



00	09/2022	PRIMA EMISSIONE	ETC	ETC	AC
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
PROGETTO <p style="text-align: center;">W01M</p> <p style="text-align: center;">Revamping dell'impianto di depurazione di Bellinzago Novarese - Via Ticino (NO)</p>					
LIVELLO DI PROGETTAZIONE <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO</p>					
TITOLO ELABORATO <p style="text-align: center;">Relazione tecnica idraulica e di processo</p>					
COMMESSA 10043353		CODICE ELABORATO D-R-110-10		CUP D11D22000130006	
				SCALA -	
IL PROGETTISTA <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TRENTO dott. ing. Angelo Cantatore Ingegnere civile e ambientale, industriale e dell'informazione Iscritto al N. 2532 d'Albo - Sezione A degli Ingegneri </div> </div> <p>ETC ENGINEERING S.R.L. Via Praga, 7 - 38121 Trento (TN) Tel: 0461 825966 - Fax: 0461 825966 web. www.etc-eng.it - e-mail: info@etc-eng.it</p>				DATA 09/2022	
 Via generali, 91 28100 Novara (NO) Tel: 0321.413790		IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Giuseppe Caranti		DATA 09/2022	
		IL DIRETTORE DEI LAVORI		DATA 09/2022	
				PAG. N° 1	
				DI 1	

Il presente elaborato non potrà essere riprodotto, nè distribuito senza l'autorizzazione scritta di questa Società che ne detiene la proprietà.

INDICE

1	PREMESSA	4
2	STATO ATTUALE	5
2.1	Filiera di trattamento dell'impianto esistente	10
2.2	Scopo dell'intervento.....	11
2.3	Criticità dell'impianto esistente e loro risoluzione	12
3	DATI DI PROGETTO	14
3.1	Definizione delle portate di progetto	14
3.2	Definizione dei carichi e delle concentrazioni di inquinanti di progetto	14
3.3	Limiti allo scarico e temperature di progetto	15
3.4	Verifica dei carichi idraulici e inquinanti attuali	16
4	RISULTATI DELLE VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO	20
4.1	Grigliatura grossolana	20
4.2	Grigliatura fine	21
4.3	Dissabbiatura/disoleatura	22
4.4	Consumo di acqua di lavaggio nei nuovi pre-trattamenti	24
4.5	Stazione di sollevamento	25
4.6	Sezione di trattamento biologico.....	26
4.6.1	Descrizione del comparto.....	26
4.6.1.1	Denitrificazione	26
4.6.1.2	Ossidazione/nitrificazione	26
4.6.2	Implementazione di un processo di nitrificazione / denitrificazione ad aerazione intermittente.....	27
4.6.3	Modello di calcolo	28
4.6.4	Parametri cinetici e stechiometrici.....	30
4.6.5	Risultati della verifica.....	32
4.7	Defosfatazione chimica	35
4.8	Sedimentazione secondaria.....	36
4.8.1	Ricircolo dei fanghi ed estrazione fanghi di supero	39
4.9	Disinfezione chimica	39

5 VERIFICHE IDRAULICHE	42
5.1 Criteri generali di dimensionamento idraulico	42
5.1.1 Tubazioni in pressione	42
5.1.2 Moto a pelo libero	43
5.1.3 Stramazzi.....	44
5.1.4 Luci di fondo	45
5.2 Portate di progetto	45
5.3 Dimensionamento dei collegamenti tra le diverse sezioni impiantistiche	46
5.3.1 Sollevamenti meccanici	56
5.3.2 Estrazione sabbie da dissabbiatore	56
5.3.3 Estrazione oli da disoleatura	56
5.3.4 Stazione di sollevamento	57
5.3.5 Ricircolo fanghi da sedimentatore D=19m e verifica estrazione supero	58
5.3.6 Ricircolo fanghi da sedimentatore D=26m e verifica estrazione supero	61
5.3.7 Svuotamento vasca di disinfezione	63
6 BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA	65

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione tecnica idraulica e di processo del progetto definitivo di *Revamping dell'impianto di depurazione di Bellinzago novarese – via Ticino (NO)*, ubicato nel comune di Bellinzago Novarese.

L'impianto di depurazione è autorizzato a trattare una potenzialità di 36000 AE. Allo stato attuale il carico medio afferente è pari a circa 26300 AE su base idraulica e a circa di 19000 AE su base BOD₅. L'impianto necessita di un ammodernamento delle strutture nell'ottica di un efficientamento sia dal punto di vista energetico che dell'automazione, in previsione anche di trattare il maggiore carico derivante dal collettamento dei reflui recapitati dal sollevamento di Pombia (carico aggiuntivo di circa 2500 AE a seguito della dismissione dei piccoli impianti di trattamento) e da futuri incrementi di popolazione.

L'intervento prevede nello specifico un upgrading di opere elettromeccaniche, sistemi di misura e la realizzazione ex novo della sezione pretrattamenti, di un dissabbiatore-disoleatore aerato a flusso longitudinale e di una vasca di disinfezione.

Il presente documento descrive innanzitutto brevemente la filiera attuale dell'impianto (capitolo 2), per poi illustrare l'elaborazione dati utili per definire il quadro di dati di progetto assunto alla base delle verifiche di calcolo effettuate (capitolo 3). Sono quindi presentati i risultati delle verifiche di calcolo relative ai diversi comparti di trattamento della linea acque (capitolo 4) e verifiche idrauliche (capitolo 5) dando ragione delle scelte progettuali effettuate e degli accorgimenti tecnici adottati, oltre a fornire una descrizione dei principi di funzionamento delle varie sezioni di processo nella configurazione di progetto.

2 STATO ATTUALE

L'impianto di depurazione di Bellinzago Novarese si configura, allo stato attuale, secondo un classico schema di processo a fanghi attivi. Il refluo fognario giunge in impianto tramite un canale a gravità e un collegamento diretto proveniente da una caserma sita nelle adiacenze dell'impianto.

In ingresso il depuratore dispone di uno sfioratore che immette le acque in eccesso rispetto alla potenzialità di trattamento in un manufatto di scarico, nel quale perviene anche il refluo depurato.



Figura 1: Canale di ingresso del refluo

La portata massima avviabile a trattamento attraversa la prima unità di grigliatura fine del tipo a cestello e giunge nel comparto dissabbiatura/disoleatura nel quale vengono rimosse le sabbie e gli oli.



Figura 2: Unità di grigliatura fine in canale



Figura 3: Comparto di dissabbiatura/disoleatura

In condizioni di massima portata, nelle quali il livello idraulico nel canale di grigliatura fine a monte aumenta, il refluo stramazza all'interno di un secondo canale a pelo libero dotato di un comparto di grigliatura fine e giunge nella stazione di sollevamento.



Figura 4: Canale principale e sullo sfondo canale di bypass dotato di grigliatura fine

All'interno della stazione di sollevamento sono installate n.2 pompe sommergibili, che sollevano il refluo alla vasca di denitrificazione, dalla quale poi per gravità giunge nella vasca di ossidazione/nitrificazione. Dalla vasca biologica il fango attivo confluisce alla successiva sezione di sedimentazione secondaria, costituita da n.2 bacini circolari a flusso radiale con diametri rispettivamente $D=26m$ e $D=19m$, da cui, il chiarificato per gravità passa al comparto di disinfezione chimica con acido peracetico prima dello scarico finale. La portata eccedente la massima avviabile ai trattamenti secondari ($Q>3Q_m$) viene scaricata da uno sfioro di troppo pieno presente nella stazione di sollevamento e viene inviata direttamente allo scarico tramite un collettore di bypass dedicato.



Figura 5: Vasca di denitrificazione



Figura 6: Vasca di ossidazione/nitrificazione



Figura 7: Sedimentatore secondario D=26m



Figura 8: Sedimentatore secondario D=19m



Figura 9: Vasca di disinfezione con PAA

2.1 FILIERA DI TRATTAMENTO DELL'IMPIANTO ESISTENTE

La filiera di trattamento attuale dell'impianto è composta relativamente alla linea acque, dalle seguenti sezioni:

- **Grigliatura fine** del refluo in ingresso
- **Dissabbiatura e disoleatura** in comparto aerato a flusso longitudinale;
- **Sollevamento iniziale** del refluo pretrattato
- **Trattamento biologico** strutturato secondo lo schema classico di pre-denitrificazione/nitrificazione. Il comparto di pre-denitrificazione è costituito da una vasca a pianta circolare, mentre la sezione di ossidazione/nitrificazione è costituita da due vasche uguali a pianta rettangolare operanti in parallelo.
- **Defosfatazione chimica** in simultanea, realizzata mediante dosaggio di cloruro ferrico al 40% in testa al comparto biologico;
- **Sedimentazione secondaria** in n.2 sedimentatori circolari di diametri differenti, $D=26$ m e $D=19$ m, alimentati da un ripartitore di portata in uscita dalle vasche di ossidazione/nitrificazione;

- **Disinfezione finale** in canale di contatto a serpentina con dosaggio di acido peracetico (PAA).
- **Scarico finale** dell'effluente in corpo idrico, attraverso il medesimo manufatto di ingresso che ospita anche il by-pass generale impianto.

L'impianto scarica direttamente nel fiume Ticino, tramite una condotta di circa 1,8 km che parte dal manufatto scolmatore in ingresso e di scarico finale.

La linea di trattamento attuale relativamente alla linea fanghi è composta dalle seguenti sezioni:

- **Ispessimento statico** dei fanghi di supero;
- **Disidratazione meccanica finale** con dosaggio di polielettrolita;
- **Stoccaggio dei fanghi disidratati** in cassone scarrabile;
- **Digestione anaerobica** dei fanghi;
- **Accumulo del biogas in gasometro**;
- **Torcia di emergenza per la gestione del biogas prodotto.**

2.2 SCOPO DELL'INTERVENTO

Il principale obiettivo del progetto è quello di **efficientare l'impianto di depurazione e migliorare la qualità dello scarico** nel rispetto degli standard qualitativi previsti dalle Tabelle 1, 2 e 3 dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs. 152/06.

L'impianto di depurazione è autorizzato a trattare una potenzialità di 36000 AE. Allo stato attuale il carico medio afferente è pari a circa 26300 AE su base idraulica e a circa di 19000 AE su base BOD₅. L'impianto necessita di un ammodernamento delle strutture nell'ottica di un efficientamento sia dal punto di vista energetico che dell'automazione, in previsione anche di trattare il maggiore carico derivante dal collettamento dei reflui recapitati dal sollevamento di Pombia (carico aggiuntivo di circa 2500 AE a seguito della dismissione dei piccoli impianti di trattamento) e da futuri incrementi di popolazione.

L'intervento prevede nello specifico un upgrading di opere elettromeccaniche, sistemi di misura e la realizzazione ex novo della sezione pretrattamenti, di un dissabbiatore-disoleatore longitudinale aerato e di una vasca di disinfezione. Conseguentemente si prevede il rifacimento della cabina di trasformazione MT/BT e il rifacimento dell'impianto di telecontrollo di tutto l'impianto, per garantire un elevato grado di automazione e bassi impatti ambientali.

Non sono previsti interventi sostanziali alla linea fanghi, a meno di alcuni limitati interventi di manutenzione volti a ripristinare l'uso di tutte le sezioni della linea.

2.3 CRITICITÀ DELL'IMPIANTO ESISTENTE E LORO RISOLUZIONE

Si riportano di seguito una lista delle criticità riscontrate in fase di sopralluogo e di analisi del depuratore allo stato attuale e di come verranno risolte nella configurazione di progetto:

- **Pretrattamenti:** i pretrattamenti esistenti risultano obsoleti ed usurati in molte parti. Si prevede perciò il rifacimento sia della sezione di grigliatura, con l'aggiunta della grigliatura grossolana in ingresso, che della sezione di dissabbiatura, completa di disoleatura e trattamento sabbie. Si prevede l'installazione di 2 griglie a cestello, in quanto, rispetto ad altre tecnologie, hanno minori perdite di carico, hanno un sistema di pulizia automatica e con il loro movimento rotante inducono anche la compattazione del grigliato.
- **Sollevamento iniziale:** per una migliore gestione delle manutenzioni preventive, riducendo quindi possibili eventi di fermo, si prevede l'inserimento di ulteriori 2 pompe di sollevamento nel pozzetto di carico del comparto biologico.
- **Comparto biologico:** la configurazione "rigida" di pre-denitrificazione/nitrificazione convenzionale su cui è strutturata attualmente la sezione di trattamento biologico non consente un miglioramento delle performance di efficienza energetica. Per questo motivo il progetto prevede l'implementazione di un controllore di processo con logiche di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente sull'intero volume di trattamento biologico, consentendo di incrementare la flessibilità e l'efficienza di trattamento e al contempo minimizzare i consumi energetici. Questa configurazione richiede l'inserimento di un sistema di fornitura e diffusione dell'aria anche all'attuale volume di denitrificazione, mentre non è necessario l'inserimento di ricircoli della miscela aerata, dal momento che i nitrati prodotti in una fase aerata sono rimossi nella successiva fase anossica. Inoltre, si prevede il riposizionamento delle tubazioni in ingresso al comparto di nitrificazione, ottenendo una distribuzione del carico sulle due linee più omogenea.
- **Sedimentazione secondaria:** si prevede l'adeguamento delle tubazioni in ingresso ai sedimentatori, in particolare la demolizione e il rifacimento della colonna centrale del sedimentatore da 19m al fine di garantire idraulicamente una corretta ripartizione delle portate tra i due sedimentatori. Inoltre, si prevede l'adeguamento dei sistemi di ricircolo e supero fanghi, data la nuova logica di trattamento biologico, con l'inserimento di 2 nuove pompe per ogni sedimentatore, che inviano rispettivamente al comparto biologico e all'ispessimento statico, tramite valvole automatiche regolate a seconda della quantità di SST in vasca misurata con apposita sonda, tramite logiche di PLC.
- **Disinfezione finale:** si prevede il rifacimento del comparto e verrà riutilizzato l'attuale sistema di dosaggio di acido PAA, collegandolo al nuovo comparto con una tubazione incamiciata e dotata di relativi misuratori di pressione, per segnalare prontamente dispersioni nel terreno.

- **Linea fanghi:** la linea fanghi è attualmente composta da: ispessimento fanghi, disidratazione fanghi, digestione anaerobica, accumulo in gasometro e ossidazione termica del biogas con torcia di emergenza.

Sono previsti alcuni interventi di manutenzione straordinaria per ottimizzare il funzionamento della linea fanghi, quali l'inserimento di un nuovo sistema di ricircolo fanghi, un nuovo scambiatore di calore, l'installazione di una nuova caldaia con alimentazione a biogas, l'adeguamento normativo della torcia..

- **Impianto elettrico:** si prevede l'installazione di una nuova cabina di trasformazione MT/BT e relativo trasformatore, adeguato alle nuove esigenze dell'impianto e nel rispetto alle normative ad oggi vigenti, oltre che l'adeguamento dei quadri elettrici esistenti e delle relative linee di alimentazione, in quanto non compatibili per l'inserimento di controlli di automazioni. Inoltre, si prevede lo sviluppo di un nuovo sistema di supervisione per l'intero impianto, in quanto ad oggi l'impianto non viene gestito da un unico sistema centralizzato ed alcune sezioni sono ancora gestite manualmente.

3 DATI DI PROGETTO

3.1 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

La portata media di tempo secco di progetto (Q_m) è stata determinata, sulla base della potenzialità di progetto di 36000 AE, considerando una dotazione idrica pro-capite di 250 L/(AE·d) ed un coefficiente di afflusso in fognatura di 0,8. Le portate massime da sottoporre a pretrattamenti meccanici (Q_{pm}) e a trattamento biologico (Q_{pb}) sono pari rispettivamente a 5 e 3 volte la portata media di tempo secco.

In Tabella 1 vengono riassunte le portate poste alla base del dimensionamento delle opere in progetto.

Tabella 1: Portate di progetto

Parametro	u.m.	Valore
Potenzialità impianto	AE	36000
Dotazione idrica pro-capite	L/(AE·d)	250
Coefficiente di afflusso in fognatura	-	0,8
Portata media giornaliera (Q_m)	m^3/d m^3/h	7200 300
Fattore di punta per la portata da sottoporre a pre-trattamenti	-	5
Portata massima da sottoporre a pre-trattamenti (Q_{pm})	m^3/h	1500
Fattore di punta per la portata da avviare a trattamento biologico	-	3
Portata massima da avviare a trattamento biologico (Q_{pb})	m^3/h	900

3.2 DEFINIZIONE DEI CARICHI E DELLE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI DI PROGETTO

I carichi inquinanti in ingresso all'impianto nelle condizioni di progetto sono stati calcolati a partire dagli apporti pro-capite tipici dei reflui civili¹ e sono riepilogati in Tabella 2, unitamente ai corrispondenti valori di concentrazione riferiti alla portata media di progetto.

¹ Secondo la definizione data dalla vigente normativa in materia di protezione e depurazione delle acque dall'inquinamento (direttiva 91/271/CEE e D.Lgs. 152/06), l'**abitante equivalente (AE)** è definito come la quantità di sostanze organiche biodegradabili, derivate da un'utenza civile o assimilabile a questa, convogliate in fognatura nell'arco temporale di un giorno, cui corrisponde una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD_5) pari a 60 grammi di O_2 . Vale quindi l'equivalenza 1 AE = 60 g BOD_5 /d.

Gli apporti pro-capite relativi agli altri macroinquinanti sono stati assunti pari ai valori tipici per reflui fognari di origine civile indicati dalla letteratura di settore (*inter alia* Metcalf & Eddy, 2014; Henze *et al.* 2008; Bonomo, 2008)

Tabella 2: Caratteristiche qualitative del refluo in ingresso all'impianto

Parametro	u.m.	Valore
<u>Apporti inquinanti pro-capite</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	gBOD ₅ /AE/d	60
Sostanza organica come COD	gCOD/AE/d	120
Azoto totale di Kjeldahl (TKN)	gN/AE/d	12
Solidi sospesi totali (SST)	gSST/AE/d	70
Fosforo totale (P)	gP/AE/d	1,5
<u>Carichi medi inquinanti in ingresso in condizioni di tempo secco</u>		
Potenzialità impianto	AE	36000
Sostanza organica come BOD ₅	kgBOD ₅ /d	2160
Sostanza organica come COD	kgCOD/d	4320
Azoto totale di Kjeldahl (TKN)	kgN/d	432
Solidi sospesi totali (SST)	kgSST/d	2520
Fosforo totale (P)	kgP/d	54
<u>Concentrazione medie di tempo secco dei principali macroinquinanti</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD₅/L	300
Sostanza organica come COD	mgCOD/L	600
Azoto totale di Kjeldahl (TKN)	mgN/L	60
Solidi sospesi totali (SST)	mgSST/L	350
Fosforo totale (P)	mgP/L	7,5

3.3 LIMITI ALLO SCARICO E TEMPERATURE DI PROGETTO

L'effluente deve rispettare i limiti allo scarico indicati nelle Tabelle 1, 2 e 3 dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.Lgs 152/06, riepilogati per i principali macroinquinanti in Tabella 3.

Per quanto riguarda le temperature di progetto si osserva che, dal momento che le cinetiche di crescita batteriche risultano rallentate al decrescere della temperatura in vasca, la verifica delle volumetrie di processo biologico è stato cautelativamente effettuato con riferimento alle condizioni di temperatura minima invernale, assunta pari a 12 °C. La temperatura massima estiva di 24 °C è stata invece considerata per le verifiche dei sistemi di aerazione, dato che la solubilità dell'ossigeno si riduce all'incrementare della temperatura del liquame. Inoltre, stante l'introduzione di uno schema di processo biologico ad aerazione intermittente, le condizioni estive sono quelle che determinano il maggior fabbisogno di ossigeno durante le fasi aerate. Infatti, l'incremento delle velocità delle

reazioni biochimiche di nitrificazione consente di ridurre la durata delle fasi aerate e prolungare le fasi non aerate, allo scopo di minimizzare i consumi energetici. Ciò però comporta un fabbisogno di picco orario di ossigeno maggiore, in quanto il quantitativo di ossigeno necessario al completamento delle reazioni di ossidazione/nitrificazione deve essere fornito in un tempo inferiore.

Tabella 3: Limiti da rispettare allo scarico e temperature di riferimento

Parametro	u.m.	Valore
<u>Limiti allo scarico</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	mg/L	25
Sostanza organica come COD	mg/L	125
Solidi sospesi totali (SST)	mg/L	35
Azoto totale (come TN)	mg/L	15
Fosforo totale (come P)	mg/L	2
E.coli	UFC/100mL	5000
<u>Temperature di progetto</u>		
Temperatura minima di progetto	°C	12
Temperatura massima di progetto	°C	24

3.4 VERIFICA DEI CARICHI IDRAULICI E INQUINANTI ATTUALI

Nel presente paragrafo vengono riepilogati i risultati dell'elaborazione dei dati di gestione dell'impianto allo stato attuale, in termini di portata in ingresso e concentrazioni dei principali macroinquinanti. L'elaborazione mostra che i carichi attuali risultano inferiori a quelli corrispondenti alla potenzialità autorizzata e di progetto dell'impianto, garantendo quindi un ampio margine di potenzialità di trattamento residua che consentirà di assorbire i futuri allacciamenti.

Acqua Novara VCO ha fornito i dati di portata media mensile rilevata in uscita dai comparti di sedimentazione secondaria riferiti ad un arco temporale che copre gli anni tra il 2011 e il 2020 e i dati di analisi delle concentrazioni dei principali inquinanti in ingresso e in uscita dall'impianto riferiti al periodo 2018÷2020.

Il modus operandi con il quale si è proceduto a verificare le caratteristiche qualitative e quantitative del refluo attualmente trattato nell'impianto è stato il seguente:

- Riordino dei dati;
- Rimozione di valori anomali imputabili a errori di misurazione da parte dei sensori o del personale addetto;

- Analisi statistica.

L'analisi dei dati forniti per quanto riguarda le portate, ripuliti dai valori anomali, vengono riportati in Tabella 4.

Tabella 4: Analisi delle portate medie giornaliere trattate nel periodo 2011÷2020

Parametro	u.m.	Valore
Valore medio	m³/d	5260
Valore minimo	m ³ /d	3716
Valore massimo	m ³ /d	7209
75° percentile	m ³ /d	5755

In Tabella 5 viene riportato il calcolo per ricavare la potenzialità attuale dell'impianto su base idraulica. Il valore di dotazione idrica pro-capite utilizzato nei calcoli è stato fornito da parte di Acqua Novara VCO.

Tabella 5: Calcolo della potenzialità effettiva attuale su base idraulica

Parametro	u.m.	Valore
Dotazione idrica pro-capite (d)	L/(AE·d)	250
Coefficiente di afflusso in fognatura (α)	-	0,8
Portata media giornaliera (Q_m)	m ³ /d	5260
Potenzialità attuale su base idraulica [$P_{dr} = Q_m \cdot 1000 / (d \cdot \alpha)$]	AE	26300

I valori medi delle concentrazioni dei principali inquinanti rilevati nel periodo 2018÷2020 vengono riportati in Tabella 6.

Tabella 6: Valori medi delle concentrazioni inquinanti in ingresso nel triennio 2018÷2020

Parametro	u.m.	Valore			
		2018	2019	2020	MEDIA
Sostanza organica come BOD ₅	mg/L	227	223	195	215
Sostanza organica come COD	mg/L	500	409	369	426
Azoto totale N tot	mg/L	38,0	40,0	41,6	39,9
Solidi sospesi totali (SST)	mg/L	-	91	79	85
Fosforo totale (P)	mg/L	5,9	5,7	5,1	5,6

Dalla Tabella 6 si evince una peculiarità del refluo in ingresso all'impianto di Bellinzago Novarese, ovvero la bassa concentrazione di SST rispetto a valori tipici rilevati in impianti simili e soprattutto in riferimento alla qualità generale del refluo in ingresso. Tali valori possono derivare da un possibile effetto di solubilizzazione dovuto a un elevato tempo di permanenza del refluo all'interno della rete fognaria.

In Tabella 7 sono riportati i carichi medi di inquinanti in ingresso, riferiti alle concentrazioni e alla portata medie attuali, e i valori corrispondenti degli abitanti equivalenti serviti valutati sulla base degli apporti pro-capite tipici per reflui di origine civile.

Tabella 7: Stima degli abitanti equivalenti afferenti attualmente all'impianto con riferimento agli apporti pro-capite tipici per reflui civili

Parametro	u.m.	Valore
<u>Carichi medi inquinanti in ingresso registrati attualmente</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	kgBOD ₅ /d	1130
Sostanza organica come COD	kgCOD/d	2241
Azoto totale di Kjeldahl (TKN)	kgN/d	210
Solidi sospesi totali (SST)	kgSST/d	446
Fosforo totale (P)	kgP/d	29
<u>Apporti inquinanti pro-capite tipici per reflui civili</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	gBOD ₅ /AE/d	60
Sostanza organica come COD	gCOD/AE/d	120
Azoto totale di Kjeldahl (TKN)	gN/AE/d	12
Solidi sospesi totali (SST)	gSST/AE/d	70
Fosforo totale (P)	gP/AE/d	1,5
<u>Stima degli abitanti equivalenti effettivamente serviti</u>		
Potenzialità su base BOD ₅	AE	18837
Potenzialità su base COD	AE	18675
Potenzialità su base TKN	AE	17480
Potenzialità su base SST	AE	6374
Potenzialità su base P	AE	19554

Facendo riferimento alla serie di dati analitici a disposizione relativi all'anno 2020, molto completa e rappresentativa in quanto costituita da valori derivanti da due campionamenti a settimana su tutto l'anno, è stato possibile verificare che, anche facendo riferimento cautelativamente al 75° percentile dei valori dei diversi parametri, le potenzialità effettive valutate sulla base degli apporti pro-capite tipici risultano inferiori alla potenzialità stimata su base idraulica. In Tabella 8 viene

mostrato il confronto tra la potenzialità di progetto e le potenzialità effettive attuali riferite ai carichi medi 2108÷2020 e corrispondenti al 75° percentile delle analisi effettuate nel corso del 2020. È evidente che la potenzialità di trattamento residua dell'impianto nella configurazione di progetto risulta molto elevata sia dal punto di vista idraulico che dal punto di vista dei carichi inquinanti.

Tabella 8: Confronto tra carichi e potenzialità di progetto e corrispondente ai dati reali (medi e 75° percentile)

Parametro	u.m.	VALORE DI PROGETTO	VALORE MISURATO ALLO STATO ATTUALE	
			MEDIA 2018÷2020	75° %ile 2020
<u>Concentrazioni in ingresso</u>				
Sostanza organica come BOD ₅	mg/L	300	215	266
Sostanza organica come COD	mg/L	600	426	454
Azoto totale di Kjeldahl (TKN)	mg/L	60	39.9	50.2
Solidi sospesi totali (SST)	mg/L	350	85	99
Fosforo totale (P)	mg/L	7.5	5.6	6.4
<u>Portata e carichi in ingresso</u>				
Portata media giornaliera	m ³ /d	7200	5260	
Sostanza organica come BOD ₅	kgBOD ₅ /d	2160	1130	1397
Sostanza organica come COD	kgCOD/d	4320	2241	2388
Azoto totale di Kjeldahl (TKN)	kgN/d	432	210	264
Solidi sospesi totali (SST)	kgSST/d	2520	446	521
Fosforo totale (P)	kgP/d	54	29	34
<u>Stima degli abitanti equivalenti serviti</u>				
Potenzialità su base idraulica	AE	36000	26300	
Potenzialità su base BOD ₅	AE	36000	18837	23276
Potenzialità su base COD	AE	36000	18675	19900
Potenzialità su base TKN	AE	36000	17480	21993
Potenzialità su base SST	AE	36000	6374	7439
Potenzialità su base P	AE	36000	19554	22373

4 RISULTATI DELLE VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO

4.1 GRIGLIATURA GROSSOLANA

Al fine di poter permettere il trattamento della $5Q_m$ ($1500 \text{ m}^3/\text{h}$) si prevede la realizzazione di una nuova sezione di grigliatura grossolana costituita da n.1 griglia meccanica sub-verticale a barre con luce di filtrazione di 20 mm, che permette di sottoporre ad un'efficace grigliatura grossolana la totalità dei reflui addotti all'impianto.

La griglia grossolana viene installata all'interno di un nuovo canale in calcestruzzo alimentato dal canale in ingresso.

Si riporta in Tabella 9 le principali caratteristiche tecniche e dimensionali della nuova griglia grossolana prevista in progetto.

Tabella 9: Caratteristiche tecniche del nuovo comparto di grigliatura grossolana

Parametro	u.m.	Valore
<u>Dati di progetto</u>		
Portata massima trattata ($5Q_m$)	m^3/h	1500
Portata media trattata (Q_m)	m^3/h	300
<u>Caratteristiche tecniche</u>		
Numero linee di grigliatura	-	1
Luce di filtrazione	mm	20
Larghezza canale	mm	1200
Inclinazione griglia	°	75
Perdita di carico alla portata massima in acqua pulita	mm	200
Stima della perdita di carico massima a griglia sporca	mm	400
Altezza canale	mm	1500
Altezza di scarico (dal fondo del canale)	mm	2500
Altezza totale griglia	mm	3787
Altezza zona filtrante	mm	1000
Potenza installata	kW	0,75

L'apparecchiatura è dotata di un sistema di pulizia costituito da n.2 pettini pulitori con denti in acciaio, posti in movimento da due giri di catenaria del tipo a rulli. Il sistema di pulizia sarà automaticamente attivato dall'incremento del livello idraulico a monte della macchina associato al graduale sporcamento della griglia (aumento perdite di carico), rilevato grazie ad un misuratore di livello radar di nuova installazione.

Il materiale grigliato estratto dal flusso di refluo in ingresso viene convogliato da un trasportatore a coclea all'esterno del canale e raccolto in un apposito cassonetto posto a livello del piano stradale. La nuova griglia grossolana sarà isolabile idraulicamente e by-passabile per esigenze manutentive o per problemi di funzionamento agendo su apposite paratoie ad azionamento manuale. L'intervento prevede infatti l'installazione n.2 paratoie manuali in canale per l'intercettazione del flusso a monte e a valle della griglia.

Nel caso in cui si verificasse la rottura del manufatto sgrigliatore si attiverà il canale di by-pass di sicurezza posto in parallelo al manufatto di alloggiamento del comparto di grigliatura.

4.2 GRIGLIATURA FINE

Il dimensionamento idraulico del nuovo sistema di grigliatura fine di progetto, è stato eseguito anch'esso utilizzando la portata massima avviabile in tempo di pioggia, ovvero la 5Qm.

Si prevede la realizzazione di n.2 canali di grigliatura con ripartizione uniforme al 50% della portata in arrivo da trattare: ogni griglia dovrà essere per tanto in grado di trattare una portata di 750 m³/h.

All'interno dei canali saranno alloggiate n.2 griglie fini a cestello con luce di filtrazione di 3 mm, che permette di sottoporre ad un'efficace grigliatura fine il refluo in arrivo dal canale di grigliatura grossolana. È stata scelta questa tecnologia in quanto queste griglie hanno poche perdite di carico e hanno un sistema integrato di compattazione del materiale grigliato separato. Inoltre, presentano un sistema di pulizia automatico che riduce la manutenzione da effettuare al macchinario.

Ogni singola griglia si compone di un cilindro filtrante che ruota attorno al suo asse, per mezzo di un motoriduttore, convogliando il materiale grigliato all'interno di una tramoggia di carico installata al centro del filtro. Il tamburo rotante si avvia con un sensore di livello e, con la rotazione del tamburo, gli ugelli spruzzatori si attivano e rimuovono, grazie alla pressione dell'acqua di lavaggio, i solidi, depositandoli nella tramoggia interna dove la spirale con albero li convoglia allo scarico. Il materiale grigliato estratto dal flusso di refluo in ingresso viene lavato, disidratato, compattato e convogliato da un trasportatore a coclea all'esterno del canale e raccolto in un apposito cassonetto posto a livello del piano stradale.

Si riportano in tabella le principali caratteristiche tecniche e dimensionali delle nuove griglie fini previste in progetto.

Tabella 10: Stazione di grigliatura fine del refluo in ingresso

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Griglia fine a tamburo rotante</u>		
Numero linee di grigliatura in funzione	-	2
Portata massima singola griglia	m ³ /h	750
Luce di filtrazione	mm	3

Diametro del cestello filtrante	mm	1150
Diametro della coclea	mm	273
Lunghezza ingombro totale singola macchina	m	5
Altezza ingombro totale singola macchina	m	3,5
Potenza installata	kW	1,10

4.3 DISSABBIATURA/DISOLEATURA

Il materiale solido in ingresso agli impianti di depurazione è costituito, oltre che dal materiale grigliato che può essere rimosso nelle sezioni di grigliatura grossolana e fine, anche dalle sabbie che possono causare problemi di intasamento delle tubazioni e deterioramento delle apparecchiature elettromeccaniche poste a valle.

Il comparto esistente di dissabbiatura-disoleatura non presenta caratteristiche dimensionali e funzionalità adeguate ad un efficace trattamento dei carichi di progetto. Per tali ragioni il progetto prevede la realizzazione di un nuovo comparto di dissabbiatura e disoleatura aerato di tipo longitudinale a servizio dell'impianto.

Il dimensionamento del comparto di dissabbiatura/disoleatura viene effettuato attraverso verifiche di natura idraulica, dipendenti dalle portate di progetto considerate, verificando il rispetto di opportuni vincoli sui principali parametri progettuali, desumibili dalla letteratura di settore (*inter alia* Metcalf & Eddy, 2014; Riva e Guadagni, 2011; Bonomo, 2008; Masotti, 1987).

I risultati del dimensionamento delle linee in progetto sono riportati in Tabella 11.

Tabella 11: Dimensionamento del nuovo comparto di dissabbiatura e disoleatura

Parametro	u.m.	Valore
<u>Parametri progettuali di riferimento</u>		
Tempo minimo di residenza idraulica con Q_m	min	15
Tempo minimo di residenza idraulica con $5Q_m$	min	3
Velocità massima di attraversamento vasca con $5Q_m$	m/s	0,03
Portata d'aria da fornire per unità di lunghezza della vasca	Nm ³ /h/m	20
<u>Caratteristiche del comparto di dissabbiatura-disoleatura</u>		
Numero linee di dissabbiatura-disoleatura	-	1
Lunghezza della vasca	m	14
Larghezza zona di dissabbiatura	m	4,5
Larghezza del canale laterale di calma per la disoleatura	m	1,2
Larghezza complessiva vasca	m	6,0
Altezza utile in vasca sopra i diffusori	m	3,2

Altezza utile massima in vasca	m	4,3
Superficie della sezione trasversale di ogni dissabbiatore ("sezione efficace")	m ²	14,4
Volume utile della zona di dissabbiatura	m ³	246
Volume utile totale	m ³	303
Portata d'aria fornita per linea	Nm ³ /h	280
Portata d'aria specifica per unità di lunghezza della vasca	Nm ³ /h/m	20
Pressione differenziale richiesta alle soffianti	mbar	370
Numero di soffianti a lobi previste	-	1+1R
Potenza unitaria nominale	kW	4,0

Condizioni operative previste

Portata massima trattata (5Q _m)	m ³ /h	1500
Portata media trattata (Q _m)	m ³ /h	300
Tempo di residenza idraulica in corrispondenza di Q _m	min	49,2
Tempo di residenza idraulica in corrispondenza di 5Q _m	min	9,8
Velocità di attraversamento in corrispondenza di 5Q _m (valutata sulla sola "sezione efficace")	m/s	0,029

L'aria di agitazione sarà fornita da n.2 soffianti a lobi, con configurazione 1+1R, installate all'interno dell'edificio esistente che ospita attualmente il vecchio compressore a servizio dell'attuale linea di dissabbiatura.

Le sabbie e le sostanze surnatanti separate in vasca sono sospinte rispettivamente nella tramoggia di fondo e nel pozzetto di raccolta da parte di un ponte va e vieni, munito di raschia di fondo e di superficie.

L'estrazione delle sabbie viene effettuata mediante una pompa centrifuga sommergibile, tramite cui la miscela acqua-sabbie è inviata ad un classificatore-lavatore, posizionato a fianco della vasca. I grassi e gli oli separati nel canale di disoleatura vengono raccolti all'interno di un apposito pozzetto di raccolta nel quale è installata una pompa centrifuga sommergibile, che provvede a inviarli in linea fanghi. Il pozzetto sarà dotato inoltre di n.2 interruttori di livello galleggianti per gestire il funzionamento delle pompe con una logica attacca-stacca.

Si riportano in Tabella 12 le caratteristiche tecniche delle utenze elettromeccaniche a servizio del comparto.

Tabella 12: Caratteristiche pompe estrazione sabbie, pompe estrazione oli e classificatore

Parametro	u.m.	Valore
<u>Pompa estrazione sabbie</u>		
N. pompe installate	-	1
Portata unitaria	m ³ /h	15
Prevalenza	m	4,5
Potenza unitaria nominale	kW	1,50
<u>Classificatore-lavatore sabbie</u>		
N. classificatori	-	1
Portata nominale miscela acqua-sabbie	m ³ /h	36
Portata massima miscela acqua-sabbie	m ³ /h	54
Grado di separazione con granulometria ≥ 0,2 mm	%	95
<u>Pompe estrazione grassi e oli</u>		
N. pompe installate	-	2
Portata unitaria	m ³ /h	10
Prevalenza	m	7,0
Potenza unitaria nominale	kW	1,50

4.4 CONSUMO DI ACQUA DI LAVAGGIO NEI NUOVI PRE-TRATTAMENTI

Le nuove griglie fini a cestello che verranno installate sono dotate di sistema integrato di lavaggio, per permettere un corretto ed efficiente utilizzo di tutte le componenti, in particolare del vaglio filtrante, della zona di trasporto e del tubo di trasporto. Per garantire un corretto funzionamento delle griglie, è necessario che esse siano connesse alla rete idrica di acqua di servizio dell'impianto, tramite un attacco che supporti una portata di 4,8 m³/h e una pressione di 5 bar. Normalmente si considera un utilizzo massimo di circa 4 ore al giorno, per un consumo giornaliero pari a 19,2 mc/d. Il classificatore-lavatore delle sabbie richiede invece un apporto di acqua di lavaggio pari a 1,5 m³/h alla pressione di 5 bar. Il suo funzionamento è temporizzato, attivandosi in corrispondenza delle fasi di alimentazione della miscela acqua-sabbie rilanciate dalla pompa sommergibile installata nella tramoggia del dissabbiatore. Si può considerare un funzionamento massimo di 3 ore al giorno, per un consumo giornaliero di 4,5 m³/d.

La rete di acqua industriale a servizio dell'impianto è equipaggiata con pompe con range di portata 20-48 m³/h e prevalenza di 13 bar.

I consumi attuali di acqua di servizio dell'impianto sono imputabili ai lavaggi delle griglie esistenti, all'utilizzo di acqua per il polielettrolita necessario per le centrifughe fanghi e all'utilizzo di spinkler per

il controllo delle schiume nei sedimentatori secondari e nell'ispessitore statico. In media i consumi dell'impianto sono pari a circa 380 m³/d.

I consumi imputabili alle nuove griglie sono quindi pari a circa il 6% dei consumi attuali (che peraltro comprendono anche quelli per la pulizia delle griglie finì esistenti che verranno dismesse). Considerando quindi la percentuale ridotta di consumi rispetto al totale e che le caratteristiche della pompa esistente sono sufficienti al prelievo necessario per le esigenze delle nuove apparecchiature, si ritiene che l'impianto esistente sia adeguato, senza necessità di ulteriori interventi.

4.5 STAZIONE DI SOLLEVAMENTO

La stazione di sollevamento esistente è costituita da n.2 pompe sommergibili, installate all'interno di un manufatto esistente di dimensioni planimetriche nette pari a 3,05 m x 6 m. La stazione di sollevamento è predisposta per poter ospitare sino a n.4 pompe sommergibili.

Si prevede pertanto l'installazione di n.2 pompe centrifughe sommergibili di caratteristiche analoghe alle n.2 pompe centrifughe sommergibili esistenti, in maniera da avere una stazione di sollevamento con 4 pompe complessive in configurazione 3+1R, al fine di poter sollevare alle successive sezioni di trattamento la portata massima di 900 m³/h.

Si prevede inoltre l'installazione di inverter a servizio delle nuove pompe di sollevamento, grazie ai quali la portata sollevata potrà essere modulata automaticamente in funzione del mantenimento di un set-point impostabile di livello sul segnale del trasmettitore di livello attualmente installato, con contemporaneo controllo di non superamento della portata massima complessivamente sollevata al trattamento biologico (3Q_m), attraverso un nuovo misuratore elettromagnetico sulla condotta comune di mandata. Vengono inoltre installati interruttori di livello a galleggiante per gestire, in caso di emergenza legata ad esempio al fuori servizio del misuratore di livello, il funzionamento delle pompe con una logica attacca-stacca.

Vengono riassunte in Tabella 13 le caratteristiche delle nuove pompe di sollevamento, riportando anche le verifiche effettuate sul volume di accumulo disponibile all'interno del manufatto.

Tabella 13: Caratteristiche tecniche delle pompe di sollevamento iniziale

Parametro	u.m.	Valore
<u>Dati di progetto</u>		
Portata media da avviare a trattamento (Q _m)	m ³ /h	300
Portata massima da avviare a trattamento (3Q _m)	m ³ /h	900
Numero di pompe installate attualmente	-	2
Numero di pompe di progetto	-	2
Numero di pompe con funzione di riserva attiva	-	1
Configurazione	-	3+1R

4.6 SEZIONE DI TRATTAMENTO BIOLOGICO

4.6.1 Descrizione del comparto

La sezione di trattamento biologico dell'impianto di Bellinzago Novarese si configura secondo il classico schema Pre-denitrificazione + Vasca di ossidazione/nitrificazione + precipitazione chimica in simultanea del fosforo. La nuova configurazione di progetto prevede l'installazione di un sistema di diffusione dell'aria a bolle fini nel comparto di denitrificazione e potenziare il parco soffianti per la fornitura dell'aria al fine di implementare lo schema ad aerazione intermittente nell'intera volumetria del comparto biologico.

Nei paragrafi successivi vengono descritti più dettagliatamente i comparti di trattamento biologico che compongono la filiera di processo.

4.6.1.1 Denitrificazione

La sezione di pre-denitrificazione in vasca circolare è caratterizzata da un volume di 1168 m³ (D=21,9 m, H= 3,1 m) ed è equipaggiata di un miscelatore sommergibile per il mantenimento in sospensione della biomassa.

Dalle verifiche di processo si è constatato come il sistema di miscelazione attualmente in servizio non risultasse idoneo a garantire una corretta miscelazione. Inoltre, si è notato anche come la tubazione veicolante la miscela aerata dal comparto di ossidazione/nitrificazione sia posizionata nelle adiacenze dei fori di uscita della vasca generando possibili cortocircuiti di natura idraulica.

Al fine di implementare le logiche di aerazione intermittente nella vasca attualmente adibita alla denitrificazione si prevede di installare una rete di diffusori a bolle fini all'interno della vasca. La rete sarà alimentata da una nuova soffiante a lobi da 75 kW, operante sotto inverter, in grado di fornire una portata d'aria massima pari a 3000 Nm³/h alla pressione differenziale di 400 mbar

La vasca è attualmente equipaggiata con un sensore per il monitoraggio in tempo reale del potenziale redox. In aggiunta si prevede di installare un misuratore di ossigeno in modo da poter regolare la fornitura dell'aria nelle fasi aerate in funzione del mantenimento di un opportuno setpoint di ossigeno disciolto.

Dal pozzetto interno di nuova realizzazione in uscita il refluo defluisce attraverso una tubazione DN700 all'interno del ripartitore posizionato in testa alla vasca di ossidazione/nitrificazione.

4.6.1.2 Ossidazione/nitrificazione

La sezione di ossidazione/nitrificazione è caratterizzata da un volume totale utile di 2557 m³ ed è suddivisa in due linee parallele (LxWxH = 25,6 m x 11,1 m x 4,5 m). Il sistema di aerazione esistente è costituito da una rete di dischi diffusori a membrana a bolle fini da 9" (450 per vasca) in grado di soddisfare il fabbisogno di ossigeno di progetto. La rete è alimentata attualmente da n.3 soffianti a

lobi (2+1R), con alimentazione indipendente a ciascuna linea di trattamento. Due soffianti esistenti da 30 kW sono in grado di fornire una portata d'aria massima pari a 1400 Nm³/h. La terza soffiante, da 45 kW, è in grado di fornire una portata massima di 2000 Nm³/h. Nella nuova configurazione è prevista la sostituzione della soffiante di riserva con una nuova soffiante da 90 kW, in grado di fornire una portata d'aria pari a 3000 Nm³/h alla pressione differenziale di 550 mbar, potendo così fungere da riserva sia per la fornitura d'aria alle attuali vasche di ossidazione/nitrificazione sia all'attuale vasca di denitrificazione.

La dotazione strumentale attuale prevede in ciascuna vasca una sonda per la misura dell'ossigeno disciolto. Essa verrà integrata con l'installazione di n.2 sonde di misura della concentrazione di azoto ammoniacale, necessarie per la gestione dell'alternanza delle fasi aerobiche di nitrificazione e anossiche di denitrificazione nello schema ad aerazione intermittente e da n.2 sensori ottici di misura della concentrazione di SST, utili per la gestione dell'estrazione del fango di supero e il mantenimento di adeguate concentrazioni di biomassa in vasca.

4.6.2 Implementazione di un processo di nitrificazione / denitrificazione ad aerazione intermittente

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

Fra le diverse tecnologie che permettono di rimuovere i composti azotati, la più utilizzata è quella che prevede di articolare il processo biologico secondo lo schema di pre-denitrificazione/nitrificazione, noto come schema di Ludzack-Ettinger modificato (Modified Ludzack Ettinger, MLE), in cui il refluo, relativamente ricco di composti rapidamente biodegradabili, viene alimentato ad una vasca mantenuta permanentemente in condizioni anossiche nella quale avvengono le reazioni di riduzione dei nitrati ad azoto gassoso. Il fango viene quindi avviato ad un reattore separato nel quale avvengono le reazioni di ossidazione del carbonio e di nitrificazione dell'azoto ammoniacale. La concentrazione di nitrati nell'effluente viene mantenuta bassa riciclando 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 del processo MLE nella rimozione dell'azoto, il processo ad aerazione intermittente permette di ottenere ulteriori vantaggi, identificabili in:

- ottimizzazione energetica: l'aerazione viene effettuata solo per il tempo effettivamente necessario ad ottenere gli effetti voluti di nitrificazione (e contestualmente di rimozione della sostanza organica), mentre nei periodi di basso carico vengono incrementati i tempi di spegnimento delle soffianti. La fornitura dell'aria ottimale viene calcolata in tempo reale in funzione della concentrazione di ossigeno disciolto in vasca e delle sue variazioni, ottimizzando di

conseguenza la frequenza di funzionamento delle soffianti. Il ricircolo della miscela aerata viene eliminato, dal momento che i nitrati prodotti in una fase aerata vengono ridotti ad azoto gassoso nella fase anossica successiva all'interno della stessa volumetria di processo;

- miglioramento della qualità dell'effluente e riduzione del contenuto medio di azoto: potendo bilanciare automaticamente le fasi di nitrificazione e denitrificazione in funzione degli effetti del carico di nutrienti nel refluo da depurare, è possibile ottimizzare la performance depurativa;
- riduzione della produzione di fanghi: sottoponendo alternativamente i fanghi a condizioni anossiche e aerate si induce nella biomassa uno stato di stress, che comporta una riduzione dei coefficienti di crescita cellulare e quindi una riduzione della quantità di fango di supero da rimuovere dal sistema (Andreottola *et al.*, 2008).

Il progetto prevede l'implementazione di un sistema avanzato di automazione e controllo che permette di sottoporre ad aerazione intermittente l'intera volumetria biologica disponibile così da crearvi periodicamente, con cicli di durata regolata automaticamente in funzione del monitoraggio di parametri di processo (ossigeno e ammoniaca in vasca), condizioni aerobiche per la nitrificazione e la rimozione della sostanza organica e anossiche per la riduzione dei nitrati ad azoto gassoso. Dal punto di vista della dotazione strumentale necessaria per l'implementazione del suddetto controller, si prevede il mantenimento della strumentazione esistente a servizio dell'attuale comparto biologico, costituita da due sonde di ossigeno nelle linee di nitrificazione e l'installazione di una terza sonda dell'ossigeno nell'attuale vasca di denitrificazione. Infine, saranno installate due sonde per la misura della concentrazione di ammoniaca nelle attuali vasche di nitrificazione.

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

L'implementazione delle logiche di aerazione intermittente permette di dismettere le pompe per il ricircolo della miscela aerata in quanto non più necessarie al processo.

4.6.3 Modello di calcolo

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

che assumono a base della progettazione il parametro BOD_5 , ritenuto indicativo del livello di biodegradabilità dei substrati carboniosi avviati a trattamento.

Tuttavia, benché ancora oggi applicato negli approcci di dimensionamento convenzionali, il BOD_5 presenta numerose limitazioni come parametro di caratterizzazione del refluo influente per motivi legati ai tempi di esecuzione del test (da 5 a 20 giorni) e alla scarsa rappresentatività delle reali dinamiche del processo depurativo, poiché il tempo di residenza idraulico di un impianto di depurazione per reflui 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*, RBCOD);
- COD particolato biodegradabile X_s (*Slowly Biodegradable COD*, SBCOD);
- 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 contenuto di RBCOD riveste inoltre un ruolo determinante nel dimensionamento del comparto di denitrificazione, dal momento che il tasso di riduzione di nitrato ad azoto gassoso biatomico è fortemente influenzato dalla natura del substrato organico che funge da donatore di elettroni: in presenza di RBCOD, la velocità di denitrificazione risulta significativamente maggiore rispetto al caso in cui sia disponibile esclusivamente SBCOD; infine, la velocità di denitrificazione cala drasticamente in presenza di solo substrato di origine endogena.

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

Una volta definiti i limiti allo scarico e fissati i parametri cinetici e stechiometrici, il metodo calcola, secondo una procedura di ottimizzazione iterativa di alcuni parametri operativi, il valore minimo di età del fango che occorre garantire al sistema per raggiungere la concentrazione di azoto ammoniacale e azoto totale desiderata nell'effluente alla temperatura di processo selezionata. Il modello è stato utilizzato per verificare l'adeguatezza delle volumetrie di processo disponibili, il calcolare il fabbisogno di ossigeno e, più in generale, determinare i valori di tutti i parametri operativi, facendo riferimento alla configurazione di aerazione intermittente prevista sull'impianto.

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

- input dei dati di caratterizzazione del liquame influente da trattare, dei limiti di riferimento imposti allo scarico e del valore di temperatura di progetto;
- input dei parametri cinetici e stechiometrici per la biomassa eterotrofa ed autotrofa;
- input delle condizioni operative in termini di concentrazione x_b di SST mantenuta nel comparto biologico, di concentrazione di ossigeno disciolto O_a in vasca di ossidazione-nitrificazione;
- scelta di un valore di primo tentativo della frazione anossica f_{xt} , corrispondente alla percentuale del volume complessivo del comparto biologico occupata dal comparto di denitrificazione;
- calcolo dell'età del fango di progetto (SRT);
- calcolo dei valori di massa di solidi sospesi volatili SSV associati alla biomassa attiva, al residuo endogeno e al materiale inerte;
- calcolo della massa di solidi sospesi totali SST complessivamente necessari a partire dalla frazione volatile della biomassa SSV/SST mantenuta in vasca;
- calcolo del volume totale V_t per il processo biologico (ossidazione/nitrificazione e denitrificazione), in base alla concentrazione di SST ipotizzata in vasca;
- calcolo della capacità di nitrificazione del sistema (N_c), ovvero della massa di nitrati prodotti nel comparto ossidativo per unità di volume trattato;
- calcolo del potenziale di denitrificazione richiesto (D_p), ossia del quantitativo di nitrati che il sistema è effettivamente in grado di rimuovere nel volume anossico calcolato, e della capacità di denitrificazione (D_c), ossia del quantitativo di nitrati effettivamente da rimuovere;
- calcolo della concentrazione dei principali macroinquinanti nell'effluente;
- ottimizzazione iterativa dei parametri f_{xt} ed eventualmente x_b per consentire il raggiungimento degli standard depurativi richiesti, fino al calcolo del valore definitivo di SRT ;
- determinazione della produzione di fanghi di supero nelle condizioni di progetto;
- calcolo del fabbisogno di ossigeno e dimensionamento del sistema di aerazione, con riferimento alle condizioni più gravose di temperatura massima.

Sono stati richiesti ad Acqua Novara VCO i dati relativi alla concentrazione di ossigeno e concentrazione di SST in vasca di ossidazione/nitrificazione al fine di calibrare il modello di calcolo e tutti i parametri necessari.

Una volta conclusa la calibrazione sono stati inseriti i carichi di progetto ed è stato verificato l'intero comparto biologico nella nuova configurazione di processo.

4.6.4 Parametri cinetici e stechiometrici

Come noto, i parametri cinetici di crescita e scomparsa cellulare sono influenzati dalle condizioni ambientali (pH, temperatura, ossigeno disciolto). In particolare, la dipendenza dalla temperatura

viene di solito stimata utilizzando relazioni di tipo Van't Hoff-Arrhenius, assumendo come riferimento i valori delle cinetiche a 20 °C: per un generico parametro p , tale relazione assume la forma

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

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 per tutte le ipotesi di progetto sono stati ricavati da letteratura (Ekama *et al.*, 1984; Metcalf & Eddy, 2014) e sono riassunti in Tabella 14.

Tabella 14: Parametri cinetici e stechiometrici

Parametro	Simbolo	Unità di misura	Valore
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	μ_{n20}	d ⁻¹	0,55
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,123
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T di progetto (12°C)	μ_{nT}	d ⁻¹	0,217
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	b_{n20}	d ⁻¹	0,04
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,029
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T di progetto (12°C)	b_{nT}	d ⁻¹	0,032
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa nitrificante relativa al fabbisogno di substrato a 20 °C	K_{n20}	mgN-NH ₄ /L	1,0
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura		-	1,123
Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa nitrificante relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto (12°C)	K_{nT}	mgN-NH ₄ /L	0,395
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 (12°C)	b_{hT}	d ⁻¹	0,191
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 (12°C)	$K_{1,T}$	gN-NO ₃ /gSSV/d	0,167
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 (12°C)	$K_{2,T}$	gN-NO ₃ /gSSV/d	0,057
Frazione di azoto nel materiale particolato	f_n	gN/gSSV	0,1
Frazione di azoto organico solubile non biodegradabile nel refluo in ingresso	f_{nu}	-	0,03
Residuo endogeno non biodegradabile (frazione non biodegradabile del COD derivante dalla lisi cellulare)	f	-	0,20
Fattore di conversione COD/SSV	f_{cv}	gCOD/gSSV	1,48

4.6.5 Risultati della verifica

La verifica comparto biologico è stata effettuata nella condizione più gravosa per il processo biologico, ovvero alla temperatura minima di 12 °C.

Si è proceduto inoltre a verificare il comparto di aerazione alla temperatura di 24°C dato che la solubilità dell'ossigeno si riduce all'incrementare della temperatura del liquame.

Tabella 15: Verifica del comparto di ossidazione/nitrificazione

Parametro	u.m.	Valore	
		T=12°C	T=24°C
<u>Condizioni operative</u>			
Portata media giornaliera in ingresso Q _m	m ³ /h	300	
	m ³ /d	7200	
Portata massima giornaliera in ingresso Q _{pb}	m ³ /h	900	
Temperatura di progetto	°C	12	24
Concentrazione ossigeno disciolto nelle fasi aerate	gO ₂ /m ³	2,0	
Concentrazione di biomassa nel comparto biologico	kgSST/m ³	3,9	3,8
Concentrazione effettiva di solidi sospesi in vasca (comprensiva dei precipitati da defosfatazione chimica)	kgSST/m ³	4,0	
Rapporto di ricircolo dei fanghi dal comparto di sedimentazione	-	1,0	
Portata media di fanghi di ricircolo	m ³ /h	300	
Frazione volatile nel fango attivo	gSSV/gSST	0,75	

Battente idrico nella vasca di ex denitrificazione	m	3,10
Battente idrico nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione	m	4,50
Volume disponibile nella vasca di ex denitrificazione	m ³	1168
Volume biologico disponibile nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione	m ³	2557
Volume biologico complessivo disponibile	m ³	3725

Risultati delle verifiche di dimensionamento

Frazione anossica (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	27,4%	45,0%
Età del fango di progetto SRT	d	10,0	11,1
Carico del fango (riferito a Q _m)	kgBOD ₅ /kgSSV/d	0,20	0,20
	kgBOD ₅ /kgSST/d	0,15	0,15
Capacità di nitrificazione del sistema	gN/m ³	36,3	41,6
Potenziale di denitrificazione	gN/m ³	33,4	60,5
Produzione fanghi di supero biologici	kgSST/d	1435	1273
Produzione fanghi di supero chimici	kgSST/d	51	76
Produzione totale fanghi di supero	kgSST/d	1486	1349
Portata volumetrica di fanghi di supero biologico in condizioni medie	m ³ /d	186	168

Caratteristiche attese dell'effluente chiarificato

Sostanza organica come BOD ₅	gBOD ₅ /m ³	< 25	< 25
Sostanza organica come COD	gCOD/m ³	< 125	< 125
Solidi sospesi totali (SST)	gSST/m ³	< 35	< 35
Azoto totale (come N)	gN/m ³	< 15	< 15
Fosforo totale (come P)	gN/m ³	< 2	< 2

Verifica e dimensionamento dei sistemi di aerazione

Fabbisogno complessivo di ossigeno nelle condizioni di progetto $M(O_2)$	kgO ₂ /d	3078	3264
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) <u>da soddisfare nelle fasi aerate</u>	kgO ₂ /h	176,6	247,3
Aliquota di AOR da soddisfare <u>nella vasca di ex denitrificazione</u> ²	-		40%

² Nella configurazione di progetto il comparto biologico sarà costituito da due sezioni di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente poste in serie (ex denitrificazione ed ex ossidazione/nitrificazione). Di conseguenza, i sistemi di aerazione devono essere dimensionati in maniera da garantire un maggiore apporto di ossigeno nella prima sezione (ex

Aliquota di AOR da soddisfare <u>nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u> ²	-	60%	
AOR da soddisfare <u>nella vasca di ex denitrificazione</u>	kgO ₂ /h	70,6	98,9
AOR da soddisfare <u>nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u>	kgO ₂ /h	106,0	218,7
Coefficiente di correzione α per la presenza di SST	-	0,70	
Coefficiente di correzione β per la salinità	-	0,98	
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P considerando la pressione idrostatica media sui diffusori <u>nella vasca di ex denitrificazione</u>	mgO ₂ /L	12,1	9,6
Concentrazione di O ₂ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P considerando la pressione idrostatica media sui diffusori <u>nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u>	mgO ₂ /L	12,6	10,2
Capacità di ossigenazione complessiva richiesta in condizioni standard (SOTR) da soddisfare nelle fasi aerate <u>nella vasca di ex denitrificazione</u>	kgO ₂ /h	112,3	157,3
Capacità di ossigenazione complessiva richiesta in condizioni standard (SOTR) da soddisfare nelle fasi aerate <u>nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u>	kgO ₂ /h	161,2	218,7
Capacità di ossigenazione complessiva richiesta in condizioni standard (SOTR) da soddisfare nelle fasi aerate	kgO ₂ /h	273,5	375,9
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 12" previsti <u>nella vasca di ex denitrificazione</u>	-	432	
Numero di diffusori a disco a bolle fini da 9" già installati <u>nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u>	-	900 (450 per vasca)	
Stima dell'efficienza di trasferimento in condizioni standard del sistema di diffusione aria (SOTE) <u>nella vasca di ex denitrificazione</u>	-	18,5%	17,5%
Stima dell'efficienza di trasferimento in condizioni standard del sistema di diffusione aria (SOTE) <u>nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u>	-	28,0%	27,5%
Portata d'aria totale richiesta <u>nella vasca di ex denitrificazione</u>	Nm ³ /h	2019	2990

denitrificazione), in cui è presente una concentrazione più elevata di composti biodegradabili e quindi il consumo di ossigeno risulterà maggiore. Per questo motivo, le verifiche sono state effettuate attribuendo alla vasca di ex denitrificazione un'aliquota del fabbisogno di ossigeno da soddisfare superiore all'aliquota del volume complessivo biologico fornita nella medesima vasca. La ripartizione dell'AOR tra ex denitrificazione ed ex ossidazione/nitrificazione è stata fissata pari a 40%-60%, quando la corrispondente ripartizione in termini di volume utile è pari a 31,3%-68,7%.

Portata d'aria totale richiesta <u>nelle vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u>	Nm ³ /h	1916	2646
Portata d'aria fornita dal nuovo compressore a servizio della <u>vasca di ex denitrificazione</u>	Nm ³ /h	3000	
Portata d'aria fornita dai compressori esistenti a servizio delle <u>vasche di ex ossidazione/nitrificazione</u>	Nm ³ /h	1400+2000	

4.7 DEFOSFATAZIONE CHIMICA

La necessità di rispettare il limite allo scarico di 2 mg/L sulla concentrazione di fosforo totale rende necessaria una sezione di trattamento specifica dedicata alla rimozione di tale macroinquinante, che è attualmente presente presso l'impianto. La stazione di dosaggio cloruro ferrico è ubicata nelle adiacenze della vasca biologica e provvede a dosare cloruro ferrico al 40% in ingresso al trattamento biologico, in modo da ottenere la precipitazione chimica in simultanea del fosforo, con estrazione dei fanghi chimici dal sedimentatore secondario contestualmente ai fanghi di supero biologico. Tipicamente il dimensionamento della stazione di dosaggio viene condotto a partire dal quantitativo di fosforo da rimuovere, calcolato come differenza tra il carico di fosforo in ingresso 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 è determinata sulla base del contenuto specifico di fosforo nei fanghi, che nel caso di schemi di processo convenzionali di pre-denitrificazione/nitrificazione si attesta in genere su valori compresi tra 0.02-0.05 gP/gSSV.

Noto il quantitativo di fosforo da rimuovere, sulla base del rapporto stechiometrico $Fe : P = 1 : 1$ della reazione di precipitazione chimica ($FeCl_3 + PO_4^{3-} \rightarrow FePO_4 \downarrow + 3 Cl^-$) e di un opportuno coefficiente di sovradosaggio (nel caso in esame assunto del 30% in accordo con le indicazioni di letteratura per gli obiettivi depurativi prefissati), è possibile calcolare il fabbisogno giornaliero di reagente chimico e della soluzione commerciale impiegata, in funzione della concentrazione e della densità della soluzione stessa.

La produzione di fango chimico da sommare a quella di fango di supero biologico viene infine stimata a partire dai rapporti stechiometrici delle reazioni di precipitazione dei fosfati come sali metallici e degli idrossidi di ferro generati dall'eccesso di dosaggio ($Fe^{3+} + PO_4^{3-} \rightarrow FePO_4 \downarrow$ e $Fe^{3+} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow$), applicando cautelativamente anche in questo caso un fattore di picco di sicurezza.

Per la verifica della stazione di dosaggio sono state richieste ad Acqua Novara VCO le caratteristiche delle apparecchiature attualmente presenti in impianto, al fine controllare che la portata massima di soluzione commerciale richiesta nelle condizioni di progetto fosse possibile alimentarla.

Si riportano in Tabella 16 i risultati delle verifiche del comparto biologico nei due scenari di temperatura considerati ($T=12^{\circ}\text{C}$ e $T=24^{\circ}\text{C}$).

Tabella 16: Verifica della stazione di dosaggio di FeCl_3 per la defosfatazione chimica

Parametro	u.m.	Valore	
		T=12°C	T=24°C
<u>Dati di progetto</u>			
Portata media Q _m	m³/d	7200	
	m³/h	300	
Concentrazione di fosforo nel liquame in ingresso	mgP/L	6,4	
Frazione di biomassa volatile	gSSV/gSST	0,75	
Produzione effettiva giornaliera di fanghi biologici di supero (al netto dell'aliquota di SST sfuggiti con l'effluente)	kgSST/d	1183	1021
	kgSSV/d	887	766
Contenuto specifico di fosforo nei fanghi (fp)	gP/gSSV	0,035	
Concentrazione di fosforo assimilata biologicamente e rimossa con i fanghi di supero	mgP/L	4,3	3,7
Limite da rispettare allo scarico	mgP/L	2,0	
Concentrazione residua di fosforo da rimuovere per via chimica per rispettare il limite allo scarico	mgP/L	1,2	1,8
Fabbisogno giornaliero di FeCl ₃ (con coefficiente di sovradosaggio del 30%)	kgFeCl ₃ /d	58,2	87,1
Concentrazione in peso di FeCl ₃ nella soluzione commerciale	-	40%	
Densità della soluzione commerciale	kg/m³	1420	
Fabbisogno di soluzione commerciale	kg/d	145,6	294,0
	L/h	4,3	6,4
Produzione giornaliera di fanghi chimici	kgSST/d	51	102
<u>Stazione dosaggio</u>			
Volume di stoccaggio previsto	L	15000	
Autonomia di esercizio	d	146	98
Numero pompe dosatrici	-	1+1R	
Portata unitaria	L/h	10	

4.8 SEDIMENTAZIONE SECONDARIA

La soluzione progettuale prevede il mantenimento delle due linee di sedimentazione secondaria esistenti a pianta circolare con diametri rispettivamente $D=26\text{ m}$ e $D=19\text{ m}$. Essendo i comparti di

diametro differente, la configurazione del pozzetto di ripartizione esistente in uscita dalle vasche di ossidazione/nitrificazione prevede due soglie di sfioro a larghezza differente (pari a 1 m e 2 m), in maniera da avviare 2/3 della portata al chiarificatore con diametro maggiore e 1/3 al chiarificatore con diametro minore. Allo stato attuale la corretta ripartizione è resa difficoltosa a causa della configurazione del piping di alimentazione del fango al sedimentatore con D=19m, e in particolare alla strozzatura generata dall'ultimo tratto a DN troppo ridotto, cui si prevede di porre rimedio con un intervento di demolizione e ricostruzione della colonna centrale del sedimentatore stesso.

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 0.5 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 di calcolo e a 8 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 $250 \text{ m}^3/\text{m}/\text{d}$ in corrispondenza della portata media di progetto.

Tabella 17: Verifica dei comparti di sedimentazione secondaria

Parametro	u.m.	Valore	
		Sed D=26 m	Sed D=19 m
<u>Condizioni operative previste</u>			
Frazione di portata trattata	-	66,7%	33,3%
Portata media giornaliera Qm	m³/d	4800	2400
	m³/h	200	100
Portata massima giornaliera 3Qm	m³/h	600	300
Rapporto di ricircolo dei fanghi riferito a Qm	-	1	1
Rapporto di ricircolo dei fanghi riferito a 3Qm	-	0,33	0,33
Concentrazione di SST nel comparto biologico	kgSST/m³	4,0	
Concentrazione di SST nel fango di ricircolo	kgSST/m³	8,0	
Carico massimo di solidi in corrispondenza di Qm	kgSST/h	1600	800
Carico massimo di solidi in corrispondenza di 3Qm	kgSST/h	3200	1600
<u>Configurazione della sezione di sedimentazione secondaria di progetto</u>			
Diametro utile	m	26,0	19,0
Battente utile allo sfioro	m	2,60	2,10
Superficie utile totale	m²	530,9	283,5
Lunghezza di sfioro	m	77,3	55,3
Volume utile totale	m³	1495	640
<u>Verifica del rispetto dei vincoli operativi</u>			
Flusso solido in corrispondenza di Qc	kgSST/(m²·h)	3,01	2,82
Flusso solido in corrispondenza di Qpb	kgSST/(m²·h)	6,03	5,64
Carico idraulico in corrispondenza di Qc	m³/(m²·h)	0,38	0,35
Carico idraulico in corrispondenza di Qpb	m³/(m²·h)	1,13	1,06
Tempo di ritenzione idraulica in corrispondenza di Qc (considerando la sola portata di liquame)	h	7,5	6,4
Carico allo sfioro in corrispondenza di Qc singolo Sedimentatore	m³/(m·d)	62,1	43,4

4.8.1 Ricircolo dei fanghi ed estrazione fanghi di supero

Ciascun sedimentatore secondario è dotato di un pozzetto di raccolta fanghi, in ciascuno dei quali è prevista la sostituzione delle n.2 pompe per il ricircolo fanghi in testa al comparto biologico.

Le pompe di ricircolo fanghi attualmente installate in impianto verranno rimosse poiché non in grado di sollevare la portata di ricircolo nelle condizioni di progetto e al loro posto sono previsti due gruppi di pompe con configurazione 1+1R per ogni sedimentatore in grado di sollevare una portata di ricircolo totale pari a 450 m³/h (300 m³/h dal sedimentatore D=26m e 150 m³/h dal sedimentatore D=19m). Le nuove pompe opereranno sotto inverter e consentiranno di regolare il rapporto di ricircolo in base alle esigenze gestionali, fino ad un valore massimo di 1,5 rispetto alla portata media Qm.

Tabella 18: Dotazioni elettromeccaniche sollevamento fanghi sedimentatore D=19 m

Parametro	u.m.	Valore
<u>Pompe estrazione fanghi e ricircolo</u>		
Numero pompe	-	2
Configurazione	-	1+1R
Portata	m ³ /h	150
Prevalenza	m	7,0

Tabella 19: Dotazioni elettromeccaniche sollevamento fanghi sedimentatore D=26 m

Parametro	u.m.	Valore
<u>Pompe estrazione fanghi e ricircolo</u>		
Numero pompe	-	2
Configurazione	-	1+1R
Portata	m ³ /h	300
Prevalenza	m	7,0

4.9 DISINFEZIONE CHIMICA

L'attuale comparto di disinfezione oltre a generare problematiche di natura idraulica dovute alla sua attuale quota, che si manifestano in un fenomeno di rigurgito nel pozzetto a valle dello stramazzo Thompson del sedimentatore con diametro D=26 m, non risulta garantire adeguati tempi di contatto tra l'effluente chiarificato e l'acido peracetico, a causa di una volumetria disponibile non idonea. Alla luce di ciò, la soluzione progettuale prevede alla realizzazione di un nuovo canale di contatto a serpentina con dosaggio di acido peracetico (PAA).

Le verifiche di dimensionamento del canale di disinfezione sono finalizzate innanzitutto ad accertare che il volume utile disponibile garantisca un tempo di residenza idraulica in corrispondenza della portata media di progetto e della portata di picco superiore ai valori minimi suggeriti dai principali test scientifici di settore.

Le dimensioni geometriche del canale (larghezza, lunghezza e altezza utili) devono inoltre essere tali da massimizzare il tempo di contatto e quindi l'efficacia del reagente chimico disinfettante utilizzato, facendo sì che il funzionamento del canale si avvicini quanto più possibile a quello di un reattore *plug-flow* ideale. È possibile a tal fine fare riferimento al metodo basato sulla dispersione assiale proposto da Metcalf & Eddy (2014): a partire da parametri idraulici quali raggio idraulico *HRT* e numero di Reynolds *Re* (influenzati appunto dalle dimensioni geometriche del canale), tale procedura prevede di verificare che il grado di dispersione in direzione assiale risulti contenuto. A questo fine, il metodo prevede che il numero adimensionale di dispersione assiale *d*, definito come

$$d = \frac{1.01 \cdot \mu \cdot Re^{0.875} \cdot HRT}{L} \quad \text{Equazione 1}$$

debba risultare inferiore a 0.02 (*range* tipico 0.004-0.02; *d*=0 in caso di reattore *plug-flow* ideale, con assenza di dispersione assiale; *d*→∞ per reattori a miscelazione completa). Si suggerisce inoltre di mantenere un rapporto tra lunghezza e larghezza del canale *L/B* maggiore di 20, in modo da minimizzare il rischio di possibili cortocircuiti.

I risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione sono riepilogati in Tabella 20.

La verifica del consumo richiesto di soluzione commerciale di PAA al 15% in peso è stata effettuata considerando un dosaggio massimo di 2 mg/L di principio attivo, come da indicazione della committenza.

Tabella 20: Risultati delle verifiche di dimensionamento del canale di disinfezione

Parametro	u.m.	Valore
<u>Dati di progetto</u>		
Portata media in tempo secco (<i>Q_m</i>)	m ³ /h	300
Portata massima avviata a trattamento biologico (3 <i>Q_m</i>)	m ³ /h	90
Tempo di residenza idraulico minimo in corrispondenza di <i>Q_m</i>	min	30
Tempo di residenza idraulico minimo in corrispondenza di 3 <i>Q_m</i>	min	10
Rapporto minimo lunghezza/larghezza del canale	-	20
Valore massimo del numero di dispersione	-	0.015
<u>Dimensioni geometriche del canale di disinfezione</u>		
Larghezza utile canale	m	2
Lunghezza utile canale (a serpentina)	m	47,90
Battente	m	2,0

Volume utile di contatto	m ³	192,40
Rapporto lunghezza/larghezza del canale della vasca di progetto	-	24,0
Dimensioni di ingombro del manufatto (LxW)	m	16,6 x 17,2
Numero di dispersione d in corrispondenza di Q_m	-	0.011
Numero di dispersione d in corrispondenza di $3Q_m$	-	0.013
Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di Q_m	min	30
Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di $3Q_m$	min	13

L'impianto di Bellinzago Novarese è dotato attualmente di una stazione di dosaggio acido peracetico ubicata nelle vicinanze dell'attuale comparto di dissabbiatura.

In Tabella 21 si riassumono le peculiarità della stazione e la stima del dosaggio richiesto di acido peracetico al 15%.

Tabella 21: Stazione di dosaggio acido peracetico

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Stima del dosaggio richiesto di PAA al 15%</u>		
Concentrazione minima di PAA richiesta	mgPAA/L	2
Dosaggio richiesto di soluzione commerciale di PAA al 15% in corrispondenza di Q_m	kg/h	3,9
Dosaggio richiesto di soluzione commerciale di PAA al 15% in corrispondenza di $3Q_m$	kg/h	11,6
Densità soluzione commerciale di PAA al 15%	kg/m ³	1150
Portata di soluzione commerciale di PAA richiesta in corrispondenza di Q_m	L/h	3,4
Portata di soluzione commerciale di PAA richiesta in corrispondenza di $3Q_m$	L/h	10,1
<u>Stazione di dosaggio</u>		
Numero di pompe	-	1
Serbatoio stoccaggio	m ³	6
Periodicità rifornimento della soluzione commerciale	d	74

5 VERIFICHE IDRAULICHE

5.1 CRITERI GENERALI DI DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

5.1.1 Tubazioni in pressione

La perdita di carico in una tubazione in pressione può essere suddivisa in una componente distribuita su tutta la sua lunghezza e una derivante dalla sommatoria delle perdite concentrate in corrispondenza dei vari elementi del circuito idraulico, quali curve, valvole, imbocchi e sbocchi, restringimenti, allargamenti, ecc.

Dette J la cadente piezometrica (m/m) e L la lunghezza della tubazione (m), le perdite di carico distribuite vengono calcolate mediante la relazione:

$$H_d = J \cdot L$$

La cadente piezometrica J può essere determinata attraverso la formula empirica di Hazen-Williams:

$$J = \frac{10.675 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.8704}}$$

in cui Q rappresenta la portata transitante (espressa in m³/s), D il diametro interno della tubazione (in m) e C il coefficiente adimensionale di scabrezza, per il quale possono essere utilizzati valori di 120 per le tubazioni in acciaio al carbonio, di 140 per quelle in acciaio inox e di 150 per quelle in materiale plastico (PEAD o PVC).

Le perdite di carico localizzate sono state invece stimate attraverso la formula generale:

$$H_c = \sum_i \xi_i \cdot \frac{v^2}{2g}$$

attribuendo ai coefficienti ξ_i valori variabili a seconda del particolare elemento del circuito idraulico considerato e delle condizioni operative previste in termini di diametro del tubo e velocità di flusso, ricavati da tabelle riportate in letteratura (ad esempio $\xi=1$ in caso di sbocco, $\xi=0.5$ in caso di imbocco, $\xi=0.3$ in caso di piede d'accoppiamento, $\xi=0.15 \div 0.40$ per valvola a saracinesca tutta aperta, $\xi=0.2 \div 1.2$ per valvola a farfalla tutta aperta, $\xi=0.10 \div 0.40$ per curva a 90° con $R=1.5 \cdot D$, ecc.). In caso di collegamenti che interessano flussi di fango, caratterizzati dalla presenza di concentrazioni significative di solidi sospesi, le perdite di carico complessive vengono incrementate applicando un

fattore moltiplicativo k , proporzionale appunto al tenore di SST, per tenere conto dell'incremento di viscosità del fluido rispetto all'acqua.

5.1.2 Moto a pelo libero

Per la verifica del livello di moto uniforme all'interno dei canali a pelo libero può essere utilizzata la formula di Gauckler-Strickler

$$Q = K_s \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot i_F^{1/2}$$

in cui A rappresenta l'area bagnata (m^2), R_h il raggio idraulico (m), rapporto tra area A (m^2) e contorno bagnato C_b (m), i_F la pendenza del fondo e K_s il coefficiente di scabrezza, che può essere assunto pari a 70-90 $m^{1/3}/s$ in caso di canali in calcestruzzo e 120-140 $m^{1/3}/s$ per canali in acciaio o in materiale plastico (con valori inferiori nei range indicati per tener conto dell'usura nel tempo).

In caso di canali a sezione rettangolare la formula di moto uniforme diviene

$$Q = K_s \cdot b \cdot h \cdot \left(\frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h} \right)^{3/2} \cdot i_F^{1/2}$$

dove b è la larghezza del canale (m) e h è appunto l'altezza di moto uniforme (m).

Nel caso di un moto a pelo libero in una condotta, facendo riferimento allo schema riportato in Figura 10, l'area e il contorno bagnati possono essere calcolate attraverso le relazioni:

$$A = \frac{r^2}{2} \cdot (\phi - \sin \phi)$$

$$C_b = r \cdot \phi$$

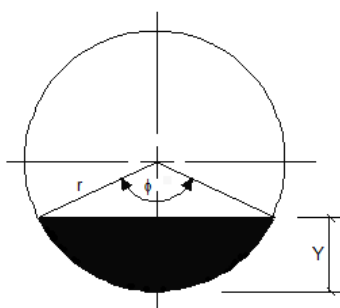


Figura 10: Schema per il calcolo idraulico di una condotta a pelo libero

Pertanto, l'equazione del moto uniforme diventa

$$Q = K_s \cdot \frac{r^2}{2} \cdot (\phi - \sin \phi) \cdot \left[\frac{r}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sin \phi}{\phi} \right) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot i_F^{\frac{1}{2}}$$

da cui è possibile ricavare l'angolo ϕ . Il coefficiente di scabrezza K_s può essere assunto pari a 70-90 $m^{1/3}/s$ in caso di tubazioni in calcestruzzo e 120-140 $m^{1/3}/s$ per tubazioni in acciaio o in materiale plastico (con valori inferiori nei range indicati per tener conto dell'usura nel tempo).

Facendo ricorso a considerazioni di tipo trigonometrico, il tirante Y (differenza di quota fra il pelo libero e il fondo del tubo) può essere quindi determinato come

$$Y = r \cdot \left(1 - \cos \frac{\phi}{2} \right)$$

Si definisce inoltre il grado di riempimento w come rapporto percentuale tra il tirante Y e il diametro interno D :

$$w = \frac{Y}{D}$$

Sia nel caso della canaletta che della tubazione a pelo libero, una volta verificato che il tirante è adeguato, approssimando le perdite di carico come pari a quelle che si avrebbero in moto uniforme, si considera la cadente energetica come pari alla pendenza del fondo i_F e quindi la perdita di carico viene calcolata come il prodotto fra questa e la lunghezza del tubo o della canaletta.

5.1.3 Stramazzi

La relazione utilizzata per il dimensionamento degli stramazzi rettilinei è la seguente

$$Q = \frac{2}{3} \cdot c_c \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{3/2}$$

dove Q è la portata che transita, b è la larghezza dello stramazzo, h è il carico sullo stramazzo, g è l'accelerazione gravitazionale (9.81 m/s^2) e c_c è il coefficiente di contrazione, che può essere assunto pari a 0.61 in caso di soglia in parete sottile e 0.578 in caso di parete grossa (ossia di spessore d non trascurabile rispetto al carico sullo stramazzo). In questo secondo caso la relazione è valida per $0.1 \leq h/d \leq 1.5$.

In caso di stramazzo rigurgitato, si utilizza la seguente relazione:

$$Q = b \cdot c_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \Delta h + h_v \right)$$

dove Δh è la differenza di livello tra monte e valle della soglia e h_v il battente sullo stramazzo a valle della soglia.

Per gli stramazzi a sezione triangolare, viene invece utilizzata l'equazione

$$Q = \frac{8}{15} \cdot c_c \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{5/2}$$

in cui il carico h è calcolato con riferimento alla quota del vertice dello stramazzo, di cui α rappresenta l'ampiezza.

5.1.4 Luci di fondo

L'efflusso libero da luci sotto battente è governato dall'equazione

$$Q = c_c \cdot A_L \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

in cui Q è la portata che transita, c_c è il coefficiente di contrazione (pari a 0.61 in caso di luce a spigolo vivo, a 0.82 in caso di tubo addizionale esterno o luce in parete grossa e a 0.50 in caso di tubo addizionale interno), A_L è l'area dell'apertura, h è la distanza del baricentro della luce dal pelo libero e g è l'accelerazione gravitazionale (9.81 m/s²).

In caso di efflusso rigurgitato, come avviene ad esempio nel caso di luci di fondo per il collegamento tra due comparti, vale invece la relazione

$$Q = c_c \cdot A_L \cdot \left(v_v + \sqrt{v_m^2 - v_v^2 + 2 \cdot g \cdot \Delta h} \right)$$

dove v_m e v_v sono le velocità medie di flusso a monte e a valle della luce e Δh è la differenza di quota fra il pelo libero a monte e a valle della stessa, mentre gli altri simboli hanno il medesimo significato visto nel caso di efflusso libero.

5.2 PORTATE DI PROGETTO

I calcoli per le verifiche idrauliche sono stati condotti facendo riferimento, per i singoli circuiti di collegamento tra le diverse sezioni di trattamento e le varie apparecchiature elettromeccaniche a servizio, alle condizioni maggiormente gravose in relazione sia al flusso in transito, sia alla conformazione dei circuiti stessi, derivante dalle scelte progettuali effettuate.

La portata considerata nei calcoli idraulici relativi ai pre-trattamenti meccanici è stata pertanto assunta pari a cinque volte la portata media (5Q_m), mentre la portata sollevata dalla stazione di sollevamento è stata assunta pari a tre volte la portata media (3Q_m) e le portate di fanghi di ricircolo dai sedimentatori secondari sono state assunte pari a quelle massime previste dal progetto (1,5Q_m, ripartita 1/3-2/3 dai due sedimentatori con D=19m e D=26m).

Per quanto riguarda il manufatto in ingresso impianto, non avendo avuto la possibilità di poter misurare tramite GPS le quote della tubazione di scarico e la quota del fondo, si è proceduto conoscendo la quota del testa-muro del manufatto a stimare la quota del w.l. in vasca. Si rimanda

alla successiva fase esecutiva l'approfondimento relativo alle quote effettive del manufatto esistente.

5.3 DIMENSIONAMENTO DEI COLLEGAMENTI TRA LE DIVERSE SEZIONI IMPIANTISTICHE

Sezione: Tubazione da disinfezione a manufatto di scarico		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	900
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	630
Diametro interno tubazione	mm	555
Velocità di flusso	m/s	1.03
Lunghezza tubazione	m	55.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.07
Perdite di carico localizzate	m	0.24
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.31
Quota w.l. a valle (nel manufatto di scarico) - valore stimato	m s.l.m.	181.50
Quota w.l. a monte (nel pozzetto in uscita dalla disinfezione)	m s.l.m.	181.81

Sezione: Uscita disinfezione		
Tipo di collegamento: Stramazzo rettangolare in parete sottile		
Portata massima	m ³ /h	900
Lunghezza soglia di sfioro	m	4.00
Carico sullo stramazzo	m	0.106
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	181.90
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	182.01
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	181.81
Salto disponibile	m	0.09
Battente	m	2
Quota fondo	m s.l.m.	179.90
Franco	m	1.23
Quota testa muro vasca disinfezione	m s.l.m.	183.24

Sezione: Ingresso disinfezione		
Tipo di collegamento: Luce rigurgitata a sezione rettangolare		
Portata massima	m ³ /h	900
Numero di luci di fondo	-	1
Larghezza luce di fondo	m	1.00
Altezza luce di fondo	m	1.00
Area complessiva di passaggio	m ²	1.00
Differenza di livello necessaria tra monte e valle	m	0.009
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.01
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	182.01

Sezione: Tubazione di bypass comparto disinfezione		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	900
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	630
Diametro interno tubazione	mm	555
Velocità di flusso	m/s	1.03
Lunghezza tubazione	m	20.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.03
Perdite di carico localizzate	m	0.14
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.17
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	181.81
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	181.98

Sezione: Tubazione uscita da sedimentatore D=19m		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	300
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	355
Diametro interno tubazione	mm	313
Velocità di flusso	m/s	1.08
Lunghezza tubazione	m	10.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150

Perdita di carico distribuita	m	0.03
Perdite di carico localizzate	m	0.11
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.14
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.01
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	182.15

Sezione: Uscita effluente da sedimentatore D=19m

Tipo di collegamento: Soglia di sfioro tipo Thompson (stramazzi triangolari in parete sottile con angolo al vertice di 90°)

Portata	m³/h	300
Larghezza del singolo stramazzo Thompson che compone la soglia di sfioro	m	0.150
Altezza del singolo stramazzo Thompson che compone la soglia di sfioro	m	0.075
Distanza tra due stramazzi Thompson sulla soglia di sfioro	m	0.050
Lunghezza complessiva singola soglia di sfioro	m	59.7
Numero soglie di sfioro previste	-	1
Numero di stramazzi Thompson presenti	-	298
Portata per ogni singolo stramazzo	m³/h	1.0
Carico sugli stramazzi (rispetto ai vertici)	m	0.033
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	182.68
Quota del vertice degli stramazzi	m s.l.m.	182.65
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.15
Salto disponibile	m	0.50

Sezione: Tubazione uscita da sedimentatore D=26m

Tipo di collegamento: Tubazione in pressione

Portata massima	m³/h	600
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	500
Diametro interno tubazione	mm	441
Velocità di flusso	m/s	1.09
Lunghezza tubazione	m	60.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.12
Perdite di carico localizzate	m	0.35
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.47
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.01
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	182.49

Sezione: Uscita effluente da sedimentatore D=26m		
Tipo di collegamento: Soglia di sfioro tipo Thompson (stramazzi triangolari in parete sottile con angolo al vertice di 90°)		
Portata massima	m³/h	600
Larghezza del singolo stramazzo Thompson che compone la soglia di sfioro	m	0.150
Altezza del singolo stramazzo Thompson che compone la soglia di sfioro	m	0.075
Distanza tra due stramazzi Thompson sulla soglia di sfioro	m	0.050
Lunghezza complessiva singola soglia di sfioro	m	81.7
Numero soglie di sfioro previste	-	1
Numero di stramazzi Thompson presenti	-	408
Portata per ogni singolo stramazzo	m³/h	1.5
Carico sugli stramazzi (rispetto ai vertici)	m	0.038
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	182.69
Quota del vertice degli stramazzi	m s.l.m.	182.65
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.49
Salto disponibile	m	0.16

Sezione: Collegamento da ripartitore di portata a sedimentatore D=19m – Tratto terminale tubazione alimentazione fango a sedimentatore piccolo sotto vasca e colonna centrale		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m³/h	450
Materiale tubazione	-	Acciaio
Diametro nominale DN(*)	mm	600
Diametro interno tubazione	mm	591
Velocità di flusso	m/s	0.46
Lunghezza tubazione	m	13.5
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.01
Perdite di carico localizzate	m	0.02
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.03
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.68
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	182.71

(*) Si prevede la demolizione e il rifacimento della colonna centrale con sostituzione della tubazione DN150 esistente con una tubazione DN600, in modo da risolvere il problema del rigurgito già oggi presente.

Sezione: Collegamento da ripartitore di portata a sedimentatore D=19m – Tratto di nuova realizzazione da sedimentatore a pozzetto di ripartizione		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m³/h	450
Materiale tubazione	-	PE100

Diametro esterno De	mm	560
Diametro interno tubazione	mm	494
Velocità di flusso	m/s	0.65
Lunghezza tubazione	m	110.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.07
Perdite di carico localizzate	m	0.16
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.23
Quota punto di recapito	m s.l.m.	182.71
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	182.94

Sezione: Collegamento da ripartitore di portata a sedimentatore D=26m – Tratto terminale tubazione alimentazione fango sotto vasca e colonna centrale

Tipo di collegamento: Tubazione in pressione

Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m³/h	900
Materiale tubazione	-	Acciaio
Diametro nominale DN	mm	600
Diametro interno tubazione	mm	591
Velocità di flusso	m/s	0.91
Lunghezza tubazione	m	17.0
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.03
Perdite di carico localizzate	m	0.06
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.09
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.69
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	182.77

Sezione: Collegamento da ripartitore di portata a sedimentatore D=26m – Tratto da vasca sedimentazione fino a pozzetto in uscita dalla vasca ad aerazione intermittente (ex nitrificazione)

Tipo di collegamento: Tubazione in pressione

Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m³/h	900
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	630
Diametro interno tubazione	mm	555
Velocità di flusso	m/s	1.03
Lunghezza tubazione	m	25.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.03
Perdite di carico localizzate	m	0.11
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0

Perdita di carico complessiva	m	0.14
Quota punto di recapito	m s.l.m.	182.77
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	182.91

Sezione: Pozzetto uscita vasca ad aerazione intermittente (ex nitrificazione) verso sedimentatore D=19m		
Tipo di collegamento: Stramazzo rettangolare in parete sottile		
Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m ³ /h	450
Lunghezza soglia di sfioro	m	1.00
Carico sullo stramazzo	m	0.169
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	183.10
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	183.27
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.94
Salto disponibile	m	0.16

Sezione: Pozzetto uscita vasca ad aerazione intermittente (ex nitrificazione) verso sedimentatore D=26m		
Tipo di collegamento: Stramazzo rettangolare in parete sottile		
Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m ³ /h	900
Lunghezza soglia di sfioro	m	2.00
Carico sullo stramazzo	m	0.169
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	183.10
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	183.27
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	182.84
Salto disponibile	m	0.26

Sezione: Uscita vasca ad aerazione intermittente (ex nitrificazione) - singola linea		
Tipo di collegamento: Stramazzo rettangolare in parete sottile		
Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m ³ /h	675
Lunghezza soglia di sfioro	m	8.60
Carico sullo stramazzo	m	0.053
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	183.50
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	183.55
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	183.27
Salto disponibile	m	0.23
Testa muro vasca	m s.l.m.	184.58
Franco disponibile	m	1.03

Sezione: Ingresso vasca ad aerazione intermittente (ex nitrificazione) - singola linea		
Tipo di collegamento: Luce rigurgitata a sezione rettangolare		
Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m ³ /h	675
Numero di luci di fondo	-	1

Larghezza luce di fondo	m	1.50
Altezza luce di fondo	m	0.50
Area complessiva di passaggio	m ²	0.75
Differenza di livello necessaria tra monte e valle	m	0.009
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	183.55
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	183.56
Testa muro pozzetto	m s.l.m.	185.13
Franco disponibile	m	1.57

Sezione: Da vasca ad aerazione intermittente (ex nitrificazione) a vasca ad aerazione intermittente (ex denitrificazione)

Tipo di collegamento: Tubazione in pressione

Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m ³ /h	1350
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	710
Diametro interno tubazione	mm	626
Velocità di flusso	m/s	1.22
Lunghezza tubazione	m	19.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.03
Perdite di carico localizzate	m	0.25
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.28
Quota punto di recapito	m s.l.m.	183.56
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	183.85

Sezione: Uscita vasca ad aerazione intermittente (ex denitrificazione)

Tipo di collegamento: Stramazzo rettangolare in parete sottile

Portata massima (refluo + fango ricircolo)	m ³ /h	1350
Lunghezza soglia di sfioro	m	3.10
Carico sullo stramazzo	m	0.165
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	187.45
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	187.62
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	183.85
Salto disponibile	m	3.60
Testa muto vasca	m s.l.m.	187.95
Franco disponibile	m	0.33

Sezione: By-pass Q>3Qm nella stazione di sollevamento – Verifica quota massima w.l.		
Tipo di collegamento: Stramazzo rettangolare in parete grossa		
Portata massima di by-pass (5Qm-3Qm)	m ³ /h	600
Lunghezza soglia di sfioro	m	1.70
Spessore parete	m	0.30
Carico sullo stramazzo	m	0.149
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	180.70
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	180.85

Sezione: Da vasca di sollevamento a dissabbiatura-disoleatura		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	1500
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	800
Diametro interno tubazione	mm	705
Velocità di flusso	m/s	1.07
Lunghezza tubazione	m	39.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.04
Perdite di carico localizzate	m	0.28
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.32
Quota pelo libero a valle (=Quota massima w.l. in caso di attivazione del by-pass di troppo pieno per le portate eccedenti 3Qm)	m s.l.m.	180.85
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	181.17

Sezione: Uscita da dissabbiatura-disoleatura		
Tipo di collegamento: Stramazzo rettangolare in parete sottile		
Portata	m ³ /h	1500
Lunghezza soglia di sfioro	m	4.50
Carico sullo stramazzo	m	0.138
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	181.70
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	181.84
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	181.17
Salto disponibile	m	0.53

Sezione: Uscita da dissabbiatura-disoleatura		
Tipo di collegamento: Luce rigurgitata a sezione rettangolare		
Portata massima	m ³ /h	1500

Numero di luci di fondo	-	1
Larghezza luce di fondo	m	1.50
Altezza luce di fondo	m	1.00
Area complessiva di passaggio	m ²	1.50
Differenza di livello necessaria tra monte e valle	m	0.011
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	181.84
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	181.85

Sezione: Ingresso dissabbiatura-disoleatura		
Tipo di collegamento: Stramazzo rigurgitato rettangolare in parete sottile		
Portata	m ³ /h	1500
Lunghezza soglia di sfioro	m	1.00
Quota pelo libero a valle della soglia	m s.l.m.	181.85
Quota della cresta dello stramazzo	m s.l.m.	180.95
Battente sullo stramazzo a valle della soglia (rigurgito)	m	0.90
Differenza di livello tra monte e valle della soglia	m	0.03
Battente sullo stramazzo a monte della soglia (carico sullo stramazzo)	m	0.93
Quota pelo libero sullo stramazzo	m s.l.m.	181.88

Sezione: By-pass dissabbiatura-disoleatura		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	1500
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	800
Diametro interno tubazione	mm	705
Velocità di flusso	m/s	1.07
Lunghezza tubazione	m	15.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.02
Perdite di carico localizzate	m	0.21
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.23
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	181.17
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	181.40

Sezione: Da dissabbiatura-disoleatura a canale uscita griglie fini		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	1500
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	800
Diametro interno tubazione	mm	705
Velocità di flusso	m/s	1.07
Lunghezza tubazione	m	7.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.01
Perdite di carico localizzate	m	0.15
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.16
Quota pelo libero a valle	m s.l.m.	181.88
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	182.04

Sezione: Canale by-pass grigliatura grossolana		
Tipo di collegamento: Canale a pelo libero a sezione rettangolare con fondo orizzontale		
Portata massima	m ³ /h	1500
Larghezza canale	m	1.40
Franco da fondo canale rispetto al w.l. massimo a monte delle griglie fini	m	0.04
Quota fondo canale	m s.l.m.	182.48
Tirante a valle (altezza critica su salto)	m	0.21
Quota pelo libero a valle (immissione a valle della griglia grossolana)	m s.l.m.	182.68
Velocità di flusso	m/s	1.42
Materiale canale	-	Cemento in non perfette condizioni
Coefficiente di Strickler	m ^{1/3} /s	70
Perdita di carico specifica	mm/m	4.66
Lunghezza canale	m	8.00
Perdita di carico distribuita	m	0.037
Perdite di carico localizzate	m	0.051
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.088
Quota pelo libero a monte	m s.l.m.	182.77
Quota pelo libero a monte della griglia, con griglia grossolana sporca e griglie fini sporche (livello massimo)	m s.l.m.	182.84
Franco rispetto al w.l. massimo a monte delle griglie grossolane	m	0.06

5.3.1 Sollevamenti meccanici

5.3.2 Estrazione sabbie da dissabbiatore

Sezione: Estrazione sabbie da dissabbiatore-disoleatore (pompa 100-PS-101)		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	15
Numero pompe	-	1
Portata massima singola pompa	m ³ /h	15
Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	50
Diametro interno tubazione	mm	52
Velocità di flusso	m/s	1.93
Lunghezza tubazione	m	12.2
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	1.23
Perdite di carico localizzate	m	0.70
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.5
Perdita di carico complessiva	m	2.90
Quota punto di recapito al classificatore-lavatore	m s.l.m.	183.40
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	181.85
Dislivello geodetico da superare	m	1.55
Prevalenza totale richiesta	m	4.45

5.3.3 Estrazione oli da disoleatura

Sezione: Estrazione oli da dissabbiatore-disoleatore (pompa 100-PS-102)		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	10
Numero pompe	-	1
Portata massima singola pompa	m ³ /h	10
<u>Tratti fuori terra</u>		
Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	50
Diametro interno tubazione	mm	52
Velocità di flusso	m/s	1.28
Lunghezza tubazione	m	11.7
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.56
Perdite di carico localizzate	m	0.16
<u>Tratti interrati</u>		

Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	63
Diametro interno tubazione	mm	55
Velocità di flusso	m/s	1.15
Lunghezza tubazione	m	31.5
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.76
Perdite di carico localizzate	m	0.29
<u>Intero collegamento</u>		
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	2.0
Perdita di carico complessiva	m	3.54
Quota punto di recapito	m s.l.m.	182.80
Quota pelo libero in vasca (quota media w.l. in pozzetto oli)	m s.l.m.	179.85
Dislivello geodetico da superare	m	2.95
Prevalenza totale richiesta	m	6.49

5.3.4 Stazione di sollevamento

Sezione: Stazione di sollevamento (pompe 100-PS-103-A/R + 100-PS-104-A/B)		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m³/h	900
Numero di pompe	-	3+1R
Portata massima singola pompa	m³/h	300
<u>Singola mandata</u>		
Portata massima	m³/h	300
Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	300
Diametro interno tubazione	mm	304.76
Velocità di flusso	m/s	1.14
Lunghezza tubazione	m	5.7
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.03
Perdite di carico localizzate	m	0.28
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva - singola mandata	m	0.31
<u>Mandata comune</u>		
Portata massima	m³/h	900
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	560
Diametro interno tubazione	mm	494
Velocità di flusso	m/s	1.31

Lunghezza tubazione	m	20.5
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.05
Perdite di carico localizzate	m	0.40
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva - mandata comune	m	0.72
<u>Intero collegamento</u>		
Perdita di carico complessiva	m	1.03
Quota punto di recapito (=quota asse tubo allo scavalco del testa muro della vasca ex denitrificazione)	m s.l.m.	188.33
Quota pelo libero in vasca (=quota set-point di livello)	m s.l.m.	180.50
Dislivello geodetico da superare	m	7.83
Prevalenza totale richiesta	m	8.55

5.3.5 Ricircolo fanghi da sedimentatore D=19m e verifica estrazione supero

Sezione: Ricircolo fanghi da sedimentatore D=19m (pompe 300-PS-101-A/R)		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	150
Numero pompe	-	1+1R
Portata massima singola pompa	m ³ /h	150
<u>Tratti fuori terra</u>		
Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	200
Diametro interno tubazione	mm	203
Velocità di flusso	m/s	1.29
Lunghezza tubazione	m	11.0
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.11
Perdite di carico localizzate	m	0.44
<u>Tratti interrati</u>		
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	250
Diametro interno tubazione	mm	220
Velocità di flusso	m/s	1.09
Lunghezza tubazione	m	71.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.31
Perdite di carico localizzate	m	0.37
<u>Intero collegamento</u>		
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	1.23

Quota punto di recapito	m s.l.m.	188.35
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	182.68
Dislivello geodetico da superare	m	5.67
Prevalenza totale richiesta	m	6.90

Sezione: Verifica della portata di supero spillata dal ricircolo fanghi (verifica della ripartizione della portata di ricircolo che equilibra le perdite di carico nei due tratti a valle del punto di derivazione)

Tipo di collegamento: Tubazione in pressione

Portata di ricircolo in condizioni medie (rapporto di ricircolo unitario)	m³/h	100
---	------	-----

Verifica della ripartizione dei flussi che determina uguali perdite di carico nelle due diramazioni

1 - Calcolo perdite di carico nella derivazione del ricircolo

Portata di ricircolo al biologico al netto della portata derivata al supero	m³/h	80.0
---	------	-------------

Tratti fuori terra

Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	200
Diametro interno tubazione	mm	203
Velocità di flusso	m/s	0.69
Lunghezza tubazione	m	11.0
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.03
Perdite di carico localizzate	m	0.06

Tratti interrati

Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	250
Diametro interno tubazione	mm	220
Velocità di flusso	m/s	0.58
Lunghezza tubazione	m	71.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.10
Perdite di carico localizzate	m	0.11

Intero collegamento

Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.30
Quota asse tubo ricircolo al recapito in vasca ex denitrificazione	m s.l.m.	188.23
Quota asse tubo ricircolo nel punto di derivazione del supero	m s.l.m.	183.90
Dislivello geodetico da superare	m	4.32
Prevalenza totale richiesta	m	4.62

2 - Calcolo perdite di carico nella derivazione del supero

Portata derivata a supero	m³/h	20.0
---------------------------	------	-------------

Tratti fuori terra

Materiale tubazione	-	AISI304L
---------------------	---	----------

Diametro nominale DN	mm	100
Diametro interno tubazione	mm	102
Velocità di flusso	m/s	0.68
Lunghezza tubazione	m	35.0
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.23
Perdite di carico localizzate (*)	m	5.11
<u>Tratti interrati</u>		
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	110
Diametro interno tubazione	mm	97
Velocità di flusso	m/s	0.75
Lunghezza tubazione	m	35.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.20
Perdite di carico localizzate	m	0.18
<u>Intero collegamento</u>		
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	5.72
Quota asse tubo supero al recapito in vasca di ispessimento	m s.l.m.	182.80
Quota asse tubo supero nel punto di derivazione	m s.l.m.	183.90
Dislivello geodetico da superare	m	-1.10
Prevalenza totale richiesta	m	4.62

(*) La quota del tubo di ricircolo in corrispondenza del recapito alla vasca ex denitrificazione è molto più elevata rispetto a quella del tubo di supero al recapito all'ispessitore (differenza di quota geodetica di circa 5.40 m). Per equilibrare le perdite di carico nei due tratti è quindi necessario generare una perdita localizzata in corrispondenza della valvola automatica di spillaggio del supero, impostando il finecorsa in apertura in modo che la portata di supero estratta risulti adeguata alle esigenze (valore dell'ordine di 20 m³/h nello scenario di progetto). Ciò sarà possibile grazie all'installazione del misuratore di portata del fango di supero.

5.3.6 Ricircolo fanghi da sedimentatore D=26m e verifica estrazione supero

Sezione: Ricircolo fanghi da sedimentatore D=26m (pompe 300-PS-102-A/R)		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	300
Numero pompe	-	1+1R
Portata massima singola pompa	m ³ /h	300
<u>Tratti fuori terra</u>		
Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	300
Diametro interno tubazione	mm	305
Velocità di flusso	m/s	1.14
Lunghezza tubazione	m	11.0
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.05
Perdite di carico localizzate	m	0.34
<u>Tratti interrati</u>		
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	315
Diametro interno tubazione	mm	278
Velocità di flusso	m/s	1.38
Lunghezza tubazione	m	40.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.21
Perdite di carico localizzate	m	0.62
<u>Intero collegamento</u>		
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	1.22
Quota punto di recapito	m s.l.m.	188.26
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	182.69
Dislivello geodetico da superare	m	5.57
Prevalenza totale richiesta	m	6.79

Sezione: Verifica della portata di supero spillata dal ricircolo fanghi (verifica della ripartizione della portata di ricircolo che equilibra le perdite di carico nei due tratti a valle del punto di derivazione)		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata di ricircolo in condizioni medie (rapporto di ricircolo unitario)	m ³ /h	200
Verifica della ripartizione dei flussi che determina uguali perdite di carico nelle due diramazioni		
1 - Calcolo perdite di carico nella derivazione del ricircolo		
Portata di ricircolo al biologico al netto della portata derivata al supero	m ³ /h	160.0
<u>Tratti fuori terra</u>		
Materiale tubazione	-	AISI304L

Diametro nominale DN	mm	300
Diametro interno tubazione	mm	305
Velocità di flusso	m/s	0.61
Lunghezza tubazione	m	11.0
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.02
Perdite di carico localizzate	m	0.04
<u>Tratti interrati</u>		
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	315
Diametro interno tubazione	mm	278
Velocità di flusso	m/s	0.73
Lunghezza tubazione	m	40.0
Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.06
Perdite di carico localizzate	m	0.18
<u>Intero collegamento</u>		
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	0.30
Quota asse tubo ricircolo al recapito in vasca ex denitrificazione	m s.l.m.	188.26
Quota asse tubo ricircolo nel punto di derivazione del supero	m s.l.m.	184.50
Dislivello geodetico da superare	m	3.76
Prevalenza totale richiesta	m	4.06
2 - Calcolo perdite di carico nella derivazione del supero		
Portata derivata a supero	m³/h	40.0
<u>Tratti fuori terra</u>		
Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	150
Diametro interno tubazione	mm	154
Velocità di flusso	m/s	0.60
Lunghezza tubazione	m	60.0
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.20
Perdite di carico localizzate	m	5.37
<u>Tratti interrati</u>		
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	160
Diametro interno tubazione	mm	141
Velocità di flusso	m/s	0.71
Lunghezza tubazione	m	15.0

Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.05
Perdite di carico localizzate	m	0.14
<u>Intero collegamento</u>		
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	5.76
Quota asse tubo supero al recapito in vasca di ispessimento	m s.l.m.	182.80
Quota asse tubo supero nel punto di derivazione	m s.l.m.	184.50
Dislivello geodetico da superare	m	-1.70
Prevalenza totale richiesta	m	4.06

(*) La quota del tubo di ricircolo in corrispondenza del recapito alla vasca ex denitrificazione è molto più elevata rispetto a quella del tubo di supero al recapito all'ispessitore (differenza di quota geodetica di circa 5.40 m). Per equilibrare le perdite di carico nei due tratti è quindi necessario generare una perdita localizzata in corrispondenza della valvola automatica di spillaggio del supero, impostando il finecorsa in apertura in modo che la portata di supero estratta risulti adeguata alle esigenze (valore dell'ordine di 40 m³/h nello scenario di progetto). Ciò sarà possibile grazie all'installazione del misuratore di portata del fango di supero.

5.3.7 Svuotamento vasca di disinfezione

Sezione: Svuotamento vasca di disinfezione (pompa 400-PS-101)		
Tipo di collegamento: Tubazione in pressione		
Portata massima	m ³ /h	40
Numero pompe	-	1
Portata massima singola pompa	m ³ /h	40
<u>Tratti fuori terra</u>		
Materiale tubazione	-	AISI304L
Diametro nominale DN	mm	100
Diametro interno tubazione	mm	102
Velocità di flusso	m/s	1.35
Lunghezza tubazione	m	11.5
Coefficiente di scabrezza C	-	120
Perdita di carico distribuita	m	0.28
Perdite di carico localizzate	m	0.18
<u>Tratti interrati</u>		
Materiale tubazione	-	PE100
Diametro esterno De	mm	125
Diametro interno tubazione	mm	110
Velocità di flusso	m/s	1.16
Lunghezza tubazione	m	39.0

Coefficiente di scabrezza C	-	150
Perdita di carico distribuita	m	0.43
Perdite di carico localizzate	m	0.37
<u>Intero collegamento</u>		
Fattore correttivo per la viscosità del fluido trasportato	-	1.0
Perdita di carico complessiva	m	1.26
Quota punto di recapito	m s.l.m.	182.81
Quota pelo libero in vasca	m s.l.m.	179.90
Dislivello geodetico da superare	m	2.91
Prevalenza totale richiesta	m	4.17

6 BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA

- Andreottola G., Foladori P., Ziglio G. (2005), *Dal monitoraggio convenzionale alla verifica avanzata dei processi a fanghi attivi*. Quaderni del dipartimento (SAN 4), Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Trento.
- Bianchi A., Sanfilippo U. (2001), *Pompe e stazioni di sollevamento*. Hoepli, Milano.
- Bonomo L. (2008), *Trattamenti delle acque reflue*. McGraw-Hill.
- Ekama G.A., Marais G.v.R., Siebritz I.P., Pitman A.R., Keay G.F.P., Buchan L., Gerber A., Smollen M. (1984), *Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes*. Water Research Commission, Pretoria (Sud Africa).
- Guadagni A. (a cura di, 2010), *Prontuario dell'ingegnere*. 3^a Edizione, Hoepli, Milano.
- Henze M., van Loosdrecht M.C.M., Ekama G.A., Brdjanovic D. (2008) *Biological Wastewater Treatment – Principles, Modelling and Design*, 1st Edition, IWA Publishing - London (UK).
- Masotti L. (1987), *Depurazione delle acque – Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*. 1^a Edizione, Calderini, Bologna.
- Metcalf & Eddy (2014), *Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill, 5th Edition.
- Riva P.A., Guadagni, A. (a cura di, 2011), *Manuale dell'ingegnere civile e ambientale*. Hoepli, Milano.
- van Haandel A., van der Lubbe J. (2012), *Handbook Biological Waste Water Treatment – Design and optimisation of activated sludge systems*. 2nd Edition, IWA Publishing - London (UK).