h	gSSV/gCOD	0.45
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile a 20 °C	$K_{1,20}$	$gN\text{-}NO_3/gSSV/d$	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 (alta stagione / bassa stagione)	$K_{1,T}$	$gN\text{-}NO_3/gSSV/d$	0.72 / 0.24
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile a 20 °C	$K_{2,20}$	$gN\text{-}NO_3/gSSV/d$	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 (alta stagione / bassa stagione)	$K_{2,T}$	$gN\text{-}NO_3/gSSV/d$	0.101 / 0.064
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}	-	0.03
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

4.2.3 Dimensionamento del comparto di filtrazione

In via generale, il dimensionamento del comparto di filtrazione di un impianto MBR, e in particolare la determinazione della superficie minima necessaria di membrana, si effettua sulla base di valutazioni di tipo idraulico, rapportando le portate media e massima previste in ingresso ai valori di flusso massimo estraibile, nelle condizioni medie e di picco, per la particolare tipologia di membrane

utilizzate. Appositi studi sperimentali per la determinazione del flusso critico e del tempo di sostenibilità del flusso permettono di stabilire tali valori di progetto, allo scopo di ottimizzare le condizioni di esercizio delle unità filtranti per contenere il fenomeno del *fouling*, minimizzando la frequenza degli interventi di lavaggio chimico e massimizzando la vita utile delle membrane. Tali valori di flusso di riferimento sono in genere stabiliti dal fornitore delle membrane in funzione delle condizioni operative previste nei singoli casi specifici.

Ai fini della progettazione è indispensabile inoltre tenere in considerazione l'effetto della temperatura sulla viscosità del permeato, dal momento che l'abbassamento della temperatura determina un incremento esponenziale della viscosità, secondo l'espressione

$$\eta_T = e^{\left(A+\frac{B}{T+273.15}+C\cdot(T+273.15)+D\cdot(T+273.15)^2\right)} \qquad \text{Equazione 2}$$

in cui *A*, *B*, *C* e *D*, pari rispettivamente a -24.71, 4209, $4.527\cdot10^{-2}$ e $3.376\cdot10^{-5}$, sono coefficienti determinati sperimentalmente (Reid *et al*., 1998), mentre *T* è la temperatura in gradi centigradi.

Il flusso di permeato viene quindi riferito solitamente alla temperatura standard di 20 °C, e risulta correlato al flusso corrispondente alla generica temperatura *T* attraverso la relazione

$$J\cdot\eta = \text{cost.} \Rightarrow J_T = J_{20}\cdot\frac{\eta_{20}}{\eta_T} \qquad \text{Equazione 3}$$

Inoltre, nell'ipotesi di funzionamento del sistema di filtrazione in modalità che prevedano fasi di estrazione alternate a fasi di pausa (*relaxation*) e/o a fasi di controlavaggio (*backwash*), il flusso netto alla temperatura di progetto è dato da:

$$J_{T,net} = \frac{J_T\cdot t_{suz} - J_{bw}\cdot t_{bw}}{t_{suz}+t_{rel}+t_{bw}} \qquad \text{Equazione 4}$$

in cui t_{suz} , t_{rel} e t_{bw} rappresentano la durata rispettivamente delle fasi di suzione, *relaxation* e *backwash*, mentre J_{bw} è il flusso applicato nelle fasi di controlavaggio (30 L/m^2/h nel caso in esame).

Nel caso dei moduli di filtrazione a membrane a fibra cava utilizzati nella soluzione progettuale proposta, è possibile fare riferimento, per impianti destinati al trattamento di acque reflue di tipo municipale, ad un flusso massimo a 20 °C in fase di suzione dell'ordine di 45÷55 L/m^2/h con riferimento a picchi di durata non superiore a 24 ore, mentre il flusso medio a 20 °C in fase di suzione può essere fissato su valori di circa 24÷28 L/m^2/h. Va ribadito tuttavia che deve essere il fornitore delle unità di filtrazione a membrana a verificare e garantire il corretto funzionamento del sistema nelle condizioni operative previste. Va peraltro tenuto conto a questo scopo anche la flessibilità impiantistica richiesta: in particolare, nel caso in esame, il dimensionamento della superficie filtrante installate è stato finalizzato a permettere di sostenere il carico idraulico di punta in alta stagione (Q_{pb}=1400 m^3/h) per un periodo di 24 ore consecutive anche con una delle 4 celle di filtrazione fuori servizio.

Il dimensionamento delle soffianti per la fornitura dell'aria necessaria alla pulizia meccanica delle membrane viene effettuato sulla base delle indicazioni ottenute da parte del produttore in termini

di portata d'aria specifica per unità di superficie filtrante (SAD_m, *Specific Aeration Demand*). Per quanto concerne i moduli a fibra cava considerati in sede di progetto, è possibile fare riferimento a valore di circa 0.1 $Nm^3/h/m^2_{mem}$ in condizioni medie di funzionamento, incrementabile fino a 0.2 $Nm^3/h/m^2_{mem}$ in occasione dei picchi di flusso.

Le operazioni periodiche di lavaggio chimico delle membrane vengono effettuate su una singola linea di filtrazione mediante controlavaggi a frequenza indicativa di 3 volte a settimana (*Maintenance Cleaning*) con soluzione blanda di ipoclorito di sodio NaClO (125 mg/L), finalizzate alla rimozione del *fouling* reversibile di tipo organico. A frequenza di un paio di volte all'anno sono previsti inoltre lavaggi più intensi (*Recovery Cleaning*), con membrane in ammollo per alcune ore in soluzione di NaClO a 2000 mg/L, sempre per la rimozione del *fouling* di tipo organico, e acido citrico a 2000 mg/L, per la rimozione del *fouling* di tipo inorganico. Le medesime pompe di estrazione del permeato, di tipo volumetrico reversibile a lobi, vengono impiegate per le operazioni di lavaggio. Le soluzioni chimiche vengono generate utilizzando permeato come acqua di diluizione e iniettando direttamente in linea di lavaggio le soluzioni commerciali concentrate dei reagenti chimici (NaClO al 14%, acido citrico al 50%); la regolazione della portata di reagente chimico dosato avviene in automatico in proporzione alla portata di acqua di lavaggio.

I risultati dei calcoli di dimensionamento del comparto di filtrazione sono riportati in Tabella 8, mentre a definizione delle caratteristiche principali richieste alle apparecchiature elettromeccaniche a servizio sono riassunti in Tabella 9.

Va segnalato che gli spazi a disposizione consentono l'impiego di unità di filtrazione modulari non riempite di membrane fino alla loro capacità massima, ma lasciando margini per un eventuale potenziamento futuro. Nello specifico, le unità previste consentono un eventuale futuro incremento della superficie filtrante installata dell'ordine del 16%. Le apparecchiature elettromeccaniche a servizio del comparto di filtrazione sono state dimensionate in maniera da risultare adeguate anche in caso di futuro incremento della superficie filtrante.

Tabella 8: Risultati del dimensionamento del comparto di filtrazione

Parametro	**Unità di misura**	**Scenario AS-MC**	**Scenario AS-AC**	**Scenario BS-MC**	**Scenario BS-AC**
		Alta stagione Medio carico	***Alta stagione Alto carico***	***Bassa stagione Medio carico***	***Bassa stagione Alto carico***
Risultati del dimensionamento					
Portata media Q_m	m^3/h	467	467	307	307
Portata massima Q_{pm}	m^3/h	1400	1400	920	920
Temperatura minima di progetto	°C	20	20	14	14
Tipologia di unità di filtrazione considerate	-	Ultrafiltrazione – Fibra cava			
Regime di suzione previsto	-	10 min suzione + 0.5 minuti *backwash*			
Flusso istantaneo (in fase di suzione) medio ammissibile rapportato a 20 °C	$L/m^2/h$	25			

Flusso istantaneo (in fase di suzione) massimo ammissibile per 24 ore rapportato a 20 °C	L/m²/h		52		
Numero di linee di filtrazione	**-**		**4**		
Numero di moduli per linea	-		6		
Numero complessivo di moduli	**-**		**24**		
Superficie di filtrazione di ogni modulo	m²		1653		
Superficie di filtrazione di ogni linea	m²		9918		
Superficie di filtrazione complessivamente installata	**m²**		**39672**		
Dimensioni utili di ogni linea di filtrazione (LxWxH)	m		7.00x6.20x3.10		
Volume utile di ogni linea di filtrazione	m³		134.5		
Volume complessivo del comparto di filtrazione	**m³**		**538**		
Condizioni operative di esercizio con tutte le linee di filtrazione in funzione					
Flusso istantaneo (in fase di suzione) a T minima con Q_m	L/m²/h	13.9	13.9	9.6	9.6
Flusso istantaneo (in fase di suzione) rapportato a 20°C con Q_m	**L/m²/h**	**13.9**	**13.9**	**11.1**	**11.1**
Flusso netto a T minima di progetto con Q_m	L/m²/h	11.8	11.8	7.7	7.7
Flusso netto rapportato a 20 °C con Q_m	**L/m²/h**	**11.8**	**11.8**	**8.9**	**8.9**
Flusso istantaneo (in fase di suzione) a T minima con Q_{pb}	L/m²/h	38.6	38.6	25.8	25.8
Flusso istantaneo (in fase di suzione) rapportato a 20°C con Q_{pb}	**L/m²/h**	**38.6**	**38.6**	**29.9**	**29.9**
Flusso netto a T minima di progetto con Q_{pb}	L/m²/h	35.3	35.3	23.2	23.2
Flusso netto rapportato a 20 °C con Q_{pb}	**L/m²/h**	**35.3**	**35.3**	**26.8**	**26.8**
Condizioni operative di esercizio con una linea di filtrazione fuori servizio (con $Q=Q_{pb}$ sostenibile per max 24 ore in alta stagione e max 5 giorni consecutivi in bassa stagione)					
Flusso istantaneo (in fase di suzione) a T minima con Q_m	L/m²/h	18.0	18.0	12.3	12.3
Flusso istantaneo (in fase di suzione) rapportato a 20°C con Q_m	**L/m²/h**	**18.0**	**18.0**	**14.3**	**14.3**
Flusso netto a T minima di progetto con Q_m	L/m²/h	15.7	15.7	10.3	10.3
Flusso netto rapportato a 20 °C con Q_m	**L/m²/h**	**15.7**	**15.7**	**11.9**	**11.9**
Flusso istantaneo (in fase di suzione) a T minima con Q_{pb}	L/m²/h	50.9	50.9	34.0	34.0
Flusso istantaneo (in fase di suzione) rapportato a 20°C con Q_{pb}	**L/m²/h**	**50.9**	**50.9**	**39.3**	**39.3**
Flusso netto a T minima di progetto con Q_{pb}	L/m²/h	47.1	47.1	30.9	30.9
Flusso netto rapportato a 20 °C con Q_{pb}	**L/m²/h**	**47.1**	**47.1**	**35.8**	**35.8**

Tabella 9: Definizione delle apparecchiature elettromeccaniche a servizio del comparto di filtrazione

Parametro	Unità di misura	Valore
Pompe di estrazione del permeato e controlavaggio		
Numero di pompe volumetriche reversibili	-	4+2R
Portata massima di ogni pompa	**m^3/h**	**520**
Prevalenza delle pompe	**m**	**10**
Potenza nominale unitaria	kW	37.00
Portata massima richiesta ad ogni pompa in fase di suzione in alta stagione / bassa stagione	m^3/h	382 / 256
Portata massima richiesta ad ogni pompa in fase di suzione (con una linea fuori servizio) in alta stagione / bassa stagione	m^3/h	505 / 337
Portata massima richiesta ad ogni pompa in fase di *backwash* a 30 $L/m^2/h$	m^3/h	298
Sistema di pulizia meccanica delle superfici filtranti		
Numero di soffianti per la pulizia meccanica delle membrane	-	2+1R
Portata d'aria massima di ogni soffiante	**Nm^3/h**	**4540**
Pressione differenziale	**mbar**	**340**
Potenza nominale unitaria	kW	75.00
Portata d'aria specifica nelle normali condizioni di esercizio (SAD_m)	$Nm^3/h/m^2$	0.10
Portata d'aria complessiva richiesta nelle normali condizioni di esercizio	Nm^3/h	3970
Portata d'aria specifica in condizioni di punta (SAD_m)	$Nm^3/h/m^2$	0.20
Portata d'aria complessiva richiesta nelle normali condizioni di esercizio	Nm^3/h	7940
Sistema di lavaggio chimico delle superfici filtranti (Maintenance Cleaning)		
Flusso di controlavaggio applicato	$L/m^2/h$	9
Portata di controlavaggio singola cella (con pompa reversibile)	m^3/h	89.3
Tempo di controlavaggio previsto per ogni operazione di lavaggio	min	20
Volume di soluzione chimica per ogni operazione di lavaggio	m^3	29.8
Volume di NaClO al 14% necessario per ogni operazione di lavaggio a 125 mg/L	L	21.3
Portata richiesta di dosaggio di NaClO al 14%	**L/h**	**64**
Numero di lavaggi all'anno (3 a settimana)	-	156
Consumo annuo di soluzione di NaClO al 14% per *Maintenance Cleaning*	**m^3** ton	**13.3** 16.6
Sistema di lavaggio chimico delle superfici filtranti (Recovery Cleaning)		
Tempo di svuotamento della singola cella di filtrazione	min	40
Portata richiesta alla pompa di drenaggio	**m^3/h**	**202**
Prevalenza pompa di drenaggio	m	10
Potenza nominale unitaria	kW	11.00
Altezza di riempimento della cella di filtrazione con la soluzione chimica	m	2.90
Volume di ingombro del modulo di filtrazione	m^3	3.40
Volume di soluzione chimica richiesto	m^3	105.5
Tempo di riempimento della cella con la soluzione chimica	min	40

Portata di riempimento della cella con la soluzione chimica	m^3/h	158
Volume di NaClO al 14% necessario per ogni operazione di lavaggio a 2000 mg/L	L	1205
Portata richiesta di dosaggio di NaClO al 14%	**L/h**	**1808**
Numero di lavaggi all'anno	-	2
Consumo annuo di soluzione di NaClO al 14% per *Recovery Cleaning*	**m^3** ton	**9.6** 12.1
Volume di acido citrico al 50% necessario per ogni operazione di lavaggio a 2000 mg/L	L	326
Portata richiesta alla pompa dosatrice di acido citrico al 50%	**L/h**	**489**
Numero di lavaggi all'anno	-	2
Consumo annuo di soluzione di acido citrico al 50% per *Recovery Cleaning*	**m^3** ton	**2.7** 3.4

4.2.4 Dimensionamento del comparto di trattamento biologico

I risultati dell'applicazione della procedura di dimensionamento descritta nel paragrafo 4.2.1 sono riepilogati in Tabella 10 con riferimento ai diversi scenari progettuali considerati. Va sottolineato come le verifiche di processo siano state condotte considerando "biologicamente attivi" esclusivamente i volumi di pre-denitrificazione e nitrificazione, assumendo quindi nullo, in via cautelativa, il contributo all'efficienza depurativa ottenuto nel canale di distribuzione del fango alle linee di filtrazione, nelle celle di filtrazione a membrana e nel comparto di deossigenazione. Analogamente, anche il sistema di aerazione del comparto biologico è stato dimensionato cautelativamente senza considerare il contributo in termini di capacità di ossigenazione ottenibile da parte del sistema di pulizia meccanica delle membrane mediante insufflazione d'aria.

Le concentrazioni medie su base annua dei vari inquinanti allo scarico sono state valutate come media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione in condizioni di medio carico.

Le dotazioni elettromeccaniche, con particolare riferimento ai sistemi di diffusori a bolle fini e ai compressori, sono state dimensionate in maniera da soddisfare le esigenze nel periodo più gravoso, derivanti dalle verifiche effettuate in condizioni di alto carico. 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. I risultati ottenuti permettono di concludere che le prestazioni depurative attese consentono di rispettare continuativamente, con ampi margini di sicurezza, i limiti allo scarico previsti per il riuso dell'effluente depurato.

Tabella 10: Risultati del dimensionamento del comparto di trattamento biologico

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC *Alta stagione Medio carico*	Scenario AS-AC *Alta stagione Alto carico*	Scenario BS-MC *Bassa stagione Medio carico*	Scenario BS-AC *Bassa stagione Alto carico*
Risultati delle verifiche di dimensionamento					
Temperatura minima di progetto	**°C**	**20**	**20**	**14**	**14**
Numero di linee di filtrazione attive	**-**	**4**	**4**	**3**	**3**
Numero di linee di trattamento biologico attive	**-**	**4**	**4**	**4**	**4**
Concentrazione di biomassa nel comparto biologico (considerando i precipitati da defosfatazione chimica)	**kgSST/m³**	**8.9**	**8.8**	**9.8**	**9.6**
Età del fango di progetto nel solo comparto biologico (*SRT*)	**d**	**12.5**	**9.5**	**29.8**	**25.1**
Età del fango considerando anche i volumi di filtrazione e di deossigenazione	d	15.7	11.9	36.2	30.5
Rapporto di ricircolo del fango dal comparto di deossigenazione al comparto di denitrificazione (r_m=Q_{ric}/Q)	-	5.0	5.0	5.0	5.0
Portata di ricircolo complessiva dal comparto di deossigenazione al comparto di denitrificazione (Q_{ric})	m³/h	2333	2333	1533	1533
Concentrazione di SST mantenuta nel comparto di filtrazione con il rapporto di ricircolo di progetto	**kgSST/m³**	**10.6**	**10.5**	**11.7**	**11.6**
Portata massima di ricircolo complessiva	m³/h			4000	
Numero di pompe sommergibili di ricircolo	-			4+2R	
Portata massima di ogni pompa	m³/h			1000	
Prevalenza	m			3.50	
Potenza nominale unitaria	kW			15.00	
Rapporto di ricircolo massimo del fango con Q_{pb}	-	2.9	2.9	4.3	4.3
Verifica della concentrazione di SST nel comparto di filtrazione con Q_{pb}	kgSST/m³	11.9	11.9	12.0	11.9
Frazione volatile SSV/SST ipotizzata	gSSV/gSST			0.75	
Volume complessivo di trattamento biologico (nitrificazione + denitrificazione)	**m³**			**4009**	
Frazione anossica ottimale	-			45%	
Volume di pre-denitrificazione (suddiviso su 4 linee uguali)	**m³**			**1805**	
Volume di nitrificazione (suddiviso su 4 linee uguali)	**m³**			**2203**	
Caratteristiche attese dell'effluente					
Sostanza organica come BOD_5	**mgBOD_5/L**	**<10**	**<10**	**<10**	**<10**

Sostanza organica come COD	**mgCOD/L**	**35**	**45**	**25**	**30**
Solidi sospesi totali SST	**mgSST/L**	**<5**	**<5**	**<5**	**<5**
Azoto ammoniacale N-NH_4	**mgN/L**	**0.9**	**1.4**	**0.6**	**0.7**
Azoto nitrico N-NO_3	**mgN/L**	**4.3**	**6.0**	**5.4**	**9.7**
Azoto totale TN	**mgN/L**	**6.5**	**9.2**	**7.3**	**12.3**
Fosforo totale (con defosfatazione chimica, cfr. par. 4.3)	**mgP/L**	**<2**	**<2**	**<2**	**<2**
Stima delle caratteristiche medie annue dell'effluente					
Sostanza organica come BOD_5	**mgBOD_5/L**			**<10**	
Sostanza organica come COD	**mgCOD/L**			**28**	
Solidi sospesi totali SST	**mgSST/L**			**<5**	
Azoto ammoniacale N-NH_4	**mgN/L**			**0.7**	
Azoto nitrico N-NO_3	**mgN/L**			**5.1**	
Azoto totale TN	**mgN/L**			**7.1**	
Fosforo totale (con defosfatazione chimica, cfr. par. 4.3)	**mgP/L**			**<2**	
Dimensionamento del sistema di aerazione					
Concentrazione di O_2 disciolto mantenuta in vasca di ossidazione/nitrificazione	mgO_2/L			2.0	
Temperatura massima per il dimensionamento del sistema di aerazione	°C	28	28	20	20
Fabbisogno di ossigeno (AOR) nelle condizioni di progetto	kgO_2/d	5869	7322	3294	4070
Fattore di punta sui carichi di C e N ([2])	-	1.0	1.1	1.0	1.1
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	**-**			**0.50**	
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	**kgO_2/h**	**121**	**160**	**69**	**89**
Efficienza di trasferimento dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ottenibile con i sistemi di pannelli diffusori a bolle fini previsti	-	28.9%	28.0%	32.0%	30.3%
Portata d'aria complessiva da fornire	**Nm^3/h**	**5555**	**7607**	**2862**	**3898**
Portata d'aria da fornire per linea	Nm^3/h	1389	1902	716	974
Numero di compressori a vite previsti				2+1R	
Portata d'aria massima di ogni compressore	**Nm^3/h**			**4200**	
Pressione differenziale	**mbar**			**550**	
Potenza nominale unitaria	kW			90.00	

[2] Le verifiche di dimensionamento dei sistemi di aerazione negli scenari di medio carico sono state condotte applicando un fattore di punta unitario, al fine di verificare le effettive condizioni medie di funzionamento. Un fattore di punta di 1.1 è stato invece applicato alle verifiche negli scenari di alto carico per considerare le punte massime di concentrazioni inquinanti in ingresso, tenuto conto che lo scenario di alto carico è stato definito con carichi corrispondenti all'85° percentile dei valori analitici a disposizione.

Produzione attesa di fanghi di supero in condizioni medie					
Produzione di fanghi di supero biologico	kgSST/d	2566	-	1052	-
Produzione di fanghi chimici (precipitati da defosfatazione, cfr. par. 4.3)	kgSST/d	271	-	262	-
Produzione complessiva di fanghi su base secca	**kgSST/d**	**2837**	**-**	**1314**	**-**
Concentrazione fanghi di supero (estrazione dal comparto di deossigenazione)	kgSST/m^3	10.6	-	11.7	-
Produzione volumetrica	m^3/d	267.3	-	111.9	-

4.2.5 Verifica del bilancio dell'alcalinità

Le reazioni biochimiche di nitrificazione determinano un consumo di alcalinità (2 moli di alcalinità eliminata per mole di N-NH_4 nitrificato), che viene parzialmente recuperata grazie alla produzione di alcalinità che si osserva invece nelle reazioni di denitrificazione (1 mole di alcalinità generata per mole di N-NO_3 denitrificato). È quindi opportuno effettuare un bilancio dell'alcalinità per verificare se l'alcalinità disponibile nel refluo in ingresso è in grado di compensare la perdita netta nel processo di nitrificazione e denitrificazione. Se ciò non avviene, è necessario prevedere il dosaggio di una base forte per mantenere le condizioni ottimali di pH nel reattore biologico.

Come mostrato dai risultati dei bilanci effettuati, riepilogati in Tabella 11, la perdita netta di alcalinità registrata nel processo biologico di nitrificazione/denitrificazione non è bilanciata dall'alcalinità disponibile. Il progetto prevede pertanto la possibilità di dosare una soluzione di NaOH al 30% canale di distribuzione alle linee di trattamento biologico, da attivare automaticamente qualora il pH nel fango attivo, rilevato dall'apposito sensore nel canale di distribuzione alle celle di filtrazione (200-PHIT-101), scenda al di sotto di una soglia minima preimpostata (dell'ordine di pH 7.0÷7.5). La stazione di dosaggio sarà costituita dal serbatoio cilindrico in PEAD 200-TK-101 da 10000 L, munito di camicia di sicurezza, sensore di livello e sensore di perdite, e dalle pompe dosatrici a membrana 200-PD-101-A/R, in grado di erogare una portata massima di 53 L/h.

Tabella 11: Verifica del bilancio dell'alcalinità negli scenari di progetto

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC	Scenario AS-AC	Scenario BS-MC	Scenario BS-AC
		Alta stagione Medio carico	***Alta stagione Alto carico***	***Bassa stagione Medio carico***	***Bassa stagione Alto carico***
Bilancio dell'alcalinità					
Portata media Q_m	m^3/d	11200	11200	7360	7360
Alcalinità nel refluo in ingresso	mg$CaCO_3$/L	112			
Consumo specifico di alcalinità nella nitrificazione	g$CaCO_3$/gN	7.07			

Produzione specifica di alcalinità nella denitrificazione	$gCaCO_3/gN$			3.57		
Concentrazione di N-NH_4 nitrificato	mgN/L	20.5	28.3		20.5	35.9
Concentrazione di N-NO_3 denitrificato	mgN/L	24.8	33.3		30.5	39.6
Alcalinità consumata	$mgCaCO_3/L$	145	198		179	254
Alcalinità prodotta	$mgCaCO_3/L$	88	119		109	141
Alcalinità residua necessaria per mantenere pH neutro	$mgCaCO_3/L$			70		
Alcalinità da aggiungere	$mgCaCO_3/L$	14	37		28	70
	$kgCaCO_3/d$	161	415		205	517
Verifica del fabbisogno di NaOH						
Peso equivalente $CaCO_3$	g/eq			50		
Peso equivalente NaOH	g/eq			40		
Portata massica di NaOH richiesta	kgNaOH/d	129	331		164	414
Portata volumetrica di soluzione di NaOH al 30% richiesta	**L/h**	**13.4**	**17.1**		**34.6**	**43.2**
Stima del consumo medio annuo di soluzione di NaOH al 30% (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	**m^3/anno** t/anno			**142** 189		

4.2.6 Dimensionamento del comparto di deossigenazione

Soprattutto per effetto dell'aerazione per la pulizia meccanica delle membrane, la concentrazione di ossigeno disciolto nel fango in uscita dai comparti di filtrazione può raggiungere valori piuttosto elevati, stimabili dell'ordine di 5÷6 mgO_2/L in caso di impiego di membrane a fibra cava. Al fine di limitare la riduzione dell'efficienza di rimozione dei nitrati che il carico di O_2 disciolto nel flusso di ricircolo comporterebbe nei comparti anossici di denitrificazione, la soluzione progettuale prevede la realizzazione di un comparto specifico per la deossigenazione.

Il dimensionamento del comparto è stato condotto determinando il volume necessario a ridurre la concentrazione di O_2 disciolto nel fango in uscita dalla sezione di filtrazione a valori dell'ordine di 2 mgO_2/L, in corrispondenza della portata di ricircolo di progetto. Tale tenore di ossigeno viene poi tenuto in considerazione dal modello di calcolo nelle verifiche di processo per il dimensionamento del comparto biologico viste nel paragrafo 4.2.4, andando a ridurre il potenziale di denitrificazione del sistema. Il calcolo viene effettuato in base a valori sperimentali di velocità specifica di consumo dell'ossigeno da parte della biomassa in condizioni endogene, assunta pari a 4.0 $gO_2/kgSSV/h$ a 20 °C ($SOUR_{20}$) e determinata alla temperatura minima T dei vari scenari di progetto secondo la relazione

$$SOUR_T = SOUR_{20} \cdot 1.03^{(T-20)}$$

Equazione 5

Il volume minimo richiesto per la deossigenazione si può quindi calcolare come

$$V_{deox,min} = \frac{Q_{ric} \cdot \Delta O}{SOUR_T \cdot f_v \cdot x_{mem}}$$ Equazione 6

in cui

- Q_{ric} è la portata di ricircolo complessiva dei fanghi dalla deossigenazione alla pre-denitrificazione che, in virtù della configurazione idraulica dell'impianto MBR, corrisponde alla portata massima in ingresso alla deossigenazione stessa;
- ΔO è la concentrazione di ossigeno disciolto da rimuovere, assunta pari a 4 mgO_2/L ipotizzando di avere 6 mgO_2/L in ingresso e di arrivare a 2 mgO_2/L in uscita;
- f_V=0.75 gSSV/gSST è la frazione volatile del fango ipotizzata;
- x_{mem} è la concentrazione di SST di progetto nel comparto di filtrazione.

Alla luce dei risultati ottenuti nei vari scenari, riassunti in Tabella 12, la soluzione progettuale prevede la realizzazione di un volume complessivo di deossigenazione di 618 m^3, ricavato considerando il volume dei canali di raccolta del fango in uscita dalle celle di filtrazione e due vasche di deossigenazione, ciascuna in comune a due celle di filtrazione.

Tabella 12: Risultati del dimensionamento del comparto di deossigenazione

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC	Scenario AS-AC	Scenario BS-MC	Scenario BS-AC
		Alta stagione Medio carico	*Alta stagione Alto carico*	*Bassa stagione Medio carico*	*Bassa stagione Alto carico*
Portata media Q_m	m^3/h	467	467	307	307
Rapporto di ricircolo di progetto	-			5.0	
Portata di fango in uscita dalle celle di filtrazione nelle condizioni di progetto (=Portata complessiva di ricircolo)	m^3/h	2333	2333	1533	1533
Velocità specifica di consumo dell'ossigeno a 20°C	$gO_2/gSSV/h$			4.0	
Temperatura minima di progetto	°C	20	20	14	14
Velocità specifica di consumo dell'ossigeno a temperatura minima	$gO_2/gSSV/h$	4.0	4.0	2.3	2.3
Concentrazione di O_2 in ingresso	mgO_2/L			6.0	
Concentrazione di O_2 in uscita	mgO_2/L			2.0	
Concentrazione di O_2 da consumare in deossigenazione	mgO_2/L			4.0	
Biomassa totale necessaria	kgSSV kgSST	2333 3111	2333 3111	2716 3622	2716 3622
Concentrazione di SST mantenuta nel comparto di filtrazione	$kgSST/m^3$	10.6	10.5	11.7	11.6
Volume di deossigenazione richiesto	m^3	293	295	308	313

Volume effettivo di deossigenazione		
Canali uscita celle filtrazione	m^3	45
Vasche di deossigenazione	m^3	269
TOTALE	**m^3**	**314**

4.2.7 Descrizione dell'impianto MBR

Nei paragrafi seguenti vengono descritte più dettagliatamente le caratteristiche dei comparti di trattamento biologico, di filtrazione a membrana e di deossigenazione che compongono l'impianto MBR, le dotazioni elettromeccaniche a servizio e i relativi principi di funzionamento, definiti sulla base dei risultati delle verifiche di dimensionamento appena illustrate.

4.2.7.1 Comparto di trattamento biologico

Il liquame giunge dal canale ripartitore di portata al canale di distribuzione alle quattro linee di trattamento biologico funzionanti in parallelo. Il refluo entra nei comparti di pre-denitrificazione attraverso due aperture di fondo, presidiate da paratoie in parete ad azionamento manuale che permettono di isolare idraulicamente le singole linee (200-SGm-101/201/301/401). Ciascun bacino, di volume utile pari a 451 m^3, è dotato di due miscelatori sommergibili ad asse orizzontale (200-MX-101-A/B, 200-MX-201-A/B, 200-MX-301-A/B e 200-MX-401-A/B).

Il fango attivo passa quindi ai comparti di ossidazione/nitrificazione attraverso due luci di fondo, in corrispondenza delle quali sono previste, anche due luci a stramazzo rigurgitate sulla sommità dei setti divisori, in maniera da lasciare fluire eventuali schiume e sostanze surnatanti. I bacini di nitrificazione sono caratterizzati da un volume utile di 551 m^3 cadauno e sono equipaggiati con un sistema di pannelli diffusori a bolle fini (200-DD-101/201/301/401). L'aria compressa per l'ossigenazione dei comparti viene fornita da parte di 2+1R compressori volumetrici a vite operanti sotto inverter (200-CR-101-A/B/R), di cui uno con funzione di riserva attiva. Le macchine, installate nel locale soffianti, sono in grado di fornire una portata unitaria massima di 4200 Nm^3/h alla pressione differenziale di 550 mbar. Il collettore di fornitura dell'aria è unico per le quattro linee, pertanto il numero di compressori attivi e la loro frequenza di funzionamento viene determinato in automatico in base al mantenimento di un set-point di pressione in mandata sul segnale del misuratore 200-PIT-101, mentre la ripartizione dell'aria alle tubazioni di distribuzione alle quattro linee avviene ad opera delle valvole motorizzate modulanti a ghigliottina 200-VGer-101/201/301/401, dotate di diaframma pentagonale per garantire una regolazione lineare della portata al variare del grado di apertura. Il grado di apertura delle valvole viene regolato automaticamente in funzione del mantenimento di un *set point* impostabile di ossigeno disciolto nelle singole linee, monitorato dai sensori 200-OIT-102/202/302/402. Il sistema di aerazione previsto (soffianti + diffusori) garantisce una capacità di ossigenazione massima in condizioni standard (*SOTR*) superiore ai 160 kgO_2/h per linea richiesti in condizioni di picco nello scenario più gravoso.

Sulle tubazioni di mandata dell'aria ad ogni vasca di nitrificazione è previsto uno sfiato presidiato da elettrovalvola a solenoide (200-EVso-101/201/301/401), utilizzata per effettuare periodicamente dei cicli automatizzati di depressurizzazione e ri-pressurizzazione dei diffusori, in modo da sottoporre le membrane a rilassamento (*deflating*) e successivo tensionamento (*stretching*), prevenendone l'intasamento.

Attraverso due soglie di sfioro, il fango passa dai comparti di ossidazione/nitrificazione al canale di distribuzione alle celle di filtrazione. All'interno del canale è installato un sensore di pH e temperatura (200-PHIT-101 + 200-TIT-101), attraverso cui viene regolato il dosaggio di NaOH nel canale di distribuzione alle linee biologiche per la correzione del pH.

4.2.7.2 Comparto di filtrazione a membrana

Il fango passa alle quattro linee di filtrazione a membrana dal canale di distribuzione attraverso aperture di fondo presidiate da paratoie in parete ad azionamento automatico ON/OFF (300-SGeo-101/201/301/401) e fluisce successivamente alla vasca di deossigenazione attraverso soglie di sfioro che occupano l'intera larghezza delle celle sul lato opposto a quello di ingresso.

All'interno di ogni cella, di volume utile di circa 135 m^3, sono installati sei moduli di ultrafiltrazione a membrane a fibra cava, caratterizzati da una superficie di membrana di 1653 m^2 cadauno, per una superficie complessiva installata di 39672 m^2. Va osservato che la particolare tipologia di modulo considerata permette, in caso di necessità di un futuro potenziamento, di aumentare il numero di file di fasci di fibre presenti dai 38 previsti fino al massimo di 44. Ciò consentirebbe di aumentare la superficie di membrana complessivamente installata fino a 45936 m^2, con un incremento del 16% circa. Le caratteristiche tecniche delle apparecchiature elettromeccaniche previste a servizio del comparto di filtrazione (in particolare le pompe di estrazione permeato e controlavaggio e le soffianti per la pulizia meccanica) sono state pertanto definite prevedendo dei margini operativi tali da renderle già adeguate in caso di potenziamento.

La gestione delle utenze elettromeccaniche a servizio del comparto di filtrazione avviene in maniera completamente automatica, ad opera del PLC di supervisione e controllo dell'impianto.

L'estrazione del permeato avviene ad opera di 4+2R pompe volumetriche reversibili a lobi (300-PR-101-A/R, 300-PR-201, 300-PR-301-A/R e 300-PR-401), una al servizio di ogni linea con un'unità di riserva comune ogni due linee. Ciascuna pompa fornisce una portata massima di 520 m^3/h alla prevalenza di 1 bar. Il funzionamento delle pompe di estrazione del permeato è asservito ad inverter, in modo da permettere la regolazione della portata sia nelle fasi di suzione, in funzione del flusso di liquame effettivamente alimentato all'impianto, sia nelle fasi di controlavaggio (effettuato ad un flusso di circa 30 $L/m^2/h$). La portata di permeato estratta o impiegata per il controlavaggio di ogni linea è monitorata attraverso quattro misuratori di portata elettromagnetici (300-FIT-101/201/301/401). La regolazione della portata estratta dai comparti di filtrazione a membrana si basa sul mantenimento

di valori di s*et point* sul livello misurato dai trasmettitori idrostatici 300-LIT-101 e 300-LIT-301 installati all'interno delle vasche di deossigenazione.

La pressione transmembrana (*TMP*) applicata, fondamentale per valutare lo stato di sporcamento delle superfici filtranti, è calcolata a partire dalla pressione idrostatica presente in vasca di filtrazione (pressoché costante in virtù della configurazione impiantistica prevista) e dalla pressione di suzione applicata, rilevata dai quattro trasmettitori a sensore piezoresistivo 300-PIT-101/201/301/401 installati sulle tubazioni di aspirazione del permeato. Su ciascuna linea del permeato è inoltre installato, in un'apposita cella di flusso di by-pass, un sensore di pH e temperatura (300-PHIT-101/201/301/401 + 300-TIT-101/201/301/401), utile per verificare le condizioni operative mantenute in occasione dei lavaggi chimici delle superfici filtranti e per convertire il flusso di permeato alla temperatura standard di 20 °C. Su ciascuna linea del permeato è installato anche, sempre in un'apposita cella di flusso di by-pass, un sensore di torbidità/SST (300-CIT-101/201/301/401), utile per verificare in tempo reale eventuali malfunzionamenti o rotture delle membrane. Sui segnali dei misuratori di SST sono previste delle soglie di allarme che possano allertare gli operatori e, in casi di estrema emergenza, richiedere il fermo dei sollevamenti fognari all'impianto di depurazione, con attivazione degli scarichi a mare esistenti attualmente a servizio degli impianti di Sestri Levante (Baia) e Riva Trigoso.

Le tubazioni prementi delle pompe di estrazione del permeato confluiscono in due collettori (uno ogni due celle di filtrazione) che convogliano l'effluente a una vasca di accumulo di capacità utile pari a circa 35 m^3, utilizzata come volume polmone per le operazioni di controlavaggio e di lavaggio chimico delle membrane.

L'aerazione per la pulizia meccanica delle membrane è fornita attraverso 2+1R soffianti volumetriche a lobi (300-CR-101-A/B/R), operanti sotto inverter, ciascuna in grado di erogare una portata massima di 4700 Nm^3/h alla pressione differenziale di 340 mbar. Il circuito di fornitura dell'aria è costituito da un collettore principale, dal quale si diramano le derivazioni alle tre vasche di filtrazione, presidiate da valvole automatiche ON/OFF (300-VFpo-101/201/301/401). La pressione in mandata a ciascuna linea è monitorata mediante trasmettitori a sensore piezoresistivo (300-PIT-102/202/302/402).

Le operazioni periodiche di lavaggio chimico delle membrane, gestite in maniera completamente automatica dal PLC di automazione e controllo grazie alla presenza di opportune valvole automatiche ON/OFF sui circuiti idraulici, prevedono due diverse tipologie di intervento:

- MC (*Maintenance Cleaning*): pulizia "di mantenimento", effettuata con le membrane immerse nel fango attivo, che consiste in un controlavaggio chimico con soluzione blanda di ipoclorito di sodio a 125 mg/L, effetuato in genere ad una frequenza di 2÷3 volte a settimana.
- RC (*Recovery Cleaning*): pulizia *in situ* per rimuovere il *fouling* non eliminato durante i normali cicli di pulizia, che consiste nel riempire la singola cella di filtrazione, preventivamente isolata idraulicamente e svuotata dal fango, di soluzione chimica di ipoclorito di sodio a 2000 mg/L o di acido citrico a 2000 mg/L. Tali lavaggi sono effettuati a frequenza variabile in base alla tipologia di refluo trattato e alla velocità di sporcamento delle membrane effettivamente riscontrata. Nel

caso di applicazioni per il trattamento di reflui di tipo municipale, si può ipotizza una frequenza indicativa di un paio di volte all'anno per ciascun tipo di reagente chimico.

Le soluzioni chimiche vengono generate utilizzando permeato come acqua di diluizione e iniettando direttamente in linea di lavaggio le soluzioni commerciali concentrate dei reagenti chimici (NaClO al 14% o acido citrico al 50%) Le pompe volumetriche reversibili a lobi di estrazione del permeato sono utilizzate anche per le operazioni di lavaggio, invertendo la direzione del flusso.

Ciascuna stazione di dosaggio dei reagenti chimici concentrati è costituita da un serbatoio cilindrico verticale in PEAD, con camicia di contenimento di sicurezza, sensore di minimo livello e sensore di perdite, e da pompe dosatrici dotate di sistema per la regolazione automatica della portata.

Il dosaggio viene regolato automaticamente in proporzione alla portata di permeato utilizzata per il lavaggio, rilevata per le diverse linee dai misuratori elettromagnetici 300-FIT-101/201/301/401, così da avviare alle celle di filtrazione la soluzione chimica desiderata. Più nel dettaglio, la stazione di dosaggio di NaClO 14% è costituita dal serbatoio 300-TK-101 da 10000 L, da 1+1R pompe dosatrici in grado di erogare una portata massima di 63 L/h (300-PD-101-A/R) per l'esecuzione delle operazioni frequenti di *Maintenance Cleaning* e due pompe dosatrici da 1000 L/h (300-PD-102-A/B), da impiegare in contemporanea per fornire l'elevata portata richiesta in occasione delle operazioni di *Recovery Cleaning*. La stazione di dosaggio di acido citrico al 50% è costituita invece dal serbatoio 300-TK-102 da 2000 L e da una pompa dosatrice da 670 L/h (300-PD-103), utilizzata in occasione delle operazioni di *Recovery Cleaning*.

Lo svuotamento ogni singola cella di filtrazione per l'esecuzione delle operazioni di *Recovery Cleaning* avviene ad opera di una pompa centrifuga orizzontale autoadescante dedicata (300-PC-101/201/301/401), in grado di sollevare una portata di 210 m^3/h alla prevalenza di 10 m. Il fango estratto viene avviato alle camere di alimentazione dei canali di ricircolo dei fanghi, e di qui in testa alle line biologiche.

Infine, la concentrazione di solidi sospesi nei comparti di filtrazione è rilevata da due sensori ottici ad infrarossi (300-CIT-102 e 300-CIT-302) installati nei punti di interconnessione idraulica delle linee, costituiti dalle due vasche di deossigenazione. Sul controllo della concentrazione di SST in vasca verrà basata la regolazione delle operazioni di estrazione dei fanghi supero dall'impianto.

L'aria compressa necessaria per l'attuazione delle valvole pneumatiche a servizio delle celle di filtrazione viene fornita d 1+1R gruppi compressore a vite con serbatoio, essiccatore frigo, scaricatore di condense e filtro integrati (300-CR-102-A/R) da 2.20 kW di potenza installata cadauno.

Per esigenze di tipo idraulico, le pompe a servizio del comparto di filtrazione sono alloggiate in una vasca ribassata rispetto al piano di camminamento del capannone. In un angolo di tale vasca è pertanto previsto un pozzetto in cui alloggiare una pompa di sentina per il rilancio di eventuali acque di drenaggio alla camera alimentazione della grigliatura grossolana (900-PS-103).

La movimentazione delle apparecchiature per interventi manutentivi è agevolata dal paranco elettrico a catena con carrello monorotaia 300-TP-102.

L'installazione e l'estrazione delle unità di filtrazione a membrana dalle celle di filtrazione può essere effettuata mediante un carroponte monotrave completo di carrello monorotaia con paranco a fune (300-TP-101), la cui area di competenza consente di raggiungere e movimentare anche le pompe di ricircolo fanghi installate nelle vasche di deossigenazione (300-PS-101-A/B/R e 300-PS-301-A/B/R).

4.2.7.3 Comparto di deossigenazione

Attraverso una soglia di sfioro a stramazzo, il fango attivo passa da ogni cella di filtrazione al canale di alimentazione alle vasche di deossigenazione. Sono previste due vasche di deossigenazione, in comune ciascuna a due celle di filtrazione, di volume utile unitario pari a 269 m^3, in cui il fango attivo viene mantenuto in sospensione ad opera di un miscelatore sommergibile ad asse orizzontale (300-MX-101/301).

Il ricircolo del fango ai comparti di pre-denitrificazione è effettuato da ciascuna vasca di deossigenazione mediante 2+1R elettropompe centrifughe sommergibili asservite ad inverter (300-PS-101-A/B/R e 300-PS-301-A/B/R), in grado di sollevare una portata massima di 1000 m^3/h cadauna, alla prevalenza di 3.50 m. Le pompe recapitano in due camere di raccolta sopraelevate, da cui traggono origine i canali di ricircolo che riportano il fango al canale di distribuzione alle linee di trattamento biologico. Il recapito avviene in corrispondenza del punto di immissione del refluo fognario pre-trattato dal canale ripartitore, in maniera da garantire un'omogenea miscelazione del *mixed liquor* ed evitare possibili scompensi di carico alle quattro linee biologiche. La portata di ricircolo può essere regolata in base alla misura effettuata dai trasmettitori elettromagnetici montati sulle tubazioni verticali di mandata delle singole pompe (300-FIT-102-A/B/R e 300-302-A/B/R), in funzione del mantenimento del rapporto di ricircolo desiderato.

Il fango di supero viene prelevato dalla vasca attraverso 2+1R pompe volumetriche monovite (500-PM-101-A/B/R), dalle quali possono essere alimentati ai pre-ispessitori dinamici o, in alternativa, agendo su apposite valvole manuali a saracinesca di intercettazione, direttamente alle vasche di stabilizzazione aerobica. Le pompe sono dotate di inverter per la regolazione della portata e forniscono una portata massima di 50 m^3/h alla prevalenza di 4 bar.

Come anticipato in precedenza, all'interno della vasca di deossigenazione sono installati anche i trasmettitori di livello idrostatico 300-LIT-101 e 300-LIT-301 su cui si basa la regolazione della portata estratta dalle celle di filtrazione a membrana, oltre ai sensori 300-CIT-102 e 300-CIT-302 per il monitoraggio del tenore di SST nel fango presente nel comparto di filtrazione.

4.3 DEFOSFATAZIONE CHIMICA

La rimozione del fosforo necessaria per garantire il rispetto del limite allo scarico di 2 mgP/L viene effettuata mediante precipitazione chimica in simultanea con dosaggio di soluzione di cloruro ferrico al 40% nel canale di distribuzione alle linee di trattamento biologico.
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 dell'ordine di 0.03 gP/gSSV.

Le verifiche di calcolo del fabbisogno di $FeCl_3$ sulla base del quale andare a dimensionare la stazione di dosaggio sono state condotte con riferimento ai due scenari stagionali considerati, in condizioni di carichi medi di inquinante.
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 *Fe/P* = 1.80 gFe/gP delle reazioni di precipitazione chimica con impiego di sali di ferro, cui è poi opportuno applicare un opportuno coefficiente di sovradosaggio, nel caso in esame assunto del 30%.
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:

$$Fe^{3+} + PO_4^{3-} \rightarrow FePO_4 \downarrow \qquad \text{e} \qquad Fe^{3+} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow$$

Il riepilogo delle verifiche del fabbisogno di dosaggio di FeCl3 e della relativa produzione di fanghi chimici è riportato in Tabella 13.
Prevedendo un eccesso di dosaggio del 30%, il quantitativo massimo di reagente chimico da utilizzare è pari dunque a circa 23 L/h sia in alta che in bassa stagione. La soluzione progettuale prevede l'installazione di una stazione di dosaggio di $FeCl_3$ costituita da un serbatoio di stoccaggio cilindrico verticale in PEAD da 10000 L (200-TK-102), munito di camicia di sicurezza, sensore di livello e sensore di perdite, e da 1+1R pompe dosatrici (200-PD-101-A/R), in grado di erogare una portata regolabile fino ad un massimo di 53 L/h cadauna, in maniera da garantire la massima flessibilità gestionale.

Tabella 13: Stima del fabbisogno di cloruro ferrico e dei fanghi chimici prodotti

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC *Alta stagione Medio carico*	Scenario BS-MC *Bassa stagione Medio carico*
Dati di progetto			
Portata media	m^3/h	467	307
Concentrazione di fosforo nel liquame in ingresso	mgP/L	11.3	11.3
Produzione giornaliera di fanghi biologici di supero (si veda il paragrafo 4.2.4)	kgSST/d kgSSV/d	2566 1925	1052 789
Contenuto specifico di fosforo nei fanghi	**gP/gSSV**	**0.03**	
Concentrazione di fosforo assimilata biologicamente e rimossa con i fanghi di supero	mgP/L	5.2	3.2
Limite da rispettare allo scarico	mgP/L	2.0	
Concentrazione residua di fosforo da rimuovere per via chimica per rispettare il limite allo scarico	**mgP/L**	**4.1**	**6.0**
Fabbisogno giornaliero di $FeCl_3$ (con coefficiente di sovradosaggio del 30%)	kg/d	312	302
Concentrazione in peso di $FeCl_3$ nella soluzione commerciale	-	40%	
Densità della soluzione commerciale	kg/m^3	1420	
Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale	kg/d **L/h**	781 **22.9**	756 **22.2**
Volume di stoccaggio previsto	L	10000	
Autonomia di esercizio	d	18.2	18.8
Stima del consumo medi annuo di reagente (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	**m^3/anno** t/anno	**196** 278	
Produzione giornaliera di fanghi chimici	**kgSST/d**	**271**	**262**

4.4 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/m²) necessaria ad ottenere la concentrazione batterica obiettivo del trattamento è ricavabile dalla relazione:

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

Equazione 7

nella quale:

- N_{in}, N_{out} = concentrazioni batteriche rispettivamente in ingresso e uscita (UFC/100mL);
- d = coefficiente di dispersione;
- k = tasso di inattivazione [m²/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}=10 UFC/100 mL, come richiesto per il rispetto dei limiti per il riutilizzo dell'effluente depurato. La concentrazione di *Escherichia Coli* in ingresso agli UV è stata assunta pari a N_{in}=10³ UFC/100 mL, valore cautelativo in caso di impiego di tecnologia MBR con membrane di ultrafiltrazione, che in condizioni di normale funzionamento e perfetta efficienza permettono di mantenere la carico microbiologica nel permeato inferiore anche di 1 o 2 ordini di grandezza.

Vengono inoltre fissati il valore della concentrazione di solidi sospesi in ingresso (SST), nel caso in esame inferiore a 5 mgSST/L in uscita dall'ultrafiltrazione a membrana, ed il valore della trasmittanza del refluo ai raggi UV, pari al 75%. 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 Q_{pb}, la dose UV richiesta risulta pari a 40 mJ/cm².

Il sistema previsto è configurato in maniera da garantire una dose UV effettivamente applicabile a fine vita delle lampade in corrispondenza di Q_{pb} pari a 47 mJ/cm².

I risultati del dimensionamento del comparto di disinfezione sono riportati in Tabella 14.

Tabella 14: Risultato dei calcoli di dimensionamento della sezione di disinfezione UV

Parametro	Unità di misura	Valore
Dati di dimensionamento		
Portata massima di progetto (Q_{pb})	m³/h	1400
Portata media (Q_m)	m³/h	467
Trasmittanza UV	%	≥75
Solidi sospesi totali in ingresso	mgSST/L	≤5

Carica microbiologica in ingresso	UFC *E-Coli*/100 mL	10^3
Limite di disinfezione (valore puntuale)	UFC *E-Coli*/100 mL	≤10 (80% dei campioni) ≤100 (valore max puntuale)
Dose UV applicata alla portata di progetto a fine vita delle lampade	**mJ/cm²**	**>40**
Risultati del dimensionamento		
Numero di canali	**-**	**2**
Lunghezza del canale	m	6.20
Larghezza del canale	m	0.40
Battente nel canale	m	0.60
Numero di banchi per canale	-	1
Numero di moduli per banco	-	2
Numero di lampade per modulo	-	12
Numero totale di lampade	-	48
Potenza singola lampada	W	320
Potenza complessiva alle lampade	**kW**	**15.4**
Dose UV applicata alla portata di progetto a fine vita delle lampade	**mJ/cm²**	**47**
Numero di quadri di distribuzione potenza	-	2
Potenza installata del singolo quadro di distribuzione	kW	9.00
Numero di quadri di controllo generale	-	1
Potenza installata del quadro di controllo generale	kW	3.00
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

Il permeato in uscita dalla vasca polmone per il controlavaggio passa nella camera che alimenta i due canali di disinfezione UV in parallelo. I singoli canali UV possono essere isolati idraulicamente attraverso apposite paratoie manuali di intercettazione, poste in testa e in coda (400-SGm-101-A/B/C/D). Ulteriori paratoie presidiano un terzo canale di by-pass (400-SGm-102-A/B).

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-SGer-103), che agisce in funzione 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 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.

Il flusso in uscita dai due canali si raccoglie in una camera, da cui viene alimentata la vasca di accumulo dell'effluente per il riuso attraverso una luce in parete presidiata da una paratoia ad azionamento manuale (400-SGm-104). È inoltre presente una canaletta di by-pass per il recapito diretto alla stazione di sollevamento finale, anch'essa presidiata da una paratoia manuale (400-SGm-105).

4.5 SISTEMA DI SOLLEVAMENTO FINALE DELL'EFFLUENTE

Il permeato effluente passa attraverso una soglia di sfioro dalla vasca di accumulo per il riuso alla camera di scarico, in cui recapita anche il canale di by-pass del comparto di trattamento biologico. Tale camera, conformata a "L", comunica attraverso luci di fondo con le camere di sollevamento finale, in ciascuna delle quali sono alloggiate due delle quattro elettropompe centrifughe sommergibili 400-PS-101-A/B/C/R deputate al rilancio al torrino di caricamento alla condotta di scarico a mare o, in caso di emergenza, al collettore di scarico al torrente Gromolo. Le due camere di sollevamento sono isolabili idraulicamente tramite due paratoie manuali in parete (400-SGm-106-A/B). È così possibile effettuare interventi di manutenzione o pulizia senza interrompere il funzionamento dell'impianto.

Le 3+1R pompe di sollevamento finale 400-PS-101-A/B/C/R, operanti sotto inverter, sono in grado di sollevare una portata unitaria di 780 m^3/h alla prevalenza di 11.50 m. Il numero di pompe attive e la relativa frequenza di funzionamento sono definite automaticamente in funzione del mantenimento di un set-point di livello sul segnale del misuratore 400-LIT-102. Sul segnale del misuratore di livello 400-LIT-102 nella vasca di sollevamento è altresì prevista l'impostazione di soglie massime di allarme che possano allertare gli operatori e, in casi di estrema emergenza, richiedere il by-pass dei sollevamenti fognari all'impianto di depurazione con attivazione degli scarichi a mare (ad es. in caso di fuori servizio contemporaneo di più di una pompa di sollevamento finale in corrispondenza dell'afflusso di portata massima di refluo, che potrebbe determinare un aumento di livello tale da tracimare dal canale di by-pass del trattamento biologico). Il sistema è completato dagli interruttori di livello 400-LSLL-101 e 400-LSL-101-A/B/C/D, rispettivamente con funzioni di protezione contro il funzionamento a secco delle pompe e di livelli di attacco/stacco delle pompe in caso di attivazione di una logica elettromeccanica di emergenza.

Le tubazioni di mandata delle pompe di sollevamento finale recapitano dall'alto all'adiacente torrino di scarico, dal quale traggono origine le due condotte interrate di scarico a mare (DN600 in ghisa) e di scarico di emergenza al torrente Gromolo (in PEAD De630). Le due tubazioni sono presidiate da valvole motorizzate ON/OFF a ghigliottina (400-VGeo-101-A/B), alloggiate in appositi pozzetti. Il presente progetto non comprende la realizzazione della condotta di scarico a mare, ma soltanto di quella di scarico di emergenza al torrente Gromolo. Quest'ultima è equipaggiata con valvola di ritegno a clapet (400-NR-101), montata a parete in corrispondenza del punto di recapito.

La misura del livello all'interno del torrino di scarico è effettuata ad opera di un misuratore di pressione installato su un tronchetto passamuro e utilizzato come misuratore di livello idrostatico (400-LIT-103). Sul segnale di tale misuratore sono impostabili soglie di allarme che determinino l'apertura della valvola a presidio dello scarico di emergenza al torrente Gromolo o anche, in casi estremi, richiedere il by-pass dei sollevamenti fognari all'impianto di depurazione con attivazione degli scarichi diretti a mare.

L'estrazione delle pompe di sollevamento finale per interventi di manutenzione può avvenire, previa rimozione del grigliato di copertura, con l'ausilio del paranco elettrico a catena con carrello monorotaia 400-TP-101.

Le caratteristiche della stazione di sollevamento finale sono riepilogate in Tabella 15.

Tabella 15: Caratteristiche della stazione di sollevamento finale dell'effluente

Parametro	Unità di misura	Valore
Dati di progetto		
Portata massima in alta stagione (Q_{pm})	m³/h	2333
Numero massimo di pompe attive	**-**	**3**
Portata unitaria di punta	**m³/h**	**778**
Dimensioni dei manufatti		
Dimensioni utili stazione di sollevamento (LxWxH)		
Camera di scarico (conformata a L)	m	4.00x6.20x2.10 5.90x2.00x2.10
Camere pompe	m	2x 3.70x3.30x2.10
Volume utile stazione di sollevamento	**m³**	**129**
Dimensioni utili torrino di caricamento condotte di scarico (LxWxH)	m	7.70x2.00x11.00
Volume utile torrino di caricamento	**m³**	**169**
Caratteristiche pompe sommergibili di sollevamento finale		
Numero di unità installate	-	3+1R
Portata unitaria	m³/h	778
Prevalenza	m	11.50
Potenza nominale unitaria	kW	37.00

5 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO – LINEA FANGHI

5.1 PRODUZIONE ATTESA DI FANGHI

La produzione complessiva di fango da avviare alla linea di trattamento dedicata è costituita per un'aliquota preponderante dai fanghi biologici di supero e, in misura minore, dai fanghi prodotti dalla precipitazione chimica in simultanea del fosforo, come riassunto in Tabella 16.

Tabella 16: Produzione di fanghi attesa negli scenari progettuali di medio carico

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC	Scenario BS-MC
		Alta stagione Medio carico	*Bassa stagione Medio carico*
Produzione di fanghi di supero biologico	kgSST/d	2566	1052
Produzione di fanghi chimici	kgSST/d	271	262
Produzione in termini complessiva di SST	**kgSST/d**	**2837**	**1314**
Frazione volatile attesa	**gSSV/gSST**	**0.71**	**0.66**
Tenore di SST atteso	kgSST/m^3	10.6	11.7
Portata volumetrica	**m^3/d**	**267**	**112**

5.2 PRE-ISPESSIMENTO

La sezione di pre-ispessimento 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 ridurre la volumetria del comparto di stabilizzazione aerobica per garantirvi un sufficiente tempo di residenza idraulica.

Il comparto di pre-ispessimento previsto è strutturato su due stazioni di ispessimento dinamico con ispessitore a coclea rotante. I risultati del dimensionamento del comparto sono riassunti in Tabella 17.

Tabella 17: Risultati del dimensionamento della sezione di ispessimento dinamico del fango di supero

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC	Scenario BS-MC
		Alta stagione Medio carico	*Bassa stagione Medio carico*
Dati di progetto			
Portata massica di fanghi da trattare	**kgSST/d**	**2837**	**1314**
Concentrazione dei fanghi da trattare	kgSST/m^3	10.6	11.7
Portata volumetrica di fanghi da trattare	m^3/d	267	112
Frazione volatile dei fanghi	gSSV/gSST	0.71	0.66
Tenore di secco nei fanghi ispessiti	**-**	**4%**	**4%**

Regime di funzionamento ipotizzato	**d/w** **h/d**	**5** **6**	**5** **5**
Condizioni operative previste			
Carico di solidi in ingresso nelle ore di esercizio previste	**kgSST/h**	**662**	**368**
Portata di fango in ingresso nelle ore di esercizio previste	**m³/h**	**62.4**	**31.3**
Dosaggio specifico massimo polielettrolita	g/kgSST	10	10
Fabbisogno massimo di polielettrolita	kg/d	28.4	13.1
Consumo medio annuo di polielettrolita			
Concentrazione in peso del polielettrolita in soluzione acquosa	-	0.30%	0.30%
Numero di line di pre-ispessimento in funzione	**-**	**2**	**1**
Carico di SST da trattare su ogni macchina	**kgSST/h**	**331**	**368**
Portata massima di soluzione di polielettrolita dosata in ogni linea nelle ore di esercizio previste	**L/h**	**1655**	**1226**
Portata di fango condizionato da trattare per linea nelle ore di esercizio previste	m³/h	32.8	32.6
Produzione attesa di fango ispessito e acque madri			
Portata massica di fango ispessito	**kgSST/d**	**2837**	**1314**
Portata di fango ispessito	**m³/d**	**70.3**	**32.5**
Portata di fango ispessito nei giorni di esercizio	m³/d	98.4	45.5
Portata di fango ispessito nelle ore di esercizio	m³/h	16.4	9.1
Portata di acque madri	m³/d	211	84
Portata di acque madri nei giorni di esercizio	m³/d	296	117
Portata di acque madri nelle ore di esercizio	m³/h	49.3	23.4
Stima del consumo medio annuo di polielettrolita			
Dosaggio specifico medio di polielettrolita	g/kgSST	5.0	5.0
Fabbisogno medio di polielettrolita	kg/d	14.2	6.6
Stima del consumo medio annuo di reagente (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	**kg/anno**	**3102**	

Sulla base dei risultati del dimensionamento, il comparto di pre-ispessimento dinamico è costituito da:

- n. 2 ispessitori dinamici a coclea rotante (500-ID-101-A/B), dimensionati per una capacità massima di trattamento pari ad almeno 400 kgSST/h e muniti di rattore di flocculazione ad agitazione lenta per l'omogeneizzazione ottimale del fango con il polielettrolita e la formazione del fiocco;
- n. 2+1R pompe volumetriche monovite di estrazione dei fanghi di supero dalle vasche di deossigenazione e alimentazione ai due pre-ispessitori (500-PM-101-A/B/R), a velocità regolabile a mezzo inverter (portata massima di 50 m³/h alla prevalenza di 4 bar);
- n. 1 stazione automatica di preparazione della soluzione di polielettrolita da 6000 L/h per il condizionamento chimico del fango, a partire da prodotto in emulsione (500-PP-101);

- n. 2+1R pompe volumetriche monovite per il dosaggio della soluzione di polielettrolita in linea a ciascun pre-ispessitore, a velocità variabile a mezzo inverter (500-PM-102-A/B/R);
- n. 2 misuratori elettromagnetici di portata di fango (500-FIT-101-A/B);
- n. 2 misuratori elettromagnetici di portata di soluzione di polielettrolita (500-FIT-102-A/B);

Le apparecchiature elettromeccaniche a servizio della sezione e il relativo quadro elettrico di comando e controllo sono alloggiati sulla soletta di copertura delle vasche di stabilizzazione aerobica, a cui vengono recapitati per caduta i fanghi ispessiti. Fanno eccezione le pompe monovite 500-PM-101-A/B/R di alimentazione dei fanghi ai pre-ispessitori, che come visto in precedenza sono alloggiate in prossimità delle vasche di deossigenazione, da cui prelevano i fanghi di supero. Sulle tubazioni di mandata ai pre-ispessitori, a monte dell'innesto del dosaggio in linea di soluzione di polielettrolita, sono presenti due derivazioni valvolate che permettono di by-passare il comparto, alimentando direttamente le vasche di stabilizzazione aerobica.

5.3 STABILIZZAZIONE AEROBICA

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 40% della frazione volatile putrescibile dei solidi totali, cui corrispondono dunque valori minimi di $SRT_{tot} \cdot T$ dell'ordine di 400÷500 °C·d.

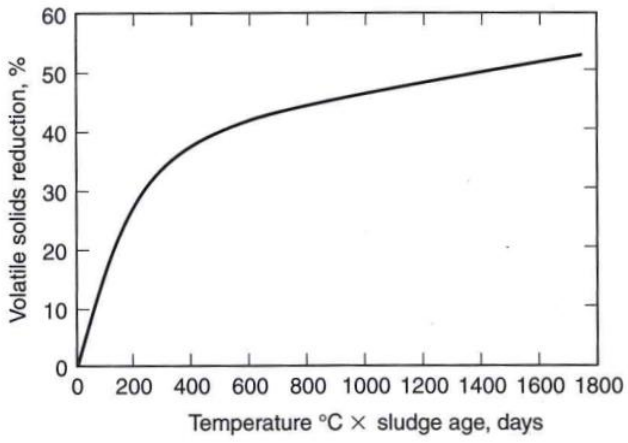


Figura 2: Efficienza di stabilizzazione dei fanghi in funzione del parametro $SRT_{tot} \cdot T$ (Metcalf & Eddy, 2014)

I risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione sono riepilogati in Tabella 18. Si osserva che le condizioni operative attese in bassa stagione sono tali da rendere sufficiente l'impiego anche di una sola linea di stabilizzazione aerobica.

Tabella 18: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di stabilizzazione aerobica

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC *Alta stagione* *Medio carico*	Scenario BS-MC *Bassa stagione* *Medio carico*
Caratteristiche dei bacini di stabilizzazione aerobica			
Numero vasche	m	2	
Dimensioni planimetriche utili (LxW)	m	14.00x6.50	
Battente in vasca	m	4.50	
Superficie utile	m^2	91.0	
Volume utile unitario	m^3	409.5	
Volume utile totale	**m^3**	**819**	
Condizioni operative previste			
Portata massica di fango pre-ispessito in ingresso	kgSST/d	2837	1314
Concentrazione del fango pre-ispessito	kgSST/m^3	40.3	40.3
Portata volumetrica di fango pre-ispessito	m^3/d	70.3	32.5
Rapporto SSV/SST nel fango pre-ispessito	gSSV/gSST	0.71	0.66
Età del fango garantita nel comparto biologico	**d**	**12.5**	**29.8**
Temperatura minima di progetto	**°C**	**20**	**14**
Temperatura massima per il dimensionamento del sistema di aerazione	°C	28	24
Numero di linee di stabilizzazione attive	**-**	**2**	**1**
Volume effettivo disponibile	m^3	809	409.5
Età del fango aggiuntiva in stabilizzazione SRT_{dig}	**d**	**11.7**	**12.5**
Età del fango complessiva SRT_{tot} (=SRT_{bio} + SRT_{dig})	**d**	**24.1**	**42.3**
Verifica parametro SRT_{tot}·T	**°C·d**	**483**	**593**
Stima della percentuale di riduzione dei SSV ottenibile (efficienza di stabilizzazione)	**-**	**40%**	**42%**
Caratteristiche dei fanghi digeriti			
Portata massica di fango digerito	kgSST/d	2035	950
Portata volumetrica di fango digerito	m^3/d	70.3	32.5
Concentrazione del fango digerito	kgSST/m^3	28.9	29.2
Rapporto SSV/SST atteso nel fango digerito	gSSV/gSST	0.59	0.53
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	802	364
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO_2/d	1845	838

Fabbisogno di ossigeno di picco nelle condizioni operative di temperatura e pressione (*AOR*), considerando un fattore di punta di 1.2	kgO_2/h	92.3		41.9
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ 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	228		105
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard *SOTR* per ogni linea	**kgO_2/h**	**114**		**105**
Efficienza di trasferimento dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ottenibile con i sistemi di pannelli diffusori a bolle fini previsti	-	27.9%		28.3%
Portata d'aria complessiva da fornire	Nm^3/h	2714		1235
Portata d'aria da fornire per ogni linea attiva	Nm^3/h	**1357**		**1235**
Numero di compressori previsti	-		2+1R	
Portata d'aria massima di ogni compressore	**Nm^3/h**		**1410**	
Pressione differenziale	**mbar**		560	
Potenza nominale unitaria	kW		37.00	

L'aria viene distribuita alle due vasche da due sistemi di pannelli diffusori a bolle fini (600-DD-101-A/B), alimentati da 2+1R compressori volumetrici a vite (600-CR-101-A/B/R), funzionanti sotto inverter, di cui uno a servizio di ciascuna linea più uno con funzioni di riserva. I compressori sono alloggiati nel locale soffianti che ospita anche le macchine a servizio dei comparti biologici e della filtrazione a membrana. 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 dai sensori 600-OIT-101-A/B che provvederanno anche al monitoraggio della temperatura (60-TIT-101-A/B). La pressione dell'aria in mandata a ciascuna linea sarà rilevata dai sensori piezoresistivi 600-PIT-101-A/B. Sulle tubazioni di mandata dell'aria ad ogni vasca di stabilizzazione è previsto uno sfiato presidiato da elettrovalvola a solenoide (600-EVso-101-A/B), utilizzata per effettuare periodicamente dei cicli automatizzati di depressurizzazione e ri-pressurizzazione dei diffusori, in modo da sottoporre le membrane a rilassamento (*deflating*) e successivo tensionamento (*stretching*), prevenendone l'intasamento. Infine, il battente presente in ciascuna vasca sarà monitorato in continuo attraverso i sensori di livello ad ultrasuoni 600-LIT-101-A/B.

5.4 DISIDRATAZIONE MECCANICA

Il comparto di disidratazione meccanica previsto è strutturato su due stazioni in parallelo con decanter centrifughi. I risultati del dimensionamento del comparto sono riassunti in Tabella 19

Tabella 19: Risultati del dimensionamento della sezione di disidratazione meccanica

Parametro	Unità di misura	Scenario AS-MC	Scenario BS-MC
		Alta stagione Medio carico	*Bassa stagione Medio carico*
Dati di progetto			
Portata massica di fanghi da trattare	**kgSST/d**	**2035**	**1314**
Concentrazione dei fanghi da trattare	kgSST/m³	28.9	11.7
Portata volumetrica di fanghi da trattare	m³/d	70.3	112
Frazione volatile dei fanghi	gSSV/gSST	0.59	0.66
Tenore di secco atteso nei fanghi disidratati	**-**	**24%**	**24%**
Giorni settimanali di esercizio	**d/w**	**5**	**5**
Ore giornaliere di esercizio	**h/d**	**4**	**4**
Condizioni operative previste			
Carico di solidi in ingresso nelle ore di esercizio previste	**kgSST/h**	**712**	**332**
Portata di fango in ingresso nelle ore di esercizio previste	**m³/h**	**24.6**	**11.4**
Dosaggio specifico massimo polielettrolita	g/kgSST	10	10
Fabbisogno massimo di polielettrolita	kg/d	20.3	9.5
Consumo medio annuo di polielettrolita			
Concentrazione in peso del polielettrolita in soluzione acquosa	-	0.30%	0.30%
Numero di line di disidratazione in funzione	**-**	**2**	**1**
Carico di SST da trattare su ogni macchina	**kgSST/h**	**356**	**332**
Portata massima di soluzione di polielettrolita dosata in ogni linea nelle ore di esercizio previste	**L/h**	**1187**	**1108**
Portata di fango condizionato da trattare per linea nelle ore di esercizio previste	m³/h	13.5	12.5
Produzione attesa di fango disidratato e acque madri			
Portata massica di fango disidratato	**kgSST/d**	**2035**	**950**
Portata di fango disidratato	**m³/d** **t/d**	**7.9** **8.5**	**3.7** **4.0**
Portata di fango disidratato nei giorni di esercizio	m³/d t/d	11.1 11.9	5.1 5.5
Portata di fango disidratato nelle ore di esercizio	m³/h	2.8	1.3
Portata di acque madri	m³/d	69.2	32.0
Portata di acque madri nei giorni di esercizio	m³/d	96.9	44.9
Portata di acque madri nelle ore di esercizio	m³/h	24.2	11.2
Stima della produzione media annua di fango disidratato			
Stima della produzione media annua (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	**t/anno** m³/anno	**1854** 1726	

Stima del consumo medio annuo di polielettrolita				
Dosaggio specifico medio di polielettrolita	g/kgSST	8		8
Fabbisogno medio di polielettrolita	kg/d	16.3		4.7
Stima del consumo medio annuo di reagente (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	**kg/anno**		**2774**	

Sulla base dei risultati del dimensionamento, il comparto di disidratazione meccanica è costituito da:

- n. 2 decanter centrifughi, montati su una struttura a soppalco in carpenteria metallica (700-CF-101-A/B) e muniti di serranda automatica sulla bocca di scarico del fango disidratato, da chiudere in occasione dei cicli di lavaggio della macchina;
- n. 2+1R pompe volumetriche monovite di alimentazione dei fanghi digeriti ai due decanter (700-PM-101-A/B/R), a velocità regolabile a mezzo inverter (portata massima di 25 m^3/h alla prevalenza di 4 bar);
- n. 1 stazione automatica di preparazione della soluzione di polielettrolita da 6000 L/h per il condizionamento chimico del fango, a partire da prodotto in emulsione (700-PP-101);
- n. 2+1R pompe volumetriche monovite per il dosaggio della soluzione di polielettrolita in linea a ciascun decanter, a velocità variabile a mezzo inverter (700-PM-102-A/B/R);
- n. 2 misuratori elettromagnetici di portata di fango (700-FIT-101-A/B);
- n. 2 misuratori elettromagnetici di portata di soluzione di polielettrolita (700-FIT-102-A/B);
- n. 2 coclee orizzontali (700-TR-101-A/B), posizionate immediatamente sotto i decanter e in asse con essi, per la raccolta del fango disidratato e la sua distribuzione ai cassoni scarrabili di raccolta posti al di sotto della struttura soppalcata. Le coclee sono munite di due bocche di scarico, presidiate da valvole automatiche a ghigliottina, che permettono di scaricare il fango in due punti distinti del cassone.

Tutte le apparecchiature elettromeccaniche a servizio della sezione e il relativo quadro elettrico di comando e controllo sono alloggiati all'interno di un locale chiuso dedicato.

6 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO – SISTEMI DI TRATTAMENTO ARIA E APPARECCHIATURE DI SERVIZIO

6.1 SISTEMI DI TRATTAMENTO E RICAMBIO DELL'ARIA

Uno dei principali problemi connesso all'inserimento territoriale degli impianti di depurazione è quello legato alla relazione con l'ambiente circostante, in particolare per quanto concerne la possibile emissione di cattivi odori. Per mitigare il possibile impatto odorigeno sull'area circostante derivante dall'esercizio dell'impianto, oltre che per garantire il mantenimento della salubrità dei luoghi di lavoro interni, il progetto prevede la realizzazione di un sistema integrato di ricambio e trattamento dell'aria esausta, differenziato in funzione delle diverse aree tecniche. In particolare viene prevista una sub-zonizzazione interna mediante la quale vengono compartimentate e specificamente attrezzate le seguenti zone a diverso impatto odorigeno:

- **zone a maggiore impatto odorigeno**:
  - la sezione di pre-trattamento meccanico dei liquami in ingresso (arrivo liquami, grigliatura grossolana, grigliatura fine, dissabbiatura-disoleatura;
  - le vasche di stabilizzazione aerobica dei fanghi e la vasca di accumulo delle acque madri e di lavaggio;
  - il locale disidratazione meccanica dei fanghi e stoccaggio dei fanghi disidratati.
- **zone a minore impatto odorigeno**, corrispondenti alla restante parte dell'impianto (comparto biologico MBR, sezioni di disinfezione UV e accumulo permeato, zona pre-ispessitori dinamici).

Per ognuna delle zone elencate è prevista l'installazione di un'apposita stazione di trattamento adeguatamente dimensionata per potenzialità in termini di abbattimento odorigeno e ricambi orari. L'uscita di ciascun filtro dedicato viene poi collettata nella linea di scarico in atmosfera, che avverrà attraverso un unico camino situato sulla parete sud del capannone, nella posizione più favorevole per massimizzare la distanza dalle abitazioni circostanti.

Questo tipo di soluzione tecnico/impiantistica consente di massimizzare il trattamento e il controllo degli odori in quanto le principali sorgenti odorigene vengono mantenute in depressione e pretrattate mediante unità dedicate. Ciò garantisce che i cattivi odori non si disperdano nell'ambiente confinato del depuratore, riducendo anche il flusso d'aria e il carico odorigeno da trattare da parte del trattamento centralizzato dell'aria ambiente generale, con la possibilità di limitare il numero di ricambi ora necessari a mantenere un ambiente di lavoro sufficientemente confortevole e di garantire che non vi sia nessuna dispersione di odori all'esterno del depuratore.

La tecnologia di trattamento selezionata è rappresentata dallo **scrubbing a secco su letti filtranti di carboni attivi e allumina impregnata** idonei all'abbattimento dei composti odorigeni tipicamente presenti negli impianti di depurazione. Tale tecnologia di gestione dell'aria, peraltro già utilizzata con

successo in altri depuratori della Riviera Ligure, è in grado di soddisfare tutte le principali esigenze del caso in progetto:

- elevata efficienza di rimozione per tutti i tipi di inquinanti odorigeni, siano essi inorganici (quali ammoniaca e acido solfidrico) che organici (VOC). Le unità filtranti garantiscono un abbattimento olfattometrico superiore al 90% o, per concentrazioni di odore in ingresso inferiori a 2000 OU/m^3, una concentrazione massima di odore a valle del presidio filtrante di 200 UO/m^3;
- semplicità impiantistica e di utilizzo;
- elevata compattezza per minimizzare l'occupazione di spazio;
- affidabilità e adattabilità a differenti condizioni di utilizzo.

Gli impianti di ventilazione interni saranno del tipo "a depressione", ovvero l'ambiente interno verrà mantenuto in leggera depressione rispetto all'ambiente esterno consentendo e favorendo l'afflusso di aria fresca dall'esterno verso l'interno e non viceversa, eliminando la fuoriuscita di aria non trattata verso l'esterno. L'aria fresca viene aspirata direttamente all'esterno tramite griglie di ripresa e collettori adeguatamente dimensionati, posizionati in maniera da convogliarla in modo equilibrato alle diverse zone dell'impianto. Ad integrazione dell'aspirazione diretta dall'esterno è previsto un sistema di immissione forzata d'aria, configurato in modo da ottimizzare la circolazione dell'aria all'interno del capannone e da favorire in particolare il ricambio dell'aria ambiente generale in corrispondenza delle zone potenzialmente più umide, rappresentate dalle vasche di trattamento biologico e in particolare da quelle di ossidazione/nitrificazione e filtrazione a membrana, in cui avviene l'insufflazione di aria di processo che produce aerosol e vapori. Il condotto di immissione dell'aria è situato lungo la parete ovest del capannone, immediatamente sopra il canale di by-pass del trattamento biologico, mentre la captazione dell'aria da parte del sistema centralizzato generale avviene dal lato opposto delle vasche di processo, instaurando appunto una circolazione nella zona soprastante le vasche che ottimizza il ricambio e minimizza i ristagni d'aria.

Tutti i ventilatori di aspirazione dell'aria esausta a servizio delle unità di trattamento sono muniti di cabina di insonorizzazione e sono asserviti ad inverter, in maniera da consentire la regolazione della portata aspirata e trattata in base alle effettive esigenze. In particolare, i sistemi di deodorizzazione a servizio della zona pre-trattamenti e del locale disidratazione fanghi sono dimensionati per garantire un regime di ricambio variabile tra 2 e 5 ricambi/ora in funzione della presenza o meno di personale, mediante l'impostazione di fasce orarie a PLC. Le restanti stazioni di trattamento sono invece dimensionate su un regime di ricambio massimo di 2 ricambi/ora.

Un ulteriore sistema di ricambio aria è quello previsto all'interno del locale soffianti, per contenere l'incremento di temperatura indotto dal funzionamento delle macchine ivi alloggiate. Il sistema è costituito da due ventilatori centrifughi cassonati che aspirano l'aria dall'interno del locale e la scaricano all'esterno. Il dimensionamento è stato effettuato in questo caso considerando il calore massimo dissipato dalle soffianti in funzione e contenendo in 5 °C l'incremento massimo di

temperatura ammissibile nel locale rispetto all'ambiente esterno, tenendo conto anche della portata d'aria richiamata all'interno del locale dalle soffianti stesse.

Il riepilogo delle portate d'aria da captare e trattare per la deodorizzazione delle diverse zone di impianto è riportato in Tabella 20, mentre le caratteristiche tecniche principali delle unità di trattamento e ricambio aria sono riassunte in Tabella 21.

Tabella 20: Risultati del dimensionamento delle stazioni di trattamento aria

Aree impiantistiche	Volume da trattare	n. ricambi/ ora		Portata aspirata	
		MIN	MAX	MIN	MAX
	m³	-	-	m³/h	m³/h
Pre-trattamenti					
Zona al di sopra del piano calpestio (considerando il ribassamento di 0.70 m del piano di calpestio nella zona pre-trattamenti)	6577	2	5	13154	32886
Zona al di sotto del piano calpestio (dissabbiatura-disoleatura)	377	2	5	754	1884
TOTALE	**6954**			**13908**	**34770**
Stabilizzazione aerobica e accumulo acque madri e di lavaggio					
Stabilizzazione aerobica (con franco 1.50 m)	273	2	2	546	546
Portata d'aria massima a stabilizzazione aerobica	3200	0.5	1	1600	3200
Accumulo acque madri e di lavaggio (con vasca piena a metà)	413	2	2	825	825
TOTALE	**3886**			**2971**	**4571**
Disidratazione fanghi					
Locale disidratazione e cassoni scarrabili	1405	2	5	2811	7027
TOTALE	**1405**			**2811**	**7027**
Ambiente generale					
Zona al di sopra del piano di calpestio	44363	1	2	44363	88725
Zona al di sotto del piano di calpestio (pompe sezione filtrazione)	837	1	2	837	1674
Zona al di sotto del piano di calpestio (franco su vasche interrate)	78	1	2	78	156
Portata d'aria massima a nitrificazione	8400	0.5	1	4200	8400
Da detrarre:					
Pre-trattamenti	-5938	1	2	-5938	-11876
Locali uffici e spogliatoi	-1095	1	2	-1095	-2190
Locali elettrici 1 (cabina + sala quadri)	-720	1	2	-720	-1441
Locali elettrici 2 (sala trasformatori e powercenter + sala quadri)	-766	1	2	-766	-1532
Locale gruppo elettrogeno	-209	1	2	-209	-417
TOTALE	**44949**			**40749**	**81499**

Tabella 21: Caratteristiche principali delle stazioni di trattamento e ricambio aria

Parametro	Unità di misura	Valore
Zona pre-trattamenti (800-VE-101-A/B)		
Numero unità filtranti	-	2
Dimensioni di ingombro singola unità (LxWxH)	mm	4000x2000x2600
Carica di media filtrante per ogni unità	kg	3400
Numero ventilatori	-	2
Range di portata unitaria (sotto inverter)	m³/h	7000÷18000
Portata massima complessiva trattata	**m³/h**	**36000**
Potenza nominale unitaria	kW	30.0
Vasche di stabilizzazione aerobica e di accumulo acque madri e di lavaggio (800-VE-102)		
Numero unità filtranti	-	1
Dimensioni di ingombro singola unità (LxWxH)	mm	1500x2000x2600
Carica di media filtrante per ogni unità	kg	920
Numero ventilatori	-	1
Range di portata unitaria (sotto inverter)	m³/h	3500÷5000
Portata massima complessiva trattata	**m³/h**	**5000**
Potenza nominale unitaria	kW	5.50
Locale disidratazione fanghi (800-VE-103)		
Numero unità filtranti	-	1
Dimensioni di ingombro singola unità (LxWxH)	mm	2000x2000x2600
Carica di media filtrante per ogni unità	kg	1400
Numero ventilatori	-	1
Range di portata unitaria (sotto inverter)	m³/h	3000÷7000
Portata massima complessiva trattata	**m³/h**	**7000**
Potenza nominale unitaria	kW	11.0
Aspirazione centralizzata aria ambiente generale (800-VE-104-A/B)		
Numero unità filtranti	-	3
Dimensioni di ingombro singola unità (LxWxH)	mm	3800x2500x2500
Carica di media filtrante per ogni unità	kg	2500
Numero ventilatori	-	2
Range di portata unitaria (sotto inverter)	m³/h	25000÷41000
Portata massima complessiva trattata	**m³/h**	**82000**
Potenza nominale unitaria	kW	45.0
Sistema di immissione forzata aria (800-VE-105-A/B)		
Numero unità filtranti di depolverazione a pannelli pieghettati	-	1
Superficie filtrante totale	m²	16
Dimensioni di ingombro singola unità (LxWxH)	mm	2500x2500x2000
Numero ventilatori assiali intubati	-	2
Range di portata unitaria (sotto inverter)	m³/h	10000÷20000

Potenza nominale unitaria	kW	22.20
Portata massima complessiva trattata	**m³/h**	**40000**
Portata d'aria massima immessa nelle normali condizioni di esercizio ([3])	**m³/h**	**27300**
Sistema di ricambio aria nel locale soffianti (200-VE-101-A/B)		
Numero ventilatori centrifughi cassonati	-	2
Range di portata unitaria (sotto inverter)	m³/h	8000
Potenza nominale unitaria	kW	2.50
Portata massima complessiva trattata	**m³/h**	**16000**

6.2 GRUPPO DI PRESSURIZZAZIONE DELL'ACQUA DI SERVIZIO E PREDISPOSIZIONE PER FUTURO GRUPPO PER IL RIUSO

La rete dell'acqua tecnica a servizio del depuratore è alimentata dal gruppo di pressurizzazione 900-PK-101, che preleva il permeato dalla vasca di accumulo per il riuso. Il gruppo è costituito da 2+1R pompe multistadio verticali a velocità variabile a mezzo inverter, ciascuna con potenza nominale di 11.00 kW, e dai relativi serbatoi polmone. Il gruppo è dimensionato per fornire una portata nominale di 65 m³/h alla pressione di 8 bar, anche se la portata massima erogabile con attivazione di tutte le tre pompe è pari a 45÷120 m³/h a 10.4÷6.3 bar. La tubazione di aspirazione è munita di valvola di non ritorno sul punto di presa dal fondo della vasca di accumulo, in maniera da impedire il disinnesco del circuito. Sulla tubazione di mandata è prevista l'installazione di un trasmettitore di pressione piezoresistivo (900-PIT-101).

Il gruppo e la rete di distribuzione dell'acqua di servizio sono stati dimensionati sulla base del fabbisogno massimo di acqua tecnica per i vari utilizzi previsti nelle diverse sezioni di impianto, considerando le possibili contemporaneità di funzionamento, come riepilogato in Tabella 22.

Tabella 22: Dimensionamento del gruppo di pressurizzazione dell'acqua di servizio

Servizio	**Portata richiesta (m³/h)**	**Pressione minima alle utenze (bar)**	**Stima consumo medio**		
			Portata media (m³/h)	**Tempo attivaz. in ALTA STAGIONE (h/d)**	**Tempo attivaz. in BASSA STAGIONE (h/d)**
Lavaggio griglia fine 1 (=flussaggio materiale grigliato)	6.3	6	6.3	2	1.5
Lavaggio griglia fine 2 (=flussaggio materiale grigliato)	6.3	6	6.3	2	1.5
Lavaggio filtrococlea compattatrice	3.6	6	3.6	1	0.75
Lavaggio a classificatore-lavatore sabbie	5.0	5	5.0	0.25	0.25

[3] Nelle normali condizioni di esercizio è sufficiente immettere una portata d'aria in rapporto di circa 1:3 rispetto alla portata d'aria aspirata dall'ambiente generale. I ventilatori assiali intubati sono stati sovradimensionati in maniera da poter lavorare a bassa frequenza, riducendo significativamente il relativo impatto sonoro.

Lavaggio pre-ispessitore 1	10.8	5	10.8	6	5
Lavaggio pre-ispessitore 2	10.8	5	10.8	6	0
Alimentazione polipreparatore pre-ispessimento	7.0	2	7.0	2	1
Lavaggio a centrifuga 1	3.6	2	3.6	0.25	0.25
Lavaggio a centrifuga 2	3.6	2	3.6	0.25	0
Alimentazione polipreparatore disidratazione	0.0 (*)	2	7.0	2	1
Altri utilizzi	8.0	3	8.0	0.5	0.5
TOTALE	**65.0**	**6**			
Punto di funzionamento nominale del gruppo di pressurizzazione	**65.0**	**8**			
Stima dei consumi medi di acqua di servizio					
Consumo medio in ALTA STAGIONE			193.5 m^3/d		
Portata media oraria in ALTA STAGIONE			**8.1 m^3/h**		
Consumo medio in BASSA STAGIONE			95.8 m^3/d		
Portata media oraria in BASSA STAGIONE			**4.0 m^3/h**		

Il progetto non prevede la fornitura e l'installazione di alcun gruppo dedicato alla pressurizzazione dell'effluente depurato a scopo di riutilizzo. Esso potrà essere dimensionato una volta individuate le possibili destinazioni d'uso dell'effluente stesso. È previsto esclusivamente il mantenimento degli spazi per la futura installazione del gruppo, oltre alla predisposizione di una tubazione di aspirazione DN300 (adeguata per una portata di 300-400 m^3/h), munita di valvola di ritegno sul punto di presa dal fondo della vasca di accumulo e di attacco flangiato chiuso con flangia cieca sulla parete esterna della vasca per la futura connessione del gruppo. La progettazione elettrica ha altresì tenuto conto della possibilità di alimentare in futuro un gruppo di potenza nominale complessivamente stimata dell'ordine di 88.00 kW (ipotizzando un gruppo costituito da 4 pompe multistadio da 22.00 kW cadauna).

6.3 VASCA DI ACCUMULO/EQUALIZZAZIONE DELLE ACQUE MADRI E DI LAVAGGIO

Le acque madri separate dalle sezioni di pre-ispessimento e disidratazione meccanica dei fanghi e le acque di lavaggio e di drenaggio originate dai comparti di pre-trattamento del refluo in ingresso (filtrococlee compattatrici e classificatori-lavatori delle sabbie) rappresentano un flusso di acque cariche di inquinanti che può risultare particolarmente significativo soprattutto in occasione del funzionamento contemporaneo di più apparecchiature. Il riepilogo dei flussi massimi previsti, della portata massima istantanea di acque madri e di lavaggio e del volume massimo giornaliero prodotto nello scenario di progetto di alta stagione è riportato in Tabella 23. La portata massima istantanea di acque prodotte è molto significativa; se i 175 m^3/h stimati fossero riportati direttamente

in testa impianto determinerebbero di fatto un afflusso aggiuntivo all'impianto dell'ordine di quasi 0.4 volte la portata media di progetto in alta stagione. Ciò potrebbe quindi determinare, in caso di elevata portata in ingresso, l'attivazione del sistema di by-pass del trattamento secondario non al raggiungimento della soglia di $3 \cdot Q_m$ di refluo in ingresso, ma di un afflusso di $2.6 \cdot Q_m$. Per risolvere questo problema è stata prevista la realizzazione di una vasca di accumulo/equalizzazione delle acque madri e di lavaggio, caratterizzata da dimensioni planimetriche utile di 15.50x10.65 m, per un battente massimo di 4.50 m. Il volume utile di 743 m^3 consente di stoccare la produzione massima giornaliera e riportarla in testa impianto a portata controllata mediante le 1+1R pompe sommergibili di rilancio 900-PS-101-A/R, che possono sollevare una portata di 35 m^3/h alla prevalenza di 8.50 m e la cui mandata recapita alla camera di alimentazione alle griglie grossolane. Le pompe si attivano secondo cicli di attacca-stacca mediante appositi interruttori a galleggiante. Il loro funzionamento viene inibito in caso di afflusso all'impianto superiore ad una soglia opportunamente impostata a PLC (su valori di poco inferiori a $3 \cdot Q_m$). Un ulteriore interruttore di livello a galleggiante è inoltre installato in vasca di accumulo con funzioni di allarme di massimo livello, che inibisce il funzionamento di pre-ispessitori dinamici e decanter centrifughi.

Tabella 23: Verifica della produzione di acque madri e di lavaggio

Flusso di acque di drenaggio	**Portata massima istantanea** (m^3/h)	**Portata massima in contemporanea** (m^3/h)	**Durata massima giornaliera** (h/d)	**Produzione massima giornaliera** (m^3/d)
DA PRE-TRATTAMENTI				
Portata acqua di lavaggio griglia fine 1 (=Portata di flussaggio materiale grigliato a filtrococlea compattatrice)	6.3	6.3	6	37.8
Portata acqua di lavaggio griglia fine 2 (=Portata di flussaggio materiale grigliato a filtrococlea compattatrice)	6.3	6.3	6	37.8
Portata acqua di lavaggio da filtrococlea compattatrice	3.6	3.6	2	7.2
Portata massima drenaggio da classificatore-lavatore sabbie	58	58	2	116
Portata acqua lavaggio a classificatore-lavatore sabbie	5.0	5.0	0.50	2.52
TOTALE DA PRE-TRATTAMENTI		**79.2**		**201**
DA TRATTAMENTO FANGHI				
Portata acqua madri pre-ispessitore 1	32	32	6	192
Portata acqua madri pre-ispessitore 2	32	32	6	192
Portata acqua lavaggio a pre-ispessitore 1	3.6 (media 2.0)	0 (*)	6	12 (*)
Portata acqua lavaggio a pre-ispessitore 2	3.6 (media 2.0)	0 (*)	6	12 (*)

Portata acqua madri centrifuga 1	15	15	4	60
Portata acqua madri centrifuga 2	15	15	4	60
Portata acqua lavaggio a centrifuga 1	3.6	0 (**)	0.25	0.9
Portata acqua lavaggio a centrifuga 2	3.6	0 (**)	0.25	0.9
TOTALE DA TRATTAMENTO FANGHI		**94.0**		**530**
PORTATA MASSIMA ISTANTANEA COMPLESSIVA		**173.2**		
VOLUME GIORNALIERO TOTALE				**731**

(*) I cicli di lavaggio dei pre-ispessitori impiegano una portata di acqua di servizio di circa 3.6 m^3/h, mentre la portata media oraria valutata sui tempi di funzionamento dei pre-ispessitori stessi è dell'ordine di 2.0 m^3/h. Tuttavia, le fasi di lavaggio avvengono senza alimentazione di fango, e quindi non in contemporanea con la produzione di acque madri.

(**) Le operazioni di lavaggio dei decanter centrifughi impiegano una portata di acqua di servizio di circa 3.6 m^3/h. Tuttavia, le fasi di lavaggio avvengono al termine della sessione di lavoro delle macchine, e quindi non in contemporanea con la produzione di acque madri.

7 CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA

7.1 PROCEDURA PER LA STIMA DEI CONSUMI ENERGETICI

Il consumo di energia elettrica per il funzionamento delle utenze elettromeccaniche installate a servizio delle diverse sezioni di trattamento nella configurazione impiantistica di progetto è stato valutato a partire dai dati di potenza nominale e assorbita delle singole macchine previste.
Le caratteristiche delle apparecchiature elettromeccaniche di nuova installazione corrispondono a quelle dettagliate nel CSA – Norme tecniche (elaborato 2017GESI0005-00-D-I2-GEN-CA-001) e sintetizzate negli Elenchi apparecchiature elettromeccaniche (elaborato 2017GESI0005-00-D-I2-IMP-RT-003).
Per ciascuna macchina viene determinato il fattore di utilizzo, ricavato sulla base del regime di funzionamento giornaliero e settimanale delle utenze in servizio nelle condizioni di progetto. Per le apparecchiature operanti sotto inverter, la potenza assorbita è stata determinata in base all'effettivo punto di lavoro previsto in condizioni medie, valutate per ciascuna specifica utenza in nelle condizioni operative previste nei due scenari stagionali considerati in sede di verifica di processo (scenari AS-MC nei mesi estivi, BS-MC nel restante periodo dell'anno). Analogamente, è stato valutato in condizioni medie anche il tempo effettivo di attivazione delle varie utenze operanti secondo cicli temporizzati di attacca-stacca. Si sottolinea in particolare che, per quanto riguarda le soffianti a servizio dei vari comparti aerati, la potenza assorbita ai morsetti nei punti di lavoro in condizioni medie è stata calcolata sommando alla potenza assorbita all'albero le inefficienze legate a trasmissione, motore e inverter.

7.2 STIMA DEI CONSUMI MEDI DI ENERGIA ELETTRICA

La stima dei consumi medi di energia elettrica attesi da parte delle utenze a servizio delle diverse sezioni di trattamento che compongono l'impianto, ottenuta dall'applicazione della procedura descritta nel paragrafo precedente, sono riportati sinteticamente in Tabella 24 e Tabella 25, rispettivamente per gli scenari di alta stagione e bassa stagione. Oltre che in kWh/d, i consumi sono espressi anche in forma specifica per m^3 di refluo trattato, con riferimento alle condizioni medie di esercizio (portata media in ingresso all'impianto di 11200 m^3/d in alta stagione e di 7360 m^3/d in bassa stagione), e per unità di massa di inquinanti rimossi, con riferimento ai carichi di sostanza organica come COD e di azoto totale mediamente abbattuti, stimabili rispettivamente in circa 7448 kgCOD/d e 431 kgN/d in alta stagione e in circa 3496 kgCOD/d e 277 kgN/d in bassa stagione.
Effettuando una media ponderata sui due periodi di alta e bassa stagione, **il consumo medio annuo atteso da parte dell'intero impianto si attesta su 3987 MWh/anno**, con consumi specifici d **1.33 kWh/m³**, 2.61 kWh/kgCOD_{rim} e 35.0 kWh/kgN_{rim}.

Il quadro dettagliato della stima dei consumi energetici associati al funzionamento delle singole utenze elettromeccaniche nei due scenari stagionali è riepilogato in Tabella 26 e Tabella 27.

Tabella 24: Consumi di energia elettrica nelle varie sezioni di trattamento nella configurazione di progetto – Scenario di ALTA STAGIONE

Sezione di trattamento	**Consumo medio**	**Consumo specifico**		
	kWh/d	**kWh/m³**	**kWh/kgCOD_{rim}**	**kWh/kgN_{rim}**
LINEA ACQUE				
Pre-trattamenti	159	0.014	0.02	0.37
Trattamento biologico	3 120	0.279	0.42	7.23
Filtrazione e deossigenazione	2 800	0.250	0.38	6.49
Trattamenti terziari	698	0.062	0.09	1.62
TOTALE LINEA ACQUE	***6 777***	***0.605***	***0.91***	***15.72***
LINEA FANGHI				
Pre-ispessimento	108	0.010	0.01	0.25
Stabilizzazione aerobica	1 204	0.108	0.16	2.79
Disidratazione meccanica	272	0.024	0.04	0.63
TOTALE LINEA FANGHI	***1 584***	***0.141***	***0.21***	***3.67***
ALTRE SEZIONI				
Trattamento aria	2 950	0.263	0.40	6.84
Servizi generali	2 235	0.200	0.30	5.18
TOTALE ALTRE SEZIONI	***5 185***	***0.463***	***0.70***	***12.02***
TOTALE IMPIANTO	**13 546**	**1.21**	**1.82**	**31.4**

Tabella 25: Consumi di energia elettrica nelle varie sezioni di trattamento nella configurazione di progetto – Scenario di BASSA STAGIONE

Sezione di trattamento	**Consumo medio**	**Consumo specifico**		
	kWh/d	**kWh/m³**	**kWh/kgCOD_{rim}**	**kWh/kgN_{rim}**
LINEA ACQUE				
Pre-trattamenti	108	0.015	0.03	0.39
Trattamento biologico	1 723	0.234	0.49	6.21
Filtrazione e deossigenazione	1 663	0.226	0.48	5.99
Trattamenti terziari	542	0.074	0.16	1.95
TOTALE LINEA ACQUE	***4 036***	***0.548***	***1.15***	***14.54***
LINEA FANGHI				
Pre-ispessimento	49	0.007	0.01	0.18
Stabilizzazione aerobica	665	0.090	0.19	2.40
Disidratazione meccanica	139	0.019	0.04	0.50
TOTALE LINEA FANGHI	***853***	***0.116***	***0.24***	***3.08***
ALTRE SEZIONI				
Trattamento aria	2 950	0.401	0.84	10.63
Servizi generali	2 210	0.300	0.63	7.96
TOTALE ALTRE SEZIONI	***5 160***	***0.701***	***1.48***	***18.60***
TOTALE IMPIANTO	**10 049**	**1.37**	**2.87**	**36.2**

Tabella 26: Consumi di energia elettrica nelle condizioni medie di esercizio in ALTA STAGIONE per le varie utenze elettromeccaniche previste nella configurazione di progetto
(*) Tipo di avviamento: DOL (Diretto), VDS (Inverter), SS (Soft Starter), S/D (Stella/Triangolo)
(**) Quadro elettrico di alimentazione: QE-BT=Quadri elettrici in bassa tensione dell'impianto - QL=Quadro elettrico locale a bordo macchina

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
100 - Pre-trattamenti								**TOTALE COMPARTO:**		**38.72**									**159.0**
100	**GR**	**101**	**A/R**	Grigliatura grossolana	Griglia grossolana a barre	SS	QL101	**2**	0.75	1.50			1	0.60	0.60	2	7	0.08	1.2
100	**TR**	**101**	**A**	Trasporto materiale grigliato a cassonetto di raccolta	Nastro trasportatore orizzontale	DOL		**1**	0.37	0.37			1	0.30	0.30	2	7	0.08	0.6
100	**TR**	**101**	**R**	Trasporto materiale grigliato a cassonetto di raccolta	Nastro trasportatore orizzontale	DOL		**1**	0.37	0.37			0	0.30	0.00	0	7	0.00	0.0
100	**GR**	**102**	**A/B/C**	Grigliatura fine	Griglia fine a cestello rotante (in contenitore)	VDS	QL102	**3**	1.50	4.50			3	1.30	3.90	2	7	0.08	7.8
100	**GR**	**103**	**A/R**	Compattazione materiale grigliato	Filtrococlea compattatrice (in contenitore)	DOL		**2**	1.50	3.00			1	1.20	1.20	2	7	0.08	2.4
100	**PK**	**101**	**A/B/C**	Dissabbiatura/disoleatura	Impianto compatto di dissabbiatura-disoleatura:	DOL		**3**											
					- Coclea raccolta sabbie				0.55	1.65			3	0.45	1.35	24	7	1.00	32.4
					- Soffiante rotativa				1.50	4.50			3	1.20	3.60	24	7	1.00	86.4
					- Pompa di asporto sabbie				2.20	6.60			3	1.80	5.40	2	7	0.08	10.8
					- Pompa di asporto grassi				1.50	4.50			3	1.20	3.60	2	7	0.08	7.2
					- Dispositivo di asporto grassi				0.12	0.36			3	0.10	0.29	24	7	1.00	6.9
100	**CS**	**101**	**A/R**	Classificazione e lavaggio sabbie	Agitatore classificatore	DOL	QL103	**2**	1.50	3.00			1	1.20	1.20	2	7	0.08	2.4
					Coclea estrazione sabbie				0.55	1.10			1	0.45	0.45	2	7	0.08	0.9
100	**TP**	**101**	**A/B**	Movimentazione griglie grossolane	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**2**	1.65	3.30			2	1.50	3.00	0	7	0.00	0.0
100	**TP**	**102**	**-**	Movimentazione griglie fini	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	3.97	3.97			1	3.50	3.50	0	7	0.00	0.0
200 - Trattamento biologico								**TOTALE COMPARTO:**		**287.44**									**3119.5**
200	**MX**	**101**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 1	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**MX**	**201**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 2	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**MX**	**301**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 3	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**MX**	**401**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 4	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**CR**	**101**	**A/B/R**	Fornitura aria al comparto di nitrificazione	Compressore volumetrico a vite	VDS	QE-BT	**3**	90.00	270.00	2780	Nm^3/h	2	59.22	118.45	24	7	1.00	2842.7
200	**PD**	**101**	**A/R**	Dosaggio NaOH 30% per correzione pH	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.11	0.22	13.4	L/h	1	0.10	0.10	6.1	7	0.25	0.6
200	**PD**	**102**	**A/R**	Dosaggio FeCl3 40% per defosfatazione chimica in simultanea	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.11	0.22	22.9	L/h	1	0.10	0.10	10.4	7	0.43	1.0
200	**VE**	**101**	**A/B**	Ricambio aria nel locale soffianti	Ventilatore centrifugo cassonato	VDS	QE-BT	**2**	2.50	5.00			2	2.00	4.00	16	7	0.67	64.0

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
300 - Filtrazione e deossigenazione								**TOTALE COMPARTO:**		**598.03**									**2800.3**
300	**PR**	**101**	**A/R**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 1 + riserva	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**2**	37.00	74.00	137.4	m^3/h	1	7.82	7.82	24	7	1.00	187.8
300	**PR**	**201**	**-**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 2	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**1**	37.00	37.00	137.4	m^3/h	1	7.82	7.82	24	7	1.00	187.8
300	**PR**	**301**	**A/R**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 3 + riserva	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**2**	37.00	74.00	137.4	m^3/h	1	7.82	7.82	24	7	1.00	187.8
300	**PR**	**401**	**-**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 4	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**1**	37.00	37.00	137.4	m^3/h	1	7.82	7.82	24	7	1.00	187.8
300	**CR**	**101**	**A/B/R**	Fornitura aria per la pulizia meccanica delle membrane	Soffiante volumetrica a lobi	VDS	QE-BT	**3**	75.00	225.00	1985	Nm^3/h	2	29.57	59.14	24	7	1.00	1419.3
300	**PD**	**101**	**A/R**	Lavaggio chimico membrane con NaClO 14% - Maintenance Cleaning	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.11	0.22			1	0.10	0.10	2	3	0.04	0.1
300	**PD**	**102**	**A/B**	Lavaggio chimico membrane con NaClO 14% - Recovery Cleaning	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.42	0.84			2	0.35	0.70	1	0.15	0.00	0.0
300	**PD**	**103**	**-**	Lavaggio chimico membrane con acido citrico 50% - Recovery Cleaning	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**1**	0.42	0.42			1	0.35	0.35	1	0.15	0.00	0.0
300	**PC**	**101**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 1	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.15	0.00	0.2
300	**PC**	**201**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 2	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.15	0.00	0.2
300	**PC**	**301**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 3	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.15	0.00	0.2
300	**PC**	**401**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 4	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.15	0.00	0.2
300	**CR**	**102**	**A/R**	Fornitura aria di servizio per le automazioni della sezione MBR	Gruppo compressore a vite	DOL	QL301 QL302	**2**	2.20	4.40			1	2.80	2.80	0.017	7	0.00	0.0
300	**PS**	**101**	**A/B/R**	Sollevamento fanghi da deossigenazione linee 1 e 2 a canale di ricircolo alle linee biologiche	Pompa centrifuga sommergibile	VDS	QE-BT	**3**	15.00	45.00	583.25	m^3/h	2	6.00	12.00	24	7	1.00	288.0
300	**PS**	**301**	**A/B/R**	Sollevamento fanghi da deossigenazione linee 3 e 4 a canale di ricircolo alle linee biologiche	Pompa centrifuga sommergibile	VDS	QE-BT	**3**	15.00	45.00	583.25	m^3/h	2	6.00	12.00	24	7	1.00	288.0
300	**MX**	**101**	**-**	Miscelazione deossigenazione - linee 1 e 2	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**1**	1.50	1.50			1	1.10	1.10	24	7	1.00	26.4
300	**MX**	**301**	**-**	Miscelazione deossigenazione - linee 3 e 4	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**1**	1.50	1.50			1	1.10	1.10	24	7	1.00	26.4
300	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione moduli di filtrazione e pompe di ricircolo fanghi	Carroponte monotrave con carrello monorotaia con paranco a fune	DOL	QE-BT	**1**	6.50	6.50			1	6.00	6.00	0	7	0.00	0.0
300	**TP**	**102**	**-**	Movimentazione pompe a servizio del comparto di filtrazione	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	1.65	1.65			1	1.50	1.50	0	7	0.00	0.0
400 - Disinfezione e sollevamento finale								**TOTALE COMPARTO:**		**166.00**									**698.4**
400	**PK**	**101**	**A/B**	Disinfezione finale	Impianto di disinfezione UV in canale	-	QL401	**2**	9.00	18.00			2	4.05	8.10	24	7	1.00	194.4

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
400	**PS**	**101**	**A/B/C/D**	Sollevamento finale effluente	Pompa centrifuga sommergibile	VDS	QE-BT	**4**	37.00	148.00	466.7	m³/h	1	21.00	21.00	24	7	1.00	504.0
400	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione pompe di sollevamento finale	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	1.65	1.65			1	1.50	1.50	0	7	0.00	0.0
500 - Pre-ispessimento								**TOTALE COMPARTO:**		**43.86**									**107.6**
500	**PP**	**101**	**-**	Preparazione soluzione polielettrolita	Polipreparatore automatico	DOL	QL501	**1**	3.00	3.00			1	2.40	2.40	6	5	0.18	10.3
500	**PM**	**101**	**A/B/R**	Alimentazione fanghi di supero da deossigenazione a ispessitore	Pompa volumetrica monovite	VDS	QL502	**3**	11.00	33.00			2	8.80	17.60	6	5	0.18	75.4
500	**PM**	**102**	**A/B/R**	Dosaggio soluzione polielettrolita a ispessimento	Pompa volumetrica monovite	VDS		**3**	1.50	4.50			2	1.20	2.40	6	5	0.18	10.3
500	**ID**	**101**	**A/B**	Ispessimento fanghi di supero	Reattore di flocculazione	VDS		**2**	0.18	0.36			2	0.15	0.30	6	5	0.18	1.3
					Ispessitore dinamico a coclea				1.50	3.00			2	1.20	2.40	6	5	0.18	10.3
500	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione ispessitori per manutenzioni	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	1.65	1.65			1	1.50	1.50	0	7	0.00	0.0
600 - Stabilizzazione aerobica								**TOTALE COMPARTO:**		**111.00**									**1204.2**
600	**CR**	**101**	**A/B/R**	Fornitura aria al comparto di stabilizzazione aerobica	Compressore volumetrico a vite	VDS	QE-BT	**3**	37.00	111.00	1131	Nm³/h	2	25.09	50.18	24	7	1.00	1204.2
700 - Disidratazione meccanica								**TOTALE COMPARTO:**		**129.11**									**272.0**
700	**PP**	**101**	**-**	Preparazione soluzione polielettrolita	Polipreparatore automatico	DOL	QL701	**1**	3.00	3.00			1	2.40	2.40	4	5	0.12	6.9
700	**PM**	**101**	**A/B/R**	Alimentazione fango digerito a disidratazione	Pompa monovite	VDS	QL702	**3**	5.50	16.50			2	4.40	8.80	4	5	0.12	25.1
700	**PM**	**102**	**A/B/R**	Dosaggio soluzione polielettrolita a disidratazione	Pompa monovite	VDS		**3**	1.50	4.50			2	1.20	2.40	4	5	0.12	6.9
700	**CF**	**101**	**A/B**	Disidratazione fanghi	Estrattore centrifugo - Tamburo	VDS		**2**	37.00	74.00			2	30.00	60.00	4	5	0.12	171.4
					Estrattore centrifugo - Coclea	VDS			11.00	22.00			2	9.00	18.00	4	5	0.12	51.4
					Serranda motorizzata su bocca di scarico fango disidratato	DOL			0.37	0.74			2	0.30	0.60	0.1	5	0.00	0.0
700	**TR**	**101**	**A/B**	Trasporto dei fanghi disidratati	Coclea orizzontale	DOL		**2**	2.20	4.40			2	1.80	3.60	4	5	0.12	10.3
700	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione decanter centrifughi	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	3.97	3.97			1	3.50	3.50	0	7	0.00	0.0
800 - Trattamento aria								**TOTALE COMPARTO:**		**210.90**									**2949.9**
800	**VE**	**101**	**A/B**	Deodorizzazione sezioni di pre-trattamento (Grigliatura grossolana - Grigliatura fine - Dissabbiatura/disoleatura)	Ventilatore centrifugo di aspirazione	VDS	QL801	**2**	30.00	60.00	10800	m³/h	2	14.40	28.80	24	7	1.00	691.2
					Unità filtrante a secco	-	-	**2**	-	-									
800	**VE**	**102**	**-**	Deodorizzazione vasche di stabilizzazione aerobica e vasca di accumulo acque di drenaggio	Ventilatore centrifugo di aspirazione	S/D	QL802	**1**	5.50	5.50	3000	m³/h	1	2.64	2.64	24	7	1.00	63.4
					Unità filtrante a secco	-	-	**1**	-	-									
800	**VE**	**103**	**-**	Deodorizzazione locale disidratazione fanghi	Ventilatore centrifugo di aspirazione	VDS	QL803	**1**	11.00	11.00	4333	m³/h	1	5.45	5.45	24	7	1.00	130.7
					Unità filtrante a secco	-	-	**1**	-	-									

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
800	**VE**	**104**	**A/B**	Ricambio e trattamento aria nell'ambiente generale	Ventilatore centrifugo di aspirazione	VDS	QL804	**2**	45.00	90.00	41000	m³/h	2	36.00	72.00	24	7	1.00	1728.0
					Unità filtrante a secco	-	-	**3**	-	-									
800	**VE**	**105**	**A/B**	Immissione forzata aria nel capannone	Ventilatore assiale intubato	VDS	QE-BT	**2**	22.20	44.40	15000	m³/h	2	7.01	14.03	24	7	1.00	336.6
					Unità filtrante di depolverazione	-	-	**1**	-	-									
900 - Apparecchiature di servizio								**TOTALE COMPARTO:**		**292.64**									**2234.7**
900	**PS**	**101**	**A/R**	Rilancio acque madri e di lavaggio da vasca di accumulo a grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**2**	3.00	6.00	28.2	m³/h	1	2.70	2.70	19.3	7	0.80	52.1
900	**PS**	**102**	**-**	Rilancio acque di drenaggio da pozzetto di sentina zona dissabbiatura a pozzo in ingresso a grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**1**	1.20	2.40			1	1.30	1.30	0	7	0.00	0.0
900	**PS**	**103**	**-**	Rilancio acque di drenaggio zona pompe MBR a pozzo in ingresso a grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**1**	1.20	2.40			1	1.35	1.35	0	7	0.00	0.0
900	**PS**	**104**	**-**	Rilancio acque di scarico servizi igienici in testa alla grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**1**	0.42	0.84			1	0.43	0.43	1	7	0.04	0.4
900	**PK**	**101**	**-**	Pressurizzazione acqua di servizio (permeato prelevato da vasca di accumulo per il riuso)	Gruppo di pressurizzazione (2+1R pompe)	VDS	QL901	**1**	33.00	33.00	8.1	m³/h	1	20.00	20.00	3.0	7	0.12	59.8
900	**PK**	**102**	**-**	Pressurizzazione rete per riutilizzo effluente depurato	Gruppo di pressurizzazione per il riuso (PREDISPOSIZIONE PER FUTURA INSTALLAZIONE)	VDS	QL902	**1**	88.00	88.00			1	80.00	80.00	0	7	0.00	0.0
-	**-**	**-**	**-**	Servizi ausiliari	Illuminazione esterna ed interna	-	QE-BT	**1**	50.00	50.00			1	35.00	35.00	24	7	1.00	840.0
					Forza motrice FM	-		**1**	50.00	50.00			1	10.00	10.00	12	7	0.50	120.0
					Climatizzazione e ventilazione locali elettrici	-		**1**	50.00	50.00			1	45.00	45.00	24	7	1.00	1080.0
					Climatizzazione e ventilazione locali di servizio (uffici, spogliatoi)	-		**1**	10.00	10.00			1	8.00	8.00	12	6	0.43	82.3
								TOTALE IMPIANTO:		**1877.70**									**13 546**

Tabella 27: Consumi di energia elettrica nelle condizioni medie di esercizio in BASSA STAGIONE per le varie utenze elettromeccaniche previste nella configurazione di progetto
(*) Tipo di avviamento: DOL (Diretto), VDS (Inverter), SS (Soft Starter), S/D (Stella/Triangolo)
(**) Quadro elettrico di alimentazione: QE-BT=Quadri elettrici in bassa tensione dell'impianto - QL=Quadro elettrico locale a bordo macchina

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
100 - Pre-trattamenti										**TOTALE COMPARTO:**	**38.72**								**108.1**
100	**GR**	**101**	**A/R**	Grigliatura grossolana	Griglia grossolana a barre	SS	QL101	**2**	0.75	1.50			1	0.60	0.60	1.5	7	0.06	0.9
100	**TR**	**101**	**A**	Trasporto materiale grigliato a cassonetto di raccolta	Nastro trasportatore orizzontale	DOL		**1**	0.37	0.37			1	0.30	0.30	1.5	7	0.06	0.4
100	**TR**	**101**	**R**	Trasporto materiale grigliato a cassonetto di raccolta	Nastro trasportatore orizzontale	DOL		**1**	0.37	0.37			0	0.30	0.00	0	7	0.00	0.0
100	**GR**	**102**	**A/B/C**	Grigliatura fine	Griglia fine a cestello rotante (in contenitore)	VDS	QL102	**3**	1.50	4.50			3	1.30	3.90	1.5	7	0.06	5.9
100	**GR**	**103**	**A/R**	Compattazione materiale grigliato	Filtrococlea compattatrice (in contenitore)	DOL		**2**	1.50	3.00			1	1.20	1.20	1.5	7	0.06	1.8
100	**PK**	**101**	**A/B/C**	Dissabbiatura/disoleatura	Impianto compatto di dissabbiatura-disoleatura:	DOL		**3**											
					- Coclea raccolta sabbie				0.55	1.65			2	0.45	0.90	24	7	1.00	32.4
					- Soffiante rotativa				1.50	4.50			2	1.20	2.40	24	7	1.00	86.4
					- Pompa di asporto sabbie				2.20	6.60			2	1.80	3.60	2	7	0.08	10.8
					- Pompa di asporto grassi				1.50	4.50			2	1.20	2.40	2	7	0.08	7.2
					- Dispositivo di asporto grassi				0.12	0.36			2	0.10	0.19	24	7	1.00	6.9
100	**CS**	**101**	**A/R**	Classificazione e lavaggio sabbie	Agitatore classificatore	DOL	QL103	**2**	1.50	3.00			1	1.20	1.20	2	7	0.08	2.4
					Coclea estrazione sabbie				0.55	1.10			1	0.45	0.45	2	7	0.08	0.9
100	**TP**	**101**	**A/B**	Movimentazione griglie grossolane	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**2**	1.65	3.30			2	1.50	3.00	0	7	0.00	0.0
100	**TP**	**102**	**-**	Movimentazione griglie fini	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	3.97	3.97			1	3.50	3.50	0	7	0.00	0.0
200 - Trattamento biologico										**TOTALE COMPARTO:**	**287.44**								**1722.6**
200	**MX**	**101**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 1	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**MX**	**201**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 2	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**MX**	**301**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 3	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**MX**	**401**	**A/B**	Miscelazione vasca di pre-denitrificazione - Linea 4	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**2**	1.50	3.00			2	1.10	2.20	24	7	1.00	52.8
200	**CR**	**101**	**A/B/R**	Fornitura aria al comparto di nitrificazione	Compressore volumetrico a vite	VDS	QE-BT	**3**	90.00	270.00	2862	Nm^3/h	1	60.87	60.87	24	7	1.00	2842.7
200	**PD**	**101**	**A/R**	Dosaggio NaOH 30% per correzione pH	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.11	0.22	35	L/h	1	0.10	0.10	15.8	7	0.66	0.6
200	**PD**	**102**	**A/R**	Dosaggio FeCl3 40% per defosfatazione chimica in simultanea	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.11	0.22	22.2	L/h	1	0.10	0.10	10.1	7	0.42	1.0
200	**VE**	**101**	**A/B**	Ricambio aria nel locale soffianti	Ventilatore centrifugo cassonato	VDS	QE-BT	**2**	2.50	5.00			2	2.00	4.00	12	7	0.50	64.0

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
300 - Filtrazione e deossigenazione								**TOTALE COMPARTO:**		**598.03**									**1662.6**
300	**PR**	**101**	**A/R**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 1 + riserva	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**2**	37.00	74.00	122.2	m^3/h	1	6.96	6.96	24	7	1.00	166.9
300	**PR**	**201**	**-**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 2	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**1**	37.00	37.00	122.2	m^3/h	1	6.96	6.96	24	7	1.00	166.9
300	**PR**	**301**	**A/R**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 3 + riserva	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**2**	37.00	74.00	122.2	m^3/h	1	6.96	6.96	24	7	1.00	166.9
300	**PR**	**401**	**-**	Estrazione permeato e back-wash - Linea 4	Pompa volumetrica reversibile a lobi	VDS	QE-BT	**1**	37.00	37.00	0	m^3/h	1	0.00	0.00	24	7	1.00	0.0
300	**CR**	**101**	**A/B/R**	Fornitura aria per la pulizia meccanica delle membrane	Soffiante volumetrica a lobi	VDS	QE-BT	**3**	75.00	225.00	1960	Nm^3/h	1	29.17	29.17	24	7	1.00	700.2
300	**PD**	**101**	**A/R**	Lavaggio chimico membrane con NaClO 14% - Maintenance Cleaning	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.11	0.22			1	0.10	0.10	1.5	3	0.03	0.1
300	**PD**	**102**	**A/B**	Lavaggio chimico membrane con NaClO 14% - Recovery Cleaning	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**2**	0.42	0.84			2	0.35	0.70	1	0.12	0.00	0.0
300	**PD**	**103**	**-**	Lavaggio chimico membrane con acido citrico 50% - Recovery Cleaning	Pompa dosatrice a membrana	DOL	QE-BT	**1**	0.42	0.42			1	0.35	0.35	1	0.12	0.00	0.0
300	**PC**	**101**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 1	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.12	0.00	0.2
300	**PC**	**201**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 2	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.12	0.00	0.2
300	**PC**	**301**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 3	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.12	0.00	0.2
300	**PC**	**401**	**-**	Drenaggio celle di filtrazione - Linea 4	Pompa centrifuga autoadescante	DOL	QE-BT	**1**	11.00	11.00			1	10.50	10.50	1	0.12	0.00	0.2
300	**CR**	**102**	**A/R**	Fornitura aria di servizio per le automazioni della sezione MBR	Gruppo compressore a vite	DOL	QL301 QL302	**2**	2.20	4.40			1	2.80	2.80	0.017	7	0.00	0.0
300	**PS**	**101**	**A/B/R**	Sollevamento fanghi da deossigenazione linee 1 e 2 a canale di ricircolo alle linee biologiche	Pompa centrifuga sommergibile	VDS	QE-BT	**3**	15.00	45.00	766.5	m^3/h	1	8.50	8.50	24	7	1.00	204.0
300	**PS**	**301**	**A/B/R**	Sollevamento fanghi da deossigenazione linee 3 e 4 a canale di ricircolo alle linee biologiche	Pompa centrifuga sommergibile	VDS	QE-BT	**3**	15.00	45.00	766.5	m^3/h	1	8.50	8.50	24	7	1.00	204.0
300	**MX**	**101**	**-**	Miscelazione deossigenazione - linee 1 e 2	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**1**	1.50	1.50			1	1.10	1.10	24	7	1.00	26.4
300	**MX**	**301**	**-**	Miscelazione deossigenazione - linee 3 e 4	Mixer sommerso ad asse orizzontale	DOL	QE-BT	**1**	1.50	1.50			1	1.10	1.10	24	7	1.00	26.4
300	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione moduli di filtrazione e pompe di ricircolo fanghi	Carroponte monotrave con carrello monorotaia con paranco a fune	DOL	QE-BT	**1**	6.50	6.50			1	6.00	6.00	0	7	0.00	0.0
300	**TP**	**102**	**-**	Movimentazione pompe a servizio del comparto di filtrazione	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	1.65	1.65			1	1.50	1.50	0	7	0.00	0.0
400 - Disinfezione e sollevamento finale								**TOTALE COMPARTO:**		**92.00**									**542.4**
400	**PK**	**101**	**A/B**	Disinfezione finale	Impianto di disinfezione UV in canale	-	QL401	**2**	9.00	18.00			2	4.05	8.10	24	7	1.00	194.4

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
400	**PS**	**101**	**A/B/C/R**	Sollevamento finale effluente	Pompa centrifuga sommergibile	S/D	QE-BT	**4**	18.50	74.00			1	16.50	49.50	24	7	1.00	348.0
400	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione pompe di sollevamento finale	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	1.65	1.65			1	1.50	1.50	0	7	0.00	0.0
500 - Pre-ispessimento								**TOTALE COMPARTO:**		**43.86**									**49.1**
500	**PP**	**101**	**-**	Preparazione soluzione polielettrolita	Polipreparatore automatico	DOL	QL501	**1**	3.00	3.00			1	2.40	2.40	5	5	0.15	8.6
500	**PM**	**101**	**A/B/R**	Alimentazione fanghi di supero da deossigenazione a ispessitore	Pompa volumetrica monovite	VDS	QL502	**3**	11.00	33.00			1	8.80	8.80	5	5	0.15	31.4
500	**PM**	**102**	**A/B/R**	Dosaggio soluzione polielettrolita a ispessimento	Pompa volumetrica monovite	VDS		**3**	1.50	4.50			1	1.20	1.20	5	5	0.15	4.3
500	**ID**	**101**	**A/B**	Ispessimento fanghi di supero	Reattore di flocculazione	VDS		**2**	0.18	0.36			1	0.15	0.15	5	5	0.15	0.5
					Ispessitore dinamico a coclea				1.50	3.00			1	1.20	1.20	5	5	0.15	4.3
500	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione ispessitori per manutenzioni	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	1.65	1.65			1	1.50	1.50	0	7	0.00	0.0
600 - Stabilizzazione aerobica								**TOTALE COMPARTO:**		**111.00**									**664.8**
600	**CR**	**101**	**A/B/R**	Fornitura aria al comparto di stabilizzazione aerobica	Compressore volumetrico a vite	VDS	QE-BT	**3**	37.00	111.00	1233	Nm³/h	1	27.70	27.70	24	7	1.00	664.8
700 - Disidratazione meccanica								**TOTALE COMPARTO:**		**129.11**									**139.5**
700	**PP**	**101**	**-**	Preparazione soluzione polielettrolita	Polipreparatore automatico	DOL	QL701	**1**	3.00	3.00			1	2.40	2.40	4	5	0.12	6.9
700	**PM**	**101**	**A/B/R**	Alimentazione fango digerito a disidratazione	Pompa monovite	VDS	QL702	**3**	5.50	16.50			1	4.40	4.40	4	5	0.12	12.6
700	**PM**	**102**	**A/B/R**	Dosaggio soluzione polielettrolita a disidratazione	Pompa monovite	VDS		**3**	1.50	4.50			1	1.20	1.20	4	5	0.12	3.4
700	**CF**	**101**	**A/B**	Disidratazione fanghi	Estrattore centrifugo - Tamburo	VDS		**2**	37.00	74.00			1	30.00	30.00	4	5	0.12	85.7
					Estrattore centrifugo - Coclea	VDS			11.00	22.00			1	9.00	9.00	4	5	0.12	25.7
					Serranda motorizzata su bocca di scarico fango disidratato	DOL			0.37	0.74			1	0.30	0.30	0.1	5	0.00	0.0
700	**TR**	**101**	**A/B**	Trasporto dei fanghi disidratati	Coclea orizzontale	DOL		**2**	2.20	4.40			1	1.80	1.80	4	5	0.12	5.1
700	**TP**	**101**	**-**	Movimentazione decanter centrifughi	Paranco a catena con carrello monorotaia	DOL	QE-BT	**1**	3.97	3.97			1	3.50	3.50	0	7	0.00	0.0
800 - Trattamento aria								**TOTALE COMPARTO:**		**210.90**									**2949.9**
800	**VE**	**101**	**A/B**	Deodorizzazione sezioni di pre-trattamento (Grigliatura grossolana - Grigliatura fine - Dissabbiatura/disoleatura)	Ventilatore centrifugo di aspirazione	VDS	QL801	**2**	30.00	60.00	10800	m³/h	691.2	14.40	28.80	24	7	1.00	691.2
					Unità filtrante a secco	-	-	**2**	-	-									
800	**VE**	**102**	**-**	Deodorizzazione vasche di stabilizzazione aerobica e vasca di accumulo acque di drenaggio	Ventilatore centrifugo di aspirazione	S/D	QL802	**1**	5.50	5.50	3000	m³/h	63.4	2.64	2.64	24	7	1.00	63.4
					Unità filtrante a secco	-	-	**1**	-	-									
800	**VE**	**103**	**-**	Deodorizzazione locale disidratazione fanghi	Ventilatore centrifugo di aspirazione	VDS	QL803	**1**	11.00	11.00	4333	m³/h	130.7	5.45	5.45	24	7	1.00	130.7
					Unità filtrante a secco	-	-	**1**	-	-									

Sigla				Servizio	Descrizione	Tipo avviam. (*)	Q.E. (**)	Q.tà	POT. UN. NOM. (kW)	POT. TOT. NOM. (kW)	Portata media		Unità in servizio	POT. UN. ASS. MEDIA (kW)	POT. TOT. ASS. MEDIA (kW)	Funzionam. medio		Fattore di utilizzo	Consumo medio
Sez.	Id.	Num.	Simili								Valore	u.m.				h/d	d/sett		kWh/d
800	**VE**	**104**	**A/B**	Ricambio e trattamento aria nell'ambiente generale	Ventilatore centrifugo di aspirazione	VDS	QL804	**2**	45.00	90.00	41000	m³/h	1728.0	36.00	72.00	24	7	1.00	1728.0
					Unità filtrante a secco	-	-	**3**	-	-									
800	**VE**	**105**	**A/B**	Immissione forzata aria nel capannone	Ventilatore assiale intubato	VDS	QE-BT	**2**	22.20	44.40	15000	m³/h	336.6	7.01	14.03	24	7	1.00	336.6
					Unità filtrante di depolverazione	-	-	**1**	-	-									
900 - Apparecchiature di servizio								**TOTALE COMPARTO:**		**292.64**									**2209.7**
900	**PS**	**101**	**A/R**	Rilancio acque madri e di lavaggio da vasca di accumulo a grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**2**	3.00	6.00	15.6	m³/h	1	2.70	2.70	10.7	7	0.45	28.9
900	**PS**	**102**	**-**	Rilancio acque di drenaggio da pozzetto di sentina zona dissabbiatura a pozzo in ingresso a grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**1**	1.20	2.40			1	1.30	1.30	0	7	0.00	0.0
900	**PS**	**103**	**-**	Rilancio acque di drenaggio zona pompe MBR a pozzo in ingresso a grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**1**	1.20	2.40			1	1.35	1.35	0	7	0.00	0.0
900	**PS**	**104**	**-**	Rilancio acque di scarico servizi igienici in testa alla grigliatura grossolana	Pompa centrifuga sommergibile	DOL	QE-BT	**1**	0.42	0.84			1	0.43	0.43	1	7	0.04	0.4
900	**PK**	**101**	**-**	Pressurizzazione acqua di servizio (permeato prelevato da vasca di accumulo per il riuso)	Gruppo di pressurizzazione (2+1R pompe)	VDS	QL901	**1**	33.00	33.00	4	m³/h	1	20.00	20.00	2.9	7	0.12	58.2
900	**PK**	**102**	**-**	Pressurizzazione rete per riutilizzo effluente depurato	Gruppo di pressurizzazione per il riuso (PREDISPOSIZIONE PER FUTURA INSTALLAZIONE)	VDS	QL902	**1**	88.00	88.00			1	80.00	80.00	0	7	0.00	0.0
-	**-**	**-**	**-**	Servizi ausiliari	Illuminazione esterna ed interna	-	QE-BT	**1**	50.00	50.00			1	35.00	35.00	24	7	1.00	840.0
					Forza motrice FM	-		**1**	50.00	50.00			1	10.00	10.00	12	7	0.50	120.0
					Climatizzazione e ventilazione locali elettrici	-		**1**	50.00	50.00			1	45.00	45.00	24	7	1.00	1080.0
					Climatizzazione e ventilazione locali di servizio (uffici, spogliatoi)	-		**1**	10.00	10.00			1	8.00	8.00	12	6	0.43	82.3
								TOTALE IMPIANTO:		**1877.70**									**10 049**

8 PRODUZIONE DI RESIDUI SOLIDI E CONSUMO DI *CHEMICALS*

8.1 STIMA DELLA PRODUZIONE DI RESIDUI SOLIDI

I residui solidi da avviare a smaltimento prodotti presso l'impianto nella configurazione di progetto sono costituiti da:

- materiale grigliato separato nei comparti di grigliatura grossolana e di grigliatura fine;
- sabbie separate nel comparto di dissabbiatura;
- fango disidratato prodotto dai decanter centrifughi;
- carboni attivi esausti da stazioni di trattamento aria (ipotizzando una sostituzione all'anno della carica filtrante degli scrubber a secco previsti).

Il riepilogo della produzione stimata su base annua delle varie tipologie di residuo, ricavata come media ponderata sui due periodi di alta e bassa stagione, è riportato in Tabella 28.

Tabella 28: Stima della produzione media di residui solidi da smaltire

Residuo solido	Origine	Produzione media annua	
		m³/anno	**t/anno**
Materiale grigliato	Grigliatura grossolana	*121*	*97*
	Grigliatura fine	*152*	*182*
	TOTALE	**273**	**279**
Sabbie	Dissabbiatura + Classificazione/lavaggio	**152**	**243**
Fango disidratato	Disidratazione meccanica	**1726**	**1854**
Carboni attivi esausti	Trattamento aria zona pre-trattamenti	*10.5*	*6.8*
	Trattamento aria da stabilizzazione aerobica e da vasca di accumulo acque madri e di lavaggio	*1.4*	*0.92*
	Trattamento aria da locale disidratazione	*2.2*	*1.4*
	Trattamento aria ambiente generale	*11.5*	*7.5*
	TOTALE	**25.6**	**16.6**

8.2 STIMA DEI CONSUMI DI *CHEMICALS*

La filiera di trattamento dell'impianto prevede l'impiego dei seguenti reagenti chimici:

- idrossido di sodio NaOH in soluzione al 30% per la correzione del pH, con dosaggio nel canale di distribuzione alle linee di trattamento biologico;
- cloruro ferrico $FeCl_3$ in soluzione al 40% per la precipitazione chimica dei composti del fosforo, con dosaggio nel canale di distribuzione alle linee di trattamento biologico;
- ipoclorito di sodio in soluzione al 14% per le operazioni periodiche di lavaggio chimico delle membrane;
- acido citrico in soluzione al 50% per le operazioni periodiche di lavaggio chimico delle membrane.
- polielettrolita in emulsione per il condizionamento chimico del fango alimentato ai pre-ispessitori dinamici e ai decanter centrifughi.

La quantificazione del consumo di reagenti chimici è stata effettuata facendo riferimento alle condizioni operative medie di progetto nei due scenari stagionali considerati, e si basa sui risultati delle verifiche di dimensionamento descritti nei capitoli precedenti. I consumi medi annui, riportati in Tabella 29, sono stati stimati come media ponderata sui due periodi.

Tabella 29: Stima del consumo medio di reagenti chimici

Reagente chimico	**Utilizzo**	**Consumo medio annuo**	
		m^3/anno	**t/anno**
NaOH 30%	Correzione pH	**142**	**189**
$FeCl_3$ 40%	Defosfatazione chimica	**196**	**278**
NaClO 14%	Lavaggio membrane – *Maintenance Cleaning*	*13.3*	*16.6*
	Lavaggio membrane – *Recovery Cleaning*	*9.6*	*12.1*
	TOTALE	**22.9**	**28.7**
Acido citrico 50%	Lavaggio membrane – *Recovery Cleaning*	**2.7**	**3.4**
Polielettrolita in emulsione	Condizionamento chimico fanghi a pre-ispessimento	*3.1*	*3.1*
	Condizionamento chimico fanghi a disidratazione meccanica	*2.7*	*2.7*
	TOTALE	**5.8**	**5.8**

9 BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA

- Andreottola G., Ferrai M., Guglielmi G., Ziglio G. (2003), *I reattori biologici a membrana per il trattamento delle acque reflue – Principi e applicazioni*. Quaderni del Dipartimento (SAN 1), Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Trento.
- 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.
- Bianchi A., Sanfilippo U. (2001), *Pompe e stazioni di sollevamento*. Hoepli, Milano.
- 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^ Edizione, Hoepli, Milano.
- Guglielmi G., Chiarani D., Andreottola G. (2006), *Applicazione del concetto di flusso critico per l'ottimizzazione della gestione di un bioreattore a membrana per il trattamento di acque reflue civili*. Ingegneria Ambientale n. 7/8 (luglio-agosto 2006) anno XXXV, 348-358.
- Guglielmi G., Chiarani D., Judd S.J., Andreottola G. (2007), *Flux criticality and sustainability in a hollow fibre submerged membrane bioreactor for municipal wastewater treatment*. Journal of Membrane Science 289, 241-248.
- Field R.W., Wu D., Howell J.A., Gupta B.B. (1995), *Critical flux concept for microfiltration fouling*. Journal of Membrane Science 100, 259-272.
- 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).
- Judd S. (2006), *The MBR Book - Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. Elsevier Ltd, Oxford (UK).
- Le-Clech P., Jefferson B., Chang I.S., Judd S.J. (2003), *Critical flux determination by the flux-step method in a submerged membrane bioreactor*. Journal of Membrane Science 227, 81-93.
- Ognier S., Wisniewski C., Grasmick A. (2004), *Membrane bioreactor fouling in sub-critical filtration conditions: a local critical flux concept*. Journal of Membrane Science 229, 171-177.
- Masotti L. (1987), *Depurazione delle acque – Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*. 1^ Edizione, Calderini, Bologna.

- Metcalf & Eddy (2014), *Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill, 5th Edition.
- R.C. Reid, J.M. Prausnitz, B.E. Poling (1998), *The properties of gases and liquids*. McGraw-Hill, New York (USA)
- Riva P.A., Guadagni, A. (a cura di, 2011), *Manuale dell'ingegnere civile e ambientale*. Hoepli, Milano.
- 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).