

SISTEMA DI COLLETTAMENTO E DEPURAZIONE A SERVIZIO DELLA SPONDA BRESCIANA DEL LAGO DI GARDA

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

PROGETTISTA



IL RESPONSABILE AREA TECNICA



NUMERO	DESCRIZIONE	DATA
rev. 0	emissione	Giugno 2021
OGGETTO: RELAZIONE DI CALCOLO DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO		ELABORATO D.1
		DATA Giugno 2021
		SCALA ====
		RELATORE: D'Aquila CONTROLLATO: Cavallaro APPROVATO: Cantatore COMMESSA 33D000CE01

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DATI DI PROGETTO.....	6
2.1	Caratteristiche quantitative e qualitative del refluo da trattare	6
2.2	Limiti allo scarico e temperature di progetto	8
3	FILIERA DI TRATTAMENTO DELL'IMPIANTO.....	10
3.1	Descrizione della filiera di processo	10
3.2	Schema di flusso di progetto	11
4	VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO	13
4.1	Pretrattamenti	13
4.1.1	Grigliatura grossolana e fine	13
4.1.2	Dissabbiatura - disoleatura.....	15
4.1.3	Accumulo / equalizzazione reflui.....	16
4.1.4	Sollevamento reflui.....	18
4.1.5	Trattamento delle emissioni odorigene	19
4.2	Linea acque	21
4.2.1	Comparto di trattamento biologico	21
4.2.1.1	Scenari di calcolo.....	21
4.2.1.2	Carichi e concentrazioni in ingresso al comparto biologico.....	23
4.2.1.3	Volumetrie di progetto.....	24
4.2.1.4	Selettori anaerobici.....	25
4.2.1.5	Il processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente con post-nitrificazione per il rispetto dei limiti per il riutilizzo.....	27
4.2.1.6	Modello di calcolo utilizzato per la verifica del comparto biologico.....	28
4.2.1.7	Parametri cinetici e stechiometrici.....	30
4.2.1.8	Risultati delle verifiche di processo.....	33
4.2.2	Defosfatazione chimica.....	37
4.2.3	Sedimentazione secondaria	39
4.2.4	Filtrazione terziaria.....	43
4.2.5	Disinfezione a raggi UV.....	44
4.3	Linea fanghi.....	46
4.3.1	Ispessimento statico.....	47
4.3.2	Ispessimento dinamico.....	49
4.3.3	Digestione anaerobica.....	51

4.3.4	Disidratazione meccanica	53
4.3.5	Trattamento dell'azoto contenuto nelle acque madri (processo side-stream).....	55
4.3.6	Trattamento delle emissioni odorigene	57
4.4	Edifici di servizio e locali tecnici	58
5	STIMA DEI COSTI DI INVESTIMENTO	60

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione tecnico-illustrativa dello studio di fattibilità dell'intervento di realizzazione del nuovo impianto di depurazione di Lonato del Garda.

L'obiettivo che si pone il presente studio è quello di condurre verifiche di processo e dimensionamento di tutte le sezioni di trattamento previste dalla filiera di progetto, determinando le volumetrie necessarie, le dimensioni planimetriche e superfici di ingombro dei comparti.

La potenzialità di progetto prevista per il nuovo impianto di depurazione risulta pari a 200.000 AE. Tale potenzialità non risulta però costante lungo tutto l'arco dell'anno, bensì variabile in funzione dell'accentuata variabilità stagionale dovuta alla componente turistica che interessa i comuni che verranno collettati al nuovo depuratore. In particolare, i 200.000 AE di progetto sono previsti nei mesi caratterizzati da maggiori flussi turistici nell'area servita dall'impianto (periodo estivo), mentre durante i mesi invernali si assume una potenzialità ridotta pari a 100.000 AE.

La localizzazione del nuovo impianto è prevista all'interno di un'area a vocazione agricola sita nel Comune di Lonato del Garda, frazione Esenta, posta a circa 4 km a sud del centro abitato principale. Si riporta in figura la localizzazione del lotto interessato per la realizzazione dell'impianto e la posizione indicativa del collettore fognario in ingresso e della tubazione di scarico finale dell'impianto.

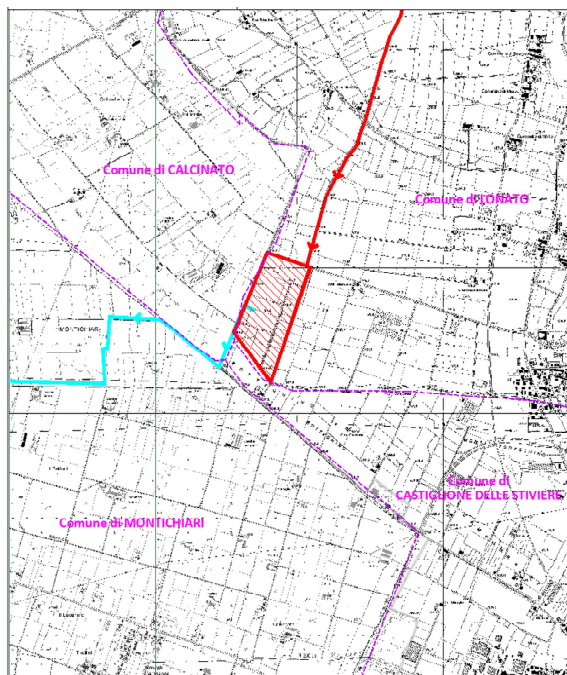


Figura 1: Localizzazione area di intervento per la realizzazione dell'impianto di depurazione di Lonato del Garda e individuazione tracciati collettore fognario in ingresso e tubazione di scarico

Dal punto di vista della qualità dell'effluente attesa allo scarico, la filiera di trattamento è stata progettata per rispettare non solo i limiti di concentrazione imposti dalle normative vigenti per lo scarico in corpi idrici superficiali (D. Lgs 152/2006 e Regolamento Regionale n.6/2019), ma anche quelli imposti dal DM 185/03 per rendere l'effluente dell'impianto compatibile, da un punto di vista qualitativo, per il riutilizzo a scopo irriguo (Classe B ai sensi del Regolamento (UE) 2020/741). Tale scelta deriva dalla volontà di Acque Bresciane di prevedere il riutilizzo irriguo dell'effluente trattato durante i mesi estivi, caratterizzati da maggiori carichi inquinanti in ingresso al depuratore.

Tenuto conto dell'elevata variabilità di portate e carichi da sottoporre a trattamento, l'intera filiera depurativa è stata pensata per garantire, oltre al rispetto degli elevati standard qualitativi richiesti allo scarico, un'elevata flessibilità operativa in fase di esercizio. Nel prosieguo del documento tale filiera viene descritta in dettaglio riportando, per ciascun comparto, le principali caratteristiche tecniche e dimensionali delle opere previste corredate dai calcoli di dimensionamento effettuati.

2 DATI DI PROGETTO

2.1 CARATTERISTICHE QUANTITATIVE E QUALITATIVE DEL REFLUO DA TRATTARE

Le caratteristiche quantitative e qualitative del refluo sono state calcolate rispetto ai carichi pro-capite tipici per reflui di tipo civile, considerando una potenzialità di progetto complessiva dell'impianto pari a 200000 AE per il periodo estivo (caratterizzato da una maggiore componente turistica) e 100000 AE per il periodo invernale. La dotazione idrica di riferimento è stata differenziata in funzione dello scenario stagionale, considerando un valore di 272 L/AE/d in condizioni invernali e di 335 L/AE/d in condizioni estive.

SCENARIO INVERNALE

- Popolazione equivalente complessiva = 100.000 AE
- Dotazione idrica = 272 L/AE/d

SCENARIO ESTIVO

- Popolazione equivalente complessiva = 200.000 AE
- Dotazione idrica = 335 L/AE/d

Il Regolamento Regionale n. 6/2019 definisce che gli sfioratori di piena delle reti fognarie di tipo unitario devono lasciar defluire all'impianto di trattamento una portata almeno pari a 750 L/AE/d. Questo valore di 750 L/AE/d è elevato a 1000 L/AE/d per gli sfioratori le cui acque eccedenti siano recapitate in laghi ovvero su suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, come nel caso in esame. Tale valore è stato quindi utilizzato per il dimensionamento del comparto dei pretrattamenti e della vasca di equalizzazione, mentre i trattamenti secondari e terziari vengono dimensionati su una portata cautelativamente calcolata sulla base di una dotazione idrica di 750 L/AE/d.

Si riporta in Tabella 1 un quadro riassuntivo delle portate idrauliche, delle concentrazioni e dei carichi inquinanti in ingresso considerati nei diversi scenari significativi ai fini delle verifiche di dimensionamento esposte nella presente relazione.

Tabella 1: Caratteristiche qualitative e quantitative del refluo in ingresso all'impianto

Parametro	u.m.	INVERNO	ESTATE
<u>Potenzialità di progetto</u>			
Abitanti Equivalenti di progetto	AE	100000	200000
<u>Portate trattate</u>			
Dotazione idrica pro-capite	l/AE/d	272	335
Coefficiente di afflusso in fognatura	-	0,8	0,8
Portata media giornaliera (Qm)	m ³ /d m ³ /h	21760 907	53600 2233
Portata di calcolo (Qc = 1,2 Qm)	m ³ /d m ³ /h	26112 1088	64320 2680
Portata massima avviabile a linee di trattamenti secondari e terziari – 750 L/AE/d (Qpb)	m ³ /d m ³ /h	75000 3125	150000 6250
Portata massima da avviare a pretrattamenti – 1000 L/AE/d (Qpm)	m ³ /d m ³ /h	100000 4167	200000 8333
<u>Apporti pro-capite</u>			
Apporto pro-capite BOD ₅	g/AE/d	58	
Apporto pro-capite COD	g/AE/d	120	
Apporto pro-capite TKN	g/AE/d	12	
Apporto pro-capite SST	g/AE/d	80	
Apporto pro-capite P	g/AE/d	1,5	
<u>Concentrazioni in ingresso</u>			
Sostanza organica come BOD ₅	mg/L	267	216
Sostanza organica come COD	mg/L	551	448
Azoto totale N tot	mg/L	55	45
Solidi sospesi totali (SST)	mg/L	368	299
Fosforo totale (P)	mg/L	6,9	5,6
<u>Carichi inquinanti in ingresso</u>			
Sostanza organica come COD	kg/d	12000	24000
Sostanza organica come BOD ₅	kg/d	5800	11600
Azoto totale N tot	kg/d	1200	2400
Solidi sospesi totali (SST)	kg/d	8000	16000
Fosforo totale (P)	kg/d	150	300

I comparti di trattamento della filiera di depurazione sono stati dunque dimensionati considerando, di volta in volta, un set di dati rappresentativo delle condizioni di progetto, determinate sulla base di scelte progettuali condivise con la Committenza.

2.2 LIMITI ALLO SCARICO E TEMPERATURE DI PROGETTO

Per il depuratore nella sua configurazione di progetto (potenzialità pari a 200000 AE), è previsto il raggiungimento dei limiti allo scarico imposti dal D.Lgs 152/2006, dal Regolamento Regionale n.6/2019 e dal DM 185/03 per rendere l'effluente dell'impianto compatibile, da un punto di vista qualitativo, per il riutilizzo a scopo irriguo (Classe B ai sensi del Regolamento (UE) 2020/741).

Si riassumono in Tabella 2 i limiti previsti allo scarico e le temperature di progetto considerate nel dimensionamento delle sezioni di trattamento, riportando nella stessa i singoli riferimenti normativi dei valori limite indicati.

Tabella 2: Limiti previsti allo scarico e temperature di progetto

Parametro	u.m.	Valore
<u>Limiti allo scarico</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	mg/L	10*
Sostanza organica come COD	mg/L	60*
Solidi sospesi totali (SST)	mg/L	10**
Azoto ammoniacale (come NH ₄)	mg/L	2**
Azoto nitroso (come N-NO ₂)	mg/L	0,6#
Azoto totale	mg/L	10*
Fosforo totale	mg/L	1*
E. coli	UFC/100ml	100***
<u>Temperature di progetto</u>		
Temperatura minima di progetto – Condizioni invernali	°C	12
Temperatura minima di progetto – Condizioni estive/primaverili	°C	16
Temperatura minima di progetto – Condizioni estive	°C	18
Temperatura massima di progetto – Condizioni estive	°C	24

* Regolamento Regionale 6/2019

** DM 185/2003

*** Regolamento (UE) 2020/741 – Classe B

D.Lgs 152/2006 – Parte Terza – Allegato 5 – Tabella 3

Dal momento che le cinetiche di crescita batteriche risultano rallentate al decrescere della temperatura in vasca, le verifiche di dimensionamento delle volumetrie di processo biologico sono state cautelativamente effettuate con riferimento alle condizioni di temperatura minime, assunta pari a 12 °C in condizioni invernali e, cautelativamente, pari a 16°C in condizioni estive per rappresentare possibili periodi di elevati afflussi turistici in mesi primaverili (ad esempio il periodo pasquale). La temperatura massima di 24 °C è stata invece considerata per le verifiche dei sistemi di aerazione, dal momento che la solubilità dell'ossigeno si riduce all'incrementare della temperatura del liquame.

3 FILIERA DI TRATTAMENTO DELL'IMPIANTO

3.1 DESCRIZIONE DELLA FILIERA DI PROCESSO

Il refluo in ingresso accede a una prima sezione di pretrattamenti dimensionata per trattare 1000 l/AE/d, costituita da comparti di grigliatura grossolana, fine e dissabbiatura/disoleatura, dopo la quale il refluo viene accumulato in un comparto di equalizzazione dimensionato in base alle prescrizioni indicate nel Regolamento Regionale n.6/2019. All'interno di questo volume è prevista l'installazione di pompe sommerse per il sollevamento del refluo e alimentazione del comparto biologico dell'impianto. L'intera sezione dei pretrattamenti e di equalizzazione viene prevista in ambienti chiusi e deodorizzati mediante trattamento delle emissioni odorigene in scrubber a secco.

La sezione di trattamento biologico viene strutturata su otto linee parallele dotate, ciascuna, di selettore anaerobico di testa, di un volume biologico di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente e di una porzione di volume finale adibita a post-nitrificazione. Il processo biologico così strutturato garantisce un'adeguata flessibilità gestionale per sopperire alle rilevanti fluttuazioni di carico in ingresso garantendo, al contempo, il rispetto degli stringenti limiti allo scarico previsti per il riutilizzo. La presenza di otto linee parallele, inoltre, consente di poter intervenire agevolmente con operazioni di manutenzione ordinaria / straordinaria su una linea di trattamento senza compromettere il buon funzionamento del comparto.

A valle del comparto biologico è prevista la realizzazione di una sezione di sedimentazione secondaria costituita da quattro vasche circolari poste in parallelo, a seguito della quale l'effluente chiarificato viene sottoposto a trattamento terziario mediante una filtrazione finale seguita da disinfezione a raggi UV. L'effluente così trattato sarà in grado di rispettare non solo i limiti di concentrazione imposti dalle normative vigenti per lo scarico in corpi idrici superficiali (D.Lgs 152/2006 e Regolamento Regionale n.6/2019), ma anche quelli imposti dal DM 185/03 per rendere l'effluente dell'impianto compatibile, da un punto di vista qualitativo, per il riutilizzo a scopo irriguo (Classe B ai sensi del Regolamento (UE) 2020/741).

La linea fanghi del nuovo depuratore è costituita da una prima fase di ispessimento del fango estratto da sedimentazione secondaria, realizzata da un comparto di ispessimento dinamico, in grado di

incrementare la concentrazione di solidi al 4% SS, preceduta da una vasca di ispessimento statico avente principalmente una funzione di accumulo dei fanghi prima dell'alimentazione agli ispessitori dinamici, ma anche una funzione di riserva degli stessi ispessitori dinamici qualora fosse necessario prevederne il by-pass. Il fango ispessito viene quindi avviato a una sezione di digestione anaerobica strutturata su due linee parallele seguita da una disidratazione finale in grado di rendere il fango palabile e consentirne l'allontanamento dall'impianto per lo smaltimento finale. Il biogas prodotto in digestione anaerobica viene captato, stoccato in cupole gasometriche poste al di sopra dei serbatoi, e avviato a recupero energetico in cogeneratore grazie al quale viene prodotta energia termica (utilizzata per il riscaldamento dei digestori stessi) ed energia elettrica (riutilizzata per coprire parte dei consumi delle utenze elettromeccaniche installate in impianto). Come per i pretrattamenti dell'impianto l'intera sezione della linea fanghi verrà realizzata in ambienti chiusi e deodorizzati mediante trattamento delle emissioni odorigene in scrubber a secco.

Si evidenzia inoltre che le acque madri separate nel comparto di disidratazione finale vengono sottoposte, prima di essere riciclate in linea acque (vasca di equalizzazione), a un trattamento *side-stream* di nitrificazione / denitrificazione realizzato in apposito comparto SBR avente la finalità di abbattere l'elevato contenuto di azoto ammoniacale in esse contenuto.

3.2 SCHEMA DI FLUSSO DI PROGETTO

Si riporta in Figura 2 lo schema di flusso della filiera di trattamento prevista in progetto.

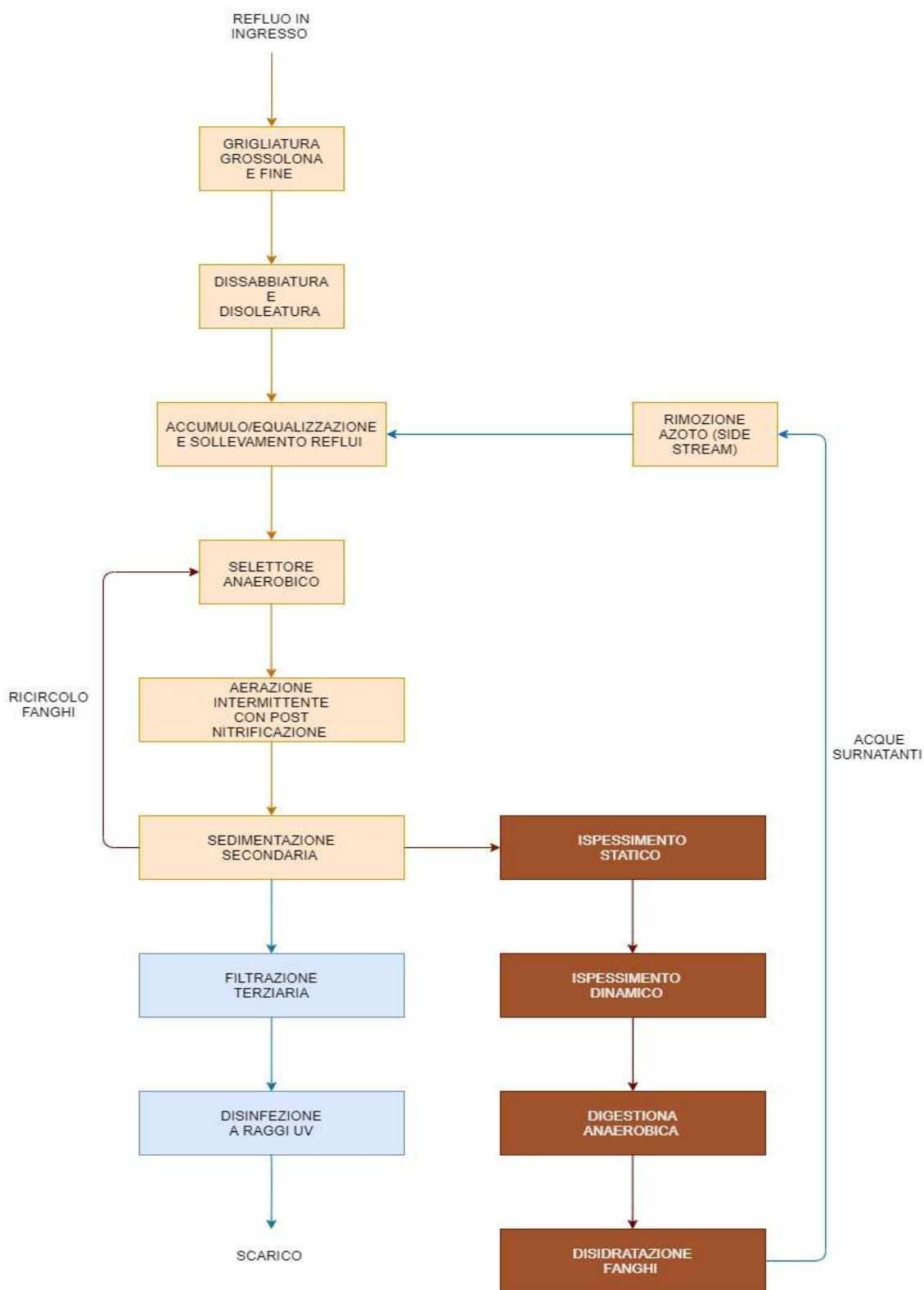


Figura 2: Schema di flusso di progetto del nuovo impianto di depurazione di Lonato del Garda

4 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO

4.1 PRETRATTAMENTI

La sezione dei pretrattamenti del nuovo impianto di depurazione di Lonato del Garda verrà alimentata con l'intera portata di refluo in ingresso all'impianto, pertanto i dati di progetto considerati ai fini del dimensionamento sono quelli riportati in Tabella 1 nella colonna ESTATE (più gravoso in termini di carichi idraulici e inquinanti rispetto a quello invernale) con riferimento alla portata di punta Q_{pm} (8333 m³/h). Sono state eseguite anche delle verifiche al fine di dimostrare il corretto funzionamento dei singoli comparti considerando i dati riportati in Tabella 1 nella colonna INVERNO, scenario con potenzialità 100000 AE caratterizzato da minori portate in ingresso.

Nei successivi capitoli si riportano le considerazioni progettuali e i calcoli di dimensionamento svolti per determinare le principali caratteristiche tecniche dei diversi pretrattamenti e gli ingombri planimetrici previsti delle sezioni.

4.1.1 Grigliatura grossolana e fine

La prima sezione di trattamento a cui viene sottoposto il liquame in ingresso all'impianto di depurazione è quello di grigliatura, costituito da una prima fase di grigliatura grossolana, atta a rimuovere dal flusso le particelle di dimensioni superiori a 3 cm, seguita da una grigliatura fine in grado di rimuovere tutte le particelle aventi dimensione caratteristica superiore a 3 mm.

Il comparto è costituito da n. 5 canali in parallelo all'interno di ciascuno dei quali vengono installate una griglia grossolana e una griglia fine poste in serie, in modo da rimuovere gradualmente dal refluo le particelle più grossolane. Le dimensioni geometriche dei canali sono tali per cui risulta possibile installare le due tipologie di griglie (che risultano di larghezza diversa) e che ci sia sufficiente spazio tra l'una e l'altra per consentire le ordinarie operazioni di manutenzione e per permettere una corretta gestione del materiale grigliato rimosso dal flusso idraulico.

Si prevede la realizzazione del comparto in ambiente chiuso e, in particolare, all'interno di un apposito edificio che contiene anche la sezione di dissabbiatura / disoleatura del liquame. L'installazione delle griglie in edificio chiuso consente un'agevole captazione e trattamento delle emissioni odorigene prodotte che, trattando refluo tal quale ancora ricco di sostanza organica

putrescibile, possono risultare particolarmente critiche (si rimanda al cap. 4.1.5 per maggiori dettagli sul trattamento di deodorizzazione previsto). L'edificio pretrattamenti avrà dimensioni planimetriche indicative pari a (L x B x H) 44 m x 34,5 m x 5 m con un ingombro planimetrico complessivo di circa 1500 m².

Si riportano in Tabella 3 le caratteristiche tecniche salienti dei comparti di grigliatura grossolana e grigliatura fine.

Tabella 3: Caratteristiche tecniche comparti di grigliatura grossolana e fine

Parametro	u.m.	Valore ESTATE
<u>Grigliatura grossolana</u>		
Portata massima trattata (Q _{pm})	m ³ /h	8333
Portata media trattata (Q _m)	m ³ /h	2233
Numero linee di grigliatura in parallelo	-	5
Portata massima trattata (singola linea di grigliatura)	m ³ /h	1667
Portata media trattata (singola linea di grigliatura)	m ³ /h	447
Luce di filtrazione	mm	30
Larghezza utile singola griglia	m	2
Larghezza utile totale	m	10
<u>Grigliatura fine</u>		
Portata massima trattata in stagione estiva (Q _{pm})	m ³ /h	8333
Portata media trattata in stagione estiva (Q _m)	m ³ /h	2233
Numero linee di grigliatura in parallelo	-	5
Portata massima trattata (singola linea di grigliatura)	m ³ /h	1667
Portata media trattata (singola linea di grigliatura)	m ³ /h	447
Luce di filtrazione	mm	3
Larghezza utile singola griglia	m	3
Larghezza utile totale	m	15

4.1.2 Dissabbiatura - disoleatura

A valle della sezione di grigliatura si prevede la realizzazione di un comparto di dissabbiatura – disoleatura avente la finalità di rimuovere sabbie e grassi presenti nel liquame in ingresso.

La sezione è costituita da n. 4 dissabbiatori / disoleatori aerati a flusso longitudinale posti in parallelo, equipaggiati di soffianti rotative e diffusori di insufflazione aria, sistemi di aspirazione e pompaggio delle sabbie a classificatore/lavatore e sistemi di asporto e rilancio grassi alla linea fanghi dell'impianto.

I dissabbiatori sono dimensionati per trattare la portata massima prevista in alta stagione ($Q_{pm} = 8333 \text{ m}^3/\text{h}$) con n.4 unità in esercizio, ciascuna con portata unitaria massima pari a $2083 \text{ m}^3/\text{h}$. Le linee di trattamento vengono installate, insieme ai canali di grigliatura e al classificatore – lavatore sabbie, all'interno di un unico edificio chiuso deodorizzato. È stato verificato il corretto funzionamento delle linee di dissabbiatura/disoleatura anche utilizzando il set di dati presente in Tabella 1 colonna INVERNO, caratterizzato da minori portate da sottoporre a trattamento.

In Tabella 4 si riportano le principali ipotesi progettuali e le caratteristiche tecniche e dimensionali del comparto.

Tabella 4: Dimensionamento e caratteristiche tecniche del comparto di dissabbiatura/disoleatura

Parametro	u.m.	Valore	
		ESTATE	INVERNO
<u>Dissabbiatura-disoleatura</u>			
Numero linee di dissabbiatura-disoleatura in parallelo	-	4	4
Portata massima trattata (Q_{pm})	m^3/h	8333	4167
Portata media trattata (Q_m)	m^3/h	2233	907
Portata di calcolo in stagione (Q_c)	m^3/h	2680	1088
Portata massima unitaria trattata (Q_{pm})	m^3/h	2083	1042
Portata media unitaria trattata (Q_m)	m^3/h	558	227
Portata di calcolo unitaria (Q_c)	m^3/h	670	272
Tempo minimo di residenza idraulica per Q_c (dissabbiatura)	min		15
Tempo minimo di residenza idraulica per Q_{pm} (dissabbiatura)	min		3

Lunghezza di progetto di ogni vasca	m	17	
Larghezza di progetto di ogni dissabbiatore	m	5	
Tempo di residenza idraulica per Qc (dissabbiatura)	min	37,3	69,4
Tempo di residenza idraulica per Qpm (dissabbiatura)	min	12	18,1
Larghezza del canale laterale di calma per disoleatura	m	1,9	
Larghezza di progetto di ogni vasca	m	6,9	
Altezza utile (battente idrico)	m	4,9	
Area minima della sezione trasversale	m ²	77,2	
Area minima della sezione trasversale della singola vasca	m ²	19,3	
Volume utile di ogni dissabbiatore-disoleatore	m ³	544	
Volume utile complessivo	m ³	2176	
Ingombro planimetrico intero comparto	m ²	640,5	
Produzione indicativa di sabbie media giornaliera	L/d	804	326
Produzione indicativa di oli media giornaliera	L/d	201	82

4.1.3 Accumulo / equalizzazione reflui

Al fine di ovviare alle problematiche connesse all'ampia variabilità delle portate provenienti dalla rete di fognatura mista a monte dell'impianto in condizioni di tempo di pioggia, si prevede la realizzazione, a valle delle sezioni di grigliatura e dissabbiatura / disoleatura, di un comparto di accumulo dei liquami avente la funzione di:

- rendere disponibile un volume di invaso temporaneo dei reflui in tempo di pioggia;
- equalizzare le portate avviate ai trattamenti secondari del depuratore, sia dal punto di vista quantitativo (portate costanti nell'arco della giornata), sia da quello qualitativo (uniformità delle concentrazioni del liquame trattato);
- migliorare l'elasticità gestionale dell'impianto;
- accumulare refluo da trattare in situazioni di emergenza o per manutenzione.

In passato la normativa prevedeva di trattare integralmente solo una parte della portata (circa 3 volte la portata media in tempo asciutto) mentre la parte eccedente poteva essere scaricata nel corpo ricettore dopo essere stata almeno pretrattata (grigliatura). Tuttavia, in tempi abbastanza recenti, ci si è resi conto che anche le acque di prima pioggia risultano particolarmente inquinate per effetto del

dilavamento delle superfici impermeabili (strade, piazzali, ecc.) e che quindi è opportuno sottoporle ad un trattamento integrale e non parziale.

Per tali ragioni il dimensionamento della vasca di accumulo viene effettuato sulla base dei principi descritti nell'allegato E ("Reti e sfioratori di piena") del nuovo Regolamento regionale n. 6/2019 sulla disciplina degli scarichi di Regione Lombardia.

La portata massima alimentata alla vasca di equalizzazione in tempo di pioggia (Q_{pm}) è stata calcolata considerando un apporto pro-capite pari a 1000 L/AE/d (valore di progetto da adottare per sfioratori di fognature miste che scaricano a lago o sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo) considerati uniformemente distribuiti nelle 24 ore.

La portata da sottoporre a trattamento biologico in tempo di pioggia, ossia alla portata di reflu in uscita dalla vasca di accumulo (Q_{out}), è invece da assumere, ai sensi del RR 6/2019, almeno pari al più grande tra i seguenti valori:

- portata corrispondente ad un apporto pari a 500 L/AE/d, considerato uniformemente distribuito nelle 24 ore;
- portata pari a 1,1 volte la portata di tempo secco.

Nel caso in esame la portata massima avviata a trattamento secondario è stata cautelativamente assunta pari quella corrispondente ad un apporto di 750 L/AE/d, ottimizzando in tal modo la volumetria di equalizzazione necessaria. Il volume della vasca di accumulo viene infatti calcolato con la seguente formula:

$$V_{accumulo} = (Q_{pm} - Q_{out}) \cdot T$$

dove T è il tempo maggiore tra due ore ed il tempo di corrivazione del bacino dell'intero agglomerato servito, maggiorato di mezz'ora; il tempo di corrivazione del bacino è stato calcolato come rapporto tra la lunghezza totale dell'asta principale della rete fognaria e una velocità di riferimento assunta pari a 1 m/s.

Si riassumono in Tabella 5 i risultati della procedura di dimensionamento sopra esposta.

Tabella 5: Dimensionamento e caratteristiche del comparto di accumulo/egualizzazione

Parametro	u.m.	Valore
<u>Accumulo / egualizzazione</u>		
Potenzialità impianto	AE	200000
Portata massima avviata al comparto di egualizzazione ($Q_{pm} = 1000 \text{ L/AE/d} \cdot 200.000 \text{ AE}$)	m ³ /d m ³ /h	200000 8333
Portata avviata a trattamenti secondari in tempo di pioggia ($Q_{out} = 750 \text{ L/AE/d} \cdot 200.000 \text{ AE}$)	m ³ /d m ³ /h	150000 6250
Lunghezza asta principale rete fognaria (Tignale-Lonato)	m	59214
Tempo di corrivazione del bacino	h	16,17
Tempo per calcolo volume vasca di accumulo	h	16,67
Velocità di riferimento del refluo in fognatura	m/s	1
Volume vasca di accumulo richiesto	m ³	34730
Volume vasca di accumulo di progetto assunto in progetto	m ³	38000
Volume specifico (minimo = 1 m ³ /20 AE)	m ³ /20 AE	3,8
Battente idraulico utile	m	5
Superficie complessiva di ingombro	m ²	7600

La vasca di egualizzazione, realizzata interamente interrata, sarà suddivisa in più volumi separati da setti in calcestruzzo armato e attrezzata con elettromiscelatori sommersi al fine di evitare la sedimentazione dei solidi sedimentabili contenuti nel refluo accumulato. Considerate le importanti dimensioni del manufatto, il posizionamento dei mixer verrà studiato in modo tale da garantire una miscelazione completa all'interno del volume e un'adeguata omogeneizzazione del liquame. Gli elettromiscelatori risulteranno accessibili ed estraibili grazie ad apposite botole poste sul piano di camminamento al di sopra della vasca.

4.1.4 Sollevamento reflui

All'interno della vasca di accumulo viene predisposto un sistema di sollevamento reflui avente la funzione di pompare il liquame temporaneamente stoccato in vasca alle successive linee di trattamento secondario. Tale sistema si costituisce di 4+1R pompe, funzionanti sotto inverter, le cui caratteristiche tecniche vengono riportate in Tabella 6.

Tabella 6: Caratteristiche tecniche del sistema di sollevamento iniziale dei reflui

Parametro	u.m.	Valore
<u>Sollevamento reflui</u>		
N. di pompe installate	-	5
Modalità di funzionamento	-	4+1R Inverter
Portata media complessiva da sollevare (scenario estivo)	m ³ /h	2233
Portata media complessiva da sollevare (scenario invernale)	m ³ /h	907
Porta massima complessiva da sollevare (scenario estivo)	m ³ /h	6250
Porta massima complessiva da sollevare (scenario invernale)	m ³ /h	3125
Portata unitaria di progetto (singola pompa)	m ³ /h	1563
Prevalenza (stimata)	m	9

La scelta della portata unitaria deriva dalla scelta di garantire la massima uniformità impiantistica prevedendo un gruppo apparecchiature della stessa dimensione che siano in grado di sollevare, con n.4 apparecchiature in funzione, la portata di punta nello scenario estivo e, con n.2 apparecchiature in funzione, quella dello scenario invernale. Le stesse pompe, in presenza di portate medie in ingresso, potranno alimentare i successivi trattamenti operando sotto inverter.

In alternativa a tale approccio, si potrebbe prevedere l'installazione di n.2 pompe di taglia inferiore dimensionate per sollevare la portata media nei due scenari lavorando in prossimità del loro punto di lavoro ottimale, affiancando a queste altre n.2 pompe di taglia maggiore destinate ad entrare in funzione in tempo di pioggia per sollevare le portate di punta.

4.1.5 Trattamento delle emissioni odorigene

Le sezioni di pretrattamento trattano refluo non ancora stabilizzato e possono determinare elevate emissioni di COV, soprattutto in presenza di sistemi con elevata turbolenza. In impianti di potenzialità elevata, come l'impianto oggetto di intervento, risulta buona pratica prevedere tali trattamenti in ambiente confinato prevedendo il convogliamento e il trattamento delle emissioni odorigene.

Per tali ragioni si prevede la captazione dell'aria esausta e il trattamento delle emissioni odorigene provenienti dai comparti di grigliatura grossolana, grigliatura fine, dissabbiatura / disoleatura ed equalizzazione.

La captazione delle emissioni odorigene avviene grazie a una rete di tubazioni che aspirano l'aria contenuta nell'edificio pretrattamenti e nella vasca di equalizzazione, avviando le emissioni così captate ad un impianto di deodorizzazione composto da scrubber a secco. Le unità, dotate di ventilatori funzionanti sotto inverter, risultano in grado di modulare le portate d'aria aspirate in funzione, ad esempio, del livello idraulico presente all'interno della vasca di accumulo. In questo modo sarà possibile garantire i ricambi d'aria orari voluti anche al variare delle volumetrie di processo da trattare.

Si riportano in Tabella 7 le principali ipotesi di dimensionamento e le caratteristiche tecniche e dimensionali della sezione di trattamento odori a servizio dei pretrattamenti del nuovo depuratore.

Tabella 7: Risultati del dimensionamento del comparto di deodorizzazione pretrattamenti

Parametro	u.m.	Valore
<u>Volumetrie da trattare</u>		
Edificio pretrattamenti	m ³	8687
Vasca di accumulo / equalizzazione (battente massimo → volume minimo)	m ³	15200
Vasca di accumulo / equalizzazione (battente minimo → volume massimo)	m ³	53200
<u>Ricambi d'aria orari</u>		
Edificio pretrattamenti	ric/h	6
Vasca di accumulo / equalizzazione (battente massimo → volume minimo)	ric/h	2
Vasca di accumulo / equalizzazione (battente minimo → volume massimo)	ric/h	0,5
<u>Portate d'aria da deodorizzare</u>		
Edificio pretrattamenti	m ³ /h	52122
Vasca di accumulo / equalizzazione (battente massimo → volume minimo)	m ³ /h	30400

Vasca di accumulo / equalizzazione (battente minimo → volume massimo)	m ³ /h	26600
<i>Impianto di deodorizzazione</i>		
N. di unità filtranti (scrubber a secco)	-	8 (7+1R)
Portata d'aria unitaria trattata	m ³ /h	12000

4.2 LINEA ACQUE

Nei successivi paragrafi si riportano le considerazioni progettuali e i calcoli di dimensionamento svolti per determinare le principali caratteristiche tecniche dei diversi comparti di trattamento a servizio della linea acque dell'impianto e, in particolare, gli ingombri planimetrici delle singole sezioni.

4.2.1 Comparto di trattamento biologico

4.2.1.1 Scenari di calcolo

Il nuovo impianto di depurazione di Lonato dovrà garantire il rispetto dei limiti, riassunti in Tabella 2 (cap. 2.2), durante tutto l'anno e, in particolare, durante il periodo estivo nel quale si prevede il riutilizzo a fini irrigui dell'effluente depurato. I comuni afferenti alla rete fognaria riconducibile al collettore in ingresso al nuovo impianto sono, per rilevanza turistica, soggetti a importanti variazioni della popolazione in loco. Si rende quindi necessario verificare il comparto biologico considerando molteplici scenari progettuali per tenere conto della variabilità di portate e carichi in ingresso.

La procedura adottata per effettuare le scelte progettuali propedeutiche al dimensionamento del nuovo comparto biologico del depuratore è così riassumibile:

- Calcolo della volumetria necessaria nello Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), T=16°C, nell'ottica in cui si verifichi un picco turistico e, di conseguenza, un aumento delle portate e dei carichi di inquinanti in ingresso all'impianto, in un periodo a cavallo tra la stagione tardo invernale/primaverile ed estiva (ad esempio le festività pasquali). In tale periodo le temperature minime risultano essere sicuramente maggiori rispetto al periodo invernale, ma più rigide rispetto a quelle minime riscontrabili nel periodo estivo. Tale scenario risulta quello maggiormente cautelativo ai fini del dimensionamento dei processi di nitrificazione e denitrificazione, pertanto il

volume biologico risultante in tale scenario costituirà quello di progetto considerato per le verifiche di calcolo dei successivi scenari.

- Verifica nello Scenario Invernale (potenzialità 100000 AE), $T=12^{\circ}\text{C}$, con l'obiettivo di verificare il corretto funzionamento del comparto biologico con tutte le 8 linee in funzione in una situazione in cui i carichi inquinanti in ingresso risultano pari alla metà rispetto allo Scenario estivo ma in condizioni di temperatura minima invernale.
- Verifica nello Scenario Invernale (potenzialità 100000 AE), $T=12^{\circ}\text{C}$ ipotizzando di operare con una linea fuori servizio. Questo scenario risulta particolarmente rilevante per simulare, in condizioni invernali di carichi in ingresso e temperature, il funzionamento del comparto biologico in una condizione in cui sia stata programmata una manutenzione ordinaria su una linea o a seguito di guasti / malfunzionamenti alle apparecchiature elettromeccaniche di una linea.
- Verifica nello Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), $T=18^{\circ}\text{C}$ con tutte le 8 linee in funzione. In tale scenario la temperatura di 18°C si configura come minima nel periodo estivo caratterizzato da temperature massime in vasca e con maggiore possibilità di riscontrare in ingresso il carico di punta di 200000 AE.
- Verifica nello Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), $T=18^{\circ}\text{C}$ ipotizzando di operare con una linea fuori servizio. In questo modo si effettua la medesima verifica di cui al punto precedente nella condizione più gravosa in cui sia stata programmata una manutenzione ordinaria su una linea o a seguito o a seguito di guasti / malfunzionamenti alle apparecchiature elettromeccaniche di una linea.
- Verifica nello Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), $T = 24^{\circ}\text{C}$. Questo scenario costituisce quello maggiormente cautelativo in termini di portate d'aria richieste ai compressori per la corretta attuazione dei processi di ossidazione e nitrificazione biologica.

Il procedimento sopra descritto ha quindi consentito di individuare i differenti scenari progettuali, caratterizzati da diversi carichi inquinanti da trattare, temperature in vasca biologica e volumetrie a disposizione, di cui si riportano nel seguito i risultati delle verifiche di calcolo condotte:

- Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), $T= 16^{\circ}\text{C}$, volumetria di processo 28500 m^3 (otto linee in funzione);
- Scenario Invernale (potenzialità 100000 AE), $T= 12^{\circ}\text{C}$, volumetria di processo 28500 m^3 (otto linee in funzione);

- Scenario Invernale (potenzialità 100000 AE), T= 12 ° C, volumetria di processo 24937 m³ (sette linee in funzione);
- Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), T= 18 ° C, volumetria di processo 24937 m³ (sette linee in funzione)
- Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), T= 24 ° C, volumetria di processo 28500 m³ (otto linee in funzione)

Nel seguito del presente capitolo vengono riportati i risultati ottenuti dalle verifiche di calcolo condotte per ciascuno degli scenari sopra elencati.

4.2.1.2 Carichi e concentrazioni in ingresso al comparto biologico

Come anticipato nel cap. 3.1, la filiera di processo del nuovo impianto depurazione prevede il ricircolo delle acque madri separate nel comparto di disidratazione finale previo trattamento *side-stream* di nitrificazione / denitrificazione avente la finalità di abbattere l'elevato contenuto di azoto ammoniacale in esse contenuto (v. cap. 4.3.5). Le caratteristiche qualitative del refluo in ingresso al comparto biologico considerate per il dimensionamento e verifica del processo dovranno, pertanto, tenere in considerazione del contributo aggiuntivo di azoto ammoniacale in ingresso derivante da tale ricircolo. Si riepilogano quindi in Tabella 8 le caratteristiche dei reflui alimentati al comparto biologico, evidenziando in particolare il contributo di azoto ammoniacale derivante dal ricircolo delle acque madri (ridotto grazie al trattamento *side-stream*).

Tabella 8: Caratteristiche quantitative e qualitative del refluo in ingresso al comparto biologico

Parametro	u.m.	INVERNO	ESTATE
<u>Portate trattate</u>			
Portata media giornaliera (Q _m)	m ³ /d	21760	53600
	m ³ /h	907	2233
Portata di calcolo (Q _c = 1,2 Q _m)	m ³ /d	26112	64320
	m ³ /h	1088	2680
Portata massima avviata al comparto biologico – 750 L/AE/d (Q _{pb})	m ³ /d	75000	150000
	m ³ /h	3125	6250
Portata di acque madri ricircolata dalla linea fanghi	m ³ /d	89	199
	m ³ /h	3,7	8,3
<u>Carichi inquinanti in ingresso al comparto biologico</u>			
Sostanza organica come COD	kg/d	12000	24000

Sostanza organica come BOD ₅	kg/d	5800	11600
Azoto totale (da refluo fognario in ingresso all'impianto)	kg/d	1200	2400
Azoto Ammoniacale (da ricircolo acque madri)	kg/d	8	90
Azoto totale in ingresso al comparto biologico (refluo in ingresso + acque madri)	kg/d	1208	2490
Solidi sospesi totali (SST)	kg/d	8000	16000
Fosforo totale (P)	kg/d	150	300
<u>Concentrazioni in ingresso al comparto biologico</u>			
Sostanza organica come BOD ₅	mg/L	267	216
Sostanza organica come COD	mg/L	551	448
Azoto totale N tot	mg/L	56	46
Solidi sospesi totali (SST)	mg/L	368	299
Fosforo totale (P)	mg/L	6,9	5,6

Si rimanda al successivo cap. 4.3.5 per i dettagli del trattamento di nitrificazione / denitrificazione *side-stream* previsto sul flusso di acque madri e i relativi rendimenti di abbattimento dell'azoto ammoniacale previsti.

4.2.1.3 Volumetrie di progetto

Il progetto prevede la realizzazione di un comparto biologico su n.8 linee parallele, ciascuna delle quali composta da una serie di reattori in serie le cui volumetrie vengono anticipate e riassunte, per chiarezza espositiva, in Tabella 9.

Il processo per la rimozione dei composti azotati si basa su una logica di nitrificazione e denitrificazione ad aerazione intermittente gestito da apposito controllore di processo con una porzione di volume di post-nitrificazione (pari al 20% del volume totale) gestito in aerazione in continua. Si sottolinea che, in via cautelativa, la volumetria dei selettori anaerobici non è stata contemplata nella volumetria biologica complessivamente disponibile per le reazioni di ossidazione, nitrificazione e denitrificazione.

Tabella 9: Quadro delle volumetrie disponibili nel comparto di trattamento biologico

Parametro	u.m.	Singola linea	Totale
Selettore anaerobico	m ³	338,4	2707
Volume selettore anaerobico totale	m ³	2707	

Nitrificazione / denitrificazione ad aerazione intermittente	m ³	2850	22800
Post-Nitrificazione	m ³	712,5	5700
Volume biologico totale (senza selettori anaerobici)	m ³	28500	

4.2.1.4 Selettori anaerobici

Le cause più frequenti di bulking/foaming del fango attivo, che ne determinano problemi di sedimentabilità, possono essere ricondotte all'instaurarsi nell'ambiente di reazione di condizioni di crescita della biomassa più idonee per i batteri filamentosi che per i batteri fiocco-formatori. Tali condizioni possono essere cambiate modificando i valori di alcuni parametri operativi (pH, ossigeno disciolto, ecc.) oppure intervenendo su caratteristiche strutturali dell'impianto come, ad esempio, apportando modifiche dello schema d'impianto quali l'introduzione di "selettori" o di zone dove il fango permane in condizioni di respirazione endogena ("reattori di rigenerazione").

È opportuno quindi prevedere, a monte delle vasche biologiche, un volume biologico non aerato che funga da selettore della biomassa favorendo la crescita dei batteri fiocco-formatori, più veloci dei batteri filamentosi nello stoccare il substrato carbonioso prontamente biodegradabile e, di solito, più resistenti dei batteri filamentosi a condizioni di carenza di substrato esogeno. Questa scelta porta ad un miglioramento delle caratteristiche di sedimentabilità del fango e a una riduzione della formazione di schiuma, con conseguenze positive sulla qualità dell'effluente.

Tale configurazione, inoltre, determina un incremento della rimozione del fosforo per via biologica ottenibile grazie alla presenza di condizioni anaerobiche. Lo schema anaerobico/anossico/aerobico rappresenta infatti un sistema di rimozione combinata di azoto e fosforo (schema A2/O) che permette di incrementare l'efficienza di rimozione del fosforo per assimilazione biologica grazie alla selezione di una biomassa fosforo accumulante (batteri Polyphosphate Accumulating Organisms, PAO), riducendo conseguentemente i dosaggi di cloruro ferrico necessari per il rispetto dei limiti allo scarico e la produzione di fanghi chimici.

La soluzione progettuale verte proprio in questa direzione: i liquami sottoposti ai pretrattamenti meccanici vengono infatti immessi in una vasca nella quale viene introdotta, oltre al liquame grezzo,

la portata di ricircolo dei fanghi in uscita dai sedimentatori secondari. Tale vasca, dimensionata per un tempo di ritenzione di 30 min, costituisce il cosiddetto “selettore anaerobico”, grazie al quale viene favorito l’instaurarsi di condizioni anaerobiche e l’abbattimento biologico dei composti del fosforo, incrementando così il contenuto di fosforo nella biomassa attiva sottraendone una certa aliquota al liquame in transito.

In ciascun selettore anaerobico di ogni semilinea si prevede l’installazione elettromiscelatori sommersi, aventi la finalità di mantenere in sospensione la biomassa contenuta nel reattore.

Si riportano in Tabella 10 le verifiche di calcolo atte a definire le caratteristiche dimensionali del comparto. Il dimensionamento è stato eseguito utilizzando, cautelativamente, il set di dati presente in Tabella 1 nella colonna ESTATE e verificato anche utilizzando il set di dati presente nella colonna INVERNO.

Tabella 10: Verifiche di dimensionamento dei selettori anaerobici

Parametro	u.m.	Valore	
		ESTATE	INVERNO
<i>Portate di progetto</i>			
Portata media giornaliera (Qm)	m ³ /d	53600	21760
	m ³ /h	2233	907
Portata di calcolo (Qc)	m ³ /d	64320	26112
	m ³ /h	2680	1088
Portata massima avviabile a linee di trattamenti secondari e terziari (Qpb)	m ³ /d	150000	75000
	m ³ /h	6250	3125
<i>Verifiche di dimensionamento selettori anaerobici</i>			
Concentrazione di biomassa nel comparto biologico	kgSST/m ³	4,2	4,4
Concentrazione di biomassa nel selettore anaerobico	kgSST/m ³	4,3	4,6
Tempo di ritenzione, compreso ricircolo (minimo 30 min)	min	30	75
Volume minimo richiesto	m ³	2680	
Volume previsto a progetto	m ³	2707	
N. linee in parallelo	-	8	
Volume singola linea	m ³	338,4	
Battente idrico in vasca	m	5,5	

Larghezza singola linea	m	16,2
Lunghezza singola linea	m	4

4.2.1.5 Il processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente con post-nitrificazione per il rispetto dei limiti per il riutilizzo

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

Fra le diverse tecnologie che permettono di rimuovere i composti azotati, la più utilizzata è quella che prevede di articolare il processo biologico secondo lo schema di pre-denitrificazione/nitrificazione, noto come schema di Ludzack-Ettinger modificato (*Modified Ludzack Ettinger*, MLE), in cui il refluo, relativamente ricco di composti rapidamente biodegradabili, viene alimentato ad una vasca mantenuta permanentemente in condizioni anossiche nella quale avvengono le reazioni di riduzione dei nitrati ad azoto gassoso. Il fango viene quindi avviato ad un reattore separato nel quale avvengono le reazioni di ossidazione del carbonio e di nitrificazione dell'azoto ammoniacale. La concentrazione di nitrati nell'effluente viene mantenuta bassa ricircolando dalla vasca di ossidazione/nitrificazione a quella di denitrificazione una portata in genere compresa tra 2 e 6 volte la portata media influente.

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

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

Nell'ottica del riutilizzo della risorsa idrica, dal momento che il processo ad aerazione intermittente applicato all'intera volumetria biologica determina una variabilità di concentrazioni di azoto

ammoniacale in uscita tale da non garantire il costante rispetto dei limiti previsti per il riutilizzo ($N-NH_4 \leq 1,56$ mg/l), il processo implementato nel comparto biologico verrà gestito mediante una logica ad aerazione intermittente applicata ad una parte del volume di ciascuna linea seguita, a valle, da una post-nitrificazione gestita in aerazione continua. La configurazione proposta prevede, nello specifico, la possibilità di gestire con aerazione intermittente l'80% del volume iniziale del reattore biologico, mantenendo una porzione terminale del 20% del volume gestibile con aerazione in continuo (post-nitrificazione).

Tale scelta progettuale deriva dal fatto che l'alternativa a tale schema, costituita dal tradizionale schema di processo MLE, se da un lato consente di mantenere le concentrazioni di azoto ammoniacale entro il limite sopra menzionato, dall'altro presenta maggiori consumi energetici e notevole rigidità in fase di gestione dovuta alla scarsa capacità di adattamento alle fluttuazioni dei carichi inquinanti in ingresso.

Al contrario, la presenza di un volume di post-nitrificazione permette un adeguato abbattimento delle concentrazioni di azoto ammoniacale in uscita dai singoli reattori, garantendo in questo modo il costante rispetto dei limiti per il riutilizzo della risorsa idrica mantenendo, al contempo, i vantaggi tipici dello schema ad aerazione intermittente. La frazione anossica complessiva di ciascuna linea biologica, infatti, potrà essere variata in automatico in funzione dei reali carichi in ingresso, massimizzando così sia i risparmi energetici che le rese del processo di denitrificazione.

Dal punto di vista impiantistico, l'implementazione di questo schema di processo consiste nel prevedere l'installazione di una rete di diffusori indipendente nel 20% finale del volume del reattore, prevedendo sulla linea di fornitura dell'aria appositi stacchi muniti di valvole motorizzate aventi la funzione di gestire in maniera differenziata e indipendente l'aerazione delle due parti di vasca. Agendo sull'apertura e chiusura delle suddette valvole risulterà in questo modo possibile, a seconda delle esigenze del gestore, operare un processo di aerazione intermittente su tutta la volumetria biologica o, in alternativa, solo sull'80% della stessa prevedendo a valle l'aerazione continua del 20% del volume della vasca.

4.2.1.6 Modello di calcolo utilizzato per la verifica del comparto biologico

Le procedure di calcolo adottate tipicamente nella progettazione del comparto di trattamento biologico degli impianti di depurazione delle acque reflue fanno riferimento a criteri semi-empirici

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

Per queste ragioni, a partire dalla metà degli anni '80 l'International Water Association (IWA) ha proposto e sviluppato delle metodologie di calcolo alternative secondo cui il carico organico influente viene espresso in termini di COD, a sua volta ripartito in frazioni differenti che vengono classificate in base al rispettivo grado di biodegradabilità:

- COD solubile biodegradabile S_S (Readily Biodegradable COD)
- COD particolato biodegradabile X_S (Slowly Biodegradable COD)
- COD solubile inerte S_I
- COD particolato inerte X_I

La degradazione di RBCOD è un meccanismo in grado di attuarsi nel giro di poche ore mentre possono occorrere anche giorni per il processo di rimozione del COD lentamente biodegradabile, per il quale è necessaria una fase preliminare di idrolisi enzimatica cui segue la conversione a COD rapidamente biodegradabile.

Il metodo di calcolo utilizzato per la verifica dimensionale del comparto di trattamento biologico deriva concettualmente dal metodo UCT (Ekama *et al.*, 1984¹), proposto dal Water Research Group dell'Università di Cape Town (RSA).

Una volta definite le condizioni operative di progetto (caratteristiche quantitative e qualitative del refluo in ingresso, temperatura e limiti allo scarico) e fissati i parametri cinetici e stechiometrici, il

¹ G.A. Ekama, G.v.R. Marais, I.P. Siebritz, A.R. Pitman, G.F.P. Keay, L. Buchan, A. Gerber, M. Smollen (1984), *Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes*. Water Research Commission, Pretoria (RSA)

metodo determina il valore minimo di età del fango, e di conseguenza il volume del comparto biologico, che occorre garantire per raggiungere gli standard depurativi desiderati.

4.2.1.7 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

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

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 11.

Tabella 11: Valori dei parametri cinetici e stechiometrici assunti in sede di dimensionamento

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	μ_{n20}	d ⁻¹	0,45
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,123
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima – Scenario Invernale (T=12°C)	μ_{nT}	d ⁻¹	0,178
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima – Scenario estivo (T=16°C)	μ_{nT}	d ⁻¹	0,283
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima – Scenario estivo (T=18°C)	μ_{nT}	d ⁻¹	0,357
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima – Scenario estivo (T=24°C)	μ_{nT}	d ⁻¹	0,716
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	b_{n20}	d ⁻¹	0,04

Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,029
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima - Scenario Invernale (T=12°C)	b_{nT}	d ⁻¹	0,032
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima - Scenario estivo (T=16°C)	b_{nT}	d ⁻¹	0,036
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima - Scenario estivo (T=18°C)	b_{nT}	d ⁻¹	0,038
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima - Scenario estivo (T=24°C)	b_{nT}	d ⁻¹	0,045
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa nitrificante relativa al fabbisogno di substrato a 20 °C	K_{n20}	mgN-NH ₄ /L	1,0
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,123
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto – Scenario Invernale (T=12°C)	K_{nT}	mgN-NH ₄ /L	0,395
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto – Scenario estivo (T=16°C)	K_{nT}	mgN-NH ₄ /L	0,629
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto – Scenario estivo (T=18°C)	K_{nT}	mgN-NH ₄ /L	0,793
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto – Scenario estivo (T=24°C)	K_{nT}	mgN-NH ₄ /L	1,590
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 – Scenario Invernale (T=12°C)	b_{hT}	d^{-1}	0,191
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa eterotrofa alla T di progetto – Scenario Estate (T=16°C)	b_{hT}	d^{-1}	0,214
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa eterotrofa alla T di progetto – Scenario Estate (T=18°C)	b_{hT}	d^{-1}	0,227
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa eterotrofa alla T di progetto – Scenario Estate (T=24°C)	b_{hT}	d^{-1}	0,269
Resa cellulare della biomassa eterotrofa	Y_h	gSSV/gCOD	0,45
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile a 20 °C	$K_{1,20}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,72
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,20
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile alla T di progetto – Scenario Invernale (T=12°C)	$K_{1,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,167
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile alla T di progetto – Scenario estivo (T=16°C)	$K_{1,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,347
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile alla T di progetto – Scenario estivo (T=18°C)	$K_{1,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,500
Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile alla T di progetto – Scenario estivo (T=24°C)	$K_{1,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	1,493
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile a 20 °C	$K_{2,20}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,101
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,08
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile alla T di progetto - Scenario Invernale (T=12°C)	$K_{2,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,057

Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile alla T di progetto – Scenario estivo (T=16°C)	$K_{2,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,074
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile alla T di progetto – Scenario estivo (T=18°C)	$K_{2,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,087
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile alla T di progetto – Scenario estivo (T=24°C)	$K_{2,T}$	gN- NO ₃ /gSSV/d	0,137
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	-	0,2
Fattore di conversione COD/SSV	f_{cv}	gCOD/gSSV	1,48

4.2.1.8 Risultati delle verifiche di processo

I risultati ottenuti dalle simulazioni dei vari scenari, precedentemente presentati, effettuate per il comparto biologico del nuovo impianto di Lonato sono riepilogati in Tabella 12.

Come già esposto al cap. 4.2.1.1, lo Scenario estivo (potenzialità 200000 AE) a T=16°C è stato utilizzato per il dimensionamento della volumetria di processo, mentre gli altri scenari sono stati simulati al fine di verificare il corretto funzionamento del comparto nelle differenti condizioni di carichi in ingresso, temperatura di esercizio e volumetria biologica a disposizione. In tutti gli scenari si fa presente che per ogni scenario la portata considerata nel dimensionamento/verifica del comparto biologico è la Q_c (portata di calcolo), assunta pari a 1,2 volte la portata media in ingresso.

Si evidenzia, inoltre, che il dimensionamento del sistema di aerazione (riportato nella parte conclusiva della Tabella 12) è stato effettuato nelle condizioni più cautelative in termini di portate d'aria richieste al sistema di diffusione, ovvero di massimo carico in ingresso (scenario estivo a 200000 AE) e di massima temperatura (24°C).

Tabella 12: Risultati del dimensionamento e delle verifiche della sezione di trattamento biologico

Parametro	u.m.	Valore				
		Scenario estivo (T=16°C) (8 linee)	Scenario Invernale (T=12°C) (8 linee)	Scenario Invernale (T=12°C) (7 linee)	Scenario estivo (T=18°C) (7 linee)	Scenario estivo (T=24°C) (8 linee)
<u>Dati di progetto</u>						
AE di progetto	AE	200000	100000	100000	200000	200000
Portata media giornaliera (Qm)	m ³ /d	53600	21760	21760	53600	53600
	m ³ /h	2233	907	907	2233	2233
Portata di calcolo (Qc = 1,2 Qm)	m ³ /d	64320	26112	26112	64320	64320
	m ³ /h	2680	1088	1088	2680	2680
Portata massima avviabile a linee di trattamenti secondari (Qpb)	m ³ /d	150000	75000	75000	150000	150000
	m ³ /h	6250	3125	3125	6250	6250
Temperatura di progetto	°C	16	12	12	18	24
<u>Condizioni operative</u>						
Concentrazione media di ossigeno disciolto nel volume di nitrificazione	mgO ₂ /L	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Frazione anossica di progetto	-	0,36	0,48	0,43	0,38	0,50
Concentrazione di SST nel comparto biologico (solo biomassa batterica)	kgSST/m ³	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Concentrazione di SST nel comparto biologico (considerando i precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m ³	4,2	4,4	4,4	4,2	4,2
Età del fango di progetto	d	12,2	28,6	24,3	10,4	13,1
Rapporto di ricircolo dei fanghi dalla sedimentazione secondaria (in corrispondenza della portata media)	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Portata di fango mediamente ricircolata dal comparto di sedimentazione secondaria	m ³ /h	2233	907	907	2233	2233

Produzione di fanghi di supero biologico nelle condizioni di progetto	kgSST/d	7788	3316	3424	7984	7262
Produzione di fanghi di supero comprensiva di fanghi chimici da defosfatazione in simultanea	kgSST/d	8147	3631	3720	8309	7712
Concentrazione di SST nel fango di ricircolo / supero	kgSST/m ³	8,4	8,8	8,7	8,4	8,4
Portata volumetrica di fango di supero (comprensiva di fanghi chimici da defosfatazione in simultanea)	m ³ /d	973,5	414,5	426	994	919

Volumetrie di progetto

N° di linee di trattamento biologico attive	-	8	8	7	7	8
Volumetria biologica complessiva	m ³	28500	28500	24937	24937	28500
Volumetria della vasca biologica nitrificazione/denitrificazione (complessiva)	m ³	22800	22800	19950	19950	22800
Volumetria della vasca biologica-nitrificazione/denitrificazione (singola linea)	m ³	2850	2850	2850	2850	2850
Volumetria della vasca biologica adibita a post-nitrificazione (complessiva)	m ³	5700	5700	4988	4988	5700
Volumetria della vasca biologica adibita a post-nitrificazione (singola linea)	m ³	712,5	712,5	712,5	712,5	712,5

Ingombri comparto biologico

Lunghezza utile vasca di nitrificazione/denitrificazione	m			40		
Lunghezza utile vasca di post-nitrificazione	m			8		
Lunghezza utile complessiva linea biologica (considerando spessori pareti divisorie ed esterne)	m			46		
Larghezza vasca di nitrificazione/denitrificazione (singola linea)	m			16		

Larghezza vasca di post-nitrificazione (singola linea)	m					16
Larghezza complessiva comparto biologico (considerando spessori pareti divisorie ed esterne)	m					134
Ingombro complessivo comparto biologico	m ²					6170
<u>Caratteristiche attese dell'effluente allo scarico</u>						
Sostanza organica come BOD ₅	mg/L					<10
Sostanza organica come COD	mg/L	34	39	39	34	34
Solidi sospesi totali SST	mg/L					<10
Azoto totale	mg/L	10	8,2	9,5	8,6	4,6
Azoto ammoniacale (come NH ₄)	mg/L	1,56	1,56	1,56	1,56	0,93
TKN (Azoto Ammoniacale + Azoto Organico)	mg/L	3,7	4,0	4,0	3,7	3,1
Fosforo totale	mg/L					<1
<u>Calcolo dei fabbisogni di ossigeno e delle portate d'aria</u>						
Battente utile nel comparto biologico	m					5,5
Temperatura di riferimento	°C	16	12	12	18	24
Fabbisogno giornaliero complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	21622	11372	11303	21097	21543
Fabbisogno orario di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR)*	kgO ₂ /h	1404	916	832	1412	2384
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-					0,70
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	1968	1280	1163	1980	3310
Rendimento di trasferimento dell'ossigeno della rete di diffusori di progetto (SOTE)	%					32
Portata d'aria totale richiesta	Nm ³ /h	20466	13308	12088	20586	34962
Pressione differenziale di esercizio	mbar					650

**Per il calcolo dei fabbisogni orari di ossigeno la durata delle fasi aerobiche e anossiche è stata determinata in modo da favorire il risparmio energetico, ossia minimizzando il tempo di lavoro dei compressori (ipotesi a favore di sicurezza nel dimensionamento delle soffianti in quanto determina portate d'aria maggiori)*

La portata d'aria massima richiesta in condizioni di massima temperatura (24°C) e di massimo carico in ingresso (scenario estivo) risulta pari a circa 35000 Nm³/h. Tale portata verrà fornita da compressori installati in un locale tecnico dedicato posto all'interno dell'edificio servizi dell'impianto, mentre la diffusione dell'aria all'interno delle linee biologiche avverrà mediante reti di diffusori a bolle fini installate sul fondo dei reattori di nitrificazione / denitrificazione.

La gestione delle logiche di aerazione intermittente nelle singole linee potrà essere eseguita installando un compressore a servizio di ciascuna linea oltre all'unità di riserva (per un totale di 8+1R compressori) oppure, in alternativa, prevedendo un minor numero di compressori, ma di taglia maggiore, andando a gestire la regolazione dell'aria avviata alle singole linee mediante valvole a fuso automatiche modulanti e misure di pressione lungo il collettore di trasporto dell'aria compressa.

4.2.2 Defosfatazione chimica

La rimozione del fosforo necessaria per garantire il rispetto del limite allo scarico di 1 mgP/L viene effettuata mediante precipitazione chimica in simultanea con dosaggio di soluzione di cloruro ferrico al 40% nel manufatto di ripartizione delle portate avviate alle due 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 di nitrificazione / denitrificazione ad aerazione intermittente, si attesta in genere su valori dell'ordine di 0,04 gP/gSSV.

Le verifiche di calcolo del fabbisogno di FeCl₃, sulla base del quale è stato effettuato il dimensionamento della stazione di dosaggio sono state condotte, in via cautelativa, con riferimento allo Scenario estivo (potenzialità 200000 AE) a T=24°C, poiché risulta essere il caso in cui il carico

di fosforo da rimuovere per via chimica (kgP/d) è maggiore. Tale scenario è infatti quello che minimizza il rapporto tra il carico di fosforo rimosso per via biologica (mediante l'estrazione dei fanghi di supero) e il carico di fosforo totale in ingresso all'impianto.

Il riepilogo delle verifiche condotte per il dimensionamento della stazione di dosaggio di cloruro ferrico, del fabbisogno di dosaggio di $FeCl_3$ e della relativa produzione di fanghi chimici è riportato in Tabella 13.

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

Parametro	u.m.	Valore
<u>Dati di progetto</u>		
Portata media	m ³ /d	53600
Q_m	m ³ /h	2233
Portata di calcolo	m ³ /d	64320
Q_c	m ³ /h	2680
Concentrazione di fosforo nel liquame in ingresso	mgP/L	5,6
Frazione di biomassa volatile	gSSV/gSST	0,75
Produzione giornaliera di fanghi biologici di supero	kgSST/d	7262
	kgSSV/d	5447
Contenuto specifico di fosforo nei fanghi (f_p)	gP/gSSV	0,040
Concentrazione di fosforo assimilata biologicamente e rimossa con i fanghi di supero	mgP/L	3,4
Limite da rispettare allo scarico	mgP/L	1,0
Concentrazione residua di fosforo da rimuovere per via chimica per rispettare il limite allo scarico	mgP/L	1,2
Fabbisogno giornaliero di $FeCl_3$ (con coefficiente di sovradosaggio del 60%)	kg/d	224,5
Rapporto $FeCl_3/Fe$	g $FeCl_3$ /gFe	2,9
Portata massica di $FeCl_3$ necessaria	kg $FeCl_3$ /d	652
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	1630
	L/h	47,8
Volume di stoccaggio previsto	L	12000
Diametro del serbatoio di stoccaggio	m	2

Altezza serbatoio di stoccaggio	m	4
Autonomia di esercizio	d	10
Stima del consumo medi annuo di reagente (media ponderata sui periodi di alta e bassa stagione)	ton/anno	595
Produzione giornaliera di fanghi chimici	kgSST/d	450

4.2.3 Sedimentazione secondaria

Si prevede la realizzazione di quattro linee di sedimentazione secondaria a pianta circolare, alimentate da un apposito ripartitore di portata, posizionato subito a valle delle linee biologiche, e servite da carroponti per la movimentazione del fango e da pompe per il ricircolo dei fanghi in testa al comparto biologico.

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

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

$$C_i = \frac{Q}{A_{sed}}$$

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

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

in cui:

- $M(SST)$ (kgSST/h) rappresenta la portata massica di SST in ingresso alla vasca di sedimentazione;
- x_b (kgSST/m³) rappresenta la concentrazione di solidi sospesi nel reattore biologico;

- $Q_{in,sed}$ (m³/h) rappresenta la portata di fango in ingresso al sedimentatore, somma della portata di liquame Q e di quella di ricircolo dei fanghi Q_{ric} .

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

Per quanto concerne il flusso solido FS occorre verificare il rispetto del cosiddetto flusso solido limite (FS_L), che, per il tipo di impianto in esame, può essere assunto cautelativamente pari a 5 kgSST/m²/h con riferimento alla portata media e a 7 kgSST/m²/h con riferimento alla portata massima.

Il valore minimo di riferimento per il tempo di ritenzione idraulico HRT (valutato considerando la sola portata di liquame, non considerando il flusso ricircolo) può infine essere assunto pari a 3 ore, mentre il carico allo sfioro C_s (rapporto tra portata di liquame trattata e lunghezza complessiva del profilo perimetrale di sfioro) deve risultare inferiore a 250 m³/m/d in corrispondenza della portata media di progetto.

Il procedimento attuato per il dimensionamento del comparto di sedimentazione secondaria è stato il seguente:

- Dimensionamento dei sedimentatori secondari con riferimento al più gravoso Scenario estivo (potenzialità 200000 AE);
- Verifica del funzionamento dei sedimentatori secondari nello Scenario Invernale (potenzialità 100000 AE).

Si riportano in Tabella 14 i risultati delle verifiche di dimensionamento effettuate per il nuovo comparto di sedimentazione secondaria del depuratore.

Tabella 14: Risultati delle verifiche di funzionamento della nuova sezione di sedimentazione secondaria

Parametro	u.m.	Valore	
		ESTATE	INVERNO
<u>Condizioni operative previste</u>			
Portata media giornaliera Q_m	m ³ /d	53600	21760
	m ³ /h	2233	907

Portata di calcolo Q_c	m^3/d	64320	26112
	m^3/h	2680	1088
Portata massima giornaliera Q_{pb}	m^3/d	150000	75000
	m^3/h	6250	3125
Rapporto massimo di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_m	-	1,25	1,25
Rapporto massimo di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a Q_{pb}	-	0,36	0,29
Concentrazione di SST nel comparto biologico	$kgSST/m^3$	4,2	4,4
Concentrazione di SST nel fango di ricircolo	$kgSST/m^3$	8,4	8,8
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_m	$kgSST/h$	20559	8736
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Q_{pb}	$kgSST/h$	35496	17657

Configurazione della sezione di sedimentazione secondaria di progetto

Numero di sedimentatori previsti	-	4
Diametro utile	m	42
Superficie utile totale	m^2	5542
Superficie utile (singola linea)	m^2	1385
Volume utile totale	m^3	18565
Volume utile (singola linea)	m^3	4641
Sviluppo profilo di sfioro singolo Sedimentatore	m	127

Vincoli operativi da letteratura

Flusso solido limite in corrispondenza di Q_c	$kgSST/m^2 h$	5
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_{pb}	$kgSST/m^2 h$	7
Carico idraulico massimo in corrispondenza di Q_c	$m^3/m^2 h$	0.6
Carico idraulico massimo in corrispondenza di Q_{pb}	$m^3/m^2 h$	1.2
Tempo di ritenzione idraulica minimo in corrispondenza di Q_c (considerando la sola portata di liquame)	h	3.0
Carico massimo allo sfioro in corrispondenza di Q_c	$m^3/m h$	250

Verifica del rispetto dei vincoli operativi

Flusso solido in corrispondenza di Q_c	$kgSST/m^2 h$	4,05	1,72
--	---------------	------	------

Flusso solido in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/m ² h	6,41	3,19
Carico idraulico in corrispondenza di Q_c	m ³ /m ² h	0,48	0,20
Carico idraulico in corrispondenza di Q_{pb}	m ³ /m ² h	1,13	0,56
Tempo di ritenzione idraulica in corrispondenza di Q_c (considerando la sola portata di liquame)	h	6,9	17,1
Carico allo sfioro in corrispondenza di Q_c singolo Sedimentatore	m ³ m ⁻¹ d ⁻¹	126,7	51,4

I quattro sedimentatori saranno dotati di un pozzetto di raccolta fanghi e schiume comune in cui saranno installate le pompe di ricircolo del fango, di estrazione del fango di supero e di rilancio delle schiume raccolte nelle vasche. Il pozzetto sarà posizionato in maniera simmetrica rispetto ai quattro sedimentatori in modo tale da equilibrare il quantitativo di fanghi estratto da ciascuna linea di sedimentazione.

La portata delle pompe di ricircolo è stata assunta in via cautelativa pari alla Q_c in modo tale che si tenga conto di un aumento del 20% rispetto alla Q_m (con riferimento allo scenario estivo, caratterizzato da maggiori portate in ingresso).

Il fango di supero sarà inviato alla vasca di ispessimento statico per poi attraversare tutti i comparti della linea fanghi riportati nel capitolo 4.3.

In Tabella 15 sono riportate le dotazioni elettromeccaniche alloggiare nel pozzetto di raccolta fanghi.

Tabella 15: Caratteristiche tecniche delle pompe di ricircolo e di estrazione di fanghi di supero

Parametro	u.m.	Valore
<u>Ricircolo del fango</u>		
Portata di ricircolo complessiva riferita alla Q_m	m ³ /h	2233
Portata di ricircolo complessiva riferita alla Q_c	m ³ /h	2680
Portata singola pompa (riferita alla Q_c)	m ³ /h	893
Numero pompe	-	3+1R
<u>Fango di supero</u>		
Portata volumetrica giornaliera di fango	m ³ /d	908
Giorni di funzionamento	d	5
Ore di funzionamento	h	6
Numero di pompe	-	2+1R
Portata di supero nelle ore effettive di estrazione	m ³ /h	212

Portata singola pompa	m ³ /h	106
-----------------------	-------------------	-----

4.2.4 Filtrazione terziaria

Al fine di trattenere il particolato che sfugge ai sedimentatori secondari e garantire una buona efficienza del trattamento di disinfezione a raggi UV previsto prima dello scarico finale, si prevede la realizzazione di un nuovo comparto di filtrazione terziaria dell'effluente composto da n. 8 linee parallele di filtrazione a dischi sommersi, in grado di garantire una concentrazione di SST nell'effluente in uscita inferiore a 10 mg/L.

Il dimensionamento dei filtri a tela viene effettuato facendo riferimento ad alcuni parametri fondamentali per la determinazione della superficie filtrante richiesta, quali le portate massime di progetto e il carico di solidi sospesi.

Nel caso in esame, il comparto è stato dimensionato sulla base delle portate media e massima relative allo Scenario estivo (potenzialità 200000 AE), pari rispettivamente a 2233 m³/h ed a 6250 m³/h. Il carico idraulico specifico massimo applicabile nelle due condizioni di portata è pari rispettivamente a 8,0 e 6,0 m³/m²/h. Va poi verificato che, in corrispondenza della concentrazione massima di SST cautelativamente ipotizzata nel refluo in ingresso pari a 40 mg/L, il flusso solido specifico non superi il valore di 0,20 kgSST/m²/h in condizioni di portata massima avviata trattamento biologico e di 0,30 kgSST/m²/h in condizioni di portata massima avviata al comparto.

I risultati del dimensionamento, così come gli ingombri previsti per la sezione di filtrazione terziaria, sono riportati in Tabella 16.

Tabella 16: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di filtrazione terziaria

Parametro	u.m.	Valore
<i>Dati di progetto</i>		
Portata media di progetto (Q_m)	m ³ /h	2233
Portata massima avviata al comparto di filtrazione (Q_{pb})	m ³ /h	6250
Concentrazione massima di SST attesa in ingresso ai filtri	mg/L	40
Carico medio di SST in ingresso con Q_m	kgSST/h	89
Carico massimo di SST in ingresso con Q_{pb}	kgSST/h	250
Concentrazione attesa di SST in uscita	mgSST/L	<10
<i>Vincoli progettuali</i>		

Carico idraulico massimo con Q_m	$m^3/m^2/h$	6,0
Carico idraulico massimo con Q_{pb}	$m^3/m^2/h$	8,0
Flusso solido specifico massimo con Q_m	$kgSST/m^2/h$	0,20
Flusso solido specifico massimo con Q_{pb}	$kgSST/m^2/h$	0,30
<i>Risultati del dimensionamento</i>		
Numero di linee di filtrazione previste	-	8
Superficie filtrante per ogni linea	m^2	112
Superficie filtrante complessiva	m^2	898
Carico idraulico con Q_m	$m^3/m^2/h$	2,48
Carico idraulico con Q_{pb}	$m^3/m^2/h$	7
Flusso solido specifico con Q_m	$kgSST/m^2/h$	0,09
Flusso solido specifico con Q_{pb}	$kgSST/m^2/h$	0.30
<i>Ingombri comparto</i>		
Larghezza utile singola linea	m	3
Larghezza utile complessiva	m	25
Lunghezza utile singola linea	m	9,5
Lunghezza complessiva (comprensiva di canali di alimentazione, bypass e scarico)	m	14
Superficie di ingombro complessiva	m^2	350
Battente idraulico in vasca	m	2,5
Volume utile complessivo	m^3	1050

4.2.5 Disinfezione a raggi UV

A valle della sezione di filtrazione terziaria si prevede di sottoporre l'effluente ad un trattamento di disinfezione a raggi UV, strutturato su n. 5 linee parallele attrezzate con moduli di lampade UV in grado di trattare complessivamente la massima portata avviabile nello Scenario estivo (potenzialità 200000 AE) ai trattamenti secondari del depuratore, pari a 6250 m³/h.

Il dimensionamento di un sistema di disinfezione UV è tipicamente condotto sulla base della dose minima di radiazione UV (espressa in J/m²) necessaria ad ottenere la concentrazione batterica obiettivo del trattamento, per calcolare la quale è necessario conoscere la concentrazione di solidi sospesi nell'influenza alla disinfezione e ipotizzare le concentrazioni batteriche rispettivamente in ingresso e uscita dal comparto.

Nel caso oggetto di studio il limite allo scarico da rispettare è posto pari a 100 UFC/100 mL, mentre il valore medio della concentrazione di solidi sospesi SST in ingresso, coerentemente con le prestazioni attese per il comparto di filtrazione terziaria, viene fissato a 10 mgSST/L.

Il dimensionamento del sistema di disinfezione UV si rende necessario al fine di esaudire la volontà di Acque Bresciane di raggiungere una qualità dell'effluente allo scarico tale da consentire il riutilizzo delle acque in uscita dall'impianto di depurazione a fini irrigui. Il regolamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo nell'Allegato 1 suddivide l'uso irriguo in agricoltura in funzione delle colture destinate all'irrigazione con effluente in uscita dall'impianto in varie tipologie e assegna delle classi minime di qualità alle quali corrispondono dei limiti da rispettare. Per l'impianto di Lonato si è dimensionato il comparto usando i valori, rappresentati in tabella 2 del Regolamento europeo dinanzi presentato, riferiti alla Classe B "Colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è prodotta al di sopra del livello del terreno e non è a diretto contatto con le acque affinate, colture alimentari trasformate e coltura non alimentari, comprese le colture utilizzate per l'alimentazione di animale da latte o da carne".

Sulla base di questi dati è possibile effettuare un primo dimensionamento della sezione finalizzato a determinarne gli ingombri attesi, mentre le specifiche di dettaglio dovranno essere approfondite nelle successive fasi di progettazione in funzione della tecnologia di moduli UV selezionata per il caso in esame. Si riportano in Tabella 17 i risultati ottenuti.

Tabella 17: Dati di dimensionamento e stima degli ingombri della sezione di disinfezione a raggi UV

Parametro	u.m.	Valore
<i>Dati di dimensionamento</i>		
Portata media di progetto (Qm)	m ³ /h	2233
Portata massima avviata al comparto di filtrazione (Qpb)	m ³ /h	6250
Trasmittanza UV	-	70%
Solidi sospesi totali in ingresso	mgSST/L	≤10
Limite allo scarico su E.Coli	UFC/100 mL	100
<i>Ingombri previsti</i>		
Numero di linee di disinfezione	-	5+1R
Larghezza utile singola linea	m	2
Larghezza complessiva (compresa di canale bypass e camminamenti tra le linee)	m	19

Lunghezza utile complessiva (comprensiva di canali di alimentazione e scarico effluente)	m	10
Superficie complessiva di ingombro	m ²	190

4.3 LINEA FANGHI

La linea fanghi del nuovo impianto di depurazione viene dimensionata per trattare i fanghi di supero rimossi dal comparto di sedimentazione secondaria. Analizzando i risultati del dimensionamento del comparto biologico, si evidenzia come la maggiore produzione di fanghi di supero, intesi come somma di fanghi biologici e fanghi chimici derivanti dalla rimozione chimica del fosforo, viene riscontrata nello Scenario estivo (potenzialità 200000 AE) a T=18°C.

La procedura adottata per le verifiche di calcolo effettuate sui singoli comparti della linea fanghi risulta la seguente:

- Dimensionamento con i valori derivanti dallo Scenario estivo (potenzialità 200000 AE) a T=18°C;
- Verifica del comparto con i valori derivanti dallo Scenario Invernale (potenzialità 100000 AE) a T=12°C.

I dati di progetto considerati per il dimensionamento sono riassunti Tabella 18.

Tabella 18: Caratteristiche quantitative e qualitative dei fanghi di supero in ingresso alla linea fanghi

Parametro	u.m.	Valore	
		Scenario estivo	Scenario Invernale
<i>Caratteristiche fanghi di supero</i>			
Portata massica di fanghi biologici	kgSST/d	7984	3424
Portata massica di fanghi chimici (da defosfatazione chimica)	kgSST/d	325	296
Portata massica di fanghi di supero (totale)	kgSST/d	8309	3720
Concentrazione di SST nei fanghi di supero	kgSST/m ³	8,4	8,8
Rapporto SSV/SST nel fango	gSSV/gSS T	0,75	0,75
Portata volumetrica di fango	m ³ /d	993	425

Nei successivi capitoli si riportano le ipotesi progettuali e i calcoli di dimensionamento svolti per determinare le principali caratteristiche tecniche dei comparti della linea fanghi e, in particolare, gli ingombri planimetrici delle singole sezioni.

4.3.1 Ispessimento statico

È stato previsto un comparto di ispessimento statico a servizio della linea fanghi avente principalmente una funzione di accumulo dei fanghi prima dell'alimentazione agli ispessitori dinamici, ma anche una funzione di riserva degli stessi ispessitori dinamici qualora fosse necessario prevederne il by-pass.

Tale manufatto è stato dimensionato con i criteri classici del dimensionamento di un ispessitore statico al fine di operare, all'occorrenza, comunque un ispessimento del fango portandolo ad un tenore di secco di circa il 2% di solidi (20 kgSST/m³).

I criteri adottati nel dimensionamento dipendono pertanto dalla duplice funzione di ispessimento e accumulo della sezione:

- per quanto riguarda la funzione di ispessimento del fango, il dimensionamento viene condotto facendo in modo che principali parametri operativi (flusso solido FS , carico idraulico superficiale C_i , tempo di ritenzione idraulica HRT) risultino compresi all'interno di *range* utilizzati nella pratica progettuale per applicazioni analoghe, suggeriti dai più importanti manuali tecnici nazionali ed internazionali di settore (Masotti, 1987; Nuovo Colombo, 1997; Metcalf & Eddy, 2003).
- per ciò che concerne la funzione di accumulo si effettua una verifica su un tempo di ritenzione idraulica minimo (HRT), il quale dovrà risultare adeguato alla frequenza con cui il gestore inviare il fango alla sezione di ispessimento dinamica evitando, al contempo, l'instaurarsi di fenomeni di putrefazione.

Per entrambi gli scenari di calcolo considerati, la vasca è stata verificata, in termini di flussi solidi e carichi idraulici applicati, al fine di poter attuare efficacemente un pre-ispessimento del fango. Si è inoltre verificato che i tempi di residenza idraulica (HRT) della stessa risultino compresi nel range ottimale 1,0 – 2,5 d tale per cui vengono garantiti adeguati tempi di accumulo evitando, al contempo, l'instaurarsi di fenomeni di putrefazione del fango. Su questo punto si evidenzia, inoltre, che si

prevede la copertura integrale del manufatto con captazione e trattamento delle arie esauste in apposita stazione di deodorizzazione con scrubber a secco (v. cap. 4.3.6).

In Tabella 19 si riportano i risultati di dimensionamento.

Tabella 19: Risultati del dimensionamento del comparto di ispessimento statico fanghi

Parametro	u.m.	Valore	
		Scenario estivo (T=18°C)	Scenario Invernale (T=12°C)
<u>Dati di progetto</u>			
Portata massica in ingresso	kgSST/d	8309	3720
Concentrazione nel fango in ingresso	kgSST/m ³	8,4	8,8
Portata volumetrica di fango in ingresso	m ³ /d	993	425
<u>Dimensioni del comparto</u>			
Numero di ispessitori di progetto	-	1	
Diametro di progetto vasca	m	16	
Superficie utile vasca	m ²	201	
Profondità a centro vasca	m	5,90	
Volume utile complessivo	m ³	997	
<u>Vincoli progettuali</u>			
Flusso solido	kgSST/m ² /d	50	
Carico idraulico	m ³ /m ² /d	5	
Tempo di ritenzione idraulica minimo	d	1	
Tempo di ritenzione idraulica massimo	d	2,5	
<u>Condizioni operative di progetto</u>			
Flusso solido	kgSST/m ² /d	41,3	18,5
Carico idraulico	m ³ /m ² /d	4,9	2,1
Tempo di ritenzione idraulica (tempo di accumulo)	d	1	2,3
Concentrazione del fango ispessito	kgSST/m ³	20	20
Portata idraulica di fanghi da estrarre	m ³ /d	414	185
Portata idraulica di surnatante	m ³ /d	579	239,5

4.3.2 Ispessimento dinamico

A valle dell'ispessimento statico si prevede la realizzazione di un comparto di ispessimento dinamico finalizzato a portare al 4% SS (40 kgSS/m³) la concentrazione del fango da avviare alla successiva sezione di digestione anaerobica. Il comparto viene dimensionato non tenendo conto, in via cautelativa, di un pre-ispessimento a monte dello stesso, ipotizzando quindi che l'ispessitore statico operi come semplice volume di accumulo.

La sezione di ispessimento dinamico ha la funzione di estrarre una parte di acqua contenuta nei fanghi di supero, in maniera da ridurre il quantitativo volumetrico dei fanghi da trattare. Il comparto viene strutturato su n.4 linee parallele costituite da ispessitori a coclea rotante prevedendo, a servizio di queste, una stazione di stoccaggio, preparazione e dosaggio di soluzione di polielettrolita avente funzione di condizionamento del fango avviato a trattamento.

Il dimensionamento del comparto è stato effettuato con la medesima procedura indicata in precedenza:

- Dimensionamento con i valori derivanti dallo Scenario estivo (potenzialità 200000 AE) a T=18°C;
- Verifica del comparto con i valori derivanti dallo Scenario Invernale (potenzialità 100000 AE) a T=12°C.

Il comparto sarà inserito all'interno di un locale dedicato e chiuso al fine di captare e sottoporre trattamento le emissioni odorigene prodotte (v. cap. 4.3.6). Le dimensioni indicative del locale ispessimento dinamico sono pari a (L x B x H) pari a 25 m x 8 m x 4 m con un ingombro complessivo di circa 200 m².

I risultati del dimensionamento del comparto sono riassunti in Tabella 20.

Tabella 20: Risultati del dimensionamento della sezione di ispessimento dinamico del fango di supero

Parametro	u.m.	Valore	
		Scenario estivo (T=18°C)	Scenario Invernale (T=12°C)
<u>Dati di progetto</u>			
Portata massica in ingresso	kgSST/d	8309	3720
Concentrazione nel fango in ingresso	kgSST/m ³	8,4	8,8
Portata volumetrica di fango in ingresso	m ³ /d	993	425
Tenore di secco previsto nei fanghi ispessiti	-		4%
Giorni settimanali di esercizio	d/w		7
Ore giornaliere di esercizio	h/d		6
<u>Condizioni operative previste</u>			
Numero di ispessitori dinamici previsti	-		4
Carico di solidi in ingresso nelle ore di servizio previste	kgSST/h	1385	620
Portata di fango in ingresso nelle ore di esercizio previste	m ³ /h	165,5	70,8
Numero di linee di ispessimento dinamico in funzione	-	4	2
Carico di SST da trattare su ogni macchina in funzione nelle ore di esercizio previste	kgSST/h	346	310
Portata di fango in ingresso nelle ore di esercizio previste	m ³ /h	41	35
Dosaggio specifico massimo di polielettrolita	g/kgSST	5	5
Fabbisogno massico di polielettrolita	kg/d	41,5	18,6
Portata soluzione polielettrolita dosata giornalmente	m ³ /d	3,7	8,3
Portata di soluzione di polielettrolita dosata in ogni linea nelle ore di esercizio previste	l/h	346	310
Consumo medio annuo di polielettrolita	ton/a	15,2	6,8
<u>Produzione attesa di fango ispessito e di acque madri</u>			
Portata massica di fango ispessito	kgSST/d	8309	3720
Portata di fango ispessito	m ³ /d	206	92,2
Portata di fango ispessito nelle ore di esercizio	m ³ /h	34,3	15,4
Portata di acque madri	m ³ /d	795	336
Portata di acque madri nelle ore di esercizio	m ³ /h	133	56

4.3.3 Digestione anaerobica

A valle dell'ispessimento dinamico il fango al 4% SS viene avviato ad un comparto di digestione anaerobica che costituisce il principale trattamento della linea fanghi adibito alla stabilizzazione del fango e all'abbattimento degli SSV in esso contenuti.

In questa sezione il fango subisce una degradazione in assenza di ossigeno, in cui una parte dei solidi sospesi volatili viene convertita a metano e anidride carbonica, grazie all'intervento di batteri acidogeni e metanigeni che operano in regime mesofilo di temperatura, con valore ottimale di 35°C. Per ottenere un'efficace digestione anaerobica è quindi necessario disporre di reattori chiusi (assenza di ossigeno), termostatati (in modo tale da avere T il più possibile costante) e ben miscelati al fine di garantire condizioni omogenee all'interno dell'intero reattore.

Dalla sommità del digestore il biogas viene captato e stoccato in cupola gasometrica, per poi essere inviato, dopo opportuna purificazione (ad esempio con processi quali desolforazione) al comparto di cogenerazione al fine di produrre energia elettrica e recupero di calore.

A valle della digestione anaerobica, il fango viene inviato al successivo comparto di disidratazione meccanica per essere allontanato dall'impianto e smaltito come fango disidratato.

Il presente progetto prevede l'installazione di due digestori di volumetria unitaria utile pari a 3000 m³ costituiti da serbatoi chiusi a pianta circolare in acciaio vetrificato. I reattori vengono dotati di sistemi miscelazione (ad esempio mixer verticali o sistemi di ricircolo, triturazione e ricircolo del fango all'interno dei digestori) che siano in grado di evitare fenomeni di sedimentazione e, allo stesso tempo, determinino un'efficace omogeneizzazione del fango contenuto all'interno.

Si riportano di seguito, in Tabella 21, gli ingombri e tutte le dimensioni geometriche del comparto e in Tabella 22 le verifiche dimensionali eseguite per determinare le volumetrie di digestione anaerobica necessarie e per calcolare la produzione di biogas con relativa produzione di energia elettrica e termica.

Tabella 21: Dimensioni geometriche del comparto di digestione anaerobica

Parametro	Unità di misura	Valore
Numero di digestori	-	2
Diametro del singolo serbatoio	m	16
Altezza serbatoio (senza cupola gasometrica)	m	15
Altezza complessiva serbatoio (considerando la cupola gasometrica)	m	17
Volume utile singolo digestore	m ³	3000
Volume utile complessivo	m ³	6000
Superficie ingombro singolo digestore	m ²	201
Superficie ingombro complessiva	m ²	402

Tabella 22: Risultati delle verifiche di dimensionamento del comparto di digestione anaerobica, calcolo della produzione di biogas e di autoproduzione energetica con cogeneratore

Parametro	u.m.	Valore	
		Scenario estivo (T=18°C)	Scenario Invernale (T=12°C)
<u>Dati di progetto</u>			
Portata massica di fanghi da trattare	kgSST/d	8309	3720
Concentrazione di SST	kgSST/m ³	40	40
Portata volumetrica	m ³ /d	206	92,2
Frazione volatile	gSSV/gSST	0,72	0,69
<u>Condizioni operative previste</u>			
Temperatura di esercizio dei digestori (condizioni mesofile)	°C		35
Numero di digestori dedicati	-		2
Volume di digestione totale	m ³		6000
Volume di digestione per singolo digestore	m ³		3000
Tempo di residenza idraulico HRT (Età del fango in digestione SRT)	d	29	65
Percentuale attesa di abbattimento dei solidi volatili	%	50	52
<u>Caratteristiche dei fanghi digeriti</u>			
Portata massica in uscita	kgSST/d	5315	2385

Portata volumetrica	m ³ /d	206	92,2
Concentrazione di SST del fango nel digestore e in uscita senza estrazione di surnatante	kgSST/m ³	25,8	25,9
<u>Produzione attesa di biogas e autoproduzione energetica attesa</u>			
Produzione di metano specifica per kg di sostanza organica biodegradabile rimossa (come COD)	Nm ³ CH ₄ /kgCOD _{rim}	0,35	0,35
Portata massica di SSV rimossi	kgSSV/d	2994	1336
Produzione di metano CH ₄ (con fattore di conversione f _{cv} =1.48 gCOD/gSSV)	Nm ³ CH ₄ /d	1551	692
Tenore di metano nel biogas	-	65%	65%
Produzione di attesa di biogas	Nm ³ /d	2386	1064
Produzione specifica di biogas per kgSSV in ingresso a digestione	Nm ³ /kgSSV	0,398	0,414
Potenza complessiva disponibile	kW	635,9	283,7
Rendimento elettrico cogeneratore	%	35	35
Potenza elettrica utile	kW	222,6	99,3
Produzione di energia elettrica attesa	kWh/d	5342	2383
Rendimento termico cogeneratore	%	55	55
Potenza termica utile	kW	349,8	156,0
Produzione di energia termica attesa	kWh/d	8394	3744

4.3.4 Disidratazione meccanica

Il comparto di disidratazione meccanica viene previsto all'interno di un locale chiuso contenuto nell'edificio servizi del nuovo depuratore. La sezione sarà attrezzata con tutte le apparecchiature e i sistemi necessari per operare la disidratazione del fango fino a raggiungere tenori di secco almeno pari al 25%, ottenibili mediante tecnologie quali centrifughe o presse a vite previo condizionamento chimico con polielettrolita.

Si riportano in Tabella 23 i risultati del dimensionamento del comparto, utili a stimare preliminarmente la produzione annua di fango disidratato prodotta dall'impianto e da destinare a smaltimento finale o ad eventuale recupero (ad esempio in agricoltura).

Tabella 23: Risultati del dimensionamento del comparto di disidratazione meccanica

Parametro	u.m.	Valore	
		Scenario estivo (T=18°C)	Scenario Invernale (T=12°C)
<u>Dati di progetto</u>			
Portata massica di fanghi da trattare	kgSST/d	5315	2385
Concentrazione dei fanghi da trattare	kgSST/m ³	26	26
Portata volumetrica di fanghi da trattare	m ³ /d	206	92,2
<u>Condizioni operative</u>			
Giorni settimanali di esercizio	d/w	5	
Ore giornaliere di esercizio	h/d	6	
Carico di solidi in ingresso nelle ore di esercizio previste	kgSST/h	1240	556
Portata di fango in ingresso nelle ore di esercizio previste	m ³ /h	48,1	21,5
Dosaggio specifico massimo polielettrolita	g/kgSST	10	10
Fabbisogno massico di polielettrolita	kg/d	53,1	23,8
Portata soluzione polielettrolita dosata giornalmente	m ³ /d	10,6	4,8
Portata di soluzione di polielettrolita dosata linea nelle ore di esercizio previste	L/h	2480	1113
Consumo medio annuo di polielettrolita	ton/a	19,4	8,7
<u>Produzione attesa di fango disidratato e acque madri</u>			
Tenore di secco atteso nei fanghi disidratati	-	27%	27%
Peso specifico del fango disidratato	kg/m ³	1085	1093
Portata di fango da condizionare	m ³ /d	216,7	97
Portata massica di fango disidratato	kgSST/d	5315	2385
Portata di fango disidratato	m ³ /d	18,1	8,1
	t/d	19,7	8,8
Portata di acque madri	m ³ /d	199	89
Produzione media giornaliera fango disidratato	t/d	19,7	8,8
Produzione media annua di fango disidratato (media dei periodi invernale ed estivo)	t/y		5204

4.3.5 Trattamento dell'azoto contenuto nelle acque madri (processo *side-stream*)

Quello del ricircolo dei surnatanti provenienti dalla disidratazione fanghi in testa alla linea acque costituisce un tema spesso sottovalutato e non correttamente affrontato in fase di progettazione. Si tende a pensare, infatti, che le ridotte portate che caratterizzano le acque madri, rispetto a quelle provenienti dalla fognatura, non siano sufficienti a generare sovraccarichi in grado di impattare sul processo depurativo in linea acque. Il carico inquinante aggiuntivo contenuto nel flusso di acque madri di ritorno dalla linea fanghi risulta invece tutt'altro che trascurabile, soprattutto nel caso in cui sia presente una sezione di digestione anaerobica in linea fanghi. Tipicamente tale flusso costituisce infatti una frazione importante, anche fino al 10-15% sotto forma di ammoniaca (NH₄), della quantità di azoto totale contenuta nella portata in ingresso all'impianto (tale frazione risulta ancora più elevata in caso di presenza di fanghi primari avviati a digestione anaerobica).

Trattare tale carico in linea acque mediante tradizionali processi di nitrificazione – denitrificazione significa disporre di una capacità di trattamento residua che non sempre risulta disponibile, senza considerare il fatto che, se ricircolato nel *main-stream*, il carico di azoto andrebbe a diluirsi con la portata di refluo in ingresso, riducendo l'efficienza complessiva del trattamento. In Tabella 24 sono riportate le caratteristiche qualitative e quantitative delle acque madri estratte dal comparto di disidratazione nel caso in esame.

Tabella 24: Caratteristiche quantitative e qualitative delle acque madri (prima del trattamento *side-stream*)

Parametro	u.m.	Valore	
		Scenario estivo	Scenario Invernale
<u>Caratteristiche quantitative</u>			
Portata di acque madri	m ³ /d	199	89
	m ³ /h	8,3	3,7
<u>Carico di azoto ammoniacale</u>			
Portata massica di SSV rimossa da digestione anerobica	kgSSV/d	2994	1336
Apporto specifico di azoto ammoniacale	gNH ₄ /gSSVrim	0,06	
Carico di azoto ammoniacale nelle acque madri	kg/d	180	80

Concentrazione di azoto ammoniacale

Concentrazione di azoto ammoniacale nelle acque madri (prima del trattamento)	mgNH ₄ /l	905	902
---	----------------------	-----	-----

Per queste ragioni la soluzione più conveniente, da un punto di vista sia di processo che energetico, risulta senza dubbio quella di trattare il flusso concentrato direttamente nel *side-stream*, ovvero prima che venga reimpresso in linea acque. Nel caso in esame è stato ipotizzato di trattare il flusso di acque madri mediante un processo di nitrificazione - denitrificazione basato sull'ossidazione parziale dell'ammoniaca (nitrificazione), che viene quindi trasformata in nitrito in luogo di nitrato, e successiva trasformazione dei nitriti direttamente ad azoto molecolare (denitrificazione). Ciò implica importanti riduzioni sia in termini di richieste di ossigeno in fase ossidativa (l'ammoniaca viene infatti ossidata fino a NO₂ anziché a NO₃) che di carbonio necessario per la conversione dell'azoto nitrico o nitroso in azoto molecolare.

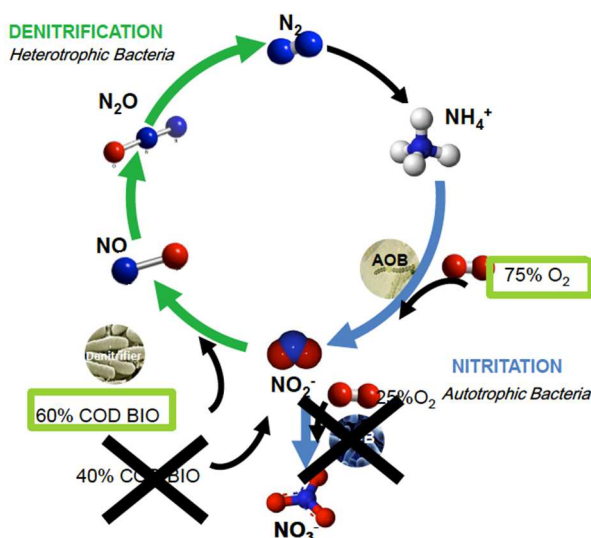


Figura 3: Schema concettuale del processo di nitrificazione - denitrificazione

Dal punto di vista impiantistico, il processo può essere implementato all'interno di un reattore SBR (Sequencing Biological Reactor), di volumetria indicativa pari a 200 m³, nel quale le diverse fasi del processo vengono gestite in maniera automatica attraverso una logica di automazione in grado di condurre il processo regolando il funzionamento delle apparecchiature previste a servizio dello stesso (costituite da compressori dell'aria, diffusori, mixer e pompe di rilancio) sulla base delle misure effettuate tramite appositi strumenti di misura (misuratori combinati di ossigeno-temperatura, sonde di pressione, misuratore di pH, sonda redox e misuratori di portata). Risulta opportuno evidenziare che il trattamento necessita di COD biodegradabile per supportare la fase di trasformazione del nitrito

in azoto molecolare (denitrificazione): sebbene la quantità di COD richiesta risulti inferiore rispetto a quella richiesta dal processo completo di denitrificazione, potrebbe rendersi necessario prevedere uno specifico dosaggio di carbonio da fonti esterne.

Con questa tipologia di trattamento si ottengono abbattimenti significativi del carico di azoto ammoniacale che, come si evince dai dati riportati in Tabella 25, risultano variabili in funzione dello scenario di riferimento. In tabella vengono calcolati i carichi di azoto ammoniacale effettivamente riciccolati in linea acque e considerati per definire le caratteristiche qualitative in ingresso al comparto biologico dell'impianto (cap. 4.2.1.2).

Tabella 25: Caratteristiche qualitative e quantitative delle acque madri dopo il trattamento side stream

Parametro	u.m.	Valore	
		Scenario estivo	Scenario Invernale
<u>Caratteristiche quantitative</u>			
Portata di acque madri	m ³ /d	199	89
	m ³ /h	8,3	3,7
<u>Carichi in uscita da trattamento side stream</u>			
Rendimento di rimozione azoto ammoniacale	%	50	90
Carico di azoto ammoniacale rimosso	kg/d	90	72
Carico di azoto ammoniacale in uscita dal trattamento	kg/d	90	8
<u>Concentrazioni in uscita da trattamento side stream</u>			
Concentrazione di azoto ammoniacale nelle acque madri in uscita dal trattamento	mgNH ₄ /l	452	90

4.3.6 Trattamento delle emissioni odorogene

I fanghi costituiscono per loro natura una fonte di odore problematica in termini sia di concentrazione di odore sia di tono edonico (gradevolezza/sgradevolezza). I comparti della linea fanghi possono infatti essere responsabili, soprattutto in presenza di fango poco stabilizzato, di elevate emissioni di COV e per questo è buona norma prevederne la compartimentazione all'interno di locali / vasche

chiuse con trattamento delle emissioni odorigene per garantire una migliore salubrità degli ambienti in cui opererà il personale di gestione.

Si prevede quindi la captazione delle arie esauste provenienti dalle vasche di stabilizzazione fanghi, dall'ispessitore e dal locale disidratazione e il loro trattamento in scrubber a secco. A differenza della stazione di deodorizzazione a servizio dei pretrattamenti, che deve tener conto delle rilevanti fluttuazioni delle volumetrie da trattare a causa delle variazioni del livello idraulico in vasca di equalizzazione, in questo caso le portate aerauliche in gioco risultano, a parità di ricambi d'aria orari, pressoché costanti nel tempo.

Si riportano in Tabella 26 le principali ipotesi di dimensionamento e le caratteristiche tecniche e dimensionali della sezione di trattamento odori a servizio della linea fanghi del nuovo depuratore.

Tabella 26: Risultati del dimensionamento del comparto di deodorizzazione linea fanghi

Parametro	u.m.	Valore
<u>Volumetrie da trattare</u>		
Ispessitore statico	m ³	222
Ispessitore dinamico	m ³	800
Locale disidratazione	m ³	800
<u>Ricambi d'aria orari</u>		
Comparto ispessimento	ric/h	6
Locale disidratazione	ric/h	6
<u>Portate d'aria da deodorizzare</u>		
Portata d'aria complessiva da trattare	m ³ /h	10932
<u>Impianto di deodorizzazione</u>		
N. di unità filtranti (scrubber a secco)	-	1+1R
Portata d'aria unitaria trattata	m ³ /h	12000

4.4 EDIFICI DI SERVIZIO E LOCALI TECNICI

All'interno del sedime del nuovo depuratore saranno presenti edifici complementari e di servizio dell'impianto. In via preliminare sono stati considerati tre edifici, due dei quali si configureranno come locali prettamente tecnici e contenenti sezioni di trattamento della filiera depurativa (edificio

pretrattamenti, locale ispessimento dinamico e locale trattamento *side-stream*), mentre il terzo fungerà da edificio sia tecnico che di servizio. Si riassumono in Tabella 27 le funzioni e gli ingombri di massima di tali edifici.

Tabella 27: Locali tecnici, edifici complementari e di servizio del nuovo impianto

Edifici di servizio e locali tecnici	u.m.	Ingombro
<u>Locale pretrattamenti</u>		
Griglie grossolane, griglie fini, dissabbiatori / disoleatori, classificatore-lavatore sabbie, quadri elettrici locali	m ²	1500
<u>Locale ispessimento dinamico fanghi</u>		
Ispessitori dinamici, stazioni dosaggio polielettrolita, pompe monovite di rilancio fanghi, quadri elettrici locali	m ²	200
<u>Locale disidratazione fanghi</u>		
Centrifughe / Presse a vite, stazioni dosaggio polielettrolita, pompe monovite di caricamento fanghi, cassoni di stoccaggio fanghi disidratati, quadri elettrici locali	m ²	300
<u>Locale trattamento side stream</u>		
Reattore SBR, compressori, pompe di rilancio acque madri, quadri elettrici locali	m ²	100
<u>Edificio servizi</u>		
Uffici (uffici personale impianto, sala controllo e automazione, sala riunioni), servizi igienici, locale quadri e cabina elettrica, locale compressori	m ²	1000

5 STIMA DEI COSTI DI INVESTIMENTO

Si riporta in Tabella 28 la stima economica degli interventi di costruzione del nuovo impianto di depurazione, da intendersi riferiti alla realizzazione di opere civili, idrauliche, elettromeccaniche ed elettriche delle nuove sezioni di trattamento così come descritte nell'elaborato "C-R-100-05 Relazione di calcolo di processo e dimensionamento".

La stima comprende le opere di sistemazione esterna ai manufatti del depuratore (aree a verde, viabilità, recinzioni ecc.) e ulteriori interventi finalizzati all'inserimento ambientale e architettonico dell'opera.

Tabella 28: Stima economica dell'intervento

<u>Nuovo impianto di depurazione Lonato del Garda</u>		
STIMA DI MASSIMA DEI COSTI DI REALIZZAZIONE		
Intervento	Importo stimato dei lavori	Costo totale comparto
Edificio pre-trattamenti		€ 4.657.000,00
<i>Opere civili</i>		
Scavi e rinterri	€ 278.000	
Opere provvisoriale - sostegno scavi	€ 40.000	
Calcestruzzi / murature	€ 603.000	
Carpenterie metalliche	€ 108.000	
Tamponamenti, coperture	€ 608.000	
<i>Opere elettromeccaniche e piping</i>		
Griglie grossolane x 5+1R	€ 456.000	
Griglie fini x 5+1R	€ 960.000	
Coclee trasporto e lavaggio grigliato x 2	€ 140.000	
Dissabbiatori / disoleatori x 4	€ 800.000	
Classificatore - lavatore sabbie x 2+1R	€ 210.000	
Piping, paratoie e valvole	€ 410.000	
Strumentazione	€ 44.000	
Stazione trattamento odori - pre-trattamenti		€ 758.000,00
<i>Opere civili</i>		
Scavi e rinterri	€ 11.000	
Calcestruzzi	€ 72.000	
Tamponamenti, coperture (tettoia)	€ 45.000	
<i>Opere elettromeccaniche e piping</i>		
Scrubber a secco x 7+1R	€ 480.000	
Piping, paratoie e valvole	€ 150.000	
Vasca equalizzazione		€ 11.851.000,00

<u>Opere civili</u>		
Scavi e rinterrì	€	1.814.000
Opere provvisionali - sostegno scavi	€	500.000
Calcestruzzi	€	7.329.000
Carpenterie metalliche	€	100.000
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>		
Mixer	€	1.234.000
Pompe sollevamento x 4+1R	€	523.000
Sistema pulizia vasche	€	212.000
Piping, paratoie e valvole	€	69.000
Strumentazione	€	70.000
Comparto biologico		€ 6.158.000,00
<u>Opere civili</u>		
Scavi e rinterrì	€	639.000
Opere provvisionali - sostegno scavi	€	200.000
Calcestruzzi	€	1.841.000
Carpenterie metalliche	€	386.000
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>		
Mixer selettori anaerobici	€	203.000
Reti di diffusione aria	€	1.066.000
Compressori aria	€	684.000
Stazione dosaggio cloruro ferrico	€	70.000
Piping, paratoie e valvole	€	809.000
Strumentazione	€	260.000
Sedimentazione secondaria		€ 4.252.000,00
<u>Opere civili</u>		
Scavi e rinterrì	€	730.000
Opere provvisionali - sostegno scavi	€	300.000
Calcestruzzi	€	1.777.000
Carpenterie metalliche	€	139.000
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>		
Carroponti x 4	€	624.000
Pompe ricircolo fanghi	€	316.000
Pompe supero	€	61.000
Pompe schiume	€	64.000
Piping, paratoie e valvole	€	213.000
Strumentazione	€	28.000
Trattamenti terziari		€ 3.095.000,00
<u>Opere civili</u>		
Scavi e rinterrì	€	46.000
Calcestruzzi	€	277.000
Carpenterie metalliche	€	120.000
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>		

Filtri a tela x 8	€	1.346.000	
Pompe rilancio acque lavaggio x 8	€	40.000	
Lampade UV (5 linee - 10 banchi)	€	886.000	
Piping, paratoie e valvole	€	341.000	
Strumentazione	€	39.000	
Trattamento azoto su acque madri (side-stream)			€ 280.000,00
<u>Opere civili</u>			
Scavi e rinterrati, calcestruzzi, carpenterie metalliche	€	50.000	
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>			
Apparecchiature elettromeccaniche, strumentazione	€	230.000	
Ispezzimento statico fanghi			€ 363.000,00
<u>Opere civili</u>			
Scavi e rinterrati	€	50.000	
Calcestruzzi	€	88.000	
Carpenterie metalliche	€	13.000	
Tamponamenti, coperture (PRFV, rotante)	€	67.000	
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>			
Pompe monovite caricamento fanghi	€	77.000	
Carroponte (ispessitore a picchetti)	€	30.000	
Piping, paratoie e valvole	€	28.000	
Strumentazione	€	10.000	
Ispezzimento dinamico fanghi			€ 991.000,00
<u>Opere civili</u>			
Scavi e rinterrati	€	4.000	
Calcestruzzi	€	107.000	
Tamponamenti, coperture	€	80.000	
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>			
Pompe caricamento, ispessitori dinamici, polipreparatori, piping e strumenti	€	800.000	
Digestione anaerobica			€ 2.885.000,00
<u>Opere civili</u>			
Scavi e rinterrati	€	8.000	
Calcestruzzi (platea)	€	65.000	
Strutture digestori e carpenterie metalliche	€	1.371.000	
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>			
Miscelatori verticali	€	131.000	
Altre apparecchiature elettromeccaniche e piping	€	520.000	
Linea biogas	€	365.000	
Cogeneratore	€	400.000	
Strumentazione	€	25.000	
Disidratazione fanghi			€ 933.000,00
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>			
Pompe monovite caricamento fanghi ispessiti x 4	€	40.000	
Centrifuga x 3	€	645.000	

Gruppo polielettrolita x 2	€	70.000	
Coclee trasporto fanghi disidratati	€	128.000	
Paranchi	€	15.000	
Piping, paratoie e valvole	€	20.000	
Strumentazione	€	15.000	
Stazione trattamento odori - linea fanghi			€ 252.000,00
<u>Opere civili</u>			
Scavi e rinterrati	€	3.000	
Calcestruzzi	€	26.000	
Tamponamenti, coperture (tettoia)	€	23.000	
<u>Opere elettromeccaniche e piping</u>			
Scrubber a secco x 2	€	120.000	
Piping, paratoie e valvole	€	80.000	
Locale servizi			€ 1.798.000,00
<u>Opere civili - edili</u>			
Scavi e rinterrati	€	47.000	
Calcestruzzi / murature, strutture metalliche	€	625.000	
Finiture interne, arredi, infissi e attrezzature varie	€	813.000	
Tetto	€	313.000	
Sistemazioni esterne			€ 5.965.000,00
Movimentazioni terreno e sistemazioni a verde	€	1.737.000	
Viabilità (asfalti e calcestruzzi) e accesso impianto	€	1.287.000	
Oneri di conferimento a discarica	€	501.000	
Reti interrato	€	440.000	
Opere di delimitazione impianto e sistema idraulico	€	1.000.000	
Interventi agronomici su aree limitrofe	€	1.000.000	
Opere elettriche			€ 5.762.000,00
Impianti elettrici (illuminazione, quadri, collegamenti, etc.) e sistemi di automazione, PLC	€	5.762.000	
TOTALE LAVORI			€ 50.000.000,00