| |
|---|
| Comune<br>**RONCO SCRIVIA** |
| Provincia<br>**GENOVA** |

| |
|---|
| Titolo del progetto<br>**REVAMPING DEL DEPURATORE DI RONCO SCRIVIA (GE)**<br>**LOTTI 2 E 3** |

| Livello di progettazione | Settore di business | Disciplina |
|---|---|---|
| **D - Definitivo** | **I2 - Depurazione** | **GEN - Generale** |

| Numero | Titolo | Scala |
|---|---|---|
| **RT - 002** | **RELAZIONE DI CALCOLO DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO** | **-** |

| ID Progetto | Titolo sintetico | Codifica WBS |
|---|---|---|
| **2016GESI0046-00** | **2016GESI0046-00-D-I2-GEN-RT-002-01.pdf** | |

| Rev. | Data | Descrizione | Redatto | Controllato | Approvato |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| 01 | 01/2022 | A seguito pareri screening VIA | ETC | CC | FG |
| 00 | 05/2021 | Emissione | ETC | CC | FG |

| Redatto: | Verificato | Approvato |
|---|---|---|
| ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TRENTO dott. ing. Angelo Cantatore Ingegneria civile e ambientale, industriale e dell'informazione Iscritto all'N. 2532 d'Albo - Sezione A degli Ingegneri | PROJECT MANAGER geom. Francesco Gaglio | |
| Angelo Cantatore | Claudio Casale | Francesco Gaglio |


Funzione Ingegneria e Realizzazioni
IRETI.S.p.A. – Sede legale: Via Piacenza, 54 – 16138 Genova
Registro imprese di Genova – C.F.01791490343 - REA: GE-481595 (CCIAA GE)
Società a Socio unico
Società partecipante al Gruppo IVA Iren - Partita IVA del Gruppo 02863660359
Società Sottoposta a direzione e coordinamento dell'unico socio IREN S.p.A.
pec: ireti@pec.ireti.it

**E.T.C. Engineering s.r.l.**

Via dei Palustei 16, 38121 Meano (TN)
Tel./Fax: 0461 825966 - email: info@etc-eng.it
Cod. fisc. e P.IVA n° 02067250221

# INDICE


**1 PREMESSA ..... 4**

**2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELL'IMPIANTO ..... 6**

2.1 Descrizione dell'impianto nella configurazione attuale ..... 6

2.2 Limiti allo scarico ..... 8

2.3 Analisi dei dati di gestione ..... 9

*2.3.1 Caratteristiche quantitative ..... 9*

*2.3.2 Caratteristiche qualitative ..... 10*

*2.3.2.1 Calcolo degli abitanti equivalenti ..... 15*

**3 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE ..... 16**

3.1 Obiettivi della soluzione progettuale ..... 16

3.2 Dati di progetto ..... 16

3.3 Descrizione sintetica degli interventi di progetto ..... 20

**4 VERIFICHE DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA ACQUE ..... 22**

4.1 Stazione di pre-trattamento dei bottini ..... 22

4.2 Dismissione manufatto di arrivo dei reflui, grigliatura e dissabbiatura tipo Pista 23

4.3 Arrivo liquami e grigliatura fine ..... 23

4.4 Dissabbiatura-disoleatura ..... 24

4.5 Dismissione sedimentatore primario ..... 26

4.6 Ripartitore di portata alle linee biologiche ..... 26

4.7 Sezione di trattamento biologico ..... 26

*4.7.1 Modello di calcolo ..... 27*

*4.7.2 Parametri cinetici e stechiometrici ..... 29*

*4.7.3 Risultati delle verifiche di processo del comparto biologico ..... 30*

*4.7.4 Implementazione di un processo di nitrificazione/denitrificazione ad aerazione intermittente ..... 35*

4.8 Defosfatazione chimica in simultanea con dosaggio di cloruro ferrico ..... 36

4.9 Ripartitore di portata alle linee biologiche ..... 38

4.10 Sedimentazione secondaria ..... 38

*4.10.1 Criterio di verifica applicato ..... 39*

*4.10.2 Risultati della verifica sui sedimentatori secondari ..... 40*

4.11 Pozzetto di ricircolo e supero fanghi ..... 41

4.12 Disinfezione finale ..... 41
**5 VERIFICHE DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA FANGHI ..... 43**
5.1 Ispessitore statico ..... 43
5.2 Digestore anaerobico ..... 44
5.3 Stabilizzazione aerobica ..... 44
5.4 Disidratazione meccanica ..... 47
5.5 Trattamento aria esausta ..... 47
**ALLEGATO – VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ MASSIMA DEPURATIVA DEL COMPARTO BIOLOGICO ..... 49**

# 1 PREMESSA

ETC Engineering S.r.l. (di seguito ETC) ha ricevuto da IRETI l'incarico di progettazione Definitiva per i lavori di r*evamping del depuratore di Ronco Scrivia (lotti 2 e 3)*.
L'impianto di Ronco Scrivia, configurato secondo un processo di ossidazione a fanghi attivi, serve principalmente gli abitati di Ronco Scrivia e Isola del Cantone. Lo scarico finale delle acque depurate avviene nel torrente Scrivia.
L'intervento generale di revamping dell'impianto è stato suddiviso in 3 lotti per garantire la funzionalità del depuratore anche durante le fasi di cantiere. I lavori per il lotto 1 risultano già compiuti e hanno interessato prevalentemente il comparto biologico e i sedimentatori secondari. Gli ulteriori interventi riguardano sia la linea acque che la linea fanghi dell'impianto e sono trattati nel presente progetto unificato per i lotti 2 e 3.
Il principale obiettivo del progetto di revamping è quello di rendere l'effluente compatibile con i limiti allo scarico imposti dalla normativa, riducendo i consumi energetici dell'impianto e sanando le inefficienze impiantistiche esistenti.

Gli interventi previsti originariamente per il lotto 2 e 3 sono:

- Dismissione del sedimentatore primario e realizzazione nel volume disponibile di una sezione di dissabbiatura-disoleatura del refluo in ingresso e di una vasca di stabilizzazione aerobica dei fanghi;
- Ripristino del sistema di disinfezione;
- Bonifica e svuotamento del digestore anaerobico;
- Sostituzione dell'attrezzatura elettromeccanica e delle carpenterie dell'ispessitore statico;
- Predisposizione di un impianto di deodorizzazione del locale disidratazione;
- Realizzazione di una stazione di pretrattamento bottini da fosse Imhoff;
- Ottimizzazione del piping dell'impianto.

A seguito di una valutazione della capacità massima depurativa del comparto biologico effettuata da parte di ETC, riportata in allegato alla presente relazione, è emerso che l'impianto biologico esistente non è in grado di trattare il carico inquinante equivalente all'agglomerato servito dall'impianto stesso, pari a 26 249 AE. Nonostante attualmente l'impianto non soffra di questa problematica a causa di un refluo in arrivo sottocaricato da un punto di vista di carichi organici, IRETI ha evidenziato la necessità di prevedere un potenziamento del comparto biologico fino ad una capacità depurativa di 26 000 AE calcolati su base organica e 30 000 AE calcolati su base idraulica. Conseguentemente gli interventi previsti originariamente per il lotto 2 e 3 sono stati rivisti e ampliati per soddisfare tale richiesta.

Il presente documento costituisce la Relazione di calcolo di processo e dimensionamento del progetto e si articola nelle seguenti sezioni:

- descrizione dello stato attuale dell'impianto (capitolo 2);
- descrizione della soluzione progettuale proposta e dei dati di progetto (capitolo 3);
- descrizione delle verifiche di processo e dimensionamento della linea acque (capitolo 4);
- descrizione delle verifiche di processo e dimensionamento della linea fanghi (capitolo 5);
- valutazione della capacità massima depurativa (Allegato).

# 2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELL'IMPIANTO

## 2.1 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO NELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE

L'impianto di depurazione di Ronco Scrivia (GE) tratta i liquami provenienti dai comuni di Ronco Scrivia e Isola del Cantone, collettati in pressione con una rete fognaria di tipo misto.

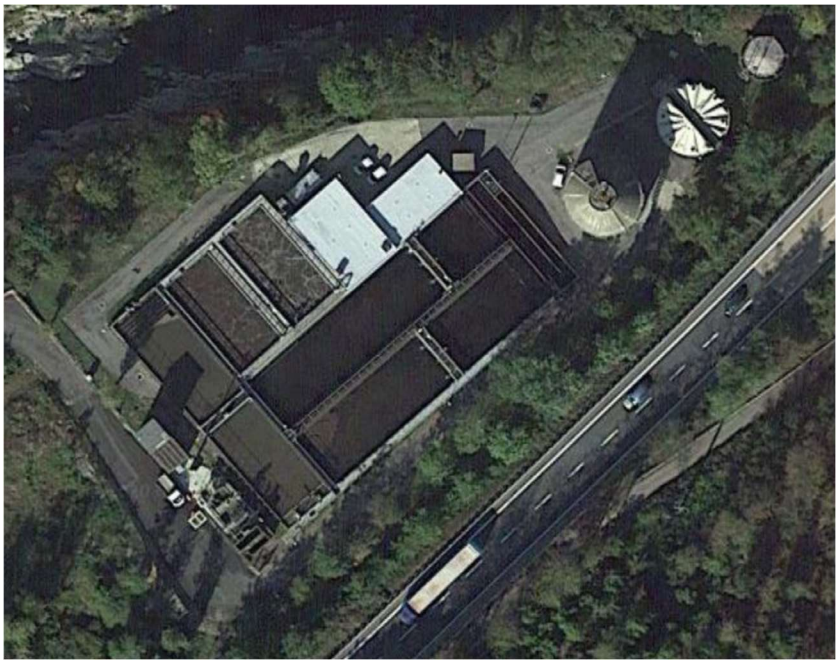


Figura 1: Inquadramento su ortofoto dell'impianto di depurazione di Ronco Scrivia

La linea acque dell'impianto è composta dalle seguenti sezioni:

- dissabbiatore tipo Pista (attualmente non attivo – costituisce una sezione di transito per il refluo);
- grigliatura fine automatica dotata di pettine pulitore e coclea per il trasporto e la compattazione del materiale grigliato;
- sedimentazione primaria realizzata in vasca longitudinale con ponte raschiatore va e vieni e n. 2 pompe di estrazione dei fanghi primari, alloggiate in apposite tramogge sul fondo;
- comparto biologico ad aerazione intermittente realizzato in due vasche uguali. L'aria di processo è fornita da n. 3 (2+1R) soffianti ibride ed è distribuita in vasca con un sistema di pannelli diffusori a bolle fini ad alto rendimento;
- sedimentazione secondaria in due vasche longitudinali parallele, con due carroponti dotati ciascuno di tre pompe di estrazione fanghi;
- disinfezione finale a labirinto (non attiva).

Si riportano di seguito alcune immagini della linea acque dell'impianto nella sua configurazione attuale.



a) Stazione di arrivo dei liquami



b) Grigliatura fine



c) Sedimentazione primaria longitudinale



d) Vasca biologica ad aerazione intermittente



e) Sedimentazione secondaria longitudinale



f) Canale di disinfezione finale

Figura 2: Fotografie di alcuni comparti della linea acque attuale

La linea fanghi è costituita dalle seguenti sezioni:

- ispessitore statico coperto (diametro 10.5 m) con cupola in materiale plastico e carroponte con picchetti;
- digestore anaerobico (non attivo);
- disidratazione fanghi con nastropressa, con annesso preparatore di polielettrolita, alloggiata in locale coperto dotato di ventilazione naturale senza impianto di deodorizzazione. Il

convogliamento al cassone di raccolta avviene con nastro trasportatore dedicato (l'attuale nastropressa verrà a breve sostituita con una centrifuga di nuova installazione);

- gasometro (non attivo).

Dalla linea fanghi vengono ricircolate in testa alla vasca di sedimentazione primaria le acque madri.

Si riportano di seguito alcune immagini della linea fanghi dell'impianto nella sua configurazione attuale.



a) Copertura dell'ispessitore statico



b) Digestore anaerobico



c) Locale disidratazione meccanica



d) Torcia di combustione e gasometro

Figura 3: Fotografie di alcuni comparti della linea fanghi attuale

## 2.2 LIMITI ALLO SCARICO

L'impianto di Ronco Scrivia serve un agglomerato di 26 249 AE e scarica in acque superficiali, nel torrente Scrivia, ricadente in area sensibile. Pertanto le concentrazioni di macroinquinanti all'interno dell'effluente devono rispettare i limiti indicati nella Tabella 1 e nella Tabella 2 dell'Allegato 5 alla parte III del D.lgs. 152/06 e s.m.i., per potenzialità superiore a 10 000 AE, come riportato in Tabella 1.

Tabella 1: Limiti allo scarico per il depuratore di Ronco Scrivia

| Limiti allo scarico (Allegato 5 D.lgd. 152/06) | Simbolo | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|---|
| Sostanza organica come COD | $S_{te}$ | mg/L | 125 |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $BOD_e$ | mg/L | 25 |
| Solidi sospesi totali | $SST_e$ | mg/L | 35 |
| Azoto totale | $Ntot_e$ | mg/L | 15 |
| Fosforo totale | $Ptot_e$ | mg/L | 2 |

Inoltre devono essere garantite le percentuali di riduzione su COD, $BOD_5$ e SST della Tabella 1 dell'Allegato 5 alla parte III del D.lgs. 152/06 e s.m.i., mentre i carichi di N e P in ingresso devono essere abbattuti di una percentuale superiore al 75% secondo quanto previsto dalla delibera n. 7/2004 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (art. 5 comma 4 della Direttiva 91/271/CEE). In si riportano le percentuali di abbattimento da garantire.

Tabella 2: Percentuali di abbattimento dei macroinquinanti per il depuratore di Ronco Scrivia

| Limiti allo scarico (Allegato 5 D.lgd. 152/06) | Simbolo | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|---|
| Sostanza organica come COD | $S_{te}$ | % | 75 |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $BOD_e$ | % | 80 |
| Solidi sospesi totali | $SST_e$ | % | 90 |
| Azoto totale | $Ntot_e$ | % | 75 |
| Fosforo totale | $Ptot_e$ | % | 75 |

## 2.3 ANALISI DEI DATI DI GESTIONE

IRETI ha fornito a ETC i dati di gestione della linea acque dal 2015 al 2020, relativamente alla portata in ingresso e alle concentrazioni di macroinquinanti in ingresso e uscita impianto. Tali valori delle analisi sono stati elaborati, calcolandone le principali variabili statistiche, per il solo periodo 2017-2020, ritenuto più rappresentativo del refluo in arrivo attualmente presso il depuratore.

### 2.3.1 Caratteristiche quantitative

Il depuratore di Ronco Scrivia presenta un misuratore di portata in ingresso impianto, che misura oltre alla portata nera, anche quella di pioggia, essendo la fognatura di tipo misto. Per determinare la sola portata nera di tempo secco in fase di analisi sono state eliminate le portate eccedenti gli 8000 $m^3/d$, valore oltre il quale è lecito ritenere di essere in presenza di acque di pioggia. Mediando i valori restanti si ottiene infatti **una portata media giornaliera di tempo secco in ingresso impianto pari**

**a 5157 m³/d, corrispondenti a 215 m³/h** (valore coerente con i 200 m³/h indicati a ETC da IRETI). Il valore massimo registrato è 643 m³/h, corrispondente a circa 3 volte la portata media in tempo secco.

In Figura 4 è riportato l'andamento delle portate in ingresso dal 2017 ai primi mesi del 2020: in blu sono visibili le portate complessive misurate dallo strumento, comprensive degli apporti meteorici, mentre in rosso le sole portate nere, ossia la serie ripulita dei valori eccedenti la soglia di 8000 m³/d.

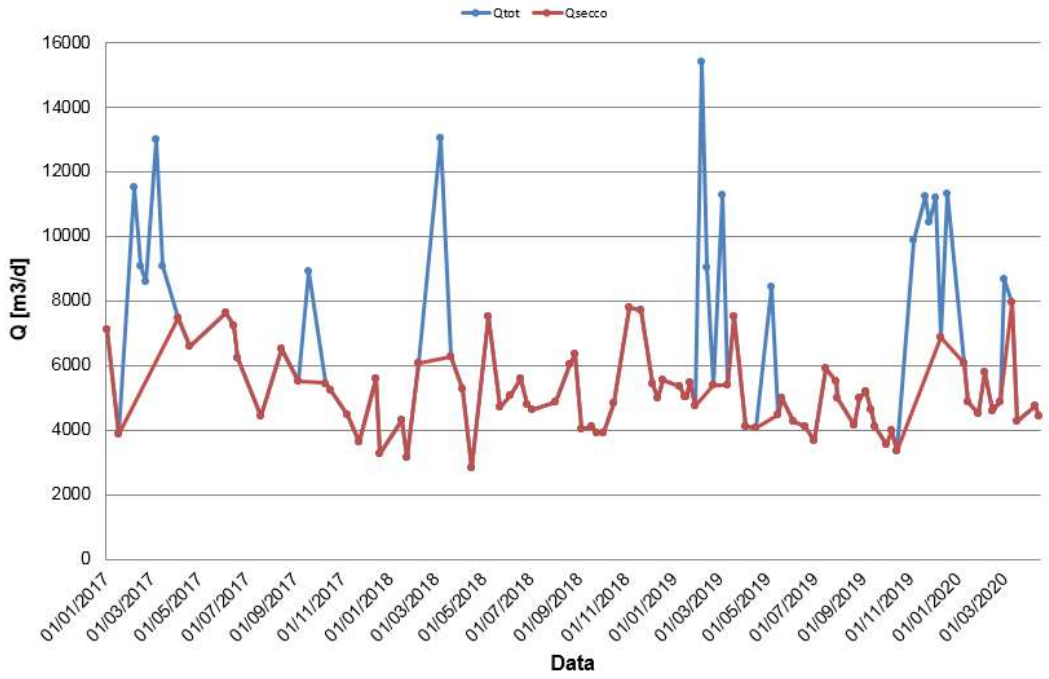



Figura 4: Andamento delle portate in ingresso impianto dal 2017 al 2020

### 2.3.2 Caratteristiche qualitative

L'impianto di Ronco Scrivia dispone di due campionatori automatici, uno in ingresso e uno in uscita, i quali permettono di ottenere le concentrazioni dei principali macroinquinanti presenti rispettivamente nel refluo e nell'effluente. Attraverso l'elaborazione dei dati misurati in ingresso è possibile caratterizzare qualitativamente il refluo in arrivo presso l'impianto, mentre dalle analisi in uscita si può avere un'idea dell'efficienza del sistema di abbattimento attuale.

Nelle figure seguenti è visibile l'andamento delle concentrazioni di macroinquinanti in ingresso impianto dal 2017 al 2020.

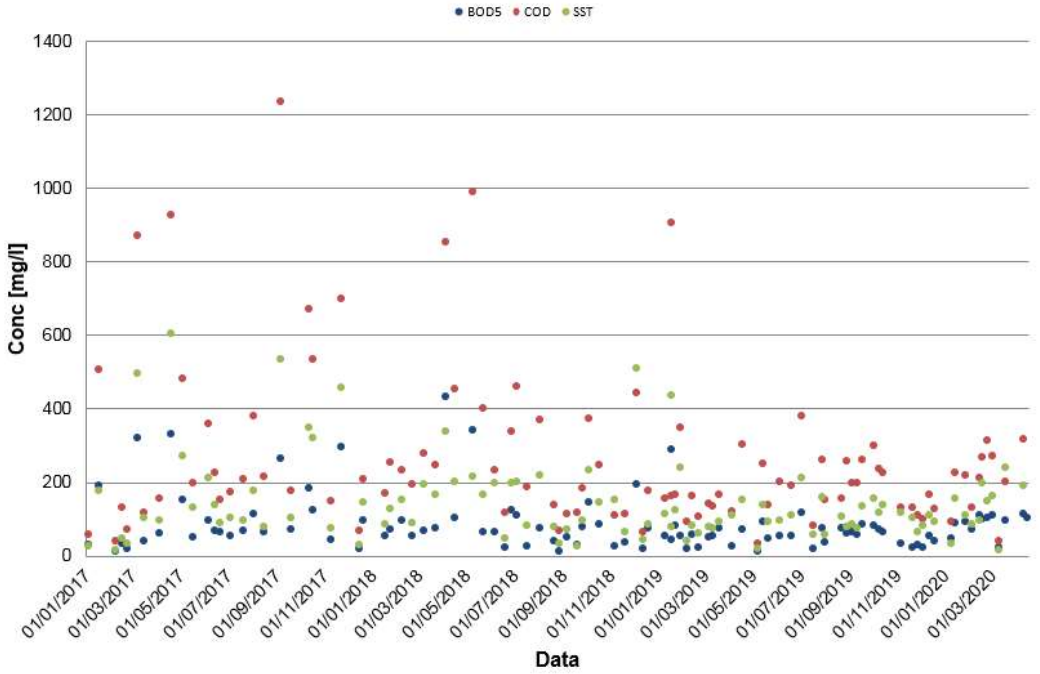



Figura 5: Concentrazioni in ingresso di $BOD_5$, COD e SST

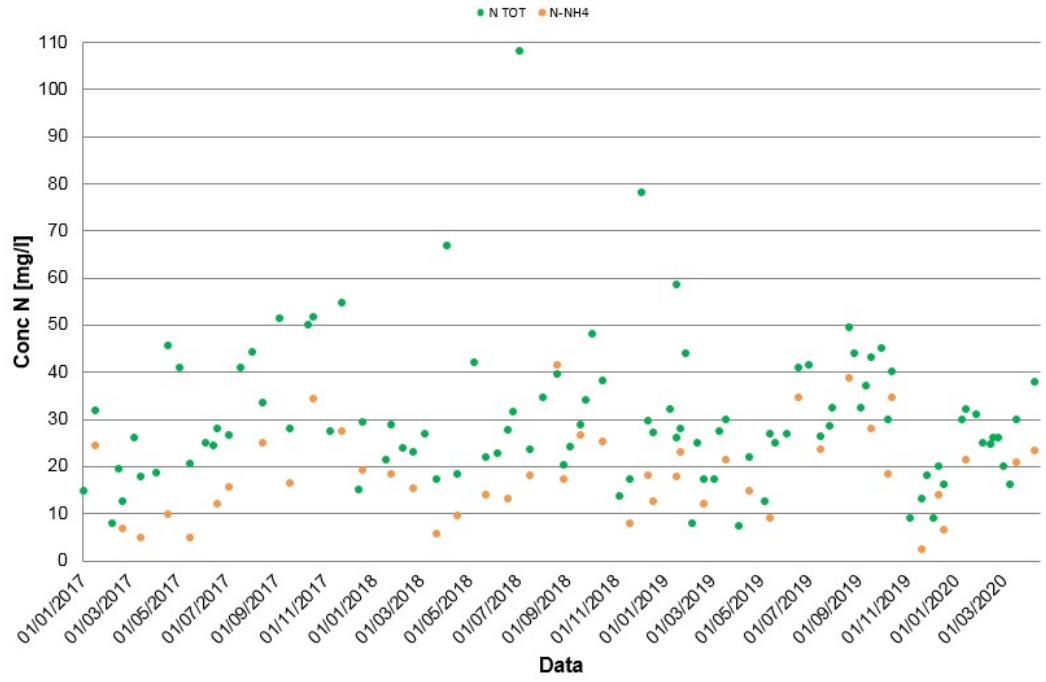



Figura 6: Concentrazioni di azoto totale e azoto ammoniacale in ingresso impianto

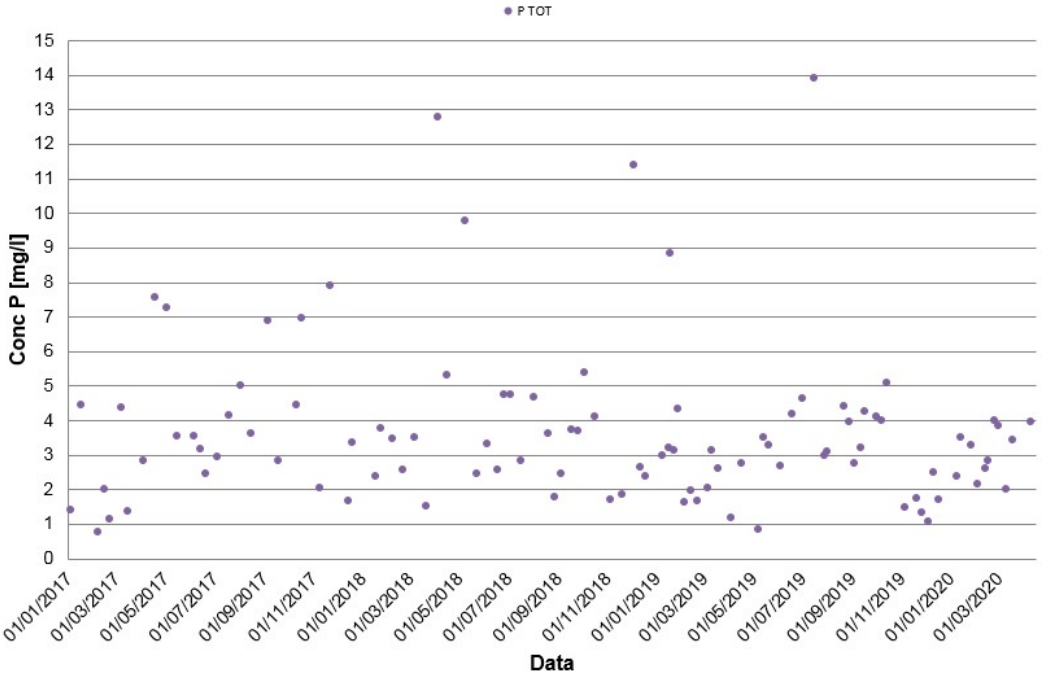



Figura 7: Concentrazioni di fosforo totale in ingresso

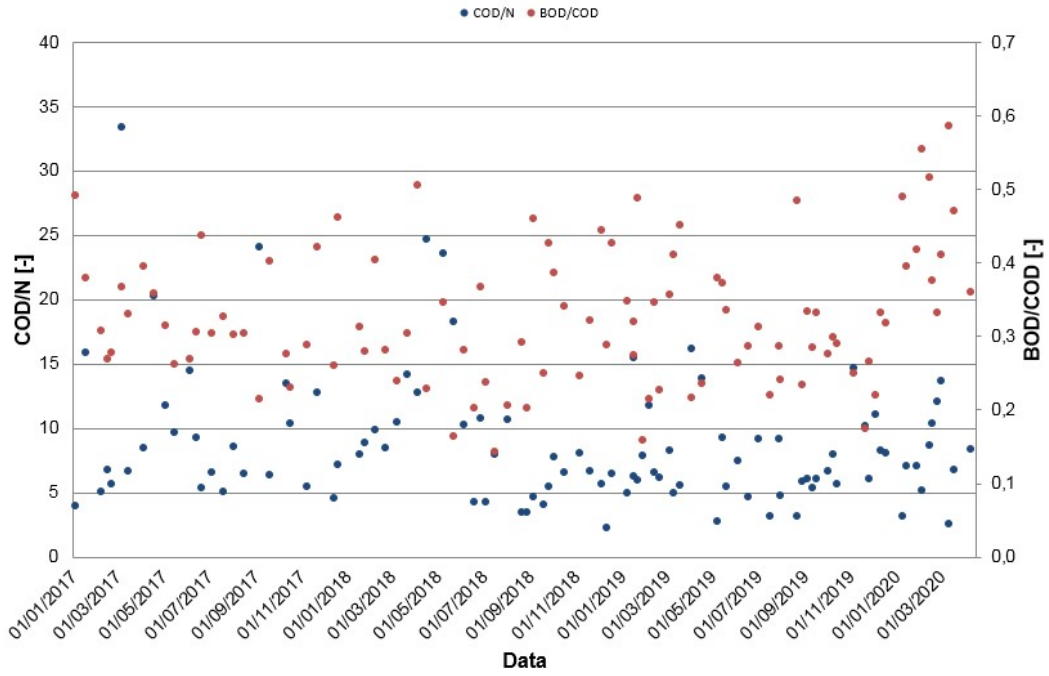



Figura 8: Rapporto COD/N e BOD/COD

Di seguito si riportano invece gli andamenti delle concentrazioni in uscita dall'impianto. Nel biennio 2018-2019 si osservano diversi sforamenti dei limiti, dovuti plausibilmente alla realizzazione degli interventi previsti dal progetto del lotto 1, tra cui l'adeguamento del comparto biologico, che ne hanno limitato l'efficienza.

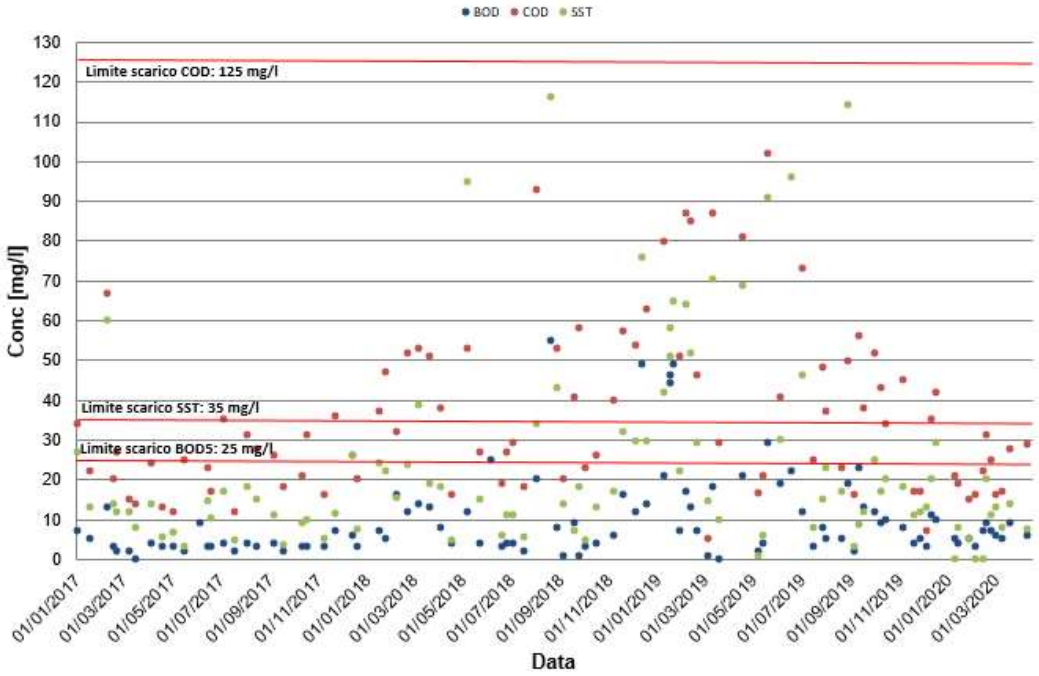



Figura 9: Concentrazioni di $BOD_5$, COD e SST in uscita impianto

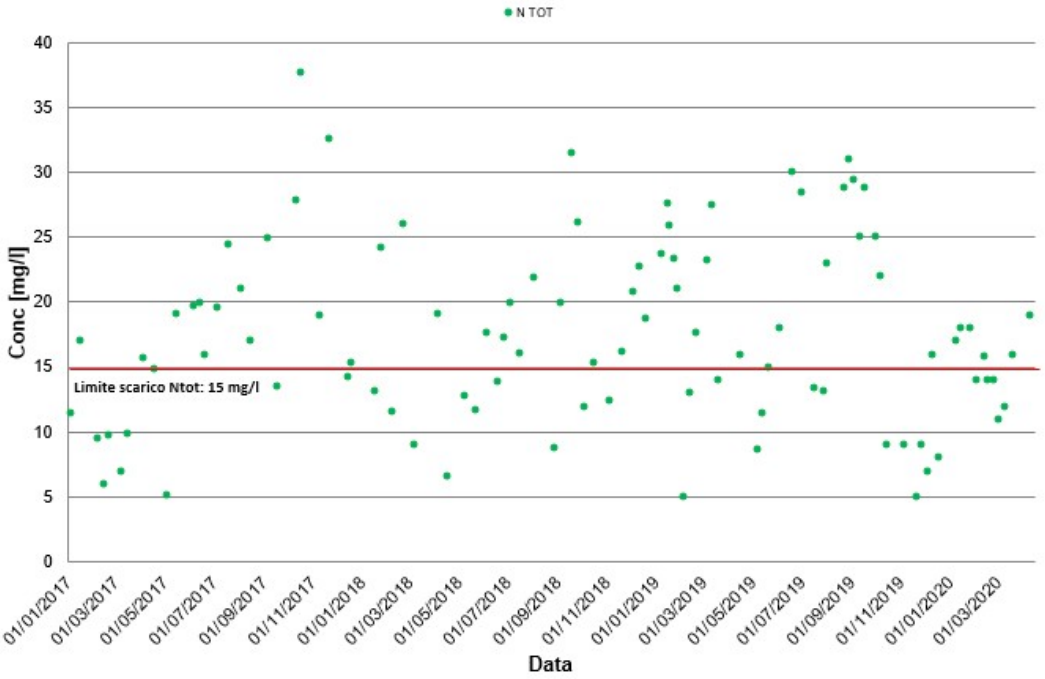



Figura 10: Concentrazioni di azoto totale in uscita

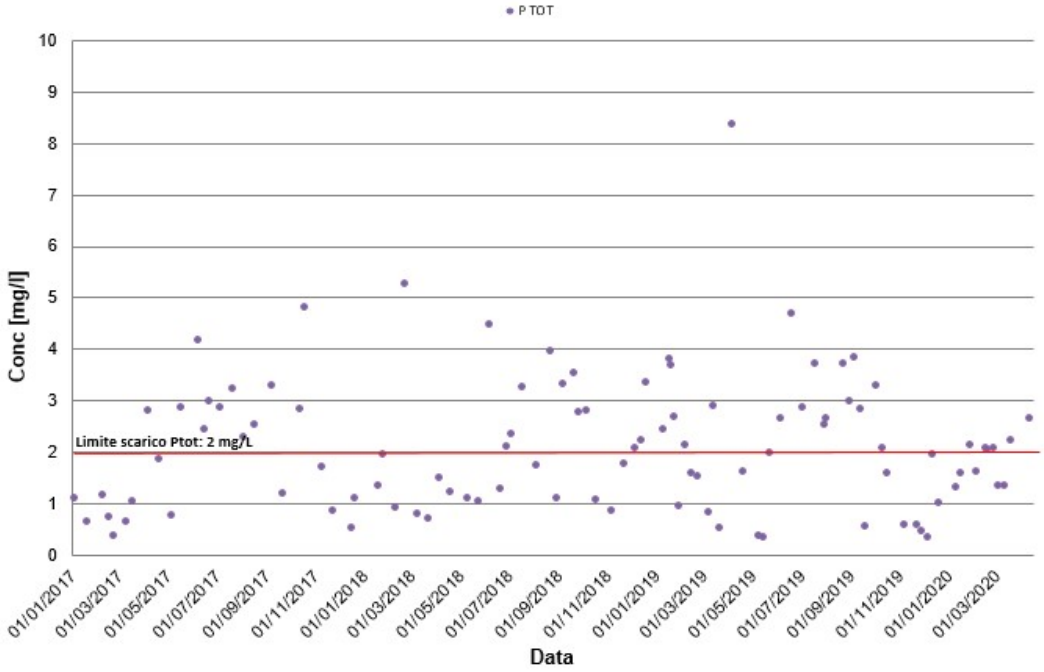



Figura 11: Concentrazioni di fosforo in uscita

In Tabella 3 sono riportati i valori medi delle caratteristiche qualitative del refluo in ingresso impianto, degli anni 2017-2020.

Tabella 3: Caratteristiche medie del refluo in ingresso dal 2017 al 2020

| Parametro | Unità di misura | 2017-2020 |
|---|---|---|
| *Portata* | | |
| Portata media in ingresso | $m^3/h$ | 255 |
| Portata media di tempo secco in ingresso | $m^3/h$ | 215 |
| Portata massima in ingresso | $m^3/h$ | 643 |
| *Concentrazioni in ingresso* | | |
| $BOD_5$ | mg/L | 85 |
| COD | mg/L | 263 |
| SST | mg/L | 146 |
| N totale | mg/L | 30 |
| NH4-N* | mg/L | 18 |
| P totale | mg/L | 3.6 |
| *Rapporti significativi** | | |
| COD/N | - | 8.7 |
| $BOD_5$/COD | - | 0.33 |
| *Carichi in ingresso** | | |
| $BOD_5$ | kg/d | 473 |
| COD | kg/d | 1439 |
| SST | kg/d | 784 |

| Parametro | Unità di misura | 2017-2020 |
|---|---|---|
| N totale | kg/d | 166 |
| NH4-N | kg/d | 100 |
| P totale | kg/d | 20 |

* valori calcolati a partire dai dati forniti da Ireti

#### *2.3.2.1 Calcolo degli abitanti equivalenti*

Gli abitanti equivalenti stimati considerando gli apporti pro-capite tipici di letteratura sono riportati in Tabella 4. I risultati ottenuti indicano che l'impianto risulta sottocaricato rispetto agli abitanti serviti nell'agglomerato, pari a 26 249 AE, in particolare rispetto al carico di sostanza organica valutata come COD, mentre è in linea da un punto di vista idraulico.

Tabella 4: Abitanti equivalenti serviti nel periodo 2017-2020

| Parametro | Unità di misura | 2017-2020 |
|---|---|---|
| *Abitanti equivalenti medi annui* | | |
| Su base dotazione idrica – 250 L/(AEd)* | AE | 25 786 |
| Su base $BOD_5$ – 60 g/(Aed) | AE | 7 881 |
| Su base COD – 110 g/(Aed) | AE | **13 079** |
| Su base N – 12 g/(Aed) | AE | 13 823 |
| Su base SST – 90 g/(Aed) | AE | 8 713 |
| Su base P – 2 g/(Aed) | AE | 10 140 |

*stima riferita alla sola portata nera

# 3 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

## 3.1 OBIETTIVI DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Il principale obiettivo del progetto di revamping è quello di rendere l'effluente compatibile con i limiti allo scarico imposti dalla normativa, riducendo i consumi energetici dell'impianto e sanando le inefficienze impiantistiche esistenti.

Nel presente progetto, in particolare, si provvede in primis a dotare il depuratore di Ronco Scrivia di un nuovo comparto di trattamento biologico per soddisfare la capacità depurativa richiesta dall'agglomerato servito, una stazione di dissabbiatura/disoleatura dei reflui in ingresso, nonché di un comparto di stabilizzazione dei fanghi, trattamenti attualmente non eseguiti nella filiera dell'impianto a causa del mancato esercizio degli apparati precedentemente deputati alle suddette funzioni.

Per poter realizzare tali interventi, a causa della limitata superficie disponibile all'interno del sedime dell'impianto e della conformazione del territorio, si rende necessaria la demolizione di alcune vasche attualmente fuori servizio, come il digestore anaerobico, o di vasche di cui è prevista in questa sede la dismissione, come il sedimentatore primario.

Il progetto, inoltre, persegue l'obiettivo di ripristinare la funzionalità dei trattamenti di disinfezione (fuori servizio) e di incrementare quella del trattamento di ispessimento dei fanghi. Contestualmente, sono stati ipotizzati interventi utili a migliorare le condizioni di sicurezza e salute dei lavoratori presso l'impianto (deodorizzazione locale fanghi, bonifica digestore anaerobico) e ottimizzare la gestione delle opere.

## 3.2 DATI DI PROGETTO

Alla base della progettazione degli interventi proposti per l'adeguamento del depuratore di Ronco Scrivia relativamente ai lotti 2 e 3, è stata considerata una **potenzialità idraulica di progetto di 30 000 AE** (a favore di sicurezza, rispetto ai 26 249 AE dell'agglomerato) per il calcolo della portata media di progetto di tempo secco, unitamente alla dotazione idrica pro capite di 250 L/AEd e ad un coefficiente di afflusso in fognatura a di 0.8. **La portata media di progetto $Q_{24}$ così ottenuta è pari a 250 m³/h. La portata di calcolo è stata assunta pari a 1.3 volte la portata media di progetto. La portata massima di pioggia trattabile dal depuratore $Q_{pb}$ è invece stata assunta pari a 3 volte la portata media di progetto, per un valore di 750 m³/h.** Il coefficiente della portata di pioggia è stato assunto pari a 3 in modo da avere analogia con la realtà, dove il massimo registrato tra il 2017 e il 2020 è risultato circa tre volte la portata media di tempo secco (si rimanda al capitolo 2.3.1 per maggiori dettagli).

Per quanto riguarda **le concentrazioni medie in ingresso impianto,** queste sono state **determinate a partire dagli apporti pro-capite di macroinquinanti organici, considerando una potenzialità di 26 249 AE**, equivalente alla dimensione dell'agglomerato servito dall'impianto.
Per quanto riguarda invece il frazionamento del COD utilizzato nel metodo di calcolo per il dimensionamento e la verifica del comparto biologico, sono stati considerati valori tipici di letteratura per refluo grezzo.

Dal momento che le cinetiche di crescita batterica risultano rallentate al decrescere della temperatura, il dimensionamento e la verifica del processo biologico è stata effettuata cautelativamente con riferimento alla temperatura di progetto di 12 °C. Il dimensionamento dei sistemi di aerazione da implementare nei diversi comparti di progetto è stato eseguito a favore di sicurezza alla temperatura massima di 22 °C, dato che la solubilità dell'ossigeno in acqua diminuisce all'aumentare della temperatura, in analogia al progetto del lotto 1.

Si riportano in Tabella 5 i dati di progetto posti alla base del dimensionamento dei comparti di trattamento dell'impianto di depurazione di Ronco Scrivia, per il lotto 2 e 3.

Tabella 5: Quadro riassuntivo dei dati di progetto del refluo in ingresso posti alla base del dimensionamento

| Parametro | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|
| *Temperatura di progetto* | | |
| Temperatura minima | °C | 12 |
| Temperatura massima | °C | 22 |
| *Portate* | | |
| Potenzialità idraulica di progetto | AE | **30 000** |
| Dotazione idrica pro capite | L/AEd | 250 |
| Coefficiente di afflusso in fognatura (a) | - | 0.8 |
| Portata media giornaliera di tempo secco ($Q_m$) | $m^3/d$ | **6 000** |
| | $m^3/h$ | **250** |
| Coefficiente per la portata di calcolo | - | 1.3 |
| Portata di calcolo $Q_c$ | $m^3/d$ | 7 800 |
| | $m^3/h$ | 325 |
| Coefficiente di punta per la portata avviata ai trattamenti primari | - | 3 |
| Portata massima avviata ai trattamenti primari $Q_{pm}$ | $m^3/d$ | 18 000 |
| | $m^3/h$ | 750 |
| Coefficiente di punta per la portata avviata a trattamento biologico | - | 3 |
| Portata massima avviata a trattamento biologico $Q_{pb}$ | $m^3/d$ | **18 000** |
| | $m^3/h$ | **750** |

| Parametro | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|
| *Concentrazione di inquinanti nel refluo in ingresso* | | |
| Potenzialità di progetto in termini di carichi organici | AE | **26 249** |
| Apporto pro-capite BOD5 | g/(Aed) | 60 |
| Apporto pro-capite COD | g/(Aed) | 110 |
| Apporto pro-capite N | g/(Aed) | 12 |
| Apporto pro-capite SST | g/(Aed) | 90 |
| Apporto pro-capite P | g/(Aed) | 2 |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | **481** |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | mg$BOD_5$/L | **262** |
| Azoto totale di Kjeldahl (TKN) | mgTKN/L | **53** |
| Azoto ammoniacale (come N-NH4) | mgN-NH4/L | **42** |
| Fosforo totale (P) | mgP/L | **8.7** |
| Solidi sospesi totali (SST) | mgSST/L | **394** |
| *Carichi inquinanti in ingresso* | | |
| Sostanza organica come COD | kgCOD/d | 2860 |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | kg$BOD_5$/d | 1560 |
| Azoto totale di Kjeldahl (TKN) | kgN/d | 312 |
| Azoto ammoniacale (come N-NH4) | kgN/d | 250 |
| Fosforo totale (P) | kgP/d | 52 |
| Solidi sospesi totali (SST) | kgSST/d | 2340 |
| *Frazionamento del COD** | | |
| Frazione di COD solubile biodegradabile $f_{bs}$ | - | 0.20 |
| Frazione di COD solubile non biodegradabile $f_{us}$ | - | 0.05 |
| Frazione di COD particolato biodegradabile $f_{bp}$ | - | 0.62 |
| Frazione di COD particolato non biodegradabile $f_{us}$ | - | 0.13 |

*valori tipici per refluo grezzo

Nella configurazione di progetto l'impianto sarà quindi in grado di trattare un carico organico corrispondente a 26 249 AE. Tuttavia il refluo reale in ingresso è caratterizzato da un carico organico medio, valutato sul parametro COD, di 13 079 AE (si rimanda al paragrafo 2.3.2.1), che, considerando a favore di sicurezza l'85esimo percentile sui dati osservati, può essere aumentato pari a 17 465 AE. Conseguentemente l'impianto ha una capacità residua di 8 784 AE su base COD.
In considerazione della capacità residua dell'impianto e nel rispetto di quanto disposto dall'art. 110, comma 2 e 3, lettere b) e c) del D. Lgs. n. 152/2006, si prevede anche il trattamento di un quantitativo di bottini proveniente principalmente da fosse Imhoff e da pulizia della rete fognaria. IRETI ha fornito a ETC unicamente la **portata massima giornaliera di bottini, pari a 30 m³/d**, **per un totale massimo annuo di 500 m³/y**. I bottini saranno sottoposti, presso l'impianto, ad un pre-trattamento con il fine di eliminare i solidi più grossolani, e successivamente inviati a valle della grigliatura fine, prima

dell'ingresso nel nuovo comparto di dissabbiatura-disoleatura. Si stima che il pre-trattamento dei bottini porti ad un abbattimento del 20% su $BOD_5$, COD e SST.

In Tabella 6 si riporta la stima degli abitanti equivalenti generati dai bottini, calcolato a partire da valori tipici di letteratura per la tipologia di bottini in esame.

Tabella 6: Caratteristiche di progetto dei bottini

| Parametro | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|
| *Portate* | | |
| Portata dei bottini | $m^3/d$ | **30** |
| *Concentrazione di inquinanti nei bottini* | | |
| Solidi sospesi totali (SST) | mgSST/L | 15 000 |
| Rapporto SSV/SST | gSSV/gSST | 0.85 |
| Solidi sospesi volatili (SSV) | mgSSV/L | 12 750 |
| Rapporto COD/SSV | gCOD/gSSV- | 1.48 |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | 18 870 |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $mgBOD_5/L$ | 6 000 |
| Azoto totale di Kjeldahl (TKN) | mgTKN/L | 700 |
| Azoto ammoniacale (come N-NH4) | mgN-NH4/L | 400 |
| Fosforo totale (P) | mgP/L | 250 |
| *Concentrazione di inquinanti nei bottini dopo pre-trattamento* | | |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | 15 096 |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $mgBOD_5/L$ | 4 800 |
| Azoto totale di Kjeldahl (TKN) | mgTKN/L | 700 |
| Azoto ammoniacale (come N-NH4) | mgN-NH4/L | 400 |
| Fosforo totale (P) | mgP/L | 250 |
| Solidi sospesi totali (SST) | mgSST/L | 12 000 |
| *Carichi inquinanti in ingresso con i bottini, dopo pre-trattamento* | | |
| Sostanza organica come COD | kgCOD/d | 453 |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $kgBOD_5/d$ | 144 |
| Azoto totale di Kjeldahl (TKN) | kgN/d | 21 |
| Azoto ammoniacale (come N-NH4) | kgN/d | 12 |
| Fosforo totale (P) | kgP/d | 8 |
| Solidi sospesi totali (SST) | kgSST/d | 360 |
| *Stima degli abitanti equivalenti medi serviti, dopo pre-trattamento* | | |
| Su base $BOD_5$ – 60 g/(Aed) | AE | 2 400 |
| **Su base COD – 110 g/(Aed)** | **AE** | **4 117** |
| Su base N – 12 g/(Aed) | AE | 1 750 |
| Su base SST – 90 g/(Aed) | AE | 4 000 |
| Su base P – 2 g/(Aed) | AE | 3 750 |

## 3.3 DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO

Gli interventi previsti per il revamping del depuratore di Ronco Scrivia (lotti 2 e 3) sono di seguito riassunti:

- dismissione e demolizione manufatto iniziale di arrivo liquami e grigliatura fine;
- realizzazione nuovo manufatto di arrivo liquami e grigliatura fine. Saranno mantenute le attuali utenze elettromeccaniche, quali grigliatura a pettine e coclee di trasporto e compattazione del materiale grigliato, che saranno opportunamente ricollocate nel nuovo manufatto;
- dismissione e demolizione dissabbiatore tipo pista;
- realizzazione nuova sezione di dissabbiatura-disoleatura longitudinale in singola linea. Le sabbie separate saranno lavate da un nuovo classificatore, mentre gli oli saranno inviati alla vasca esistente di ispessimento statico;
- dismissione e demolizione sedimentatore primario;
- realizzazione di un nuovo manufatto di ripartizione della portata in ingresso al comparto biologico, con soglie di sfioro a stramazzo presiedute da paratoie motorizzate;
- realizzazione nuova vasca biologica ad aerazione intermittente dal volume di 3000 $m^3$, con sistema di aerazione a bolle fini costituito da diffusori a disco. Tale volume accoglierà il 60% della portata in ingresso, mentre le vasche esistenti tratteranno ciascuna il 20%, e sarà realizzato sul sedime dell'attuale sedimentazione primaria;
- installazione di una stazione di accumulo e dosaggio di agente defosfatante, per la rimozione chimica del fosforo;
- realizzazione di un nuovo manufatto di ripartizione della portata in ingresso al comparto di sedimentazione, con soglie di sfioro a stramazzo presiedute da paratoie motorizzate;
- demolizione pozzetto di ricircolo e supero fanghi e realizzazione di un nuovo pozzetto in cui alloggiare le nuove pompe adibite al ricircolo e al supero dei fanghi;
- realizzazione nuovo locale tecnico utile ad ospitare le soffianti a servizio della nuova sezione di dissabbiatura e della nuova linea biologica, e una nuova sala quadri, in prossimità della cabina elettrica esistente;
- ripristino della sezione di stoccaggio e dosaggio reagente a servizio della disinfezione finale. Si prevede inoltre la realizzazione di un by-pass del canale di disinfezione.
- realizzazione nuova stazione di ricezione e pretrattamento reflui extra-fognari;
- revamping dell'ispessitore statico con sostituzione ponte raschiatore, copertura e adeguamento delle carpenterie metalliche;
- dismissione, bonifica e demolizione del digestore anaerobico;
- realizzazione nuova vasca di stabilizzazione aerobica dei fanghi, ubicata presso il sedime dell'ex digestore anaerobico, con installazione di nuovo sistema di diffusione a bolle fini e stazione di sollevamento dei fanghi;

- realizzazione nuovo locale tecnico utile ad ospitare le soffianti a servizio della nuova sezione di stabilizzazione aerobica, collocato in posizione adiacente alla vasca;
- realizzazione sistema di deodorizzazione del locale disidratazione fanghi;
- realizzazione di un nuovo varco di accesso/uscita dall'impianto, utile alla gestione del traffico per il conferimento di reflui extra-fognari e all'ottimizzazione della viabilità esistente
- predisposizione di un nuovo locale uffici/servizi all'interno del locale attualmente adibito a centrale termina a servizio del digestore anaerobico (fuori servizio), previo smantellamento delle apparecchiature residue e attuando le dovute opere edili e impiantistiche.

La filiera di processo risultante dai suddetti interventi risulterà essere la seguente:
- arrivo dei reflui da Ronco Scrivia e da Isola del Cantone nel nuovo manufatto di arrivo;
- grigliatura fine del refluo mediante l'apposita griglia già in servizio;
- dissabbiatura/disoleatura tramite il comparto di nuova realizzazione;
- trattamento biologico realizzato su 3 linee: le due linee esistenti tratteranno il 40% della portata in ingresso, mentre la nuova linea il 60;
- rimozione chimica del fosforo, con dosaggio di cloruro ferrico direttamente nel pozzetto ripartitore a monte della biologia;
- sedimentazione secondaria (esistente);
- disinfezione finale del refluo all'interno della vasca di contatto esistente.

I reflui extra-fognari, a seguito di ricezione e pretrattamento, saranno rilanciati a monte della sezione di dissabbiatura.

La linea di trattamento fanghi dell'impianto sarà invece costituita dai seguenti comparti:
- preispessimento dei fanghi mediante ispessitore esistente sottoposto a revamping;
- stabilizzazione aerobica all'interno del comparto di nuova realizzazione;
- disidratazione finale in sezione già esistente ed in corso di adeguamento mediante procedura distinta dal presente progetto.

# 4 VERIFICHE DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA ACQUE

In questo capitolo si riportano le scelte progettuali fatte e i risultati dei dimensionamenti e delle verifiche degli interventi di progetto previsti per la linea acque del depuratore di Ronco Scrivia. Lo scopo è verificare l'adeguatezza dei comparti esistenti mantenuti in funzione, dimensionare i comparti di trattamento di nuova realizzazione e definire le caratteristiche tecniche delle apparecchiature elettromeccaniche di nuova installazione, sfruttando al meglio gli spazi disponibili.

Nella trattazione si fa riferimento separatamente alle diverse sezioni impiantistiche che compongono la filiera di processo, descrivendo anche i relativi principi di funzionamento e le soluzioni progettuali di cui si prevede l'implementazione. Le codifiche delle apparecchiature che vengono citate riprendono quelle riportate nei vari elaborati di progetto e in particolare nel *P&ID* (elaborato *-D-I2-IMP-EG-007*), negli *Elenchi apparecchiature elettromeccaniche* (elaborato *-D-I2-IMP-RT-001*) e nel *Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici* (elaborato *-D-I2-GEN-CA-001*), mentre per i dettagli della configurazione di progetto dei diversi comparti si rimanda ai relativi elaborati grafici

## 4.1 STAZIONE DI PRE-TRATTAMENTO DEI BOTTINI

Per il trattamento dei nuovi bottini in arrivo presso l'impianto, provenienti da fosse Imhoff e da pulizia della rete fognaria, si prevede la realizzazione di una **stazione di accettazione e pre-trattamento dei botiini**. I reflui extra-fognari possono essere conferiti presso l'impianto in un quantitativo non superiore a 30 $m^3$/d.

Il pre-trattamento dei bottini è costituito da **un'unità compatta di grigliatura a 6 mm, lavaggio e compattazione del materiale grigliato** (700-GR-101), alimentata direttamente dalle autobotti che conferiscono i reflui. L'impianto è costituito da un contenitore con portello di ispezione a tenuta, con flange per il collegamento delle tubazioni di mandata e scarico. All'interno è installata una speciale griglia a cestello con pettine rotante con una spaziatura di 6mm e che ha la capacità, grazie alla particolare configurazione delle lamelle che costituiscono la gabbia filtrante e del corpo griglia, di trattenere, lavare, compattare e scaricare entro un apposito cassone, tutte le sostanze solide grossolane. Il contenimento di tutte le apparecchiature in cofani chiusi, il lavaggio del grigliato, e la compattazione dello stesso prima dello scarico, evitano inoltre qualsiasi possibilità di spandimenti di liquami e/o cattivi odori.

Tale impianto quindi permette di rimuovere efficacemente i materiali grossolani e i detriti presenti nei reflui extra-fognari, sottoponendoli a lavaggio e compattazione prima dello stoccaggio in un cassonetto scarrabile per il successivo avvio a smaltimento in discarica. Il liquame effluente è accumulato in una vasca interrata e rilanciato, tramite pompa sommergibile (700-PS-101), in testa

alla nuova sezione di dissabbiatura-disoleatura. La pompa sarà gestita secondo cicli attacca-stacca, regolati da appositi interruttori di livello (700-LSL/LSH-101).
Planimetricamente la stazione di pre-trattamento dei reflui extra-fognari verrà collocata in prossimità del confine ovest dell'impianto, in una posizione tale da permettere facilità di collegamento e manovra delle autobotti, operazioni che saranno inoltre semplificate grazie alla predisposizione di un **nuovo ingresso** proprio in prossimità della stazione stessa, che fornirà inoltre alla gestione ordinaria del depuratore un'ulteriore via di accesso/uscita migliorando la viabilità interna.

## 4.2 DISMISSIONE MANUFATTO DI ARRIVO DEI REFLUI, GRIGLIATURA E DISSABBIATURA TIPO PISTA

Il primo intervento previsto è la **dismissione e successiva demolizione del manufatto di arrivo dei reflui, grigliatura e dissabbiatura tipo pista.** Questo intervento si rende necessario per creare spazio per la realizzazione della nuova linea biologica e adeguare il profilo idraulico dell'impianto nella configurazione di progetto, senza l'installazione si stazioni di sollevamento intermedie.
Si prevede quindi **lo svuotamento e la pulizia del manufatto** tramite pompaggio e la **rimozione delle attrezzature elettromeccaniche e delle carpenterie**, per poter poi demolire la struttura. La griglia fine e le rispettive coclee di allontanamento e compattazione del materiale grigliato verranno mantenute in servizio, ricollocandole nel manufatto di arrivo di nuova realizzazione, che sorgerà in una posizione analoga rispetto all'esistente.

## 4.3 ARRIVO LIQUAMI E GRIGLIATURA FINE

Il **nuovo manufatto di arrivo e grigliatura fine dei reflui** è costituito essenzialmente da due vani: il primo vano è adibito all'arrivo dei liquami in pressione dall'abitato di Ronco Scrivia e da Isola del Cantone, mentre il secondo ospita la sezione di grigliatura fine.
Da progetto si prevedono quindi **interventi sulle due tubazioni di arrivo dei liquami, in modo da collegarle al nuovo manufatto**. **La portata eccedente la 3Qm** non sarà trattata dall'impianto, ma **sfiorata, tramite apertura della paratoia 100-SGm-108 a presidio della tubazione di by-pass impianto**, che colletta i reflui direttamente alla vasca di disinfezione. All'interno del primo vano sarà alloggiata una **sonda per la misura dell'azoto ammoniacale, della temperatura e del pH** (100-NH4IT/PHIT/TIT-101).
Nel secondo vano viene alloggiata la **griglia fine a pettine esistente** (100-GR-101), **con ingresso e uscita presidiati da paratoie manuali** (100-SGm-101/103). Si mantengono anche le **attuali coclee di allontanamento** (100-PW-101) **e compattazione del materiale grigliato** (100-PW-102). Il refluo sgrigliato prosegue verso la nuova linea di dissabbiatura-disoleatura, mentre il materiale grigliato viene scaricato in un cassone, posizionato nelle vicinanze dal cancello d'ingresso in modo da facilitare le operazioni di smaltimento dello stesso.

Il progetto prevede inoltre la possibilità di **by-passare il comparto di grigliatura** per facilitare gli interventi di manutenzione, tramite chiusura delle paratoie 100-SGm-101/103 in ingresso e uscita dal canale di grigliatura fine e apertura delle paratoie manuali a presidio della tubazione di by-pass (100-SGm-102/105).

## 4.4 DISSABBIATURA-DISOLEATURA

Al fine di risolvere i problemi evidenziati da IRETI relativamente alla separazione delle sabbie, ossia scarsa efficienza del dissabbiatore tipo Pista (che ha portato nel tempo al fuori servizio del comparto rendendolo unicamente una sezione di transito per il refluo) e impossibilità di trattenere gli oli dall'effluente, si propone la realizzazione di un **dissabbiatore-disoleatore longitudinale aerato in singola linea**.

Per ottimizzare l'uso degli spazi, essendo questi limitati a causa della conformazione del territorio e della ridotta superficie di pertinenza dell'impianto, si prevede di collocare la nuova vasca di dissabbiatura-disoleatura in adiacenza al comparto di grigliatura fine.
Il comparto riceve in ingresso il refluo fognario, sottoposto a precedente grigliatura fine, e i bottini pre-trattati.

Il trattamento del refluo avviene in un canale longitudinale con una sezione di calma per la flottazione dei grassi e una sezione aerata per la separazione delle sabbie. Inoltre verranno realizzati dei pozzetti in testa e in coda al dissabbiatore, in cui l'ingresso e l'uscita saranno presidiati da paratoie manuali (100-SGm-104/107).
Il sistema di rimozione delle sabbie e degli oli è costituito da un **carroponte va e vieni dotato di lama di fondo e di superficie** (100-RF-101). Le sabbie vengono convogliate dalla lama di fondo ad una tramoggia in cui viene alloggiata una **nuova pompa sommergibile per l'allontanamento delle sabbie** (100-PS-101), mentre il materiale flottante viene raccolto in un pozzetto dedicato. **Le sabbie vengono pompate ad un sistema di lavaggio e classificazione** (100-CS-101), il quale scarica le sabbie all'interno di un cassonetto per il successivo conferimento a discarica. **I grassi vengono invece allontanati** con un sistema di raccolta ed estrazione, realizzato **con pompa sommergibile** (100-PS-102) gestita secondo cicli on/off regolati da interruttori di livello (100-LSL-101 e 100-LSH-101), e inviati alla vasca di ispessimento fanghi esistente.
L'aerazione della zona di dissabbiatura è effettuata mediante un **sistema di diffusione tubolare a bolle grosse** (100-DT-101), **alimentato da 1+1R soffianti a lob**i (100-CR-101 A/B). Le soffianti sono alloggiate in un nuovo locale soffianti nelle vicinanze del comparto e della cabina Enel, in grado di erogare una portata d'aria di 160 $Nm^3/h$ alla pressione differenziale di 320 mbar.
Tramite apposita tubazione presidiata da paratoie manuali (100-SGm-105/106), vi è inoltre la possibilità di by-passare il comparto per agevolare le operazioni di manutenzione.

Il dimensionamento del dissabbiatore-disoleatore aerato a flusso longitudinale viene effettuato verificando il rispetto di opportuni vincoli sui principali parametri progettuali, desumibili da letteratura (Masotti, 1987; Nuovo Colombo, 1997; Metcalf & Eddy, 2003; Bonomo, 2008). I risultati del dimensionamento delle nuove linee di progetto sono riportati in Tabella 7.

Tabella 7: Caratteristiche e condizioni operative del comparto di dissabbiatura-disoleatura

| **Parametro** | **Unità di misura** | **Valore** |
|---|---|---|
| *Parametri progettuali di riferimento* | | |
| Tempo minimo di residenza idraulica per Qc | min | 10 |
| Tempo minimo di residenza idraulica per Qpm | min | 3 |
| Velocità massima di attraversamento vasca per Qpm | m/s | 0.03 |
| Portata d'aria da fornire per unità di lunghezza della vasca | Nm3/m/h | 20 |
| *Caratteristiche della vasca di dissabbiatura-disoleatura prevista* | | |
| Numero vasche | - | **1** |
| Lunghezza utile vasca | m | **8.0** |
| Larghezza dissabbiatore | m | **3.0** |
| Larghezza canale laterale di calma | m | **0.8** |
| Altezza efficace in vasca (sopra ai diffusori) | m | 2.7 |
| Altezza utile in vasca | m | **3.2** |
| Volume dissabbiatura | $m^3$ | 77 |
| Superficie planimetrica complessiva | $m^2$ | 30 |
| Volume utile totale | $m^3$ | 95 |
| Portata d'aria da insufflare | $Nm^3/h$ | **160** |
| Pressione differenziale richiesta alle soffianti | mbar | **320** |
| Numero di diffusori a bolle medie | - | 8 |
| *Condizioni operative previste* | | |
| Portata media di progetto $Q_m$ | $m^3/h$ | 250 |
| Portata di calcolo $Q_c$ | $m^3/h$ | 325 |
| Portata massima da avviare a trattamento primario $Q_{pm}$ | $m^3/h$ | 750 |
| Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di $Q_c$ | min | 14.2 |
| Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di $Q_{pm}$ | min | 6.1 |
| Velocità di attraversamento per $Q_{pm}$ | m/s | 0.026 |

## 4.5 DISMISSIONE SEDIMENTATORE PRIMARIO

Oltre al manufatto di arrivo reflui, grigliatura e dissabbiatura è prevista la **dismissione del comparto di sedimentazione primaria**. Questa scelta è giustificata dal fatto che il digestore anaerobico è attualmente by-passato, e verrà svuotato, bonificato e demolito in questa sede progettuale; inoltre in impianto non è presente una sezione di recupero del biogas. La produzione di fango primario non comporta quindi vantaggi per l'impianto di Ronco Scrivia, da qui la volontà di IRETI di dismetterlo definitivamente e bonificarlo. Avendo inoltre la necessità di recuperare superficie per la realizzazione della nuova linea biologica (il volume del sedimentatore I risulta infatti insufficiente per la sua conversione in vasca biologica adeguata per trattare i nuovi carichi organici in ingresso impianto), il progetto prevede anche la **demolizione della vasca.**

In sintesi l'intervento sull'attuale sedimentatore primario prevede lo **svuotamento e la pulizia della vasca, la rimozione e lo smaltimento degli stramazzi tipo Thomson, delle utenze elettromeccaniche,** quali pompe di estrazione dei fanghi e carroponte, **e delle carpenterie**.

## 4.6 RIPARTITORE DI PORTATA ALLE LINEE BIOLOGICHE

A valle del comparto di dissabbiatura e disoleatura il refluo pretrattato viene inviato a gravità all'interno di un **nuovo ripartitore di portata in ingresso al comparto biologico**, costituito da un pozzetto munito di **n.3 paratoie a stramazzo motorizzate** (200-SGe- 101 A/B e 200-SGe-102) aventi la funzione di alimentare razionalmente le successive vasche biologiche. Nella configurazione di progetto, infatti, il comparto biologico è costituito dalle due vasche esistenti, con volume complessivo di 2000 $m^3$ (1000 $m^3$ per vasca) e da una nuova vasca da 3000 $m^3$. Ne consegue la necessità di ripartire la portata in ingresso impianto, in modo che **la nuova linea accolga il 60% del refluo e le due esistenti il 40% (20% per singola linea).**

Il progetto prevede l'installazione di **misuratori di portata elettromagnetici** sulla tubazione del refluo in ingresso al ripartitore (200-FIT-101), sulla tubazione in ingresso alla linea biologica 1 (200-FIT-102) e sulla tubazione alla linea biologica 3 (200-FIT-302). Non risulta possibile prevedere una misurazione esatta della portata in ingresso alla linea 2 poiché la tubazione che collega il pozzetto ripartitore alla vasca non risulta emersa, data la vicinanza dei due manufatti; le due linee esistenti presentano però stessa volumetria, conseguentemente è lecito assumere l'analogia con la portata entrante in linea 1, misurata dallo strumento 200-FIT-102.

Nel pozzetto, infine, avviene il ricircolo del fango e il dosaggio di agente defosfatante.

## 4.7 SEZIONE DI TRATTAMENTO BIOLOGICO

A seguito di una verifica sulla capacità massima di trattamento delle due attuali vasche biologiche richiesto da IRETI, i cui risultati sono riportati in allegato alla presente relazione, è emersa

l'inadeguatezza dell'impianto a trattare un carico organico di 26 000 AE, corrispondente alla dimensione dell'agglomerato servito dal depuratore. Di conseguenza **il comparto biologico esistente necessita di un intervento di upgrading, tramite la realizzazione di una nuova linea biologica.**

Per avere analogia con l'esistente, nella nuova vasca a fanghi attivi sarà implementata una **logica ad aerazione intermittente**, gestita da un controllore di processo esterno, in cui vengono create periodicamente condizioni aerobiche per la nitrificazione e la rimozione della sostanza organica, e condizioni anossiche per la riduzione dei nitrati ad azoto gassoso.

Si riporta di seguito il modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento della nuova vasca, i parametri cinetici e stechiometrici scelti e i risultati ottenuti. Dal momento che le cinetiche di crescita batterica risultano rallentate al decrescere della temperatura, il dimensionamento e la verifica del processo biologico è stata effettuata cautelativamente con riferimento alla temperatura di progetto di 12 °C. Il dimensionamento del sistema di aerazione da implementare per la nuova vasca di progetto è stato eseguito a favore di sicurezza alla temperatura massima di 22 °C, dato che la solubilità dell'ossigeno in acqua diminuisce all'aumentare della temperatura.

Infine, viene descritta la logica ad aerazione intermittente e il principio di funzionamento del controllore di processo esterno.

### 4.7.1 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).

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.

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 0);
- input dei parametri cinetici e stechiometrici per la biomassa eterotrofa ed autotrofa (si veda per il caso in esame il paragrafo successivo);
- input delle condizioni operative in termini di concentrazione $x_b$ di SST mantenuta nel comparto biologico, di concentrazione di ossigeno disciolto $O_\alpha$ 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 del rapporto ottimale di ricircolo della miscela aerata $r_m$ dal comparto di nitrificazione a quello anossico di denitrificazione;
- calcolo della concentrazione dei principali macroinquinanti nell'effluente;
- ottimizzazione iterativa dei parametri $f_{xt}$ e $r_m$ 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 estiva.

### 4.7.2 Parametri cinetici e stechiometrici

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

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

I valori dei parametri cinetici a 20°C, dei relativi coefficienti $\alpha$ di correzione e dei parametri stechiometrici utilizzati nell'applicazione del modello di calcolo per il dimensionamento dei comparti di trattamento biologico sono stati ricavati da letteratura (Ekama *et al.*, 1984; Metcalf & Eddy, 2003) e sono riassunti in Tabella 8.

Tabella 8: Vaori dei parametri cinetici e stechiometrici assunti in sede di verifica

| Parametro | Simbolo | u.m. | Valore |
|---|---|---|---|
| Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C | $\mu_{n20}$ | $d^{-1}$ | 0.455 |
| Coefficiente di correzione per effetto della temperatura | | - | 1.123 |
| Tasso di crescita cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima di progetto (inverno / estate) | $\mu_{nT}$ | $d^{-1}$ | 0.18/0.574 |
| Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante a 20 °C | $b_{n20}$ | $d^{-1}$ | 0.04 |
| Coefficiente di correzione per effetto della temperatura | | - | 1.029 |
| Tasso di scomparsa cellulare della biomassa autotrofa nitrificante alla T minima di progetto (inverno / estate) | $b_{nT}$ | $d^{-1}$ | 0.032/0.042 |
| 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 di correzione per effetto della temperatura | | - | 1.123 |
| Costante di semi-saturazione per la biomassa autotrofa relativa al fabbisogno di substrato alla T di progetto (inverno / estate) | $K_{nT}$ | mgN-$NH_4$/L | 0.395 / 1.261 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 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 di correzione per effetto della temperatura | | - | 1.029 |
| Tasso di scomparsa cellulare della biomassa eterotrofa alla T di progetto (inverno / estate) | $b_{hT}$ | $d^{-1}$ | 0.191 / 0.254 |
| Resa cellulare della biomassa eterotrofa | $Y_h$ | gSSV/gCOD | 0.45 |
| Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile a 20 °C | $K_{1,20}$ | $gN\text{-}NO_3/gSSV/d$ | 0.72 |
| Coefficiente di correzione per effetto della temperatura | | - | 1.20 |
| Velocità di denitrificazione con impiego di COD rapidamente biodegradabile alla T di progetto (inverno / estate) | $K_{1,T}$ | $gN\text{-}NO_3/gSSV/d$ | 0.167 / 1.037 |
| Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile a 20 °C | $K_{2,20}$ | $gN\text{-}NO_3/gSSV/d$ | 0.101 |
| Coefficiente di correzione per effetto della temperatura | | - | 1.08 |
| Velocità di denitrificazione con impiego di COD lentamente biodegradabile alla T di progetto (inverno / estate) | $K_{2,T}$ | $gN\text{-}NO_3/gSSV/d$ | 0.057 / 0.118 |
| 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 |

### 4.7.3 Risultati delle verifiche di processo del comparto biologico

Una volta determinato, considerando la temperatura minima di 12°C e una portata di calcolo pari a 1.3 volte la portata media, il volume complessivo necessario per trattare il carico in ingresso considerato, sono state effettuate, sia per le due vasche esistenti che per quella di nuova costruzione, le verifiche in condizioni stazionarie considerando l'implementazione delle logiche di aerazione intermittente, alla temperatura minima di 12°C e alla temperatura massima di 22°C.

La verifica a 12°C è stata eseguita dal momento che le cinetiche di crescita batteriche risultano rallentate al decrescere della temperatura in vasca. La temperatura massima estiva di 22 C è stata invece considerata per le verifiche di dimensionamento dei sistemi di aerazione, dato che la solubilità dell'ossigeno si riduce all'incrementare della temperatura del liquame. Si segnala inoltre che, nelle verifiche effettuate per il dimensionamento del sistema di aerazione, la durata delle fasi aerobiche e anossiche è stata gestita in modo da favorire il risparmio energetico, ossia minimizzando il tempo di lavoro dei compressori (ipotesi a favore di sicurezza nel dimensionamento delle soffianti in quanto determina portate d'aria maggiori).

Nella Tabella 9 sono riportati i risultati ottenuti dal dimensionamento del volume complessivo necessario per trattare il carico in ingresso di progetto.

Tabella 9: Risultati del dimensionamento del volume biologico complessivo

| **Parametro** | **u.m.** | **Valore** |
|---|---|---|
| | | **12°C** |
| *Condizioni operative* | | |
| Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate | $mgO_2/L$ | 2.0 |
| Concentrazione di SST nel comparto biologico | $kgSST/m^3$ | 4.0 |
| Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a $Q_m$ | - | 1.0 |
| Portata di ricircolo dei fanghi di progetto | $m^3/h$ | 250 |
| Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero | $kgSST/m^3$ | 8.9 |
| *Risultati delle verifiche della biologia* | | |
| Volume utile totale | $m^3$ | **5000** |
| Età del fango (*SRT*) | d | **17.4** |
| Frazione volatile attesa | gSSV/gSST | 0.75 |
| Frazione anossica (=frazione di tempo in condizioni non aerate) | **-** | **42%** |
| Produzione attesa di fanghi di supero biologico con $Q_{24}$ | kgSST/d | 875 |
| Portata volumetrica media di fanghi di supero biologico con $Q_{24}$ | $m^3/d$ | 97 |
| *Caratteristiche attese dell'effluente chiarificato* | | |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $mgBOD_5/L$ | <25 |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | <125 |
| Solidi sospesi totali SST | mgSST/L | <35 |
| Azoto totale | mgN/L | <15 |
| Fosforo totale | mgP/L | <2.0 |
| *Percentuali di rimozione attese* | | |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | % | >80 |
| Sostanza organica come COD | % | >75 |
| Solidi sospesi totali SST | % | >90 |
| Azoto totale | % | >75 |
| Fosforo totale | % | >75 |

Il volume biologico totale necessario è di 5000 $m^3$. Considerando che le vasche esistenti sono caratterizzate da un volume di 1000 $m^3$ ciascuna, ne consegue la necessità di realizzare una **nuova linea da 3000 $m^3$**. Questa nuova volumetria sarà realizzata sul sedime dell'attuale sedimentatore primario, di cui, da progetto, è prevista la dismissione e demolizione.

Nella Tabella 10 sono riportati i risultati delle verifiche delle vasche biologiche esistenti, effettuati principalmente con il fine di investigare l'adeguatezza del sistema di aerazione a servizio di tali linee e stimare il quantitativo di fanghi prodotti.

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

| **Parametro** | **u.m.** | **Valore** | |
|---|---|---|---|
| | | **12°C** | **22°C** |
| *Condizioni operative* | | | |
| Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate | $mgO_2/L$ | 2.0 | 2.0 |
| Concentrazione di SST nel comparto biologico | $kgSST/m^3$ | 4.0 | 4.0 |
| Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a $Q_m$ | - | 1.0 | 1.0 |
| Portata di ricircolo dei fanghi di progetto | $m^3/h$ | 250 | 250 |
| Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero | $kgSST/m^3$ | 8.9 | 9.0 |
| *Risultati delle verifiche della biologia* | | | |
| Volume utile totale | $m^3$ | 2000 | 2000 |
| Battente utile | m | 4.10 | 4.10 |
| Età del fango (*SRT*) | d | 17.6 | 19 |
| Frazione volatile attesa | gSSV/gSST | 0.75 | 0.75 |
| Frazione anossica (=frazione di tempo in condizioni non aerate) | **-** | **42%** | **70%** |
| Produzione attesa di fanghi di supero biologico | kgSST/d | 350 | 324 |
| Portata volumetrica media di fanghi di supero biologico con $Q_{24}$ | $m^3/d$ | 39 | 36 |
| *Caratteristiche attese dell'effluente chiarificato* | | | |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $mgBOD_5/L$ | <25 | <25 |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | <125 | <125 |
| Solidi sospesi totali SST | mgSST/L | <35 | <35 |
| Azoto totale | mgN/L | <15 | <15 |
| Fosforo totale | mgP/L | <2.0 | <2.0 |
| *Verifica del sistema di aerazione* | | | |
| Battente in vasca | m | 4.40 | 4.40 |
| Fabbisogno complessivo di ossigeno | $kgO_2/d$ | 1151 | 1186 |
| Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (*AOR*) da soddisfare nelle fasi aerate | $kgO_2/h$ | 82 | 165 |
| Fattore riduttivo $\alpha$ del coefficiente globale di trasferimento $K_L{\cdot}a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita | **-** | 0.65 | 0.65 |
| Concentrazione di $O_2$ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P[1] | $mgO_2/L$ | 12.71 | 10.45 |
| Fattore riduttivo $\beta$ della concentrazione di saturazione dell'$O_2$ per tener conto della salinità dell'acqua | - | 0.98 | 0.98 |
| Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (*SOTR*) | **$kgO_2/h$** | **132** | **266** |

[1] Determinato considerando la pressione idrostatica media sui diffusori, assumendo un'altezza di installazione dei diffusori rispetto al fondo vasca pari a 0.05 m.

[1] SOTE ottenibile con i diffusori Aquastrip Q4,0EU installati (dato da progetto del lotto 1).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Numero di diffusori a pannelli | - | 112 | 112 |
| Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (*SOTE*)[2] | - | 37% | 33% |
| Portata d'aria massima richiesta | **Nm³/h** | **1190** | **2685** |
| Pressione differenziale | **mbar** | **570** | **570** |

Attualmente le vasche sono dotate di un sistema di diffusione a bolle fini costituito da pannelli a membrana ad alto rendimento del tipo a bandelle lunghe e strette Aquastrip® (200-DD-101 A/B), alimentati da tre soffianti ibride Aerzen® D36S (1 per ciascuna linea + 1 riserva) servite da inverter, con portata massima di 1550 Nm³/h ciascuna (200-CR-101 A/B/R). Da una prima valutazione, **i compressori installati sono quindi sufficienti a soddisfare la richiesta d'aria necessaria per il trattamento biologico del nuovo carico inquinante in ingresso alle vasche esistenti**.
Per poter effettuare la pulizia chimica periodica dei diffusori, mantenendo costanti le performance di diffusione dell'aria in vasca, si prevede l'installazione di appositi ugelli saldati sulle calate dell'aria, presidiati da valvola a sfera. Inoltre da progetto si prevede **l'introduzione della misura dei nitrati** in ciascuna linea esistente (200-NO3IT-101 A/B).

Nella Tabella 11 sono riportati i risultati delle verifiche della nuova vasca biologica.

Tabella 11: Risultati delle verifiche della sezione di trattamento biologico di nuova realizzazione

| **Parametro** | **u.m.** | **Valore** | |
|---|---|---|---|
| | | **12°C** | **22°C** |
| *Condizioni operative* | | | |
| Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate | $mgO_2/L$ | 2.0 | 2.0 |
| Concentrazione di SST nel comparto biologico | $kgSST/m^3$ | 4.0 | 4.0 |
| Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a $Q_m$ | - | 1.0 | 1.0 |
| Portata di ricircolo dei fanghi di progetto | $m^3/h$ | 250 | 250 |
| Concentrazione media di SST nei fanghi di ricircolo e supero | $kgSST/m^3$ | 8.9 | 9.0 |
| *Risultati delle verifiche della biologia* | | | |
| **Volume utile totale** | **m³** | **3000** | **3000** |
| **Battente utile** | **m** | **6.10** | **6.10** |
| Lunghezza utile | | 45.55 | 45.55 |
| Larghezza utile | | 10.85 | 10.85 |
| Età del fango (*SRT*) | d | 17.6 | 19 |
| Frazione volatile attesa | gSSV/gSST | 0.75 | 0.75 |
| Frazione anossica (=frazione di tempo in condizioni non aerate) | **-** | **42%** | **70%** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Produzione attesa di fanghi di supero biologico | kgSST/d | 525 | 486 |
| Portata volumetrica media di fanghi di supero biologico con $Q_{24}$ | $m^3/d$ | 59 | 54 |
| *Caratteristiche attese dell'effluente chiarificato* | | | |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | $mgBOD_5/L$ | <25 | <25 |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | <125 | <125 |
| Solidi sospesi totali SST | mgSST/L | <35 | <35 |
| Azoto totale | mgN/L | <15 | <15 |
| Fosforo totale | mgP/L | <2.0 | <2.0 |
| *Verifica del sistema di aerazione* | | | |
| Battente in vasca | m | 6.10 | 6.10 |
| Fabbisogno complessivo di ossigeno | $kgO_2/d$ | 1726 | 1779 |
| Fabbisogno di ossigeno nelle condizioni operative di temperatura e pressione (*AOR*) da soddisfare nelle fasi aerate | $kgO_2/h$ | 123 | 247 |
| Fattore riduttivo $\alpha$ del coefficiente globale di trasferimento $K_L{\cdot}a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita | **-** | 0.65 | 0.65 |
| Concentrazione di $O_2$ a saturazione in acqua pulita nelle condizioni operative di T e P[3] | $mgO_2/L$ | 13.55 | 11.14 |
| Fattore riduttivo $\beta$ della concentrazione di saturazione dell'$O_2$ per tener conto della salinità dell'acqua | - | 0.98 | 0.98 |
| Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (*SOTR*) | **$kgO_2/h$** | **184** | **369** |
| Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (*SOTE*) [4] | - | 36% | 33.4% |
| Portata d'aria massima richiesta | **$Nm^3/h$** | **1700** | **3677** |
| Pressione differenziale | **mbar** | **730** | **730** |
| Numero di diffusori | **-** | **520** | **520** |
| Portata d'aria alimentata da ciascun diffusore | **$Sm^3/h$** | **3.51** | **7.58** |

La logica ad aerazione intermittente implementata nel nuovo volume biologico garantisce il rispetto dei limiti allo scarico in tutti gli scenari considerati.

L'aria di processo è fornita alla nuova vasca tramite un sistema di aerazione dedicato, composto da **n. 2 soffianti ibride, operanti in configurazione 1+1R e servite da inverter** (200-CR-201 A/R)**, che insufflano aria compressa mediante una nuova rete di diffusori a bolle fini a disco con membrana in EPDM**, predisposta sul fondo (200-DD-201). La pressione dell'aria sulla linea di mandata è rilevata dal sensore capacitivo (200-PIT-101): l'aumento della pressione indica il progressivo sporcamento dei diffusori, permettendo quindi alla gestione di programmare tempestivamente la pulizia chimica dei piattelli, evitando inutili sprechi energetici. Si prevede quindi anche l'installazione di appositi ugelli

[3] Determinato considerando la pressione idrostatica media sui diffusori, assumendo un'altezza di installazione dei diffusori rispetto al fondo vasca pari a 0.05 m.

[4] SOTE ottenibile con i diffusori previsti da progetto (dato da offerta tecnica)

saldati sulle calate dell'aria, presidiati da valvola a sfera, per effettuare la pulizia chimica periodica dei diffusori. Per la misura dell'energia effettivamente assorbita dai compressori e poter stimare quindi i consumi energetici delle macchine, si prevede l'installazione di energy meter.
Le nuove soffianti, fornite con cabina insonorizzata per contenere le emissioni rumorose, vengono ubicate all'interno del nuovo locale tecnico adiacente alla cabina Enel. Per salvaguardare la salubrità del locale, e quindi dell'ambiente di lavoro, è prevista inoltre l'installazione di un **ventilatore centrifugo a parete** (200-VE-101) in grado di movimentare una portata d'aria pari a 4000 m3/h.

### 4.7.4 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 ricircolando dalla vasca di ossidazione/nitrificazione a quella di denitrificazione una portata in genere compresa tra 2 e 6 volte la portata media influente.

A fronte di una collaudata efficacia 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 diretti (ammoniaca), condizioni aerobiche per la nitrificazione e la rimozione della sostanza organica, 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 **l'installazione di una sonda di ossigeno** (200-OIT-102)**, di una sonda multiparametrica per la misura della concentrazione di azoto ammoniacale, azoto nitrico, pH e temperatura** (200-NH4IT/NO3IT/PHIT/TIT-102)**, e di un sensore ottico di SST** (200-CIT-102)**.**

Inoltre tra gli interventi di progetto è prevista **l'installazione di un sistema di pulizia delle sonde ad aria compressa.**

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.

## 4.8 DEFOSFATAZIONE CHIMICA IN SIMULTANEA CON DOSAGGIO DI CLORURO FERRICO

Nella configurazione di progetto la rimozione del fosforo viene effettuata mediante **precipitazione chimica in simultanea, con il dosaggio di una soluzione di cloruro ferrico al 40% nel ripartitore di portata in ingresso alla biologia,** per garantire il rispetto del limite allo scarico di 2 mgP/L.

Tra le opere da realizzare nell'ambito del presente progetto rientra pertanto la predisposizione di una **nuova stazione di dosaggio**. Tale stazione sarà dotata di **n.1 serbatoio di stoccaggio in vetroresina da 3000 L** (200-TK-101), collocato all'interno di un'idonea vasca di contenimento in calcestruzzo, e da **1+1R pompe dosatrici** (200-PD-101 A/R) installate all'interno di apposito skid di dosaggio. Sulla mandata delle pompe dosatrici viene installato un **misuratore di portata elettromagnetico** (200-FIT-103). La posizione della stazione di dosaggio è internamente al locale ospitante la disidratazione meccanica dei fanghi.

In via generale, la verifica di dimensionamento di una stazione di stoccaggio e dosaggio di reagente flocculante per la defosfatazione chimica va condotta sulla base del quantitativo di fosforo effettivamente da rimuovere, calcolato come differenza tra il carico di fosforo in ingresso, il carico massimo ammesso in uscita e l'aliquota assimilata nel comparto biologico dalla biomassa batterica per soddisfare le proprie esigenze metaboliche e quindi rimossa contestualmente ai fanghi di supero. La frazione rimossa per sintesi batterica può essere determinata sulla base del contenuto specifico di fosforo nei fanghi, che nel caso di schemi di processo di nitrificazione e denitrificazione ad aerazione intermittente, si attesta in genere su valori dell'ordine di 0,04 gP/gSSV.
Noto il quantitativo di fosforo da rimuovere, il fabbisogno giornaliero di reagente chimico e della relativa soluzione commerciale impiegata può essere calcolato a partire dal rapporto stechiometrico *Fe/P* = 1.8 gFe/gP delle reazioni di precipitazione chimica con impiego di sali di ferro, cui è poi opportuno applicare un opportuno coefficiente di sovradosaggio, nel caso in esame assunto del 30%.

Il riepilogo delle verifiche del fabbisogno di dosaggio di $FeCl_3$ e della relativa produzione di fanghi chimici è riportato in Tabella 12 con riferimento allo scenario estivo a 22°C, che risulta il più gravoso in termini di concentrazione di fosforo da rimuovere chimicamente a causa della minore produzione di fanghi di supero biologici.

Tabella 12: Dimensionamento nuova stazione di dosaggio alluminato di sodio e stima fabbisogno reagenti

| Parametro | u.m. | Valore |
|---|---|---|
| *Dati di progetto* | | |
| Portata media trattata | m³/h | 250 |
| Concentrazione di fosforo nel liquame in ingresso | mgP/L | 8.7 |
| Produzione giornaliera di fanghi secondari biologici di supero con $Q_c$ | kgSST/d | 935 |
| Contenuto specifico di fosforo nei fanghi | gP/gSSV | 0,04 |
| Concentrazione di fosforo assimilata biologicamente e rimossa con i fanghi di supero | mgP/L | 3.6 |
| 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 | 3.1 |
| *Fabbisogni* | | |
| Fabbisogno giornaliero di $FeCl_3$ (con coefficiente di sovradosaggio del 30%) | kg/d | 163.0 |
| Concentrazione in peso di $Al_2O_3$ nella soluzione commerciale | - | 40% |
| Densità della soluzione commerciale | kg/m$^3$ | 1420 |
| Fabbisogno giornaliero di soluzione commerciale | L/h | 12 |
| *Stazione di dosaggio cloruro ferrico* | | |
| N. di pompe dosatrici installate | - | **1+1R** |
| Portata di progetto singola pompa | L/h | **12** |
| Volume di stoccaggio previsto | L | **3000** |
| Autonomia di esercizio | d | 10 |
| Stima del consumo medi annuo di reagente | ton/anno | 114 |
| Produzione media giornaliera di fanghi chimici (derivanti dal dosaggio di defosfatante) | kgSST/d | 109 |
| Portata volumetrica media giornaliera di fanghi chimici (derivanti dal dosaggio di defosfatante) | m$^3$/d | 12 |

## 4.9 RIPARTITORE DI PORTATA ALLE LINEE BIOLOGICHE

A valle del comparto biologico la portata in uscita da ciascuna linea viene inviata tramite due nuove tubazioni di uscita all'interno di un **nuovo ripartitore di portata in ingresso al comparto di sedimentazione secondaria**, costituito da un pozzetto munito di **n.2 paratoie a stramazzo motorizzate** (200-SGe-103 A/B) aventi la funzione di alimentare equamente le successive due linee di sedimentazione.

## 4.10 SEDIMENTAZIONE SECONDARIA

Per la sedimentazione finale sono state effettuate le verifiche sui principali parametri operativi al fine da valutarne il corretto funzionamento in seguito alla variazione dei carichi in ingresso. L'impianto conta due sedimentatori secondari longitudinali, per un volume di 1160 m$^3$ per vasca.

Si riporta di seguito il criterio di verifica applicato e i risultati ottenuti.

### 4.10.1 Criterio di verifica applicato

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

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

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

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

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

in cui:

- $M(SST)$ (kgSST/h) rappresenta la portata massica di SST in ingresso alla vasca di sedimentazione;
- $x_b$ (kgSST/m$^3$) rappresenta la concentrazione di solidi sospesi nel reattore biologico;
- $Q_{in,sed}$ (m$^3$/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 m$^3$/m$^2$/h con riferimento alla portata di calcolo e a 1.2 m$^3$/m$^2$/h con riferimento alla portata massima in tempo pioggia.

Per quanto concerne il flusso solido *FS* occorre verificare il rispetto del cosiddetto flusso solido limite ($FS_L$), che, per il tipo di impianto in esame, può essere assunto pari a 5 kgSST/m$^2$/h con riferimento alla portata di calcolo e a 8 kgSST/m$^2$/h con riferimento alla portata massima.

Il valore minimo di riferimento per il tempo di residenza idraulica *HRT* (valutato come rapporto della sola portata massima di liquame rispetto al volume disponibile, non considerando il flusso ricircolo) può infine essere assunto pari a 3 ore, mentre il carico allo sfioro $C_S$ (rapporto tra portata di liquame trattata e lunghezza complessiva del profilo perimetrale di sfioro) deve risultare inferiore a 250 m$^3$/m/d in corrispondenza della portata media.

### 4.10.2 Risultati della verifica sui sedimentatori secondari

I risultati delle verifiche di processo dei sedimentatori secondari esistenti sono riassunti in Tabella 13.

Tabella 13: Risultati delle verifiche di processo delle sezioni di sedimentazione secondaria

| Parametro | u.m. | Valore |
|---|---|---|
| *Vincoli operativi* | | |
| Flusso solido limite in corrispondenza di $Q_{calc}$ | kgSST/m²/h | 5.0 |
| Flusso solido limite in corrispondenza di $Q_{pb}$ | kgSST/m²/h | 8.0 |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con $Q_{calc}$ | m/h | 0.7 |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con $Q_{pb}$ | m/h | 1.2 |
| Tempo di residenza idraulica minimo con $Q_{calc}$ | h | 3.0 |
| Carico allo sfioro massimo con $Q_{calc}$ | m³/m/d | 250 |
| *Caratteristiche del bacino di sedimentazione secondaria* | | |
| Larghezza singola vasca | m | 9.7 |
| Lunghezza singola vasca | m | 45 |
| Numero di bacini | - | 2 |
| Profondità utile | m | 2.55 |
| Superficie utile singola vasca | m² | 436.5 |
| Volume utile singola vasca | m³ | 1113 |
| *Condizioni operative previste* | | |
| Portata media $Q_m$ | m³/h | 250 |
| Portata di calcolo $Q_c$ | m³/h | 325 |
| Portata massima $Q_{pb}$ | m³/h | 750 |
| Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a $Q_m$ | - | 1.0 |
| Concentrazione di SST nel comparto biologico | kgSST/m³ | 4.5 |
| Carico massimo di solidi in corrispondenza di $Q_c$ | kgSST/h | 2609 |
| Carico massimo di solidi in corrispondenza di $Q_{pb}$ | kgSST/h | 4878 |
| Flusso solido con $Q_c$ | kgSST/m²/h | **3.38** |
| Flusso solido con $Q_{pb}$ | kgSST/m²/h | **5.59** |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) con $Q_c$ | m³/m²/h | **0.37** |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) con $Q_{pb}$ | m³/m²/h | **0.86** |
| Tempo di residenza idraulica con $Q_c$ | h | **6.8** |

**I sedimentatori esistenti risultano adeguati per trattare tutta la portata in ingresso impianto, anche in caso di pioggia** e quindi non si rende necessaria la realizzazione di nuovi volumi, né interventi sulle vasche esistenti.

## 4.11 POZZETTO DI RICIRCOLO E SUPERO FANGHI

Per migliorare la flessibilità gestionale del ricircolo e del supero fanghi, il presente progetto prevede la **dismissione delle due tubazioni sommerse di ricircolo fanghi alle due vasche biologiche esistenti e delle due pompe di supero, e la demolizione del pozzetto attuale di supero fanghi.** In sostituzione viene realizzato un **nuovo pozzetto,** in posizione analoga all'esistente ma di dimensioni leggermente superiori, **in cui vengono alloggiate n. 1+1R pompe sommergibili per il sollevamento dei fanghi di ricircolo** (300-PS-101 A/B/R)**.** Le pompe di ricircolo permettono di sollevare una portata massima di 375 m3/h, pari a 1.5 volte la $Q_m$, in modo da garantire flessibilità nella gestione della portata effettiva da ricircolare in testa al comparto biologico, alla prevalenza di 5.00 m e saranno gestite da appositi interruttori di livello a galleggiante (300-LSLL/LSL/LSH-101). I fanghi di ricircolo sono collettati tramite tubazione unica al ripartitore di portata in ingresso alla biologia, su cui viene predisposto un **misuratore di portata di ricircolo** (300-FIT-101). Inoltre sarà disponibile una **misura dei solidi sospesi all'interno del pozzetto** (300-CIT-101)

Il **supero** viene inviato all'ispessitore statico tramite **n.1 pompa sommergibile** in grado di sollevare una portata di 30 m3/h alla prevalenza di 10 m, per un totale di 109 m3/d, comprensivi dei fanghi di supero biologici e chimici. In caso di avaria o malfunzionamento della pompa attiva, è possibile inviare la portata di supero verso l'ispessitore grazie a una diramazione a T sulla mandata delle pompe del ricircolo su cui viene installata una **valvola a ghigliottina motorizzata** (300-VGe-101) **e un misuratore di portata di supero** (300-FIT-102). L'apertura e la chiusura della valvola sarà gestita da PLC tramite la lettura della portata inviata in linea fanghi.

## 4.12 DISINFEZIONE FINALE

Attualmente il comparto di disinfezione a serpentina esistente non è attivo, ma costituisce una sezione di transito finale per l'effluente. Il progetto prevede il ripristino di tale sezione, verificando innanzitutto che il volume disponibile garantisca un tempo di residenza idraulica in corrispondenza della portata media di progetto e della portata di picco superiore ai valori minimi suggeriti da i principali testi scientifici di settore, e quindi la determinazione del corretto dosaggio di agente disinfettante e il volume dei serbatoi di stoccaggio. In particolare si propone il **dosaggio di acido peracetico (PAA)** invece dell'ipoclorito di sodio in modo da evitare la possibile formazione di composti clorurati nell'effluente. In impianto, in particolare all'interno del locale disidratazione, sono ancora presenti i due vecchi serbatoi per lo stoccaggio dell'ipoclorito di sodio e le relative pompe dosatrici. Tale dotazione risulta però in evidente stato di usura e per tale motivo se ne prevede la sostituzione, mantenendo la posizione planimetrica attuale. In particolare si prevede la realizzazione di una **nuova stazione di stoccaggio e dosaggio di PAA con volume di 3000 L** (400-TK-101) **e n.1+1R pompe dosatrici a membrana** (400-PD-101 A/R), **con misura elettromagnetica della portata di PAA dosata** (400-FIT-101). Inoltre si prevede la **realizzazione di un by-pass della disinfezione,** in modo da

poter svolgere agevolmente interventi di pulizia e manutenzione della vasca stessa, tramite **l'installazione di una paratoia manuale** (400-SGm-101) tra il primo e il secondo canale (raggiungibile tramite nuova camminamento in carpenteria metallica) e la **realizzazione di una tubazione di by-pass interna alla vasca, presidiata da paratoia manuale** (400-SGm-102) che convogli l'effluente direttamente nel pozzetto di scarico.

In Tabella 14 si riportano i risultati del comparto di disinfezione e i dosaggi di PAA necessari. Per verificare il tempo di ritenzione idraulica in corrispondenza della portata media e della portata di pioggia è stato applicato il metodo proposto da Metcalf & Eddy (2003). La verifica del consumo richiesto di soluzione commerciale di PAA al 15% in peso è stata effettuata considerando un dosaggio massimo di 10 mg/L di principio attivo, che, secondo quanto riportato in letteratura, può ritenersi più che cautelativo per il trattamento di effluente da trattamento secondario.

Tabella 14: Risultati delle verifiche del canale di disinfezione

| Parametro | u.m. | Valore |
|---|---|---|
| *Dati di progetto* | | |
| Portata media di progetto ($Q_m$) | $m^3/h$ | 250 |
| Portata di picco in tempo di pioggia ($Q_{pb}$) | $m^3/h$ | 750 |
| Tempo di residenza idraulico minimo in corrispondenza di $Q_m$ | min | 30 |
| Tempo di residenza idraulico minimo in corrispondenza di $Q_{pb}$ | min | 15 |
| *Dimensioni geometriche del canale di disinfezione* | | |
| Volume utile di contatto | $m^3$ | 230 |
| Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di $Q_m$ | min | **55** |
| Tempo di residenza idraulico in corrispondenza di $Q_{pb}$ | min | **18** |
| *Stima del dosaggio richiesto di PAA al 15%* | | |
| Concentrazione minima di PAA richiesta | mgPAA/L | 10 |
| Dosaggio richiesto di soluzione commerciale di PAA al 15% in corrispondenza di Qm | kg/h | 17 |
| Dosaggio richiesto di soluzione commerciale di PAA al 15% in corrispondenza di Qpb | kg/h | 50 |
| Densità soluzione commerciale di PAA al 15% | $kg/m^3$ | 1250 |
| Portata di soluzione commerciale di PAA richiesta in corrispondenza di Qm | L/h | **13** |
| Portata di soluzione commerciale di PAA richiesta in corrispondenza di Qpb | L/h | **40** |
| Periodicità di rifornimento della soluzione commerciale | d | 9 |
| Volume minimo del serbatoio di stoccaggio | $m^3$ | **2.9** |
| Numero serbatoi di stoccaggio di progetto | - | **1** |
| Volume del singolo serbatoio | $m^3$ | **3** |

# 5 VERIFICHE DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO DELLA LINEA FANGHI

Le verifiche dei comparti attuali e di nuova realizzazione della linea fanghi sono state eseguite sulla base dei quantitativi di fanghi ottenuti dalle verifiche della biologia (paragrafo 4.7), non essendo ETC in possesso di analisi eseguite sui fanghi attualmente prodotti presso l'impianto.

I fanghi prodotti nella configurazione di progetto sono dovuti al contributo dei fanghi biologici di supero, derivanti dalla necessità di rimuovere dal sistema la biomassa batterica in eccesso, e dei fanghi chimici prodotti dal dosaggio di reagenti chimici per la rimozione del fosforo. In condizioni medie, nello scenario invernale (più sfavorevole dal punto di vista del processo biologico), il quantitativo di fango atteso è di 972 kgSST/d, con un rapporto SSV/SST di 0.75. La portata di fango stimata in ingresso alla linea fanghi, e quindi all'ispessitore statico, è pari a 109 $m^3/d$.

## 5.1 ISPESSITORE STATICO

Il dimensionamento dell'ispessitore statico si basa sulla verifica che i valori dei principali parametri operativi (flusso solido *FS*, carico idraulico superficiale $C_i$) risultino compresi all'interno di *range* utilizzati nella pratica progettuale per applicazioni analoghe, suggeriti dai più importanti manuali tecnici nazionali ed internazionali di settore (Masotti, 1987; Nuovo Colombo, 1997; Metcalf & Eddy, 2003). In particolare il valore del flusso solido limite è stato fissato pari a 40 $kgSST/m^2d$, mentre il carico idraulico a 5 $m^3/m^2d$.

L'impianto di Ronco Scrivia attualmente è dotato di un ispessitore statico di diametro di 10.5 m. Tale volumetria risulta adeguata a trattare efficacemente il quantitativo di fanghi atteso nelle condizioni di progetto come riportato nelle verifiche di dimensionamento di Tabella 15. Tuttavia da progetto si prevede la **sostituzione del carroponte a picchetti con uno di nuova installazione** (500-RF-101) **e della copertura, che risulta deteriorata, con una nuova realizzata con tegoli in PRFV**. Inoltre saranno eseguiti **interventi anche alla carpenteria metallica e sarà innestata la tubazione degli oli** separati dal refluo in ingresso nel comparto di dissabbiatura-disoleatura.

Tabella 15: Verifiche di funzionamento del comparto di ispessimento

| Parametro | u.m. | Valore |
|---|---|---|
| *Dati di progetto* | | |
| Portata massica di fanghi in ingresso | kgSST/d | 972 |
| Portata volumetrica di fango in ingresso | $m^3/d$ | 109 |
| *Dimensioni geometriche* | | |
| Numero vasche | - | 1 |
| Diametro interno | m | 10.5 |

| | | |
|---|---|---|
| Superficie utile | $m^2$ | 87 |
| *Condizioni operative di progetto* | | |
| Flusso solido | $kgSST/m^2/d$ | **11.2** |
| Carico idraulico | $m^3/m^2/d$ | **1.3** |
| *Caratteristiche dei fanghi ispessiti* | | |
| Concentrazione del fango ispessito | $kgSST/m^3$ | 20.1 |
| Portata massica in uscita | kgSST/d | 972 |
| Portata di fango ispessito in uscita | $m^3/d$ | 48 |
| Portata di surnatante in uscita | $m^3/d$ | 61 |

## 5.2 DIGESTORE ANAEROBICO

Il presente progetto prevede lo **svuotamento, la bonifica e la successiva demolizione della vasca di digestione anaerobica**, la quale non risulta attiva dal 2016. Le operazioni previste consistono in: bonifica con azoto, aspirazione e disidratazione dei fanghi presenti nel digestore e la pulizia totale del digestore, nel rispetto delle norme di sicurezza e della normativa vigente in ambito ambientale D.Lgs 152/2006.

Il digestore sarà inertizzato con azoto in modo da eliminare eventuali residui di biogas, e successivamente la parte liquida del fango estratto dovrà essere adeguatamente trattata tramite grigliatura, dissabbiatura, omogeneizzazione e disidratazione, mentre la parte solida verrà smaltita in discarica. Infine, dovrà essere eseguita la pulizia totale del digestore. Per maggior dettagli sulle modalità di intervento si rimanda all'elaborato *-D-I2-GEN-CA-001_Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici.*

Terminati i lavori di svuotamento e bonifica saranno inoltre **rimosse e smaltite tutte le carpenterie metalliche, prima della demolizione della parte civile**.

## 5.3 STABILIZZAZIONE AEROBICA

Il presente progetto prevede la realizzazione di un **nuovo comparto di stabilizzazione aerobica dei fanghi,** che sarà realizzato sul sedime attualmente occupato dal digestore anaerobico.

Il dimensionamento del comparto di stabilizzazione aerobica è finalizzato a verificare che l'età del fango complessiva $SRT_{tot}$, pari alla somma tra quella garantita nel comparto biologico ($SRT_{bio}$) e quella fornita in stabilizzazione ($SRT_{dig}$), sia sufficiente ad ottenere un abbattimento dei solidi volatili tale da poter considerare stabilizzato il fango. Dato che un ruolo preponderante nei processi biologici è svolto dalla temperatura di processo *T*, l'andamento della riduzione percentuale dei solidi volatili ottenibile in vasca di stabilizzazione aerobica è espresso in funzione del prodotto $SRT_{tot} \cdot T$, desunto da dati sperimentali registrati su impianti a scala reale e mostrato nel grafico riportato in

Figura 12, tratto da Metcalf & Eddy (2014). A fini cautelativi, la temperatura di riferimento considerata è quella minima di progetto. Un fango attivo si può considerare stabilizzato se si raggiunge un abbattimento pari al 40% della frazione volatile putrescibile dei solidi totali, cui corrispondono dunque valori minimi di $SRT_{tot} \cdot T$ dell'ordine di 450 °C·d.

I risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione sono riepilogati in Tabella 16.

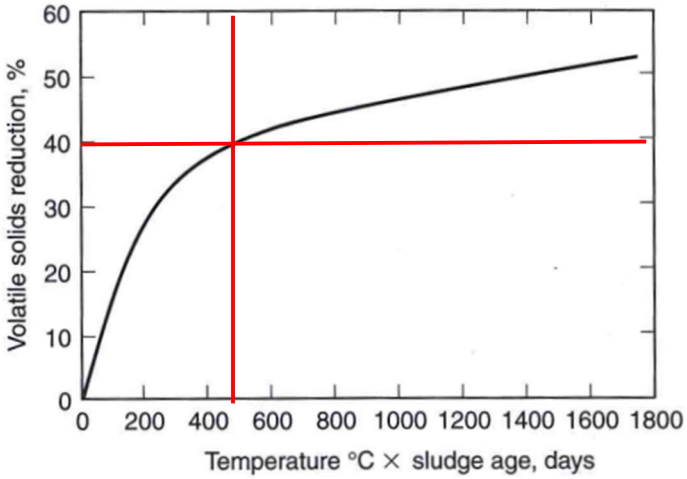



Figura 12: Andamento dell'efficienza di stabilizzazione dei fanghi in funzione del parametro $SRT_{tot} \cdot T$

Tabella 16: Risultati delle verifiche di dimensionamento della sezione di stabilizzazione aerobica

| Parametro | u.m. | Valore |
|---|---|---|
| *Dimensioni geometriche* | | |
| Numero vasche | - | 1 |
| Lunghezza utile | | **14.2** |
| Larghezza utile | | **12** |
| Altezza utile | m | **5.0** |
| Superficie utile | $m^2$ | **170** |
| Volume utile | $m^3$ | **852** |
| *Condizioni operative previste* | | |
| Portata massica di fango in ingresso | kgSST/d | 972 |
| Concentrazione del fango in ingresso | kgSST/$m^3$ | 20.1 |
| Portata volumetrica di fango in ingresso | $m^3$/d | 48.4 |
| Rapporto SSV/SST nel fango in ingresso | gSSV/gSST | 0.75 |
| Età del fango garantita nel comparto biologico (12°C) | d | 17.6 |
| Temperatura minima di progetto | °C | 12 |
| Temperatura massima per il dimensionamento del sistema di aerazione | °C | 22 |
| Età del fango aggiuntiva in stabilizzazione $SRT_{dig}$ | d | 17.6 |
| Età del fango complessiva $SRT_{tot}$ (=$SRT_{bio}$ + $SRT_{dig}$) | d | 35.2 |
| Verifica parametro SRTtot·T | °C·d | 422 |

| | | |
|---|---|---|
| Stima della percentuale di riduzione dei SSV ottenibile (efficienza di stabilizzazione) | - | **40%** |
| *Caratteristiche dei fanghi digeriti* | | |
| Portata massica di fango digerito | kgSST/d | 680 |
| Portata volumetrica di fango digerito | $m^3/d$ | 48.4 |
| Concentrazione del fango digerito | $kgSST/m^3$ | 14.1 |
| Rapporto SSV/SST atteso nel fango digerito | gSSV/gSST | 0.64 |
| *Dimensionamento del sistema di aerazione (a $T_{max}$)* | | |
| Fabbisogno specifico di $O_2$ | $gO_2/gSSV_{rim}$ | 2.3 |
| Portata massica di solidi volatili rimossi | $kgSSV_{rim}/d$ | 292 |
| Fabbisogno complessivo di ossigeno | $kgO_2/d$ | 671 |
| Fattore di punta | - | 1 |
| Fabbisogno di ossigeno di picco nelle condizioni operative di temperatura e pressione (*AOR*) | $kgO_2/h$ | 28 |
| Fattore riduttivo $\alpha$ del coefficiente globale di trasferimento $K_L{\cdot}a$ rispetto alle condizioni di acqua pulita | - | 0.4 |
| Concentrazione di ossigeno disciolto da mantenere in vasca | $mgO_2/L$ | 2.0 |
| Capacità di ossigenazione richiesta in condizioni standard (*SOTR*) | $kgO_2/h$ | 71 |
| Efficienza di trasferimento ottenibile dell'ossigeno in condizioni standard (*SOTE*)* | - | 28.9% |
| Portata d'aria richiesta | $Nm^3/h$ | **879** |
| Pressione differenziale | mbar | 610 |
| Numero di diffusori | - | **153** |
| Portata d'aria alimentata da ciascun diffusore | **$Sm^3/h$** | **5.74** |

* SOTE ottenibile con i diffusori previsti da progetto (dato da offerta tecnica)

La vasca riceverà in ingresso i fanghi ispessiti tramite **n. 2 nuove pompe monovite operanti nella configurazione 1+1R** (600-PM-101 A/R) che saranno collocate nel locale adiacente all'ispessitore, attualmente non utilizzato. Tali pompe prelevano il fango dalla tramoggia di fondo dell'ispessitore statico e possono rilanciare direttamente il fango alla sezione di stabilizzazione aerobica oppure, agendo su apposite derivazioni valvolate, alimentare direttamente la disidratazione meccanica, by-passando quindi la stabilizzazione. È previsto anche un **misuratore di portata elettromagnetico sulla mandata delle pompe** (600-FIT-101).

Nel comparto sarà alloggiata una **rete di diffusori a disco a bolle fini** (600-DD-101)**, alimentata da n. 2 (1+1R) compressori a lobi dedicati, serviti da inverter** (600-CR-101 A/R), installati all'interno del nuovo locale soffianti in prossimità della vasca. La pressione dell'aria sulla linea di mandata è rilevata dal sensore capacitivo (600-PIT-101): l'aumento della pressione indica il progressivo sporcamento dei diffusori, permettendo quindi alla gestione di programmare tempestivamente la pulizia chimica dei piattelli, evitando inutili sprechi energetici. Si prevede quindi anche l'installazione di appositi ugelli

saldati sulle calate dell'aria, presidiati da valvola a sfera, per effettuare la pulizia chimica periodica dei diffusori.

La concentrazione di ossigeno in vasca verrà monitorato da una **sonda per la misura dell'ossigeno disciolto** (600-OIT-101), sulla base della quale verrà regolato il funzionamento delle soffianti, mentre il battente presente in vasca viene monitorato in continuo attraverso il **sensore di livello radar** (600-LIT-101). Inoltre è prevista una sonda per la **misura del potenziale Redox** (600-ORPIT-101), utile in fase di gestione.

Infine n.2 pompe monovite (900-PM-101 A/R), previste da progetto distinto dal presente, alloggiate nel locale disidratazione sono in grado di sollevare i fanghi stabilizzati alla successiva sezione di disidratazione, la cui portata sarà registrata da un nuovo misuratore elettromagnetico (900-FIT-101) sulla tubazione di mandata.

## 5.4 DISIDRATAZIONE MECCANICA

La sezione di disidratazione meccanica dei fanghi è oggetto di rifacimento, in progettazione distinta da tale sede. L'attuale nastropressa sarà sostituita con un nuovo estrattore centrifugo (900-CT-101), completo di skid di disaggio e stoccaggio del polielettrolita (900-PP-101 e 900-PM102), pompe di caricamento del fango (900-PM-101 A/R), trituratore (900-PT-101), coclea di trasporto del fango disidratato (900-PW-101) e cassone per lo stoccaggio.

## 5.5 TRATTAMENTO ARIA ESAUSTA

Da progetto si prevede l'installazione di **un sistema di captazione e trattamento dell'aria esausta del locale disidratazione fanghi**. L'aria sarà aspirata tramite ventilatore e collettata presso un sistema di deodorizzazione realizzato con uno **scrubber a secco su letto filtrante di carboni attivi e allumina impregnata** (800-PK-101), collocato esternamente al locale.

Il ventilatore di aspirazione dell'aria esausta sarà munito di cabina di insonorizzazione e sarà asservito ad inverter, in maniera da consentire la regolazione della portata trattata in base alle effettive esigenze, evitando inutili sprechi energetici. In particolare, è possibile programmare diversi regimi di funzionamento per fasce orarie, in modo da massimizzare il ricambio negli orari diurni di presenza del personale e ridurlo nelle ore notturne, limitandolo al minimo necessario per evitare la possibile propagazione all'esterno di odori molesti.

Tale tecnologia di gestione dell'aria è in grado di soddisfare tutte le principali esigenze del caso in progetto:

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

- semplicità impiantistica e di utilizzo;
- elevata compattezza per minimizzare l'occupazione di spazio;
- affidabilità e adattabilità a differenti condizioni di utilizzo.

Il dimensionamento della nuova stazione di trattamento dell'aria esausta su scrubber a secco è stato effettuato a partire dalle caratteristiche geometriche del locale da aspirare e del regime di ricambio massimo richiesto, variabile tra 2 e 4 ricambi/ora all'interno del locale disidratazione in funzione della possibile presenza o meno del personale. I risultati del dimensionamento sono riepilogati in Tabella 17.

Tabella 17: Calcolo della portata d'aria da aspirare dalle varie sezioni sottoposte a deodorizzazione

| Comparti trattati | Dimensioni geometriche | | | | n. ricambi/ ora MIN | n. ricambi/ ora MAX | Portata aspirata (regime MIN) | Portata aspirata (regime MAX) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | B | H | V | | | | |
| | m | m | m | $m^3$ | - | - | $m^3/h$ | $m^3/h$ |
| Locale disidratazione | 10.5 | 10.2 | 4.0 | 428 | 2 | 4 | 856 | 1712 |

Lo scrubber a secco previsto, caratterizzato da diametro di 1900 mm e altezza di 1600 mm, è in grado di trattare una **portata d'aria massima di 2000 $m^3/h$**. Esso sarà posizionato su una platea di appoggio in c.a. esistente, posizionata all'esterno del locale disidratazione, in prossimità dello spigolo ovest dell'edificio, adiacente alla platea di appoggio del cassone scarrabile di raccolta del fango disidratato. Il dimensionamento del collettore di aspirazione dell'aria e della tubazione di scarico in atmosfera è stato effettuato in maniera da mantenere la velocità massima di flusso dell'ordine di 10÷15 m/s, così da limitare le perdite di carico. Sul collettore di aspirazione sono previste tre griglie di aspirazione ad ali inclinate.
Le caratteristiche tecniche principali del sistema sono riepilogate in Tabella 18.

Tabella 18: Caratteristiche tecniche principali e condizioni operative del sistema di trattamento aria

| Parametro | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|
| Portata d'aria massima aspirata dal ventilatore | **$m^3/h$** | **2000** |
| Potenza nominale ventilatore centrifugo | **kW** | **2.20** |
| Portata d'aria massima da prelevare dal locale disidratazione | $m^3/h$ | 1712 |
| Dimensioni collettore di aspirazione dal locale disidratazione | mm | 150x600 |
| DN collettore di scarico in atmosfera | mm | 200 |

# ALLEGATO – VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ MASSIMA DEPURATIVA DEL COMPARTO BIOLOGICO

IRETI ha richiesto a ETC una valutazione sulla capacità massima trattabile dal comparto biologico, a seguito della condivisione dell'elaborazione dei dati di concentrazione in ingresso (si veda capitolo 2.3.2) e del calcolo degli abitanti equivalenti effettivamente trattati in termini di carico di macroinquinanti (paragrafo 2.3.2.1). In questa fase è infatti emerso un notevole sottocaricamento dell'impianto dal punto di vista dei principali macroinquinanti (COD, $BOD_5$, SST, NT e PT), che non si riscontra invece da un punto di vista idraulico. IRETI attribuisce questo scompenso a ipotetiche perdite lungo la rete fognaria, che potrebbero in futuro essere risanate, con conseguente conferimento all'impianto di un carico organico superiore. Da qui la necessità di investigare il carico massimo trattabile dal comparto biologico.

I calcoli richiesti sono stati eseguiti utilizzando lo stesso metodo di calcolo implementato per la verifica della biologia in fase di FTE in condizioni stazionarie, il quale deriva concettualmente dal metodo UCT (Ekama *et al.*, 1984), proposto dal *Water Research Group* dell'Università di Cape Town (RSA), per la temperatura più sfavorevole, ossia 12°C, in quanto le cinetiche batteriche sono rallentate al diminuire della temperatura.
Come portata media in ingresso e come portata massima avviabile al trattamento biologico sono state considerate le stesse portate utilizzate in fase progettuale di FTE, ossia 250 $m^3/h$ per $Q_m$ e 750 $m^3/h$ per $Q_{pb}$, essendo questi i valori ottenuti con una potenzialità idraulica di progetto di 30 000 AE, quindi già sovrastimando leggermente il carico idraulico in ingresso rispetto all'attuale (agglomerato servito di 26 249 AE), mettendosi così a favore di sicurezza. La portata di calcolo è invece stata assunta pari alla portata media.
Per quanto riguarda invece le concentrazioni medie in ingresso di macroinquinanti, sono state calcolate a partire dagli apporti pro-capite tipici di letteratura (es. 60 gBOD/AEd, 110 gCOD/AEd, ecc), attraverso l'equazione riportata di seguito, considerando una potenzialità in termini di abitanti equivalenti via via crescente, da 10 000 AE a salire, in modo da individuare la massima capacità del comparto biologico in termini di carico organico.

$$Concentrazione\ [\frac{mg}{L}] = \frac{Apporto\ pro-capite\ \left[\frac{g}{AEd}\right] \cdot Potenzialità[\mathrm{AE}]}{Q_{24}\ [\frac{m3}{d}]}$$

Mantenendo gli stessi parametri operativi usati nel progetto di FTE, quali ossigeno disciolto in vasca, concentrazione di biomassa in vasca, costanti cinetiche e stechiometriche (si rimanda al capitolo

0), la massima potenzialità trattabile in termini di carichi organici dalle due vasche biologiche, è di 17 500 AE, valore che può arrivare fino a 18 000 AE aumentando la concentrazione in vasca a 4.5 kgSST/m$^3$. Oltre questa concentrazione di 4.5 kgSST/ m$^3$ di fango attivo mantenuta in vasca si riscontrano problemi nel successivo comparto di sedimentazione secondaria, in cui non si ha più il rispetto del vincolo sul flusso solido in condizioni di pioggia.

**A valle di tali considerazioni si può affermare che, secondo la metodologia seguita, la potenzialità massima che l'attuale comparto biologico, comprensivo anche dei sedimentatori finali, è in grado di trattare è pari a 18 000 AE, valutati in termini di carico organico.**

Nella tabella seguente si riportano i valori dei principali parametri usati per la verifica in oggetto della biologia.

| Parametro | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|
| *Temperatura di progetto* | | |
| Temperatura minima | °C | 12 |
| *Portate* | | |
| Potenzialità di progetto idraulica | AE | **30 000** |
| Dotazione idrica pro capite | L/AEd | 250 |
| Coefficiente di afflusso in fognatura (a) | - | 0.8 |
| Portata media giornaliera di tempo secco ($Q_m$) | m$^3$/d | **6 000** |
| | m$^3$/h | **250** |
| Coefficiente per la portata di calcolo | - | 1 |
| Portata di calcolo $Q_c$ | m$^3$/d | 6000 |
| | m$^3$/h | 250 |
| Coefficiente di punta per la portata avviata a trattamento biologico | - | 3 |
| Portata massima avviata a trattamento biologico $Q_{pb}$ | m$^3$/d | **18 000** |
| | m$^3$/h | **750** |
| *Apporti pro-capite* | | |
| Su base BOD5 | g $BOD_5$/(Aed) | 60 |
| Su base COD | gCOD/(Aed) | 110 |
| Su base N | gN/(Aed) | 12 |
| Su base SST | gSST/(Aed) | 90 |
| Su base P | gP/(Aed) | 2 |
| *Concentrazione di inquinanti nel refluo in ingresso* | | |
| Potenzialità di progetto su base organica | AE | **18 000** |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | **330** |

| Parametro | Unità di misura | Valore |
|---|---|---|
| Sostanza organica come $BOD_5$ | mg$BOD_5$/L | **180** |
| Azoto totale di Kjeldahl (TKN) | mgTKN/L | **36** |
| Fosforo totale (P) | mgP/L | **6** |
| Solidi sospesi totali (SST) | mgSST/L | **270** |
| *Carichi inquinanti in ingresso* | | |
| Sostanza organica come COD | kgCOD/d | 1980 |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | kg$BOD_5$/d | 1080 |
| Azoto totale di Kjeldahl (TKN) | kgN/d | 216 |
| Fosforo totale (P) | kgP/d | 36 |
| Solidi sospesi totali (SST) | kgSST/d | 1620 |
| *Condizioni operative* | | |
| Concentrazione media di ossigeno disciolto nelle fasi aerate | mg$O_2$/L | 2.0 |
| Concentrazione di SST nel comparto biologico | kgSST/$m^3$ | **4.5** |
| Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a $Q_m$ | - | 1.0 |
| *Caratteristiche attese dell'effluente chiarificato* | | |
| Sostanza organica come $BOD_5$ | mg$BOD_5$/L | <25 |
| Sostanza organica come COD | mgCOD/L | <125 |
| Solidi sospesi totali SST | mgSST/L | <35 |
| Azoto totale | mgN/L | <15 |
| Fosforo totale | mgP/L | <2.0 |

Nella tabella seguente si riportano i dati in ingresso e i risultati delle verifiche effettuate per la sezione di sedimentazione finale.

| Parametro | u.m. | Valore |
|---|---|---|
| *Vincoli operativi* | | |
| Flusso solido limite in corrispondenza di $Q_{calc}$ | kgSST/$m^2$/h | 5.0 |
| Flusso solido limite in corrispondenza di $Q_{pb}$ | kgSST/$m^2$/h | 8.0 |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con $Q_{calc}$ | m/h | 0.7 |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) massimo con $Q_{pb}$ | m/h | 1.2 |
| Tempo di residenza idraulica minimo con $Q_{calc}$ | h | 3.0 |
| Carico allo sfioro massimo con $Q_{calc}$ | $m^3$/m/d | 250 |
| *Caratteristiche del bacino di sedimentazione secondaria* | | |
| Larghezza singola vasca | m | 10.7 |
| Lunghezza singola vasca | m | 43 |
| Numero di bacini | - | 2 |
| Profondità utile | m | 2.55 |
| Superficie utile singola vasca | $m^2$ | 460 |
| Volume utile singola vasca | $m^3$ | 1160 |

| | | |
|---|---|---|
| *Condizioni operative previste* | | |
| Portata media $Q_m$ | $m^3/h$ | 250 |
| Portata massima $Q_{pb}$ | $m^3/h$ | 750 |
| Rapporto di ricircolo dei fanghi di progetto riferito a $Q_m$ | - | 1.0 |
| Concentrazione di SST nel comparto biologico | $kgSST/m^3$ | **4.5** |
| Carico massimo di solidi in corrispondenza di $Q_m$ | kgSST/h | 2261 |
| Carico massimo di solidi in corrispondenza di $Q_{pb}$ | kgSST/h | 6750 |
| Flusso solido con $Q_m$ | $kgSST/m^2/h$ | **2.46** |
| Flusso solido con $Q_{pb}$ | $kgSST/m^2/h$ | **7.34** |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) con $Q_m$ | $m^3/m^2/h$ | **0.27** |
| Carico idraulico (=velocità di risalita) con $Q_{pb}$ | $m^3/m^2/h$ | **0.82** |
| Tempo di residenza idraulica con $Q_m$ | h | **9.3** |