



acda

AUTORITÀ D'AMBITO
n° 4 CUNEESE

azienda cuneese dell'acqua spa

COMUNE DI COSTIGLIOLE SALUZZO

Lavori di potenziamento dell'impianto di depurazione di Costigliole Saluzzo

Livello di progettazione:	PROGETTO DEFINITIVO
Oggetto elaborato:	Relazione di calcolo di processo e dimensionamento

Progetto:



acda
azienda cuneese
dell'acqua spa

Sede Legale: Corso Nizza 88 - 12100 Cuneo
Tel. 800.194.065 - fax 0171.326710
Partita IVA: 02468770041
Capitale sociale: € 5.000.000
email: acda@acda.it

Progettazione: <i>(Ordine Ingegneri di Cuneo n° A1886)</i>	Dott. Ing. Fabio Monaco
Responsabile Unico del Procedimento: <i>(Ordine Ingegneri di Cuneo n° A696)</i>	Dott. Ing. Roberto Beltritti

COMMESSA	Livello di progetto	Categoria di progetto	Tipo di elaborato	N. elaborato	REV.	DATA	SCALA/E
P0233	DE	GE	TX	03	01	04/2022	-

REV.	Descrizione	DATA	Redatto da	Verificato da	Approvato da
00	Emissione per consegna progetto definitivo	06/12/21	ETC	Ing. Monaco	Ing. Beltritti
01	Revisione per consegna progetto definitivo	04/2022	ETC	Ing. Monaco	Ing. Beltritti

Questo elaborato è di proprietà dell'ACDA, qualsiasi divulgazione o riproduzione anche parziale deve essere espressamente autorizzata
Acda azienda cuneese dell'acqua spa

Sede Legale: Corso Nizza 88 - 12100 CUNEO - Tel. 800.194.065 - Fax 0171.326710 - e-mail: acda@acda.it
Capitale sociale € 5.000.000 - Partita IVA 02468770041

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DEFINIZIONE DEL QUADRO DEI DATI DI PROGETTO.....	5
2.1	Dati di progetto.....	6
2.1.1	<i>Potenzialità di progetto dell'impianto</i>	<i>6</i>
2.1.2	<i>Portate di progetto.....</i>	<i>6</i>
2.1.3	<i>Concentrazioni e carichi inquinanti di progetto.....</i>	<i>7</i>
2.2	Temperature di progetto e limite allo scarico	8
2.3	Riepilogo dati di progetto.....	8
3	OBIETTIVI E SINTESI DEGLI INTERVENTI PREVISTI	11
4	VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO	14
4.1	Grigliatura grossolana e sfioratore portata Q_{pm}	14
4.2	Stazione di sollevamento iniziale	15
4.3	Grigliatura fine.....	15
4.4	Ripartitore di portata	17
4.5	Trattamento biologico.....	17
4.5.1	<i>Configurazione impiantistica prevista.....</i>	<i>17</i>
4.5.2	<i>Il processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente</i>	<i>18</i>
4.5.3	<i>Modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento del comparto biologico ...</i>	<i>19</i>
4.5.4	<i>Parametri cinetici e stechiometrici.....</i>	<i>22</i>
4.5.5	<i>Risultati delle verifiche di calcolo</i>	<i>24</i>
4.6	Sedimentazione secondaria.....	25
4.7	Disinfezione	28
4.8	Digestione aerobica.....	29
4.9	Ispessimento fango di supero	31
5	BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA	32

1 PREMESSA

ETC Engineering S.r.l. (di seguito ETC), ha ricevuto da Azienda Cuneese dell'acqua S.p.A. (di seguito ACDA) l'affidamento per il servizio di redazione del progetto definitivo gli interventi di adeguamento dell'impianto di depurazione di Costigliole Saluzzo (CN).

Il presente documento costituisce la Relazione di calcolo di processo del progetto definitivo dei lavori di potenziamento impianto di depurazione di Costigliole Saluzzo, così come previsto dal d.lgs. 50/2016.

L'impianto di depurazione esistente, servito da reti miste, è stato originariamente progettato per servire un'utenza pari a 2700AE, ma l'agglomerato sotteso alla rete fognaria è considerato inferiore ai 2000AE ed è autorizzato a scaricare con i limiti della tabella 1 dell'All.5 alla parte III del D.lgs. 152/2006. A seguito indagini preliminari, dal carico idraulico, risultano allacciate alla fognatura circa 3668.4 abitanti, pertanto il progetto prevede l'incremento della potenzialità fino a 4000 AE, con conseguente variazione dell'autorizzazione. Si dovranno pertanto rispettare anche i limiti dati dalla tabella 3 dell'Allegato 5 alla parte III del d.lgs. 152/2006.

Con Decreto del Presidente della Giunta Regionale della Regione Piemonte del 16 dicembre 2008, n. 17/R è stato approvato il Regolamento regionale recante "Disposizioni in materia di progettazione e autorizzazione provvisoria degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane (Legge regionale 29 dicembre 2000, n. 61)". Il regolamento regionale disciplina la progettazione e l'autorizzazione provvisoria degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane ai sensi della legge regionale 29 dicembre 2000 n. 61 attuativa, tra l'altro dell'art. 47 del decreto legislativo 152/99 poi trasposto nell'art.126 del decreto legislativo del 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale) che demanda alla Regione la disciplina delle modalità di approvazione dei progetti degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane nonché delle modalità di autorizzazione provvisoria necessaria all'avvio degli impianti anche nel caso di realizzazione per lotti funzionali.

Il Regolamento Regionale individua linee guida e criteri generali per la redazione dei progetti degli impianti di depurazione indicando quali obiettivi della progettazione definitiva i seguenti aspetti:

- definizione delle caratteristiche qualitative e funzionali dei lavori;
- definizione del quadro delle esigenze da soddisfare e delle prestazioni da fornire;
- analisi degli elementi necessari a consentire l'avvio delle procedure di esproprio e l'espletamento di eventuali procedure di impatto o incidenza ambientale.

Il documento per rispondere ai primi due punti si articola nelle seguenti sezioni:

- definizione del quadro dei dati di progetto da utilizzare nelle verifiche di processo e dimensionamento (capitolo 2);

- descrizione sintetica della soluzione progettuale proposta (capitolo 3);
- descrizione dei calcoli di processo per il dimensionamento dell'impianto di depurazione (capitolo 4);
- bibliografia (capitolo 5).

2 DEFINIZIONE DEL QUADRO DEI DATI DI PROGETTO

I dati di progetto sono stati definiti anche considerando la relazione tecnica fornita da ACDA e, coerentemente a quest'ultima, si sono calcolate le concentrazioni degli inquinanti in ingresso sulla base degli apporti pro capite tipici da letteratura.

La Tabella 1 riporta i valori di concentrazione degli inquinanti attualmente in entrata all'impianto secondo la succitata relazione fornita da ACDA, la quale riferisce altresì di una **portata media afferente pari a 540 m³/d** sulla cui base si sono computati i relativi carichi.

Tabella 1: Concentrazioni e carichi medi registrati in ingresso all'impianto di Costigliole

Parametro	u.m.	Valore
<i>Concentrazioni medie di inquinanti nel refluo in ingresso</i>		
Sostanza organica come BOD ₅	mgBOD ₅ /L	250
Sostanza organica come COD	mgCOD/L	580
Ammoniaca come (NH ₄ ⁺ -N)	mgN/L	40
Solidi sospesi totali (SST)	mgSST/L	230
Fosforo totale (TP)	mgP/L	5.5
<i>Carichi inquinanti medi in ingresso</i>		
Sostanza organica come BOD ₅	kgBOD ₅ /d	135
Sostanza organica come COD	kgCOD/d	313
Ammoniaca come (NH ₄ ⁺ -N)	kgN/d	21,60
Solidi sospesi totali (SST)	kgSST/d	124,20
Fosforo totale (TP)	kgP/d	2,97
<i>Rapporti significativi</i>		
Rapporto BOD ₅ /COD	-	0,43
Rapporto BOD ₅ /P	-	45,50
Rapporto BOD ₅ /SST	-	1,10

Gli abitanti equivalenti stimati considerando gli apporti pro-capite tipici di letteratura sono riportati nella Tabella 2.

Tabella 2 Abitanti equivalenti serviti

Parametro	u.m.	Valore
Stima degli AE serviti riferito all' apporto pro-capite di 60 g BOD ₅ AE-1d-1		
Carico equivalente valutato su BOD ₅	AE	2250
Stima degli AE serviti riferito all' apporto pro-capite di 120 g COD AE-1d-1		
Carico equivalente valutato su COD	AE	2610
Stima degli AE serviti riferito all' apporto pro-capite di 90 g SST AE-1d-1		
Carico equivalente valutato su SST	AE	1380

Parametro	u.m.	Valore
Stima degli AE serviti riferito all' apporto pro-capite di 2 g P AE-1 d-1		
Carico equivalente valutato su P	AE	1485

2.1 DATI DI PROGETTO

2.1.1 Potenzialità di progetto dell'impianto

L'obiettivo primario del progetto è quindi quello di **incrementare la capacità di trattamento dell'impianto fino a 4000 AE** al fine di garantire anche il trattamento dei reflui provenienti dai futuri allacciamenti alla rete fognaria e il rispetto dei limiti di legge.

2.1.2 Portate di progetto

Per la dotazione idrica pro-capite sulla base della quale determinare la portata media di riferimento per la progettazione degli interventi di adeguamento dell'impianto si è fatto riferimento ai valori tipici per la zona (250 l AE⁻¹ d⁻¹).

È stato applicato un coefficiente di afflusso in fognatura pari a 0.8, da cui la portata media di progetto in tempo secco risulta

$$Q_m = 4000 \text{ AE} \cdot 250 \text{ l AE}^{-1} \text{ d}^{-1} \cdot 0.8 = 800 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{33 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Il coefficiente di punta utilizzato per determinare la portata massima da avviare ai pre-trattamenti in tempo di pioggia è stato assunto pari a 5, corrispondente a quello indicato nell'Allegato B del DPGR n. 17/R 2008; la portata eccedente è inviata a scarico, previa grigliatura grossolana. La portata massima trattata dall'impianto risulta pertanto

$$Q_{pm} = 5 \cdot Q_m = 4000 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{167 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Il coefficiente di punta utilizzato per determinare la portata massima da avviare a trattamento biologico in tempo di pioggia è stato assunto pari a 3, corrispondente a quello indicato nell'Allegato B del DPGR n. 17/R 2008 per gli impianti dove non è presente il trattamento primario, risultando pertanto:

$$Q_{pb} = 3 \cdot Q_m = 2400 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{100 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Infine, per tener conto dell'incremento dei carichi inquinanti afferenti all'impianto che si osserva tipicamente nel corso delle ore diurne, le verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico sono state condotte considerando cautelativamente un fattore di picco pari a 1.5, determinando una portata di calcolo pari a

$$Q_c = 1.5 \cdot Q_m = 1200 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{50 \text{ m}^3/\text{h}}$$

2.1.3 Concentrazioni e carichi inquinanti di progetto

Le concentrazioni calcolate sulla base degli apporti pro-capite da letteratura risultano cautelative rispetto a quelle attualmente in ingresso all'impianto, pertanto, si sono assunte quali concentrazioni di progetto.

Come verrà approfondito nel paragrafo 4.5, le verifiche di processo per il dimensionamento del comparto biologico sono state effettuate utilizzando un modello di calcolo avanzato che si basa sul parametro COD per quantificare il contenuto di sostanza organica presente nel refluo da trattare e, più in particolare, sulla ripartizione del COD in frazioni a diverso grado di biodegradabilità:

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

Anche per il frazionamento si sono assunti i valori tipici da letteratura per reflui civili. In Tabella 3 si propone un riassunto dei parametri individuati.

Tabella 3: Concentrazioni dei principali inquinanti in ingresso basate sugli apporti pro-capite

Parametro	u.m.	Valore
Portata media Q_m	m ³ /d	800
Potenzialità di trattamento	AE	4000
<u>Apporti inquinanti pro-capite</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	g BOD ₅ /AE/d	60
Sostanza organica come COD	g COD/AE/d	120
Azoto totale (TN)	g N/AE/d	12
Solidi sospesi totali (SST)	g SST/AE/d	90
Fosforo totale (TP)	g P/AE/d	2
<u>Carichi inquinanti medi in ingresso</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	kg BOD ₅ /d	240
Sostanza organica come COD	kg COD/d	480
Azoto totale (TN)	kg N/d	48
Solidi sospesi totali (SST)	kg SST/d	360
Fosforo totale (TP)	kg P/d	8
<u>Concentrazioni medie di inquinanti nel refluo in ingresso</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	mg BOD ₅ /L	300
Sostanza organica come COD	mg COD/L	600
Azoto totale (TN)	mg N/L	60
Solidi sospesi totali (SST)	mg SST/L	450
Fosforo totale (TP)	mg P/L	10
<u>Frazionamento del COD nel refluo in ingresso</u>		

Parametro	u.m.	Valore
Frazione di COD solubile biodegradabile	-	25%
Frazione di COD solubile non biodegradabile	-	5%
Frazione di COD particolato biodegradabile	-	60%
Frazione di COD particolato non biodegradabile	-	10%

2.2 TEMPERATURE DI PROGETTO E LIMITE ALLO SCARICO

Dal momento che le cinetiche di crescita batteriche risultano rallentate al decrescere della temperatura in vasca, le verifiche di dimensionamento delle volumetrie di processo biologico sono state effettuate con riferimento alle condizioni di **temperatura minima invernale di 12 °C**. La **temperatura massima estiva di 25 °C** è stata invece utilizzata per le verifiche di dimensionamento dei sistemi di aerazione, dato che la solubilità dell'ossigeno in acqua si riduce all'incrementare della temperatura.

Ai sensi del Decreto della Presidente della Giunta Regionale della Regione Piemonte del 16 dicembre 2008, n. 17/R lo scarico dell'impianto esistente è realizzato in acque superficiali ed i limiti di emissione che l'impianto deve rispettare sono quelli indicati in Tabella 1 e Tabella 3 dell'Allegato 5 alla Parte Terza del D.lgs. 152/06, sinteticamente riportati in Tabella 4.

Tabella 4: Limiti previsti allo scarico

Parametro	u.m.	Valore
Sostanza organica come BOD5	mg BOD5/L	25
Sostanza organica come COD	mg COD/L	125
Solidi sospesi totali (SST)	mg SST/L	35
Azoto ammoniacale (N-NH4)	mg N/L	11.7 ¹
Azoto nitroso (N-NO2)	mg N/L	0.6
Azoto nitrico (N-NO3)	mg N/L	20
Fosforo totale (TP)	mg P/L	2

2.3 RIEPILOGO DATI DI PROGETTO

Il quadro dei dati di progetto assunti come riferimento per i calcoli di processo e dimensionamento delle varie sezioni di trattamento dell'impianto viene riepilogato in Tabella 5.

Tabella 5: Quadro di riepilogo dei dati di progetto

Parametro	u.m.	Valore
<u>Portate di progetto</u>		

¹ Corrispondente a 15 mg/l come NH₄

Parametro	u.m.	Valore
Potenzialità dell'impianto	AE	4000
Dotazione idrica pro-capite	L/AE/d	250
Coefficiente di afflusso in fognatura	-	0.8
Portata media Q_m	m ³ /d m ³ /h	800 33
Coefficiente di punta per la portata di calcolo Q_c	-	1.5
Portata di calcolo Q_c (per il dimensionamento dei comparti di trattamento secondario)	m ³ /d m ³ /h	1200 50
Coefficiente di punta per la portata massima avviata a trattamento Q_{pb}	-	3
Portata massima avviata a trattamento biologico Q_{pb}	m ³ /h	100
Coefficiente di punta per la portata massima avviata ai pre-trattamento Q_{pm}	-	5
Portata massima avviata a trattamento pre-trattamento Q_{pm}	m ³ /h	167
<u>Concentrazioni di inquinanti nel refluo in ingresso</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	mg BOD ₅ /L	300
Sostanza organica come COD	mg COD/L	600
Azoto totale (TN)	mg N/L	60
Solidi sospesi totali (SST)	mg SST/L	450
Fosforo totale (TP)	mg P/L	10
<u>Carichi medi di inquinanti in ingresso</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	kg BOD ₅ /d	240
Sostanza organica come COD	kg COD/d	480
Azoto totale (TN)	kg N/d	48
Solidi sospesi totali (SST)	kg SST/d	360
Fosforo totale (TP)	kg P/d	8
<u>Frazionamento del COD nel refluo in ingresso</u>		
Frazione di COD solubile biodegradabile	%	25
Frazione di COD solubile non biodegradabile	%	5
Frazione di COD particolato biodegradabile	%	60
Frazione di COD particolato non biodegradabile	%	10
<u>Limiti allo scarico</u>		
Sostanza organica come BOD ₅	mg BOD ₅ /L	25
Sostanza organica come COD	mg COD/L	125
Solidi sospesi totali (SST)	mg SST/L	35
Azoto ammoniacale	mg N/L	11.7 ²
Azoto nitroso	mg NO ₃ -N/L	0.6
Azoto nitrico	mg NO ₂ -N/L	20
Fosforo	mg P/L	2

² Corrispondente a 15 mg/l come NH₄

Parametro	u.m.	Valore
<i>Temperature in vasca</i>		
Temperatura di progetto	°C	12
Temperatura massima estiva (per il dimensionamento dei sistemi di aerazione)	°C	25

3 OBIETTIVI E SINTESI DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Gli obiettivi generali e i principi ispiratori dell'intervento in progetto sono riassumibili come segue:

- ampliare la potenzialità dell'impianto dagli attuali fino a 4000 AE, nel rispetto dei limiti di legge allo scarico e delle performance depurative definiti;
- adeguare e/o sostituire le apparecchiature e le vasche esistenti obsolete o superate da tecnologie più avanzate o maggiormente efficienti (vasca di sedimentazione, accumulo e ispessimento fanghi);
- garantire il massimo recupero delle opere esistenti che è possibile mantenere in funzione in quanto non limitanti il processo depurativo;
- adottare soluzioni che minimizzino i consumi energetici dell'impianto nel rispetto degli obiettivi da perseguire allo scarico;
- introdurre un telecontrollo che agevoli le attività di controllo e di gestione dell'impianto
- adottare soluzioni con basso impatto ambientale;
- rispettare i vincoli urbanistici e ambientali vigenti;
- collocare le nuove opere nell'area di interesse assicurando il processo depurativo anche durante i lavori di adeguamento ed evitando eventuali versamenti del liquame fognario nel corpo idrico ricettore;
- installare migliori tecnologie disponibili per l'ottimizzazione della gestione, il contenimento dei consumi energetici e la riduzione dei costi di manodopera;
- conseguire il miglior rapporto benefici/costi globali, considerando anche gli attesi oneri di conduzione, manutenzione e gestione.

Il potenziamento dell'impianto di depurazione di Costigliole alla capacità di trattamento di progetto richiede la realizzazione dei seguenti interventi:

- realizzazione di una soglia di by-pass della portata maggiore di 5 volte la portata media in ingresso munita di **una nuova sezione di grigliatura grossolana manuale**;
- realizzazione di **una nuova sezione di grigliatura grossolana da 15 mm, con pulizia automatica, e una manuale da 20 mm a pettine verticale**;
- **sostituzione apparecchiature dedicate alla stazione di sollevamento esistente**;
- **realizzazione di un pozzetto di alimento al comparto di trattamento biologico** da cui verrà scolmata e inviata allo scarico la portata eccedente la $3Q_m$;
- realizzazione di **una nuova sezione di grigliatura fine a 2,5 mm su rotostaccio** che verrà alloggiata sulla sommità del pozzetto di alimento alla biologia;
- **adeguamento della nuova sezione di trattamento biologico con:**

- sostituzione dei sistemi di **ossigenazione delle due linee biologiche mediante insufflazione d'aria**, costituiti da 1+1R soffianti e da due reti di diffusori a bolle fini ad elevata efficienza di trasferimento dell'ossigeno;
 - implementazione di un **controller di automazione avanzata per la gestione del processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente in vasca unica**, basato sul monitoraggio di parametri indicatori di tipo indiretto (concentrazione di ossigeno disciolto);
 - predisposizione di quanto necessario per l'installazione di una stazione di dosaggio di cloruro ferrico con lo spazio utile all'installazione del serbatoio di stoccaggio e 1+1R pompe dosatrici;
 - sostituzione carpenterie della passerella in calcestruzzo e ripristino dei calcestruzzi della vasca;
 - manutenzione dell'opera strutturale per aumentare la vita utile residua.
- realizzazione di **un nuovo sedimentatore secondario a pianta circolare** di 12 m di diametro completo di ponte raschiatore a trazione periferica, caratterizzato da dimensioni planimetriche e profondità utile adeguate alle esigenze nello scenario di progetto;
 - realizzazione di **un nuovo canale di disinfezione dell'effluente per via chimica realizzato su un canale** che si sviluppa in prossimità della nuova stabilizzazione aerobica, munito di collegamento di by-pass e di stazione di dosaggio agente disinfettante;
 - realizzazione di **un nuovo reattore di stabilizzazione aerobico** realizzato al posto del sedimentatore secondario, e munito di **sistema di ossigenazione mediante insufflazione d'aria**, costituiti da 1 soffiante volumetriche a lobi e da rete di diffusori a bolle fini ad elevata efficienza di trasferimento dell'ossigeno;
 - **riutilizzo e riposizionamento su nuova platea dell'ispessitore esistente in carpenteria metallica** che ora riceverà i fanghi provenienti dalla stabilizzazione aerobica;
 - realizzazione di **un locale tecnico per l'alloggiamento delle nuove soffianti** e di **un locale quadri elettrici** per l'alimentazione, la supervisione e il controllo dell'impianto;

La viabilità interna all'impianto, ripristinata a seguito della realizzazione dei nuovi manufatti, sarà realizzata in asfalto.

Si prevede, oltre a quanto sopra descritto, la pulizia dell'area oggetto del potenziamento attualmente utilizzata dal Comune di Costigliole come deposito di materiale vario.

Le opere edili più significative dell'intervento da realizzare risultano quindi:

- I canali di grigliatura grossolana occupano un'area con un ingombro approssimativamente di 1.8 x 4.7 m;
- il pozzetto di alimento alla biologia da cui verrà scolmata la portata eccedente la $3Q_m$ e su cui verrà alloggiato il rotostaccio per la grigliatura fine che occuperà un'area planimetrica di circa 2.3 x 3.0 m;
- il sedimentatore secondario, di diametro esterno di circa 12.8 m;

- il canale di disinfezione e la stabilizzazione aerobica che verranno realizzati come manufatti attigui andando a determinare un ingombro planimetrico complessivo di circa 12.8 x 6.5 m;
- la platea di appoggio dell'ispessitore statico dei fanghi di supero, di diametro interno di 3.5 m;
- l'edificio tecnico per l'alloggiamento delle soffianti e dei quadri elettrici, di dimensioni esterne pari a 8.5 x 5.2m.

4 VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO

Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i risultati dei calcoli di processo effettuati per dimensionare i comparti di trattamento di nuova realizzazione e definire le caratteristiche tecniche delle apparecchiature elettromeccaniche di nuova installazione. Nella trattazione si fa riferimento separatamente alle diverse sezioni impiantistiche che compongono la filiera di processo, descrivendone sommariamente anche i principi di funzionamento ipotizzati e le soluzioni progettuali di cui si prevede l'implementazione.

4.1 GRIGLIATURA GROSSOLANA E SFIORATORE PORTATA Q_{PM}

Nel rispetto di quanto definito nel Regolamento Regionale n 17/R, verrà avviata ai comparti di pretrattamento una portata pari a 5 volte la portata media di tempo secco. La portata eccedente la $5Q_m$ sfiorerà verso lo scarico attraverso un'apertura circolare presidiata da una griglia a pulizia manuale ricavata a monte dei canali di grigliatura grossolana, e collegata al collettore di scarico delle portate eccedenti esistente.

La portata in ingresso confluirà a gravità in una vasca suddivisa in due canali in cui verranno installate le due griglie grossolane da 15 e da 20 mm, una a pulizia automatica e una manuale, a valle delle quali una finestra di collegamento idraulico ricavata tra la vasca esistente e il manufatto di nuova realizzazione permetterà di avviare al sollevamento una portata pari a $5Q_m$. In ognuno dei due canali di installazione delle griglie sono previste due paratoie a movimentazione manuale per la gestione delle griglie: in caso di manutenzione della griglia automatica il flusso in ingresso sarà convogliato verso la griglia manuale.

Tabella 6: Grigliatura grossolana iniziale

Parametro	Unità di misura	Valore
Numero griglie	-	2
Larghezza canale	m	0.5
Portata massima	m ³ /h	167
Luce	mm	15 (pulizia automatica) 20 (pulizia manuale)
Potenza installata	kW	0.75

I due canali di alloggiamento delle griglie grossolane saranno equipaggiati con due paratoie manuali, poste una a monte e una a valle della griglia stessa.

4.2 STAZIONE DI SOLLEVAMENTO INIZIALE

A valle della sezione di grigliatura grossolana la portata verrà convogliata nella vasca di sollevamento esistente, equipaggiata con due pompe sommergibili asservite ad inverter (una con funzione di riserva attiva) addette al sollevamento del refluo da avviare alla staccatura fine. Nella stessa vasca recapiterà anche la condotta di ritorno delle acque di dilavamento dei piazzali interni al sedime di impianto, stimata in circa 12 m³/h.

I risultati della campagna di rilievo GPS condotta all'interno e nei pressi del sedime dell'impianto, hanno evidenziato come la condotta esistente di scarico delle portate eccedenti sia posta più in quota rispetto al collettore fognario in ingresso all'impianto. Ne consegue che, in caso di portate eccedenti la 5Q_m, il livello idraulico all'interno del pozzetto di sollevamento arrivi a una quota superiore rispetto all'estradosso del tubo di collettamento refluo in ingresso impianto, mandando in pressione una parte della rete fognaria a monte dell'impianto. La stazione di sollevamento avrà la seguente logica di automazione:

- 1- Per portate afferenti maggiori a 5Q_m si sceglie di sollevare al rotostaccio a tamburo rotante una portata totale massima pari a 179 m³/h (167 m³/h + 12 m³/h).
- 2- In caso di portata afferenti maggiori si attiverà lo sfioro di testa impianto ricavato a monte dei canali di grigliatura grossolana per il deflusso a gravità verso il collettore di scarico esistente. Lo sfioro sarà presidiato da una griglia a pulizia manuale.

La portata massima da sollevare sarà quindi pari a cinque volte la portata media in tempo secco a cui va aggiunta la portata afferente dalla rete di raccolta acque meteoriche. Si riportano in Tabella 7 le caratteristiche tecniche e dimensionali della stazione di sollevamento.

Tabella 7: Caratteristiche tecniche e dimensionali della stazione di sollevamento

Parametro	Unità di misura	Valore di progetto
Portata massima da sollevare 5Q _m + Q _{meteo}	m ³ /h	179
Numero di pompe installate	-	2
Numero di pompe di riserva	-	1
Lunghezza della vasca	m	2.4
Larghezza della vasca	m	3.4
Numero avviamenti massimi	avv/h	15
Altezza minima sommergenza delle pompe	m	0.39

4.3 GRIGLIATURA FINE

È previsto un pretrattamento di grigliatura fine tramite sgrigliatore a tamburo rotante, by-passabile idraulicamente, con luce di filtrazione di 2.5 mm, in grado di trattare complessivamente l'intera portata di punta prevista pari a 179 m³/h (167 m³/h + 12 m³/h). La macchina sarà alloggiata sulla

sommità del pozzetto di alimento alla biologia, di nuova realizzazione. Alla luce della configurazione di gestione del sollevamento come descritta al punto 4.2, la portata massima sollevata allo sgrigliatore a tamburo rotante sarà uguale a 179 m³/h: la macchina scelta consente il trattamento di grigliatura per una portata massima pari a 182 m³/h, che copre l'intera portata di progetto 5Q_m pari a 167 m³/h, nonché la totalità della portata sollevata pari a 179 m³/h (167 m³/h + 12 m³/h). Tuttavia, la macchina è equipaggiata con uno sfioro interno per il bypass delle portate eccedenti i 182 m³/h, che sarà collegata direttamente alla condotta di scarico delle portate eccedenti.



Figura 1: Sgrigliatore fine a tamburo rotante

Le caratteristiche dell'equipaggiamento della sezione sono riportate in Tabella 8.

Tabella 8: Stazione di grigliatura fine del refluo in ingresso

Parametro	Unità di misura	Valore
<u>Sgrigliatore a tamburo rotante</u>		
Numero linee di grigliatura	-	1
Portata massima (Q _{pm})	m ³ /h	179
Diametro cilindro	m	0.63
Lunghezza cilindro	m	0.6
Luce di passaggio	mm	2.5
Potenza installata singola griglia	kW	0.37
<u>Pozzetto di alimento alla biologia</u>		
Larghezza	m	1.7
Lunghezza	m	2.4

Il materiale grigliato viene scaricato in un compattatore a vite, e successivamente convogliato in un apposito cassonetto posizionato a livello del piano campagna per poter essere avviato a smaltimento, l'acqua di drenaggio confluisce a gravità alla vasca di sollevamento.

4.4 RIPARTITORE DI PORTATA

Al fine di alimentare il comparto biologico con una portata pari a $3Q_m$, e permettere una gestione delle portate sollevate come descritta al punto 4.2, il manufatto di nuova realizzazione sul quale è installato lo sgrigliatore a tamburo rotante prevede di una serie di sfiori descritti di seguito:

- 1- Una prima soglia di sfioro parte integrante dello sgrigliatore a tamburo, che si attiva per portate superiori a $182 \text{ m}^3/\text{h}$: la portata sfiorata viene convogliata verso la tubazione di scarico portate eccedenti. Per le portate di progetto questo sfioro non sarà mai attivo;
- 2- Una seconda soglia di sfioro realizzata con paratoia motorizzata a stramazzo per la gestione delle portate eccedenti $3Q_m$ e inferiori a $179 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 3- Una terza soglia di sfioro realizzata sul manufatto che alimenta la vasca di ossidazione con una portata pari a $3Q_m$;

Dallo sgrigliatore a tamburo rotante il refluo recapita a gravità al sottostante pozzetto di alimento alla biologia dal quale la portata viene ripartita in due flussi corrispondenti rispettivamente alla $3Q_m$ che alimenterà la vasca di ossidazione biologica, e alla rimanenza della portata in uscita dallo sgrigliatore a tamburo rotante che stramazzerà dalla paratoia motorizzata e verrà mandata direttamente a scarico per gravità.

4.5 TRATTAMENTO BIOLOGICO

4.5.1 Configurazione impiantistica prevista

La soluzione progettuale prevede il riutilizzo della vasca di trattamento biologico esistente implementando uno schema di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente, basata sul monitoraggio in tempo reale della concentrazione di ossigeno disciolto, che sottoporrà la vasca a fasi alternate di aerazione e non aerazione, con fornitura dell'aria regolata in base alla misura in continuo della concentrazione di ossigeno disciolto in vasca. I vantaggi di tale sistema sono descritti dettagliatamente nel paragrafo 4.5.2.

La linea sarà equipaggiata con le apparecchiature elettromeccaniche che soddisfano le nuove esigenze processistiche, anche alla luce dell'introduzione del sistema di automazione avanzato per la gestione del processo di nitrificazione/denitrificazione a cicli intermittenti. Si rende in particolare necessario provvedere all'installazione di adeguati sistemi di aerazione della vasca, oltre che di tutta la sensoristica necessaria per un'efficace gestione e monitoraggio del processo. Sono previsti in questo senso:

- l'installazione di 1+1R soffianti volumetriche a lobi funzionanti sotto inverter, posizionate all'interno di un locale tecnico di nuova realizzazione;
- l'installazione di sistemi di diffusione dell'aria con diffusori a disco a bolle fini ad elevata efficienza di trasferimento dell'ossigeno;
- l'installazione di una sonda a fluoroluminescenza per la misura della concentrazione di ossigeno disciolto completa della relativa centralina, sulla base della quale viene regolata la frequenza di funzionamento delle soffianti nelle fasi aerobiche.
- l'installazione di un sensore ottico ad infrarossi per la misura in continuo della concentrazione di solidi sospesi.

Il mantenimento in sospensione della biomassa durante le fasi anossiche di denitrificazione avverrà secondo una logica di aerazione pulsata, con brevi periodi di accensione delle soffianti (di durata e frequenza impostabili da utente) che, seppur influenti per il processo di denitrificazione, evitano la sedimentazione della biomassa.

4.5.2 Il processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente

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

Fra le diverse tecnologie che permettono di rimuovere i composti azotati, la più utilizzata è quella che prevede di articolare il processo biologico secondo lo schema di pre-denitrificazione/nitrificazione, noto come schema di Ludzack-Ettinger modificato (*Modified Ludzack Ettinger*, MLE), in cui il refluo, relativamente ricco di composti rapidamente biodegradabili, viene alimentato ad una vasca mantenuta permanentemente in condizioni anossiche nella quale avvengono le reazioni di riduzione dei nitrati ad azoto gassoso. Il fango viene quindi avviato ad un reattore separato nel quale avvengono le reazioni di ossidazione del carbonio e di nitrificazione dell'azoto ammoniacale. La concentrazione di nitrati nell'effluente viene mantenuta bassa riciclando dalla vasca di ossidazione/nitrificazione a quella di denitrificazione una portata pari a 2÷5 volte la portata media influente.

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

- non è possibile variare la proporzione fra i volumi aerati e quelli anossici e pertanto è difficile adattare l'impianto alle diverse condizioni operative cui è sottoposto dalle variazioni settimanali e stagionali di carico, dalla variazione di temperatura, da eventuali scarichi anomali o guasti;

- è necessario ricircolare elevate portate (indicativamente 2÷5 volte la portata media trattata) con conseguenti consumi energetici significativi e ricircolo nella vasca di denitrificazione di notevoli quantità di ossigeno (minore efficienza di denitrificazione).

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

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

4.5.3 Modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento del comparto biologico

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

Tuttavia, benché ancora oggi applicato negli approcci di dimensionamento convenzionali, il BOD₅ presenta numerose limitazioni come parametro di caratterizzazione del refluo influente per motivi

legati ai tempi di esecuzione del test e alla scarsa rappresentatività delle reali dinamiche del processo depurativo, poiché il tempo di residenza idraulico di un impianto di depurazione per reflui civili è nettamente inferiore a 5 giorni.

Per queste ragioni, a partire dalla metà degli anni '80 l'*International Water Association* (IWA) ha proposto e sviluppato delle metodologie di calcolo alternative secondo cui il carico organico influente viene espresso in termini di COD, a sua volta ripartito in frazioni differenti che vengono classificate in base al rispettivo grado di biodegradabilità. Come mostrato schematicamente in Figura 2, il COD può essere innanzitutto suddiviso in due aliquote: COD biodegradabile e COD non biodegradabile.

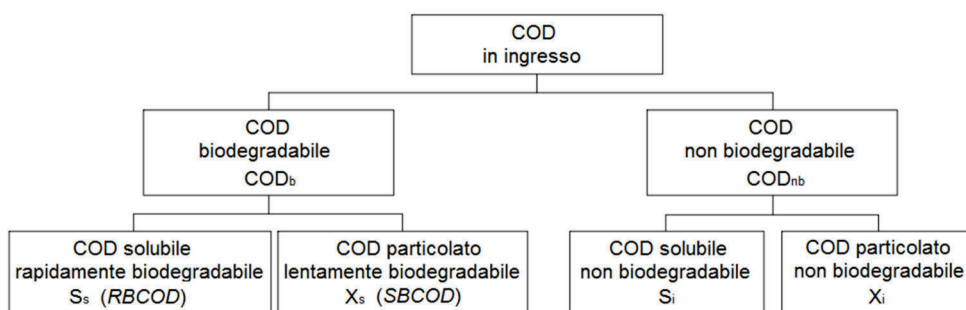


Figura 2: Suddivisione schematica del COD nelle sue forme a diverso grado di biodegradabilità

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

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

Il contenuto di COD biodegradabile, nelle sue frazioni RBCOD e SBCOD, riveste un ruolo determinante nel dimensionamento del comparto di denitrificazione, dal momento che il tasso di

riduzione di nitrato ad azoto gassoso biatomico è fortemente influenzato dalla natura del substrato organico che funge da donatore di elettroni: la velocità di denitrificazione risulta significativamente maggiore in presenza di RBCOD rispetto al caso in cui sia disponibile esclusivamente SBCOD, per poi ridursi drasticamente in presenza di solo substrato di origine endogena.

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

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

Il metodo di calcolo utilizzato per la verifica dimensionale del comparto di trattamento biologico a fanghi attivi deriva concettualmente dal metodo UCT (Ekama *et al.*, 1984), proposto dal *Water Research Group* dell'Università di Cape Town (RSA).

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

Il modello è stato utilizzato per verificare le volumetrie di processo necessarie, il fabbisogno di ossigeno e, più in generale, i valori di tutti i parametri operativi, facendo riferimento alla configurazione di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente, basata sul monitoraggio diretto della concentrazione delle forme azotate in vasca, che si prevede di implementare nell'ambito degli interventi di adeguamento/potenziamento.

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

- input dei dati di caratterizzazione del liquame influente da trattare, dei limiti di riferimento imposti allo scarico e del valore di temperatura di progetto (riepilogati per il caso in esame nel capitolo 2.2);
- input dei parametri cinetici e stechiometrici per la biomassa eterotrofa ed autotrofa (si veda il paragrafo 4.5.4);
- input delle condizioni operative in termini di concentrazione di SST mantenuta nel comparto biologico (x_b), della relativa frazione volatile SSV/SST, di rapporto di ricircolo dei fanghi dal

sedimentatore secondario (r_s) e di concentrazione di ossigeno disciolto (O_a) nelle fasi di aerazione;

- scelta di un valore di primo tentativo della frazione anossica f_{xt} , corrispondente alla percentuale di tempo dedicata al processo anossico di denitrificazione;
- calcolo dell'età del fango di progetto (SRT);
- calcolo dei valori di massa di solidi sospesi volatili SSV associati alla biomassa attiva, al residuo endogeno e al materiale inerte;
- calcolo del volume totale V_t per il processo biologico di nitrificazione/denitrificazione, in base alla concentrazione di SST e alla frazione volatile SSV/SST ipotizzate in vasca;
- calcolo della capacità di nitrificazione del sistema (N_c), ovvero della massa di nitrati prodotti nelle fasi ossidative per unità di volume trattato;
- calcolo del potenziale di denitrificazione (D_p), ossia del quantitativo di nitrati che il sistema è effettivamente in grado di rimuovere nella frazione di tempo in condizioni anossiche calcolata e della capacità di denitrificazione richiesta (D_c), ossia del quantitativo di nitrati effettivamente da rimuovere;
- calcolo della concentrazione dei principali macroinquinanti nell'effluente;
- ottimizzazione iterativa dei parametri f_{xt} ed eventualmente x_b e r_s per consentire il raggiungimento degli standard depurativi richiesti, fino al calcolo del valore definitivo di SRT;
- determinazione della produzione di fanghi di supero nelle condizioni di progetto;
- calcolo del fabbisogno di ossigeno e dimensionamento del sistema di aerazione, con riferimento alle condizioni più gravose di temperatura massima estiva.

4.5.4 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

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

I valori dei parametri cinetici a 20 °C, dei relativi coefficienti α di correzione e dei parametri stechiometrici utilizzati nell'applicazione del modello di calcolo ai fini delle verifiche di dimensionamento dei comparti di trattamento biologico sono stati ricavati da letteratura (Ekama et al., 1984; Metcalf & Eddy, 2014) e sono riassunti in Tabella 9.

Tabella 9: Valori dei parametri cinetici e stechiometrici assunti in sede di dimensionamento

Parametro	Simbolo	u.m.	Valore
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C	μ_{n20}	d ⁻¹	0.45
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.123
Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T di progetto	μ_{nT}	d ⁻¹	0,178
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	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	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_{n20}	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	b_{nT}	d ⁻¹	0.191
Tasso di scomparsa cellulare della biomassa eterotrofa alla T massima	b_{nhTmax}	d ⁻¹	0.277
Resa cellulare della biomassa eterotrofa	Y_n	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	$K_{1,T}$	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	0.22
Coefficiente α di correzione per effetto della temperatura	-	-	1.08
Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile alla T di progetto	$K_{2,T}$	gN-NO ₃ /gSSV/d	0.119
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

4.5.5 Risultati delle verifiche di calcolo

I risultati dei calcoli di processo effettuati sono riassunti in Tabella 10. Le nuove condizioni operative garantite dal *controller* del processo ad aerazione intermittente, consentono di rispettare i limiti normativi richiesti nello scenario di progetto. Di conseguenza, l'impianto nella nuova configurazione di progetto garantisce ampi margini di potenzialità di trattamento residua rispetto ai carichi attuali dato l'incremento di potenzialità da 3668 AE attuali a 4000 AE di progetto. Tali margini potranno essere "sfruttati" da parte del *controller* per la gestione del processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente per aumentare ulteriormente l'efficienza di abbattimento dell'azoto e minimizzare i consumi energetici. Va peraltro sottolineato in questo senso che l'efficienza depurativa sulle forme azotate, se valutata su base annua, potrà risultare superiore a quella calcolata nelle condizioni cautelative di temperatura minima di progetto, per effetto dell'incremento delle cinetiche batteriche all'aumento della temperatura in vasca.

Per l'abbattimento del fosforo si prevede lo spazio per l'installazione di una stazione di dosaggio di cloruro ferrico composta da un serbatoio da 2000 l (tempo utile per 14 giorni di dosaggio) e di 1+1R pompe dosatrici con le caratteristiche come da elenco apparecchiature elettromeccaniche.

Dal punto di vista elettrico si prevede, invece, l'installazione di tutti i cavi necessari per il corretto funzionamento e la messa in marcia delle apparecchiature non appena saranno installate.

Tabella 10: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di trattamento biologico

Parametro	u.m.	Valore a 12°C	Valore a 25°C
<u>Condizioni operative</u>			
Portata di calcolo Q_c	m ³ /h	50	50
Temperatura minima di progetto	°C	12	25
Concentrazione di ossigeno disciolto nel comparto biologico nelle fasi aerate	gO ₂ /m ³	2.0	2.0
Concentrazione di SST nei reattori biologici (comprensivo di fanghi chimici)	kgSST/m ³	5.5	5.6
Rapporto massimo di ricircolo dei fanghi sedimentati riferito a Q_c	-	1.0	1.0
Concentrazione di SST nei fanghi di ricircolo e supero	kgSST/m ³	11.0	11.1
<u>Risultati delle verifiche di dimensionamento</u>			
Età del fango (SRT)	d	11.3	12.9
Massa totale di SST richiesta	kgSST	3031	3130
Frazione volatile ipotizzata	gSSV/gSST	0.75	0.75
Volume complessivo disponibile del comparto biologico	m ³	524	524
Frazione anossica (=frazione di tempo in condizioni non aerate)	-	20.2%	60%

Produzione di fanghi di supero riferita alle condizioni di calcolo (Q_c)	kgSST/d	231	202
Produzione di fanghi di supero riferita alle condizioni medie (Q_m)	kgSST/d	154	135
Portata volumetrica media di fanghi di supero	m ³ /d	14.0	12.1
Numero reattori biologici previsti	-	1	1
Volume utile unitario	m ³	524	524
Battente utile disponibile nella vasca	m	3.1	3.1
<u>Dimensionamento del sistema di aerazione (a $T_{max}=25$ °C)</u>			
Fabbisogno complessivo di ossigeno	kgO ₂ /d	516.8	562.6
Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (AOR) da soddisfare nelle fasi aerate	kgO ₂ /h	27.0	58.6
Fattore riduttivo α del coefficiente globale di trasferimento $K_L \cdot a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita	-	0.8	0.8
Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	39.0	84.9
SOTR richiesto in ogni linea di ossidazione	kgO ₂ /h	39.0	84.9
Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (SOTE) ³	-	17 %	17 %
Portata d'aria massima richiesta per ogni linea	Nm ³ /h	764	1661
Numero di soffianti previste	-	1+1R	1+1R
Portata d'aria fornita dalla singola soffiante	Nm ³ /h	764	1661
Pressione differenziale	mbar	370	370

La concentrazione di SST nei reattori biologici in condizioni di temperatura massima è stata considerata pari a 5.6 kgSST/m³ in modo da ottenere sempre il rispetto dei limiti.

4.6 SEDIMENTAZIONE SECONDARIA

Il flusso di fango in uscita dal reattore biologico passa al nuovo sedimentatore secondario, costituito da un bacino a pianta circolare e flusso ascensionale e radiale, equipaggiato con carroponete raschiatore a comando centrale con lame di fondo e di superficie.

La scelta di realizzare un nuovo sedimentatore secondario è motivata dal fatto che il sedimentatore esistente risulta di dimensioni insufficienti rispetto alle esigenze di progetto.

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

³ SOTE ottenibile con il battente idrostatico previsto in vasca con l'impiego di diffusori a bolle fini ad alta efficienza di trasferimento (valore da verificare nelle successive fasi di progettazione).

superficiale C_i , tempo di ritenzione idraulica HRT , carico allo sfioro C_s) 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

$$C_i = \frac{Q}{A_{sed}} \quad \text{Equazione 2}$$

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

$$FS = \frac{M(SST)}{A_{sed}} = \frac{Q_{in, sed} \cdot x_b}{A_{sed}} = \frac{(Q + Q_{ric}) \cdot x_b}{A_{sed}} \quad \text{Equazione 3}$$

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 0.7 m³/m²/h con riferimento alla portata di calcolo 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 come rapporto della sola portata massima di liquame rispetto al volume disponibile, non considerando il flusso ricircolo) può infine essere assunto pari a 3 ore, mentre il carico allo sfioro C_s (rapporto tra portata di liquame trattata e lunghezza complessiva del profilo perimetrale di sfioro) deve risultare inferiore a 250 m³/m/d in corrispondenza della portata di calcolo.

I risultati delle verifiche di dimensionamento del nuovo sedimentatore, riepilogati in Tabella 11, consentono di apprezzare come le dimensioni del bacino previsto consentano di mantenere condizioni operative particolarmente cautelative nello scenario di progetto.

Tabella 11: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di sedimentazione secondaria

Parametro	u.m.	Valore
<u>Vincoli progettuali</u>		
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_c	kgSST/m ² /h	4.93

Parametro	u.m.	Valore
Flusso solido limite in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/m ² /h	7.39
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_c	m/h	0.44
Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con Q_{pb}	m/h	0.88
Tempo di ritenzione idraulica minimo con Q_c	h	3.5
Carico allo sfioro massimo con Q_c	m ³ /m/d	36.7
<u>Caratteristiche del bacino di sedimentazione secondaria</u>		
Diametro utile	m	12.00
Profondità allo sfioro	m	3
Profondità a centro vasca (tramoggia esclusa)	m	3.33
Pendenza del fondo	-	5%
Superficie utile	m ²	113.1
Volume utile	m ³	350.6
<u>Condizioni operative previste</u>		
Portata media Q_m	m ³ /h	33
Portata di calcolo Q_c	m ³ /h	50
Portata massima Q_{pb}	m ³ /h	100
Rapporto di ricircolo dei fanghi	-	1
Concentrazione di SST nel comparto biologico	kgSST/m ³	5.6
Carico di solidi in corrispondenza di Q_m	kgSST/h	464.4
Carico di solidi in corrispondenza di Q_c	kgSST/h	557.3
Carico di solidi in corrispondenza di Q_{pb}	kgSST/h	835.9
Flusso solido con Q_m	kgSST/m ² /h	4.11
Flusso solido con Q_c	kgSST/m ² /h	4.93
Flusso solido con Q_{pb}	kgSST/m ² /h	7.39
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_m	m ³ /m ² /h	0.29
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_c	m ³ /m ² /h	0.44
Carico idraulico (=velocità di risalita) con Q_{pb}	m ³ /m ² /h	0.88
Tempo di ritenzione idraulica con Q_c	h	7.0
Carico allo sfioro con Q_c	m ³ /m/d	36.7

Il fango sedimentato viene sospinto dalla raschia di fondo nella tramoggia centrale, dalla quale passa, mediante un'apposita tubazione presidiata da valvola di intercettazione manuale, al pozzo di ricircolo e supero, in cui sono installate 1+1R elettropompe centrifughe sommergibili di ricircolo dei fanghi al ripartitore di portata in ingresso al comparto biologico. Una terza pompa è deputata all'estrazione dei fanghi di supero, che vengono avviati al nuovo comparto di digestione aerobica, e una quarta alle schiume.

L'effluente chiarificato, raccolto in una canaletta perimetrale dotata di profilo di sfioro tipo Thompson e anello deflettore paraschiuma, viene avviato al nuovo comparto di disinfezione attraverso una tubazione interrata.

4.7 DISINFEZIONE

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo comparto di disinfezione per via chimica, costituito da un canale di contatto adeguatamente dimensionato munito di sistema di by-pass.

Il reagente chimico impiegato sarà l'acido peracetico caratterizzato da bassa tossicità ed ecotossicità in fase di utilizzo, rapidità di azione, elevata degradabilità e assenza di sottoprodotti tossicologici in quanto degrada in acqua e acido acetico.

Le verifiche di dimensionamento del nuovo bacino di disinfezione sono finalizzate innanzitutto ad accertare che il volume utile disponibile garantisca tempi di residenza idraulica in corrispondenza delle portate media e massima superiori ai valori minimi suggeriti dai principali testi scientifici di settore, in modo da garantire un'adeguata efficienza di abbattimento della carica batterica. 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 tempo di ritenzione idraulica *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 limitato. A questo fine, il metodo prevede che il numero adimensionale di dispersione assiale *d*, definito come

$$d = \frac{1.01 \cdot v \cdot Re^{0.875} \cdot HRT}{L} \quad \text{Equazione 4}$$

debba risultare inferiore a 0.015 (*range* tipico per i processi di disinfezione: 0.004÷0.02; $d=0$ in caso di reattore *plug-flow* ideale, con assenza di dispersione assiale; $d \rightarrow \infty$ per reattori a miscelazione completa).

In aggiunta a ciò, si suggerisce 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 di disinfezione di nuova realizzazione sono riepilogati in Tabella 12.

Tabella 12: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di disinfezione

Parametro	u.m.	Valore
<u>Dati di progetto</u>		
Portata media di tempo secco Q_m	m ³ /h	33

Parametro	u.m.	Valore
Portata massima in tempo di pioggia Q_{pb}	m ³ /h	100
Tempo di contatto minimo richiesto in corrispondenza di Q_m	min	30
Tempo di contatto minimo richiesto in corrispondenza di Q_{pb}	min	15
Rapporto minimo lunghezza/larghezza del canale L/B	-	20
Valore massimo del numero di dispersione d	-	0.015
<u>Dimensioni geometriche del nuovo canale di disinfezione</u>		
Larghezza utile canale	m	0.5
Lunghezza utile canale	m	25.5
Battente	m	1.5
Volume utile di contatto	m ³	19.12
Rapporto lunghezza/larghezza del canale L/B	-	51
<u>Dimensioni geometriche del nuovo canale di disinfezione – ultimo tratto</u>		
Larghezza utile canale	m	0.7
Lunghezza utile canale	m	4.6
Battente	m	1.5
Volume utile di contatto	m ³	4.83
Rapporto lunghezza/larghezza del canale L/B	-	
<u>Condizioni operative previste</u>		
Numero di dispersione d in corrispondenza di Q_m	-	0.014
Numero di dispersione d in corrispondenza di Q_p	-	0.012
Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di Q_m	min	43
Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di Q_p	min	14
<u>Ingombro</u>		
Dimensioni	m	6.5x5.5x2H

4.8 DIGESTIONE AEROBICA

La produzione di fango biologico di supero nelle condizioni medie di progetto è stimata pari a 158 kgSST/d corrispondente a 14 m³/d alla concentrazione media di circa 11 kgSST/m³.

Il fango estratto dalle tramogge di raccolta dei sedimentatori secondari e raccolto nel pozzetto di ricircolo è pompato alla vasca di digestione aerobica con una pompa sommersibile con funzionamento temporizzato sulla cui tubazione di mandata è installato un misuratore per la quantificazione della portata di supero.

La digestione aerobica ha lo scopo di ridurre la quantità di fango da smaltire e renderlo stabilizzato, riducendo al contempo la sostanza organica putrescibile. Per ottenere un fango stabilizzato, è utilizzata la regola semi-empirica secondo la quale il prodotto fra la temperatura di progetto e il

tempo totale di permanenza dei solidi nell'impianto deve essere pari o superiore a 250 ± 300 °C d, valore variabile in funzione del rendimento atteso di riduzione dei solidi sospesi volatili.

Per il dimensionamento del comparto è stata considerata la temperatura minima di progetto di 12 °C. L'età del fango in linea acque è pari a circa 12.9 d, mentre quella garantita in digestione aerobica è pari a 12.4 d, con un prodotto $SRT_{tot} \cdot T$ pari a 305 °C d, valore che rispetta i limiti suggeriti in letteratura per garantire un fango stabilizzato. Il rendimento di rimozione della sostanza organica volatile è stimato pari al 40%.

I dati di progetto e le caratteristiche del fango digerito sono riportate in Tabella 13.

Tabella 13: Caratteristiche del fango digerito

Parametro	Unità di misura	Valore
<i>Condizioni operative</i>		
Temperatura di progetto	°C	12
Portata liquida	m ³ /d	14.2
Portata massica di fango in ingresso	kg/d	158.1
Rapporto SSV/SST in ingresso	-	0.64
Età del fango complessiva	d	25.4
Valore $SRT_{tot} \cdot T$	°C d	305
Riduzione attesa dei SSV	%	40
Portata massica di fango digerito	kgSST/d	117.6
Concentrazione del fango nel digestore	kgSST/m ³	8.3
Volume utile del digestore	m ³	176
<i>Ingombri</i>		
Dimensioni vasca		6.5x7.6x4.5H
<i>Dimensionamento del sistema di aerazione (a $T_{max}=25$ °C)</i>		
Fabbisogno specifico di ossigeno	kgO ₂ / kgSSV _{rim}	2.3
Fabbisogno medio di ossigeno	kgO ₂ /d	93.1
Fabbisogno di ossigeno di progetto (con fattore di punta di 1.5)	kgO ₂ /h	5.8
Capacità di ossigenazione complessivamente richiesta in condizioni standard (SOTR)	kgO ₂ /h	12.5
Efficienza di trasferimento dell'ossigeno in condizioni standard da parte della rete di diffusori a disco ⁴	-	25,6%
Portata d'aria richiesta nella vasca di digestione aerobica	Nm ³ /h	162
Pressione differenziale di esercizio per l'aerazione in vasca di digestione aerobica	mbar	515

La portata d'aria richiesta verrà fornita da una soffiante a lobi dedicata.

⁴ Valore ottenibile con il battente idrostatico previsto in vasca con l'impiego di diffusori a bolle fini ad alta efficienza di trasferimento.

I fanghi digeriti sono alimentati, attraverso pompa monovite dedicata, alla stazione di ispessimento successiva. Il funzionamento previsto nello scenario di progetto è di circa 4 ore al giorno per 5 giorni a settimana per una portata, durante le ore di funzionamento, di circa 5 m³/h.

4.9 ISPESAMENTO FANGO DI SUPERO

La soluzione progettuale proposta prevede il riutilizzo dell'attuale ispessitore statico in carpenteria metallica di diametro 3,5 m, che verrà però riposizionato al termine della carreggiata che percorre l'asse maggiore dell'area di progetto previa realizzazione di una platea di dimensioni indicative 4,8x4,6 m.

5 BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA

- Andreottola G., Cadonna M., Foladori P., Frigo P., Nardelli P. (2004), Simulation of an intermittently aerated process for nitrogen removal in municipal wastewater, Proceedings of SIDISA 2004.
- Andreottola G., Foladori P., Ziglio G. (2005), Dal monitoraggio convenzionale alla verifica avanzata dei processi a fanghi attivi. Quaderni del dipartimento (SAN 4), Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Trento.
- Bonomo L. (2008), Trattamenti delle acque reflue. McGraw-Hill.
- DWA – German Association for Water, Wastewater and Waste (2000), Standard ATV-DVKW-A 131E: Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants, German ATV-DVKW-Standards. DWA, Hennef (D).
- 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.
- Masotti L. (1987), Depurazione delle acque – Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto. 1^a Edizione, Calderini, Bologna.
- Metcalf & Eddy (2014), Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill, 5th Edition.
- Riva P.A., Guadagni, A. (a cura di, 2011), Manuale dell'ingegnere civile e ambientale. Hoepli, Milano.
- STOWA – Dutch Foundation for Applied Water Research (1996), Methods for wastewater characterization, inventory and guidelines (in Dutch). STOWA-report 97-23, Hageman Fulfilment, Zwijndrecht, The Netherlands.
- STOWA – Dutch Foundation for Applied Water Research (1999), Wastewater characterization of raw and pre-treated wastewater, the influence of primary sedimentation and pre-precipitation (in Dutch). STOWA-report 99-13, Hageman Fulfilment, Zwijndrecht, The Netherlands.
- AA. VV. (1999), IRSA 110 Il problema del bulking filamentoso e delle schiume biologiche negli impianti a fanghi attivati. Quaderno IRSA, Quaderni IRSA.