



Regione Marche



Provincia di Pesaro Urbino

# AMPLIAMENTO E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI MAROTTA - COMUNE DI MONDOLFO (PU)

## PROGETTO DEFINITIVO

elaborato

**D-R.04**

titolo elaborato

Relazione Specialistica  
Calcoli Idraulici, delle Forniture d'Aria e  
dei Sistemi di Miscelazione

scale

— : —

consegna

**Aprile 2016**

Committente:



**Azienda Servizi sul Territorio S.p.A.**

via Enrico Mattei, 17 - 60132 Fano (PU)

tel: 071 83391

aset@asetservizi.it

Responsabile del Procedimento - Ing. Marco Romei

I progettisti:



**INGEGNERIA AMBIENTE S.r.l.**

Via del Consorzio, 39 - 60015 Falconara Marittima (AN)

tel. 071-9162094 - fax. 071-9189580

e\_mail: info@ingegneriaambiente.it

Ing. Enrico Maria BATTISTONI - Direttore Tecnico

Ing. Lorenzo BURZACCA

## SOMMARIO

|   |    |
|---|----|
| 1. PREMESSA .....   | 3  |
| 2. DATI A BASE PROGETTO .....   | 4  |
| 2.1. I dati a base progetto .....   | 4  |
| 3. GLI INTERVENTI PROPOSTI .....  | 6  |
| 4. METODOLOGIA PER IL CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO .....   | 8  |
| 4.1. Criteri di dimensionamento .....   | 9  |
| 4.2. Calcoli idraulici: verifica dello stato di progetto .....  | 10 |
| 5. METODOLOGIA PER LA VERIFICA E PER IL CALCOLO DEI TIRANTI<br>SOPRASOGLIA .....                        | 14 |
| 5.1. Soglia di alimentazione delle portate eccedenti 2.5Q <sub>mn</sub> al by-pass impianto .....       | 14 |
| 5.2. Ripartitore di portata alle vasche biologiche .....  | 15 |
| 5.3. Soglia di alimentazione delle portate ai sedimentatori secondari .....                             | 16 |
| 6. DIMENSIONAMENTO DELLE FORNITURE D'ARIA .....   | 18 |
| 6.1. Metodologia per il calcolo dei sistemi di fornitura dell'aria .....                                | 18 |
| 6.1.1. Metodologie per il calcolo dell'ossigeno da fornire .....  | 18 |
| 6.1.2. Metodologie per il calcolo dell'ossigeno da fornire .....  | 19 |
| 6.1.3. Metodologie per il calcolo dei diffusori porosi .....  | 20 |
| 6.2. Calcolo delle richieste di ossigeno e di aria per il processo biologico .....                      | 20 |
| 6.2.1. Calcolo della richiesta di ossigeno .....  | 20 |
| 6.2.2. Calcolo delle forniture d'aria .....   | 21 |
| 6.3. Calcolo delle richieste di ossigeno e di aria per la stabilizzazione aerobica .....                | 24 |
| 7. PERDITE DI CARICO PER LE TUBAZIONI ARIA .....  | 26 |
| 7.1. Criteri di dimensionamento delle tubazioni aria a servizio del processo biologico .....            | 26 |
| 7.2. Criteri di dimensionamento della tubazione aria a servizio della stabilizzazione<br>aerobica ..... | 27 |
| 8. DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI DI MISCELAZIONE .....  | 28 |

## INDICE DELLE TABELLE

|  |    |
|--|----|
| Tabella 2-1 Dati a base progetto - Principali flussi idraulici .....   | 5  |
| Tabella 3-1 Filiera di processo stato di progetto – Linea Acque .....  | 7  |
| Tabella 3-2 Filiera di processo stato di progetto – Linea Fanghi .....                                       | 7  |
| Tabella 4-1 Riepilogo tubazioni e perdite di carico Linea Acque – CONFIGURAZIONE<br>BIOLOGICO IN SERIE ..... | 11 |

|  |    |
|--|----|
| Tabella 4-2 Riepilogo tubazioni e perdite di carico Linea Acque – CONFIGURAZIONE BIOLOGICO IN PARALLELO .....      | 12 |
| Tabella 4-3 Riepilogo tubazioni e perdite di carico Linea Fanghi.....  | 13 |
| Tabella 5-1 Calcolo della lunghezza di soglia per le portate eccedenti $2.5Q_{mn}$ .....                           | 15 |
| Tabella 5-2 Calcolo della lunghezza di soglia per le portate al biologico .....                                    | 15 |
| Tabella 5-3 Calcolo della lunghezza di soglia per le portate da ripartire ai sedimentatori secondari               | 16 |
| Tabella 6-1 Principali dimensioni della vasca biologica .....  | 20 |
| Tabella 6-2 Calcolo di ossigeno teorico alla $Q_{mn}$ e alla $Q_p$ .....   | 21 |
| Tabella 6-3: Caratteristiche singolo diffusore poroso: SOTE [%] – Sommergenza – Battente – Carico di progetto..... | 21 |
| Tabella 6-4: Superficie di membrana perforata .....  | 21 |
| Tabella 6-5: Caratteristiche dimensionali della linea biologica a Cicli Alternati .....                            | 21 |
| Tabella 6-6: Concentrazione OD in relazione alle diverse Temperature.....  | 22 |
| Tabella 6-7: Calcolo della portata di aria pratica alla $Q_{mn}$ .....   | 22 |
| Tabella 6-8: Calcolo della portata di aria pratica alla $Q_{ps}$ .....   | 23 |
| Tabella 6-9: Calcolo dei diffusori porosi e loro distribuzione per singola linea.....                              | 23 |
| Tabella 6-10: Distribuzione dei diffusori porosi in vasca biologica per singola linea .....                        | 24 |
| Tabella 6-11: Dimensionamento delle forniture d’aria per la stabilizzazione aerobica .....                         | 24 |
| Tabella 7-1: Verifica e dimensionamento piping aria.....   | 26 |
| Tabella 7-2: Verifica piping aria Air.03.....  | 27 |
| Tabella 8-1: Dimensionamento del sistema di miscelazione per il processo biologico.....                            | 28 |

## **1. PREMESSA**

La presente relazione ha lo scopo di:

- Illustrare i risultati relativi al calcolo delle perdite di carico nelle tubazioni di collegamento delle unità operative della Linea Acque e della Linea Fanghi, ottenuta come somma delle perdite concentrate e delle perdite distribuite;
- Illustrare la verifica dello scolmatore di portata per i sovralfussi idraulici in ingresso impianto;
- Illustrare il dimensionamento delle lunghezze di soglia del ripartitore di portata al processo biologico sulla base delle portate da laminare e calcolare i rispettivi tiranti sopra soglia;
- Illustrare il dimensionamento delle lunghezze di soglia delle vasche biologiche sulla base delle portate da ripartire ai sedimentatori secondari e calcolare i rispettivi tiranti sopra soglia;
- Illustrare i risultati relativi al calcolo delle forniture d'aria al processo biologico in termini di ossigeno teorico ed aria pratica;
- Illustrare i criteri di dimensionamento del piping aria a servizio del processo biologico e della stabilizzazione aerobica;
- Illustrare il dimensionamento dei sistemi di miscelazione che verranno installati nel processo biologico e nella vasca di stabilizzazione aerobica.

## 2. DATI A BASE PROGETTO

### 2.1. I dati a base progetto

Di seguito sono illustrate le scelte progettuali avanzate dal progettista e la metodologia utilizzata per la definizione dei dati a base progetto dello stato riformato dell'impianto di Marotta.

La scelta dei dati a base progetto relativi allo stato di progetto futuro è correlata all'analisi dello stato di fatto, la quale ha permesso di:

- Desumere la potenzialità di fatto in AE su base Carbonio [COD] ed Azoto totale [Ntot].
- Definire il coefficiente di infiltrazione, relativo allo stato di fatto, grazie alle portate effettivamente misurate dalla Stazione Appaltante.

Detto ciò i dati a base progetto vengono ottenuti come segue:

1. **La potenzialità di progetto** viene assunta pari a 16.500 AE dato che tiene in considerazione sia delle attuale potenzialità autorizzata 10.000 AE più gli ulteriori allacci in pubblica fognatura, in corso di ultimazione o future (6.500 AE).
2. **La portata media nera teorica** è calcolata utilizzando una dotazione idrica per AE allacciato ulteriore di 250 l/AE d.
3. **La portata media nera effettiva** viene calcolata sommando la portata media nera teorica a quella di infiltrazione. Il contributo delle acque parassite deve intendersi come un rumore di fondo da sommare a ciascun regime di carico idraulico influente.
4. **Il coefficiente di infiltrazione** viene assunto nello stato di progetto pari a 1,6 in maniera tale da tenere in considerazione l'elaborazione dello stato di fatto.
5. **La portata massima influente in impianto** da pretrattare si attesta a 4 volte la media nera teorica in condizioni di secco, oltre il rumore di fondo dell'infiltrazione;
6. **La portata massima influente al biologico**, si attesta a 2,5 volte la media nera teorica in condizioni di secco, oltre il rumore di fondo dell'infiltrazione;
7. **I carichi di massa influenti** vengono calcolati sulla base dei medesimi fattori di carico unitari desunti dall'analisi dei dati di gestione ed utilizzati per la determinazione dei dati a base progetto dello stato di fatto.

Alla luce di tutto quanto sopra esposto si riportano nella successiva tabella i dati a base progetto relativi allo stato di progetto dell'impianto di depurazione di Marotta.

**Tabella 2-1 Dati a base progetto - Principali flussi idraulici**

|   |                        |              |                        |            |
|---|------------------------|--------------|------------------------|------------|
| <b>AE totali</b>  | AE                     | <b>16500</b> |                        |            |
| Dotazione idrica  | l/AE d                 | 250          |                        |            |
| ALFA coefficiente di sversamento  |                        | 0,8          |                        |            |
| <b>Portata Q<sub>mn</sub> teorica in regime secco</b>                               | <b>m<sup>3</sup>/d</b> | <b>3300</b>  | <b>m<sup>3</sup>/h</b> | <b>138</b> |
| Coeff. infiltrazione in rete  |                        | 1,6          |                        |            |
| Portata Q infiltrazione   | m <sup>3</sup> /d      | 2130         | m <sup>3</sup> /h      | 89         |
| <b>Portata Q<sub>mn</sub> effettiva globale</b>                                     | <b>m<sup>3</sup>/d</b> | <b>5430</b>  | <b>m<sup>3</sup>/h</b> | <b>226</b> |
| Coeff. di punta secca   |                        | 1,50         |                        |            |
| Q <sub>ps</sub> teorica   |                        |              | m <sup>3</sup> /h      | 206        |
| <b>Portata di punta Q<sub>ps</sub> effettiva globale</b>                            |                        |              | <b>m<sup>3</sup>/h</b> | <b>295</b> |
| Coeff max afflusso al biologico   |                        | 2,5          |                        |            |
| Q <sub>max</sub> BIOLOGICO teorica  |                        |              | m <sup>3</sup> /h      | 344        |
| <b>Portata massima al biologico Q<sub>max</sub> BIOLOGICO effettiva globale</b>     |                        |              | <b>m<sup>3</sup>/h</b> | <b>433</b> |
| Coeff max afflusso in rete  |                        | 4            |                        |            |
| Q <sub>max</sub> PRETRATTAMENTI teorica   |                        |              | m <sup>3</sup> /h      | 550        |
| <b>Portata massima in ingresso Q<sub>max</sub> PRETRATTAMENTI effettiva globale</b> |                        |              | <b>m<sup>3</sup>/h</b> | <b>639</b> |
| <b>Portata di ricircolo Q<sub>r</sub></b>   | <b>m<sup>3</sup>/d</b> | <b>5430</b>  | <b>m<sup>3</sup>/h</b> | <b>226</b> |

### 3. GLI INTERVENTI PROPOSTI

Di seguito vengono quindi brevemente riepilogati gli interventi previsti dalla presente progettazione definitiva; per il dettaglio del dimensionamento delle singole operazioni unitarie si faccia riferimento all'elaborato tecnico "D-R.02 – Relazione tecnica di progetto".

La strategia progettuale adottata prevede:

- ❖ Modifica della quota di innesco del by-pass impianto, tramite installazione di lamierino in acciaio AISI304 e paratoia a stramazzo regolabile, nel canale a valle della griglia grossolana;
- ❖ L'installazione di n.4 pompe di sollevamento, ed in particolare n.2 da adibire alle condizioni di secco, e n.1+1 di riserva per le condizioni di pioggia;
- ❖ Realizzazione del sistema di esclusione della griglia fine esistente;
- ❖ Realizzazione di un ripartitore delle portate alle vasche biologiche, predisposto con la possibilità di gestire il processo biologico, con due reattori in serie o in parallelo;
- ❖ Adeguamento delle due linee biologiche esistenti secondo la tecnologica avanzata a Cicli Alternati in Reattore Unico [CA], modificando la direzione del flusso in modalità plug flow, così da migliorare l'efficienza del processo, in relazione alle dimensioni e alla struttura interna delle vasche.
- ❖ Ripartizione dei flussi effluenti dalle linee biologiche esistenti ai sedimentatori secondari tramite installazione di soglie in AISI304 all'interno delle vasche biologiche;
- ❖ Realizzazione in cemento armato di un nuovo bacino di sedimentazione secondaria circolare, attrezzato con idoneo carroponete, dotato di pozzo fanghi e pozzo schiume in continuità strutturale con lo stesso;
- ❖ Adeguamento del pozzo fanghi esistente per dotare ogni sedimentatore esistente di un proprio pozzo dedicato al ricircolo e al supero;
- ❖ Realizzazione in cemento armato di un nuovo bacino di disinfezione a valle delle due vasche esistenti;
- ❖ Realizzazione di un vano per l'installazione di una nuova soffiante e relativi quadri elettrici, in continuità con quello di alloggio dei compressori esistenti;
- ❖ Ottimizzazione dell'attuale stabilizzazione aerobica tramite sostituzione del sistema di diffusione dell'aria in vasca;
- ❖ Realizzazione di una stazione di stoccaggio e dosaggio dell'agente defosfatante per aumentare la rimozione del fosforo nelle vasche biologiche;

- ❖ Realizzazione di un piazzale asfaltato per permettere ai mezzi di raggiungere la stazione di stoccaggio dei chemicals esistente.

Di seguito la nuova filiera di processo delle operazioni unitarie divise per linea acque e linea fanghi.

**Tabella 3-1 Filiera di processo stato di progetto – Linea Acque**

|                    | <i>O.U.</i>                          | <i>Numero di linee</i> | <i>Note di progetto</i>   |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------|---|
| <u>Linea Acque</u> | Grigliatura grossolana               | 1                      | Precedente al nuovo scolmatore dei sovrafflussi   |
|                    | Compattazione grigliato              | 1                      |   |
|                    | Scolmatore per by-pass impianto      | 1                      | Qby-pass = l'eccedente la 2,5Q <sub>mn</sub>  |
|                    | Sollevamento impianto                | 1                      | Adeguamento delle elettromeccaniche   |
|                    | Grigliatura fine                     | 1                      | Realizzazione del sistema di by pass per le manutenzioni  |
|                    | Compattazione grigliato              | 1                      |   |
|                    | Dissabbiatura                        | 1                      |   |
|                    | Classificazione sabbie               | 1                      |   |
|                    | Processo biologico a cicli alternati | 1-2*                   | * linee pari a 1 nella configurazione in serie; linee pari a 2 nella configurazione in parallelo; |
|                    | Sedimentazione secondaria            | 3                      | n.1 sedimentatore nuovo   |
|                    | Pozzo fanghi                         | 3                      | n.1 pozzo nuovo e separazione in 2 pozzi fanghi dell'esistente                                    |
|                    | Pozzo schiume                        | 3                      | n.1 pozzo nuovo   |
|                    | Disinfezione                         | 2                      | Volumetria ampliata   |

\*doppia configurazione

**Tabella 3-2 Filiera di processo stato di progetto – Linea Fanghi**

|                     |                          |   |  |
|---------------------|--------------------------|---|--|
| <u>Linea Fanghi</u> | Stabilizzazione aerobica | 1 | Ottimizzazione della rete di diffusione aria |
|                     | Post-ispessimento        | 1 |  |
|                     | Serbatoio accumulo       | 1 |  |
|                     | Disidratazione meccanica | 2 |  |



## 4. METODOLOGIA PER IL CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

Le tubazioni di collettamento vengono generalmente dimensionate per garantire un moto del reflu in pressione; per questo le perdite di carico vengono calcolate come somma delle perdite distribuite più quelle concentrate.

L'espressione più generale che lega la perdita di carico  $J$  per unità di lunghezza  $L$  della condotta di un fluido incomprimibile in moto permanente è quella di Darcy-Weisbach:

$$J = \frac{\lambda V^2}{2gD}$$

Avendo indicato con  $D$  il diametro della condotta,  $v$  la velocità media della corrente,  $g$  l'accelerazione di gravità e  $\lambda$  un coefficiente adimensionale di resistenza, funzione, in generale, della scabrezza relativa del tubo e del numero di Reynolds ( $Re$ ):

$$Re = \frac{\rho v D}{\nu}$$

$\rho$  = densità (per l'acqua  $\rho = 1$ )

$\nu$  = viscosità dinamica del fluido.

Per il calcolo di  $\lambda$  si utilizza la formula di Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left[ \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon/D}{3.71} \right]$$

$D$  = Diametro della condotta

$\varepsilon$  = Scabrezza relativa

La perdita di carico viene quindi calcolata con la formula più generale che lega la perdita di carico  $J$  per unità di lunghezza, ad  $L$  lunghezza della condotta di un fluido

$$\Delta H_L = JL$$

$J$  = perdita di carico per unità di lunghezza

$L$  = lunghezza della condotta di un fluido

## 4.1. Criteri di dimensionamento

Il dimensionamento delle tubazioni viene effettuato utilizzando le seguenti metodologie, di seguito distinte per tubazioni a gravità e tubazioni pompate:

Per le tubazioni a **gravità** valgono i seguenti assunti:

- Il diametro della tubazione viene dimensionato considerando la portata massima [Qmax] che attraversa la condotta;
- Nella valutazione della Qmax su ciascun tratto vengono valutati ulteriormente i fermo impianti dovuti alla manutenzione ordinaria e/o straordinaria delle singole unità operative;
- Le perdite di carico in linea vengono calcolate con la formula di Darcy-Weisbach sopra riportata;
- Le perdite di carico concentrate, dovute a curve a 90° - 45° - raccordi – imbocchi e sbocchi, vengono desunte in relazione all'andamento plano-altimetrico delle singole tubazioni;
- Le perdite di carico globali, ottenute come somma di quelle distribuite e concentrate, vengono confrontate con il dislivello geodetico esistente tra le due unità operative collegate;
- Una volta dimensionato il diametro nominale [DN], viene verificata la velocità in tubazione, la quale deve appartenere al range 0,35 e 2,0 m/s.

Per le tubazioni **pompate** valgono i seguenti assunti:

- La valutazione della portata massima [Qmax] in ciascuna tubazione non tiene conto delle operazioni di manutenzione ordinaria e/o straordinaria delle singole unità operative;
- Le perdite di carico in linea vengono calcolate con la formula di Darcy-Weisbach sopra riportata;
- Le perdite di carico concentrate, dovute a curve a 90° - 45° - raccordi – imbocchi e sbocchi, vengono desunte in relazione all'andamento plano-altimetrico delle singole tubazioni;
- Le perdite di carico globali vengono sommate al dislivello geodetico da garantire, per verificare/dimensionare la prevalenza della pompa alla portata richiesta.

## **4.2. Calcoli idraulici: verifica dello stato di progetto**

Per la determinazione del profilo idraulico nello stato di progetto, sono stati ipotizzati i seguenti scenari:

- Regime di portata media nera;
- Regime di portata massima.

Di seguito si riporta il riepilogo delle perdite di carico e delle velocità calcolate per ogni tratto di tubazione per ciascuno degli scenari sopra elencati.

**Tabella 4-1 Riepilogo tubazioni e perdite di carico Linea Acque – CONFIGURAZIONE BIOLOGICO IN SERIE**

| DA/A                           | LINEA | Diametro interno AISI | Diametri interno PEAD | Item    | Materiale | Portata max |            | L   | Imbocco | Sbocco | Curve 90° | Curve 45° | Valvole | Innesti T | Altro | V max | ΔH max      |             |
|--------------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|---------|-----------|-------------|------------|-----|---------|--------|-----------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|-------------|
|                                |       | m                     | m                     |         |           | m3/h        | m          |     |         |        |           |           |         |           |       | m/s   | m           |             |
| Mandata PSG.01                 | ACQUE | 0.15                  |                       | -       | AISI      | 0.33        | Qmaxbio    | 150 | 4       | 1      | 1         | 0         | 0       | 2         | 1     | 0     | <b>2.36</b> | <b>0.83</b> |
| A.01                           |       |                       |                       |         |           |             |            |     |         |        |           |           |         |           |       |       |             |             |
| Stazione sollevamento          | ACQUE | 0.30                  |                       | A.01    | AISI      | 1           | Qmaxbio    | 433 | 30      | 1      | 1         | 8         | 0       | 1         | 3     | 0     | <b>1.70</b> | <b>0.85</b> |
| Griglia fine                   |       |                       |                       |         |           | 1           | Qmn        | 226 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.89        | 0.24        |
| Griglia fine                   | ACQUE | 0.40                  |                       | A.02a-b | Fe52      | 1           | Qmaxbio    | 433 | 33      | 1      | 1         | 4         | 0       | 2         | 3     | 0     | <b>0.96</b> | <b>0.25</b> |
| Denitro                        |       |                       |                       |         |           | 1           | Qmn        | 226 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.50        | 0.07        |
| Griglia fine                   | ACQUE | 0.40                  |                       | A.03    | Fe52      | 1           | Qmaxbio    | 433 | 30      | 1      | 1         | 4         | 0       | 2         | 3     | 0     | <b>0.96</b> | <b>0.25</b> |
| Canale ingresso ripartitore    |       |                       |                       |         |           | 1           | Qmn        | 226 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.50        | 0.07        |
| Ripartitore soglia n°1         | ACQUE | 0.30                  |                       | A.04a   | AISI      | 0.5         | Qmaxbio+Qr | 329 | 3       | 1      | 1         | 1         | 0       | 1         | 1     | 0     | <b>1.29</b> | <b>0.21</b> |
| A.04b                          |       |                       |                       |         |           | 0.5         | Qmn+Qr     | 226 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.89        | 0.10        |
| Ripartitore soglia n°2         | ACQUE | 0.45                  | 0.441                 | A.04b   | AISI/PEAD | 1           | Qmaxbio+Qr | 659 | 10      | 1      | 1         | 3         | 0       | 1         | 0     | 0     | <b>1.15</b> | <b>0.18</b> |
| Linea biologica n°1            |       |                       |                       |         |           | 1           | Qmn+Qr     | 453 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.79        | 0.08        |
| Soglia n°2 Linea biologica n°2 | ACQUE | 0.30                  |                       | A.05    | AISI      | 0.27        | Qmaxbio+Qr | 179 | 6       | 1      | 1         | 3         | 0       | 1         | 0     | 0     | <b>0.70</b> | <b>0.06</b> |
| Canale uscita biologico        |       |                       |                       |         |           | 0.27        | Qmn+Qr     | 123 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.48        | 0.03        |
| Pozzo caricamento sed. II      | ACQUE | 0.40                  | 0.37                  | A.06    | PVC       | 0.27        | Qmaxbio+Qr | 179 | 16      | 1      | 1         | 2         | 0       | 1         | 0     | 0     | <b>0.45</b> | <b>0.03</b> |
| Sedimentatore secondario n°1   |       |                       |                       |         |           | 0.27        | Qmn+Qr     | 123 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.31        | 0.01        |
| Pozzo caricamento sed. II      | ACQUE | 0.40                  | 0.37                  | A.07    | PVC       | 0.27        | Qmaxbio+Qr | 179 | 25      | 1      | 1         | 2         | 0       | 1         | 0     | 0     | <b>0.45</b> | <b>0.03</b> |
| Sedimentatore secondario n°2   |       |                       |                       |         |           | 0.27        | Qmn+Qr     | 123 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.31        | 0.02        |
| Soglia n°3 Linea biologica n°2 | ACQUE | 0.40                  | 0.396                 | A.08a-b | AISI/PEAD | 0.46        | Qmaxbio+Qr | 300 | 80      | 1      | 1         | 6         | 0       | 1         | 1     | 0     | <b>0.66</b> | <b>0.14</b> |
| Sedimentatore secondario n°3   |       |                       |                       |         |           | 0.46        | Qmn+Qr     | 206 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.46        | 0.07        |
| Sedimentatore secondario n°3   | ACQUE |                       | 0.396                 | A.09    | PEAD      | 0.46        | Qmaxbio    | 197 | 100     | 1      | 1         | 5         | 0       | 1         | 0     | 0     | <b>0.44</b> | <b>0.07</b> |
| Canale ingresso disinfezione   |       |                       |                       |         |           | 0.46        | Qmn        | 103 |         |        |           |           |         |           |       |       | 0.23        | 0.02        |

D-R.04 - Relazione specialistica Calcoli idraulici, delle forniture di aria e dei sistemi di miscelazione

|                           |       |      |       |      |           |      |            |     |    |   |   |   |   |   |   |   |             |             |
|---------------------------|-------|------|-------|------|-----------|------|------------|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|-------------|-------------|
| Canale ingresso biologico | ACQUE | 0.30 |       | A.10 | AISI      | 0.30 | Qmaxbio+Qr | 196 | 8  | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | <b>0.77</b> | <b>0.08</b> |
| Linea biologica n°2       |       |      |       |      |           |      |            |     |    |   |   |   |   |   |   |   |             |             |
| Linea biologica n°1       | ACQUE | 0.40 | 0.396 | A.11 | AISI/PEAD | 0.70 | Qmaxbio+Qr | 463 | 15 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | <b>1.02</b> | <b>0.15</b> |
| Linea biologica n°2       |       |      |       |      |           |      |            |     |    |   |   |   |   |   |   |   |             |             |

**NB: sono state evidenziate le righe corrispondenti alle tubazioni esistenti**

**Tabella 4-2 Riepilogo tubazioni e perdite di carico Linea Acque – CONFIGURAZIONE BIOLOGICO IN PARALLELO**

|                                |       |      |       |       |           |      |                |     |    |   |   |   |   |   |   |   |             |             |
|--------------------------------|-------|------|-------|-------|-----------|------|----------------|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|-------------|-------------|
| Soglia n°3 Linea biologica n°2 | ACQUE | 0.40 | 0.396 | A.08a | AISI/PEAD | 0.46 | (Qmaxbio+Qr)/2 | 150 | 30 | 1 | 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | <b>0.33</b> | <b>0.02</b> |
| Intersezione con A.13          |       |      |       |       |           | 0.46 | (Qmn+Qr)/2     | 103 |    |   |   |   |   |   |   |   | 0.23        | 0.01        |
| Intersezione con A.13          | ACQUE | 0.40 | 0.396 | A.08b | AISI/PEAD | 0.46 | (Qmaxbio+Qr)   | 300 | 50 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | <b>0.66</b> | <b>0.09</b> |
| Sedimentatore secondario n°3   |       |      |       |       |           | 0.46 | (Qmn+Qr)       | 206 |    |   |   |   |   |   |   |   | 0.46        | 0.05        |
| Soglia n°2 Linea biologica n°1 | ACQUE | 0.30 |       | A.12  | AISI      | 0.27 | (Qmaxbio+Qr)/2 | 90  | 6  | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | <b>0.35</b> | <b>0.02</b> |
| Canale uscita biologico        |       |      |       |       |           | 0.27 | (Qmn+Qr)/2     | 62  |    |   |   |   |   |   |   |   | 0.24        | 0.01        |
| Soglia n°3 Linea biologica n°1 | ACQUE | 0.35 |       | A.13  | AISI/PEAD | 0.46 | (Qmaxbio+Qr)/2 | 150 | 10 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | <b>0.43</b> | <b>0.03</b> |
| A.08b                          |       |      |       |       |           | 0.46 | (Qmn+Qr)/2     | 103 |    |   |   |   |   |   |   |   | 0.30        | 0.01        |

**Tabella 4-3 Riepilogo tubazioni e perdite di carico Linea Fanghi**

| DA/A                         | LINEA  | Diametro interno AISI | Diametri interno PEAD | Item  | Materiale | Portata max |     | L   | Imbocco | Sbocco | Curve 90° | Curve 45° | Valvole | Innesti T | Altro | V max       | ΔH max      | ΔH geodetica |
|------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|-------|-----------|-------------|-----|-----|---------|--------|-----------|-----------|---------|-----------|-------|-------------|-------------|--------------|
|                              |        | m                     | m                     |       |           | m3/h        | m   | m/s |         |        |           |           |         |           |       | m           | m           |              |
| Sedimentatore secondario n°3 | FANGHI | 0.30                  |                       | F.07  | AISI      | Qr+Qw       | 139 | 10  | 1       | 1      | 0         | 0         | 1       | 0         | 0     | <b>0.53</b> | <b>0.03</b> |              |
| Pozzo fanghi n°3             |        |                       |                       |       |           |             |     |     |         |        |           |           |         |           |       |             |             |              |
| Mandata PSG.02               | FANGHI | 0.15                  |                       | -     | AISI      | Qr          | 103 | 7   | 1       | 1      | 0         | 0         | 2       | 1         | 0     | 1.62        | 0.44        | 2.2          |
| F.08a                        |        |                       |                       |       |           |             |     |     |         |        |           |           |         |           |       |             |             |              |
| Pozzo fanghi n°3             | FANGHI | 0.20                  |                       | F.08a | AISI      | Qr          | 103 | 25  | 1       | 1      | 6         | 0         | 1       | 1         | 0     | 0.91        | 0.23        | ΔH totale    |
| Denitro                      |        |                       |                       |       |           |             |     |     |         |        |           |           |         |           |       |             |             | <b>2.86</b>  |
| F.08a                        | FANGHI | 0.20                  |                       | F.08b | AISI      | Qr          | 103 | 15  | 1       | 1      | 5         | 0         | 1       | 0         | 0     | 0.91        | 0.17        |              |
| Ripartitore al biologico     |        |                       |                       |       |           |             |     |     |         |        |           |           |         |           |       |             |             |              |
| Mandata PSG.03               | FANGHI | 0.08                  |                       | -     | AISI      | Qw          | 36  | 7   | 1       | 1      | 0         | 0         | 2       | 1         | 0     | 1.82        | 0.70        | 4.3          |
| F.09                         |        |                       |                       |       |           |             |     |     |         |        |           |           |         |           |       |             |             |              |
| Pozzo fanghi n°3             | FANGHI | 0.15                  |                       | F.09  | AISI      | Qw          | 36  | 70  | 1       | 1      | 3         | 0         | 0       | 1         | 0     | 0.52        | 0.16        | ΔH totale    |
| F.06                         |        |                       |                       |       |           |             |     |     |         |        |           |           |         |           |       |             |             | <b>5.16</b>  |

## 5. METODOLOGIA PER LA VERIFICA E PER IL CALCOLO DEI TIRANTI SOPRASOGLIA

La lunghezza della soglia di stramazzo viene dimensionata utilizzando la formula generale della portata su pareti sottili dunque la portata su soglia viene calcolata secondo l'**Equazione 5.1**, mentre l'**Equazione 5.2** permette di calcolare il coefficiente di efflusso in funzione del tirante sopra-soglia e dell'altezza della soglia rispetto al fondo del ripartitore.

### Equazione 5.1

$$Q = \mu_0 \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$$

### Equazione 5.2

$$\mu_0 = \frac{2}{3} \cdot \left( 0.605 + \frac{1}{(1050 \cdot h) - 3} \right) + \left( 0.08 \cdot \frac{h}{p} \right)$$

Dove:

|           |   |
|-----------|---|
| $m^3/h$   | Portata transitata su soglia                        |
| $\mu_0$   | Coefficiente di efflusso delle luci (adimensionale) |
| m         | Lunghezza di soglia                                 |
| m         | Tirante   |
| $m/sec^2$ | Accelerazione di gravità                            |
| m         | Approfondimento sotto soglia di stramazzo           |

### 5.1. Soglia di alimentazione delle portate eccedenti 2.5Qmn al by-pass impianto

Lo stato di progetto prevede la realizzazione di due soglie: la prima dimensionata per inviare al trattamento le portate fino a 2.5 volte la Qmn e la seconda per alimentare il by-pass impianto con le portate eccedenti 2.5 volte la Qmn. Il by-pass convoglierà tali portate all'uscita impianto.

La prima soglia sarà installata nel canale a valle della griglia grossolana, e verrà realizzata da un lamierino in AISI304 di spessore pari a 0.003 m. La seconda soglia sarà effettuata da una paratoia a stramazzo, installata lateralmente al suddetto canale, su una finestra appositamente realizzata.

Si rimanda all'elaborato grafico "D-A.16 – Grigliatura grossolana e sfioratore dei sovrafflussi Stato di Progetto" per il dettaglio degli interventi.

Di seguito si riportano i calcoli per il dimensionamento della lunghezza di soglia.

Tabella 5-1 Calcolo della lunghezza di soglia per le portate eccedenti 2.5Q<sub>mn</sub>

| <u>Voce</u>   | <u>u.m.</u>       | <u>Valore</u> |
|---|-------------------|---------------|
| Portata massima alla griglia grossolana (4Q <sub>mn</sub> )   | m <sup>3</sup> /h | 639           |
| Portata massima al processo biologico (2.5Q <sub>mn</sub> )   | m <sup>3</sup> /h | 433           |
| Portata massima by passabile a valle della griglia grossolana (4Q <sub>mn</sub> -2.5Q <sub>mn</sub> ) | m <sup>3</sup> /h | 206           |
| <b>CALCOLO della LUNGHEZZA di SOGLIA A VALLE DELMANUFATTO DI BY PASS</b>                              |                   |               |
| Lunghezza soglia sfiorante  | m                 | 1.40          |
| Tirante sopra soglia alla portata massima (433 m <sup>3</sup> /h)                                     | Cm                | 13            |
| Quota soglia sfiorante da fondo canale  | m                 | +0.30         |
| <b>DIMENSIONI per lo STRAMAZZO A VALLE DEL BY-PASS</b>  |                   |               |
| Lunghezza   | m                 | 1.40          |
| Altezza   | m                 | 0.30          |
| Spessore  | m                 | 0.003         |
| <b>CALCOLO della LUNGHEZZA di SOGLIA di BY-PASS</b>   |                   |               |
| Lunghezza soglia sfiorante  | m                 | 0.80          |
| Tirante sopra soglia alla portata massima (206 m <sup>3</sup> /h)                                     | cm                | 11            |
| Quota soglia sfiorante da fondo canale  | m                 | +0.43         |

## 5.2. Ripartitore di portata alle vasche biologiche

Lo stato di progetto prevede la realizzazione di un bacino di ripartizione delle portate alle linee biologiche. Questo manufatto verrà eseguito in modo tale che sia in grado di dividere la portata influente tra le due vasche esistenti: in particolare, una soglia andrà ad alimentare il primo reattore attraverso una tubazione interrata, mentre l'altra soglia convoglierà il liquame all'interno del canale di alimentazione del secondo reattore. Nella normale configurazione prevista, ovvero di vasche in serie, tramite opportune apparecchiature idrauliche (pancone e saracinesca), entrambe le soglie andranno ad alimentare la prima vasca biologica.

La ripartizione delle portate al trattamento è stata eseguita dimensionando le soglie della stessa lunghezza, poiché nel caso di configurazione delle vasche in parallelo la portata influente verrà suddivisa in due identiche aliquote.

Tabella 5-2 Calcolo della lunghezza di soglia per le portate al biologico

| Da                     | A         | Q <sub>mn</sub>   | Q <sub>ps</sub>   | Q <sub>max</sub>  | Tirante sopra-soglia alla Q <sub>mn</sub> | Tirante sopra-soglia alla Q <sub>max</sub> | Lunghezza soglia |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|---|--|------------------|
|                        |           | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /h | cm  | cm   | m                |
| Ripartitore di portata | Vasca n°1 | 226               | 261               | 329               | 13  | 10   | 1.1              |
| Ripartitore di portata | Vasca n°2 | 226               | 261               | 329               | 13  | 10   | 1.1              |

Si rimanda all'elaborato grafico "D-A.18 – Ripartitore di portata al biologico Stato di Progetto" per il dettaglio degli interventi.



### 5.3. Soglia di alimentazione delle portate ai sedimentatori secondari

L'effluente di ciascuna vasca biologica sverserà all'interno di una canaletta in acciaio AISI304, suddivisa in tre parti, ognuna delle quali invierà il liquame ripartito al relativo sedimentatore.

La soglia n°1 sarà munita di pancone e direttamente appoggiata sul canale di uscita, collegato al pozzo di caricamento del sedimentatore secondario n°2.

La soglia n°2 convoglierà il liquame al canale di uscita, attraverso una tubazione presidiata da valvola a saracinesca, giungendo al pozzo di caricamento del sedimentatore secondario n°1.

La soglia n°3 manderà, attraverso una tubazione munita di valvola a saracinesca di esclusione, il refluo effluente al sedimentatore secondario n°3 di nuova realizzazione.

Le dotazioni idrauliche (panconi e saracinesche) permetteranno sia di gestire la configurazione del processo biologico (*in serie o in parallelo*), sia di garantire la massima flessibilità operativa in condizioni di manutenzione di uno dei sedimentatori.

Poiché la superficie di sedimentazione di nuova realizzazione ha caratteristiche dimensionali diverse da quelle dei sedimentatori esistenti, sarà necessario dimensionare le tre soglie sfioranti in modo che il refluo venga proporzionalmente convogliato.

Si rimanda all'elaborato grafico "D-A.19 – Vasche biologiche a cicli alternati Stato di Progetto" per il dettaglio degli interventi.

**Tabella 5-3 Calcolo della lunghezza di soglia per le portate da ripartire ai sedimentatori secondari**

| <u>Voce</u>  | <u>u.m.</u>       | <u>Valore</u> |
|--|-------------------|---------------|
| <b>Portata massima ai sedimentatori esistenti (Q<sub>max</sub>+Q<sub>r</sub>)</b>              | m <sup>3</sup> /h | 179           |
| <b>Portata massima al sedimentatore di nuova realizzazione (Q<sub>max</sub>+Q<sub>r</sub>)</b> | m <sup>3</sup> /h | 300           |
| <b>Portata media ai sedimentatori esistenti (Q<sub>mn</sub>+Q<sub>r</sub>)</b>                 | m <sup>3</sup> /h | 123           |
| <b>Portata media al sedimentatore di nuova realizzazione (Q<sub>mn</sub>+Q<sub>r</sub>)</b>    | m <sup>3</sup> /h | 206           |
| <b>CALCOLO DELLA LUNGHEZZA DI SOGLIA</b>   |                   |               |
| Lunghezza soglie per alimentazione sedimentatori esistenti                                     | m                 | <b>3.0</b>    |
| Lunghezza soglia per alimentazione sedimentatore nuovo   | m                 | <b>5.0</b>    |
| Tirante sopra soglia alla Portata massima ai sedimentatori esistenti                           | cm                | 4.0           |
| Tirante sopra soglia alla Portata massima al sedimentatore nuovo                               | cm                | 4.0           |
| Tirante sopra soglia alla Portata media nera ai sedimentatori esistenti                        | cm                | 3.3           |
| Tirante sopra soglia alla Portata media nera al sedimentatore nuovo                            | cm                | 3.3           |
| Quota soglia sfiorante da fondo vasca biologica  | m                 | +4.5          |
| <b>DIMENSIONI CANALETTA</b>  |                   |               |
| Lunghezza TOTALE   | m                 | 11.0          |
| Lunghezza S1 e S2  | m                 | 3.0           |
| Lunghezza S3   | m                 | 5.0           |
| Larghezza  | m                 | 0.50          |
| Altezza Vasca n°1  | m                 | 0.20          |

*D-R.04 - Relazione specialistica Calcoli idraulici, delle forniture di aria e dei sistemi di miscelazione*

|                   |   |       |
|-------------------|---|-------|
| Altezza Vasca n°2 | m | 0.30  |
| Spessore          | m | 0.003 |

## 6. DIMENSIONAMENTO DELLE FORNITURE D'ARIA

### 6.1. Metodologia per il calcolo dei sistemi di fornitura dell'aria

Nei seguenti paragrafi viene illustrata la metodologia utilizzata per il dimensionamento dell'ossigeno e dell'aria pratica da fornire al processo biologico, oltre alla metodologia per il dimensionamento dei sistemi di diffusione dell'aria.

#### 6.1.1. Metodologie per il calcolo dell'ossigeno da fornire

La metodologia seguita per il calcolo dell'ossigeno da fornire è la seguente:

1. Calcolo dell'ossigeno teorico in condizioni di portata media nera ( $O_{2t}$ ), secondo l'eq.1;
2. Calcolo dell'ossigeno teorico alla  $Q_{mn}$  in fase aerobica ( $O_{2taer}$ ), secondo l'eq.2;
3. Calcolo dell'ossigeno teorico in condizioni di punta secca ( $O_{2tps}$ ) secondo l'eq.3;
4. Calcolo dell'ossigeno teorico alla  $Q_p$  in fase aerobica ( $O_{2tpsaer}$ ) secondo l'eq. 4

$$O_{2t} = LBOD * E * 0,5 + K_d XV TVS/TS + 4,57 * L_{nitrif} - 2,7 * L_{den min} \quad Eq. 1$$

Dove:

|                   |   |                   |
|-------------------|---|-------------------|
| LBOD              | Carico orario in BOD  | kg/h              |
| E                 | Rimozione del BOD   | %                 |
| $K_d$             | Costante di decadimento endogeno                            | $h^{-1}$          |
| X TVS/TS          | Concentrazione dei solidi sospesi volatili                  | kg/m <sup>3</sup> |
| V                 | volume del processo biologico                               | m <sup>3</sup>    |
| $L_{N_{nitrif}}$  | Carico di azoto da nitrificare                              |                   |
|                   | $L_{ntot} - L_N - N_{oxin} - (XV/SRT * N\%TS)$              | kg/h              |
| $L_{N_{den min}}$ | Minimo Carico di azoto denitrificato                        | kg/h              |
|                   | $L_{N_{nitrif}} * \text{percentuale di denitrificazione}\%$ |                   |

$$O_{2taer} = O_{2t} * 1/f_a \quad Eq. 2$$

Dove:

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| $f_a$ | frazione aerobica adimensionale |
|-------|---------------------------------|

$$O_{2tps} = LBOD * E * 0,5 * f_p + K_d XV TVS/TS + 4,57 * L_{nitrif} - 2,7 * L_{den min} * f_p \quad Eq. 3$$

Dove:

|       |                  |
|-------|------------------|
| $f_p$ | fattore di punta |
|-------|------------------|

$$O_{2tps aer} = O_{2tps} * 1/f_{aps} \quad \text{Eq. 4}$$

Dove:

$f_{aps}$  frazione di tempo in fase aerobica in punta secca

### 6.1.2. Metodologie per il calcolo dell'ossigeno da fornire

Ottenuti i risultati di cui sopra, dai valori di ossigeno in fase aerobica alla portata media ed alla punta secca viene calcolata la quantità di aria da fornire nelle diverse condizioni operative del processo, per effettuare diverse comparazioni i valori vengono calcolati alla temperatura minima ed alla massima di processo per ogni stagionalità. La metodologia per il calcolo dell'aria da fornire è la seguente:

1. Calcolo della portata di aria pratica alla  $Q_{mn}$  ed alla minima temperatura ( $Q_{airmn}$ ) secondo l'eq. 5;
2. Calcolo della portata di aria pratica alla  $Q_{mn}$  ed alla max temperatura ( $Q_{airmax}$ ) secondo l'eq. 6;
3. Calcolo della portata di aria pratica alla punta secca ed alla minima temperatura ( $Q_{airps}$ ) secondo l'eq.7;
4. Calcolo della portata di aria pratica alla punta secca ed alla max temperatura ( $Q_{airpsmax}$ ) secondo l'eq. 7.

$$Q_{airmn} = O_{2taer} / [SOTE * 0,28 * a] (C_{s20} / (bC_w - C) [1/1,024^{(T-20)}] \quad \text{Eq. 5}$$

Dove:

|           |   |                                  |
|-----------|---|----------------------------------|
| SOTE      | Efficienza di trasferimento standard dell'ossigeno alla sommersa di progetto          | %                                |
| a         | Fattore di correzione del trasferimento di ossigeno                                   |                                  |
| $C_w$     | Concentrazione di saturazione in acqua pulita alla Pressione e cond di esercizio      | mg/l                             |
| b         | Fattore di correzione della conc. di saturazione per salinità e tensione superficiale |                                  |
| $C_{s20}$ | Concentrazione di saturazione dell'acqua pulita a 20°C ed 1 atm                       | mg/l                             |
| C         | Concentrazione dell'OD alle condizioni del processo                                   | mg/l                             |
| 0,28      | Quantità di ossigeno per unità di aria  | kgO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> |
| T         | Temperatura minima  | °C                               |

$$Q_{airmnmax} = O_{2taer} / [SOTE * 0,28 * a] (C_{s20} / (bC_w - C) [1/1,024^{(T-20)}] \quad \text{Eq. 6}$$

Dove: T Temperatura massima °C

$$Q_{airps} = O_{2tps aer} / [SOTE * 0,28 * a] (C_{s20} / (bC_w - C) [1/1,024^{(T-20)}] \quad \text{Eq. 7}$$

$$Q_{airpsmax} = O_{2tps aer} / [SOTE * 0,28 * a] (C_{s20} / (bC_w - C) [1/1,024^{(T-20)}] \quad \text{Eq. 8}$$

Ovviamente la portata di aria da fornire corrisponde a quella maggiore tra quelle calcolate dalle eq. 5-8.

### 6.1.3. Metodologie per il calcolo dei diffusori porosi

La portata di aria massima da fornire viene normalmente stabilita alla portata influente di acqua reflua in punta secca ed alla minima temperatura di processo. Sulla base di tale portata massima di aria e della portata di aria specifica ( $Nm^3/h$  per diffusore o  $Sm^3/h$  per diffusore) scelta per la tipologia di diffusore poroso, si calcola il numero totale di diffusori.

Nello stato di progetto la prima vasca biologica dovrà disporre di N.2 calate; in particolare, visto che ogni vasca è suddivisa longitudinalmente da un setto di calcestruzzo armato, ogni calata sosterrà i diffusori calcolati proporzionalmente alla superficie libera nella porzione di vasca corrispondente. Il numero totale di diffusori da installare nella prima vasca corrisponde al 120% della metà dei diffusori totali calcolati sull'intera linea.

La seconda vasca biologica dovrà disporre lo stesso numero di diffusori, nel caso si decida per la configurazione dei reattori in parallelo. Verranno disposte N.4 calate, poiché è necessario suddividere la rete aria in due sub-reti, nel caso si scelga di trattare il refluo con la configurazione in serie. In questo caso il numero di diffusori attivi con 2 sole calate aperte corrispondono all'80% della metà dei diffusori totali calcolati sull'intera linea.

Nella logica di funzionamento delle vasche in serie, pertanto, i 2 reattori si configurano come 2 CSTR con distribuzione dei piattelli decrescente lungo lo sviluppo longitudinale.

La densità dei diffusori nella zona di interesse viene scelta sulla base delle indicazioni di richiesta di ossigeno che derivano dalla simulazione matematica del processo.

## 6.2. Calcolo delle richieste di ossigeno e di aria per il processo biologico

### 6.2.1. Calcolo della richiesta di ossigeno

La seguente tabella riporta le principali caratteristiche dimensionali delle due linee biologiche nell'impianto di Marotta, per le quali si prevede l'applicazione della tecnologia a Cicli Alternati in reattore unico.

Tabella 6-1 Principali dimensioni della vasca biologica

| <i>Voce</i>              | <i>UdM</i>     | <i>Valore</i> |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Numero di vasche         | n°             | 2             |
| Lunghezza singola vasca  | m              | 15.0          |
| Larghezza                | m              | 12.0          |
| Battente                 | m              | 4.5           |
| Superficie singola vasca | m <sup>2</sup> | 180           |

|                        |    |      |
|------------------------|----|------|
| Volume utile per linea | m3 | 810  |
| Volume utile globale   | m3 | 1620 |

Tabella 6-2 Calcolo di ossigeno teorico alla Q<sub>mn</sub> e alla Q<sub>p</sub>

|   |  |                           |         |
|---|--|---------------------------|---------|
| <b>Calcolo dell'ossigeno teorico alla Q<sub>mn</sub> in fase aerobica</b> | $O_{2t} = (LBOD * E * 0,5 + K_d * X * TVS / TS + 4,57 * L_{nitrif} - 2,7 * L_{den} \text{ min})$                 | Kg/h                      | 97.3    |
| Carico orario in BOD5   | LBOD5 <sub>r</sub>   | Kg/h                      | 42.4    |
|   | LBOD   | Kg/h                      | 62.4    |
| Rimozione del BOD   | E  |                           | 0.98    |
| K <sub>d</sub>  | Costante di decadimento endogeno   | KgO <sub>2</sub> /KgTVS/h | 0.00355 |
| X   | MLVSS  | Kg/m <sup>3</sup>         | 3.8     |
| V   |  | m <sup>3</sup>            | 1620    |
| Carico di azoto da nitrificare  | $L_{ntot} - LN - Noxin - (XV / SRT * N \% TS)$   | Kg/h                      | 7.4     |
| Carico di azoto denitrificato   | L <sub>denitrificato</sub> minimo  | Kg/h                      | 5.2     |
| Percentuale di denitrificazione   |  | %                         | 70.0    |
| Frazione aerobica   |  |                           | 0.67    |
| <b>Calcolo dell'ossigeno teorico alla Q<sub>p</sub> in fase aerobica</b>  | $O_{2tps} = (LBOD * E * 0,5 * f_p + K_d * X * TVS / TS + (4,57 * L_{nitrif} - 2,7 * L_{den} \text{ min}) * f_p)$ | Kg/h                      | 120.3   |
| Fattore di punta  | f <sub>p</sub>   |                           | 1.50    |
| Frazione di tempo in fase aerobica in punta secca                         | f <sub>aps</sub>   |                           | 0.77    |

### 6.2.2. Calcolo delle forniture d'aria

Per il calcolo delle forniture d'aria sono stati scelti i diffusori a bolle fini in EPDM, ciascuno con le caratteristiche di seguito riportate.

Tabella 6-3: Caratteristiche singolo diffusore poroso: SOTE [%] – Sommergenza – Battente – Carico di progetto

|                      | SOTE (%) | Sommergenza | Battente | Installazione diffusore<br>m dal fondo | Carico  |
|----------------------|----------|-------------|----------|--|---|
|                      | %        | m           | m        |  | m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) o m <sup>3</sup> /h diffusore |
| Tipo Sanitaire da 9" | 25       | 4.20        | 4.5      | 0.3                                    | 3.3   |
| Tipo Nopon PIK300    | 25       | 4.20        | 4.5      | 0.3                                    | 6.0   |

Tabella 6-4: Superficie di membrana perforata

|                      | Diametro membrana |    | Superficie membrana |                |
|----------------------|-------------------|----|---------------------|----------------|
| Tipo Sanitaire da 9" | 212               | mm | 0.035               | m <sup>2</sup> |
| Tipo Nopon PIK300    | 276.4             | mm | 0.060               | m <sup>2</sup> |

Tabella 6-5: Caratteristiche dimensionali della linea biologica a Cicli Alternati

| <u>Voce</u>            | <u>UdM</u>        | <u>Valore</u> |
|------------------------|-------------------|---------------|
| Numero di vasche       | n°                | 2             |
| Lunghezza linea        | m                 | 30.0          |
| Larghezza linea        | m                 | 12.0          |
| Battente               | m                 | 4.5           |
| Superficie             | m <sup>2</sup>    | 360           |
| Volume utile per vasca | m <sup>3</sup>    | 810           |
| Volume utile globale   | m <sup>3</sup>    | 1620          |
| MLSS                   | kg/m <sup>3</sup> | 5.9           |

|        |                   |      |
|--------|-------------------|------|
| TVS/TS |                   | 0.70 |
| MLVSS  | kg/m <sup>3</sup> | 3.8  |
| SRT    | d                 | 12   |

Si adottano inoltre le seguenti concentrazioni di ossigeno disciolto alle diverse temperature:

**Tabella 6-6: Concentrazione OD in relazione alle diverse Temperature**

| Concentrazione di saturazione dell'ossigeno disciolto |     | Temperatura (°C) | OD (mg/l) |
|---|-----|------------------|-----------|
| Salinità (g/l)  | 0   | 12               | 10.80     |
| Pressione (mmHg)                                      | 760 | 15               | 10.15     |
|   |     | 18               | 9.56      |
|   |     | 20               | 9.17      |

Si riportano di seguito le forniture di aria nelle diverse ipotesi di lavoro.

**Tabella 6-7: Calcolo della portata di aria pratica alla Q<sub>mn</sub>**

| <b>Calcolo della portata di aria pratica alla Q<sub>mn</sub> ed a 15°C</b>               |  |                    |       |
|--|--|--------------------|-------|
| $Q_{airmn} = O_2taer / [SOTE * 0,28 * a] (Cs_{20} / (bC_w - C) [1 / 1,024^{(T-20)}])$    |  | m <sup>3</sup> /h  | 3010  |
|  |  | Nm <sup>3</sup> /h | 2854  |
|  |  | Sm <sup>3</sup> /h | 3063  |
| Efficienza di trasferimento standard dell'ossigeno alla sommersa di progetto             | SOTE   | %                  | 25.0  |
| Concentrazione di saturazione in acqua pulita alla Pressione e condizioni di esercizio   | C <sub>w</sub>   | mg/l               | 10.15 |
| beta   | Fattore di correzione della salinità e tensione superficiale       | b                  | 0.98  |
| Concentrazione di saturazione dell'acqua pulita a 20°C ed 1 atm                          | C <sub>s20</sub>   | mg/l               | 9.17  |
| Concentrazione dell'OD alle condizioni del processo                                      | C  | mg/l               | 2     |
|  | Temperatura  | °C                 | 15    |
| <b>Calcolo della portata di aria pratica alla Q<sub>mn</sub> ed alla max temperatura</b> |  |                    |       |
| $Q_{airmnmax} = O_2taer / [SOTE * 0,28 * a] (Cs_{20} / (bC_w - C) [1 / 1,024^{(T-20)}])$ |  | m <sup>3</sup> /h  | 3041  |
|  |  | Nm <sup>3</sup> /h | 2834  |
|  |  | Sm <sup>3</sup> /h | 3041  |
| Efficienza di trasferimento standard dell'ossigeno alla sommersa di progetto             | SOTE   | %                  | 25.0  |
| Concentrazione di saturazione in acqua pulita alla Pressione e condizioni di esercizio   | C <sub>w</sub>   | mg/l               | 9.17  |
| beta   | Fattore di correzione della salinità e della tensione superficiale | b                  | 0.98  |
| Concentrazione di saturazione dell'acqua pulita a 20°C ed 1 atm                          | C <sub>s20</sub>   | mg/l               | 9.17  |
| Concentrazione dell'OD alle condizioni del processo                                      | C  | mg/l               | 2     |
|  | Temperatura massima  | °C                 | 20    |

**Tabella 6-8: Calcolo della portata di aria pratica alla Qps**

| <b>Calcolo della portata di aria pratica alla punta secca a 15°C</b>                   |  |              |             |
|--|--|--------------|-------------|
| Qairps=O2tpsaer / [SOTE*0,28* a] (Cs20/(bCw-C) [1/1,024 ^ (T-20)]                      |  | m3/h         | 3720        |
|  |  | <b>Nm3/h</b> | <b>3526</b> |
|  |  | <b>Sm3/h</b> | <b>3785</b> |
| Efficienza di trasferimento standard dell'ossigeno alla sommergenza di progetto        | SOTE   | %            | 25.0        |
| Concentrazione di saturazione in acqua pulita alla Pressione e condizioni di esercizio | Cw   | mg/l         | 10.15       |
| beta   | Fattore di correzione della salinità e della tensione superficiale | b            | 0.98        |
| Concentrazione di saturazione dell'acqua pulita a 20°C                                 | Cs20   | mg/l         | 9.17        |
| Concentrazione dell'OD alle condizioni del processo                                    | C  | mg/l         | 2           |
|  | Temperatura  | °C           | 15          |
| <b>Calcolo della portata di aria pratica alla punta secca ed alla max temperatura</b>  |  |              |             |
| Qairpsmax=O2tp / [SOTE*0,28* a] (Cs20/(bCw-C) [1/1,024 ^ (T-20)]                       |  | m3/h         | 3758        |
|  |  | Nm3/h        | 3502        |
|  |  | Sm3/h        | 3758        |
| Efficienza di trasferimento standard dell'ossigeno alla sommergenza di progetto        | SOTE   | %            | 25.0        |
| Concentrazione di saturazione in acqua pulita alla Pressione e condizioni di esercizio | Cw   | mg/l         | 9.17        |
| beta   | Fattore di correzione della salinità e della tensione superficiale | b            | 0.98        |
| Concentrazione di saturazione dell'acqua pulita a 20°C                                 | Cs20   | mg/l         | 9.17        |
| Concentrazione dell'OD alle condizioni del processo                                    |  | mg/l         | 2           |
|  | Temperatura massima  | °C           | 20          |

Di seguito viene presentata una comparazione tra le diverse richieste di diffusori porosi nelle condizioni operative di progetto.

**Tabella 6-9: Calcolo dei diffusori porosi e loro distribuzione per singola linea**

|   |                               | <b>Sanitaire da 9"</b> | <b>PIK300</b> |
|---|-------------------------------|------------------------|---------------|
| <b>PORTATA MASSIMA D'ARIA</b>                                   | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | <b>3526</b>            | <b>3785</b>   |
| Portata specifica alla punta secca a max temperatura - progetto | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | 3.3                    | 6.0           |
| Portata massima diffusore                                       | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | 6.0                    | 7.0           |
| Rapporto Q progetto/Q massima lavoro                            | fc                            | 0.55                   | 0.86          |
| Numero diffusori  | Numero                        | <b>1068</b>            | <b>630</b>    |
| Densità di distribuzione dei diffusori                          | N°/m2                         | 3.0                    | 1.8           |
| Membrana perforata singolo diffusore                            | m2 membrana singolo diffusore | 0.0353                 | 0.0600        |
| Membrana perforata per vasca                                    | m2 membrana per vasca         | 37.7                   | 37.8          |
| Percentuale   | %                             | 10.5                   | 10.5          |
| Densità massima consigliata                                     | N°/m2                         | 6.5                    | 4             |
| Portata specifica alla Qps alla max temperatura                 | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | 3.5                    | 6.0           |
| Portata specifica alla Qps a 15°C                               | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | 3.5                    | 5.9           |
| Portata specifica alla Qmn alla max temperatura                 | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | 2.8                    | 4.8           |
| Portata specifica alla Qmn a 15°C                               | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | 2.8                    | 4.8           |
| Portata minima consigliata                                      | Nm3/h - Sm3/h diffusore       | 0.8                    | 1             |



La distribuzione dei diffusori porosi seguirà un andamento decrescente lungo lo sviluppo longitudinale del reattore; in particolare nella prima vasca verranno installati il 120% dei diffusori calcolati come metà del totale, mentre nella seconda calata l'80%. Per la corretta fornitura d'ossigeno al processo, **nel caso di configurazione di reattori in parallelo**, la seconda vasca biologica sarà munita di altre due calate collegate ad una sub-rete formata da un numero di diffusori pari alla differenza tra le due reti principali (120% - 80% = 40%).

Per il dettaglio delle reti aria si rimanda all'elaborato tecnico "D-R.05a – Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici"

La densità dei diffusori nella zona di interesse viene scelta sulla base delle indicazioni di richiesta di ossigeno che derivano dalla simulazione matematica del processo.

Di seguito si riporta la suddivisione % dei piattelli decrescente previo aggiustamento numerico dei piattelli per facilitarne la formazione della rete.

**Tabella 6-10: Distribuzione dei diffusori porosi in vasca biologica per singola linea**

|                  |          | Sanitaire da 9" |             |      | PIK300     |      |
|------------------|----------|-----------------|-------------|------|------------|------|
|                  |          | %               | N.          | N/m2 | N.         | N/m2 |
| Numero diffusori | I vasca  | 120             | 642         | 3.56 | 378        | 2.10 |
| Numero diffusori | II vasca | 80              | 430         | 2.37 | 254        | 1.40 |
|                  |          |                 | <b>1072</b> |      | <b>632</b> |      |

### 6.3. Calcolo delle richieste di ossigeno e di aria per la stabilizzazione aerobica

Come descritto nell'elaborato tecnico "D-R.02 - Relazione tecnica di progetto", la fase di stabilizzazione aerobica sarà ottimizzata andando a sostituire la rete di diffusione dell'aria presente in vasca.

La seguente tabella riassume il dimensionamento delle forniture d'aria per la stabilizzazione aerobica.

**Tabella 6-11: Dimensionamento delle forniture d'aria per la stabilizzazione aerobica**

| <u>Voce</u>   | <u>UdM</u>   | <u>Valore</u> |
|---|--------------|---------------|
| Richiesta di ossigeno specifica   | KgO2/Kg TVSr | 2.4           |
| Carico di TVS eliminati   | KgTVS/d      | 287.2         |
| Ossigeno massimo da fornire   | KgO2/d       | 689           |
| Portata di aria da fornire con insufflatori porosi GLOBALE                                | m3/d         | 15882         |
|   | m3/h         | 662           |
| Portata d'aria da fornire con insufflatori porosi PER LINEA                               | m3/d         | 15882         |
|   | m3/h         | 662           |
| SOTE  | %            | 31            |
| Concentrazione di saturazione in acqua pulita alla Pressione e condizioni di esercizio Cw | mg/l         | 10.15         |
| beta (fattore di correzione della salinità e della tensione superficiale)                 | b            | 0.95          |
| Concentrazione di saturazione dell'acqua pulita a 20°C Cs20                               | mg/l         | 9.17          |

D-R.04 - Relazione specialistica Calcoli idraulici, delle forniture di aria e dei sistemi di miscelazione

|   |                 |            |
|---|-----------------|------------|
| Concentrazione dell'OD alle condizioni del processo         | mg/l            | 2          |
| Temperatura massima di esercizio T                          | °C              | 20         |
| Compressori per linea                                       | numero          | 1          |
| Portata di aria per compressore necessaria                  | Nm3/h           | 617        |
|   | Nm3/min         | 10.3       |
| Pressione differenziale di lavoro                           | mbar            | 640        |
| <b>Diffusori a microbolle disco 9"Φ260 - tipo Sanitaire</b> |                 |            |
| Portata massima di lavoro del diffusore                     | Nm3/h diffusore | 6.0        |
| Portata di aria   | Nm3/h           | 617        |
| Superficie perforata singolo diffusore                      | m2              | 0.035      |
| Densità massima diffusori - valore consigliato              | N/m2            | 6.5        |
| Superficie di membrana                                      | m2              | 6.17       |
| Superficie utile  | m2              | 133        |
| Densità di diffusione effettiva                             | N/m2            | 1.33       |
| <b>Numero totale diffusori necessari</b>                    | <b>n.</b>       | <b>176</b> |
| <b>Diffusori a microbolle disco tipo PIK</b>                |                 |            |
| Portata massima di lavoro del diffusore                     | Sm3/h diffusore | 7.5        |
| Portata di aria   | Sm3/h           | 662        |
| Superficie perforata singolo diffusore                      | m2              | 0.060      |
| Densità massima diffusori - valore consigliato              | N/m2            | 4.0        |
| Superficie di membrana                                      | m2              | 6.11       |
| Superficie utile  | m2              | 133        |
| Densità di diffusione effettiva                             | N/m2            | 0.77       |
| <b>Numero totale diffusori necessari</b>                    | <b>n.</b>       | <b>102</b> |

## 7. PERDITE DI CARICO PER LE TUBAZIONI ARIA

### 7.1. Criteri di dimensionamento delle tubazioni aria a servizio del processo biologico

La rete di distribuzione dell'aria viene dimensionata calcolando le perdite di carico globali ottenute come somma delle perdite concentrate e distribuite.

Il contributo delle perdite concentrate derivano dal battente idraulico e dall'utilizzo di raccordi lungo la tubazione quali curve, innesti a T, imbocchi e sbocchi. Le perdite distribuite vengono calcolate assumendo, come dati a base progetto, la portata transitata nel tubo, la lunghezza della tubazione ed ipotizzando di mantenere una velocità costante di 7-12m/sec.

La tubazione aria in partenza dalla nuova soffiante si innesterà nella tubazione esistente, che poi si divide in due collettori che trasportano aria alle due vasche. Ogni collettore raggiunge entrambe i reattori biologici: la prima vasca sarà munita di due calate esistenti, mentre alla seconda vasca saranno aggiunte due calate, per un totale di quattro; per ogni collettore viene calcolato il fabbisogno d'aria da garantire al settore di vasca biologica dedicato (prodotto tra il numero di diffusori installati per la portata erogata dal singolo diffusore).

Nella seguente tabella è riportato il riepilogo di verifica e dimensionamento delle tubazioni a servizio della rete aria nel processo biologico.

**Tabella 7-1: Verifica e dimensionamento piping aria**

|                              | Temperatura<br>aria | Aria<br>Pratica      | Lunghezza<br>tubazione | Diametro | Velocità | Perdite di carico    |        |
|------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|----------|----------|----------------------|--------|
|                              | [°C]                | [Nm <sup>3</sup> /h] | [m]                    | [mm]     | [m/s]    | [mmH <sub>2</sub> O] | [mbar] |
| Air.01a - esistente          | 70                  | 3526                 | 18                     | 400      | 7.794    | 9.22                 | 0.90   |
| Air.01b – primo collettore   | 70                  | 1646                 | 25                     | 400      | 7.968    | 15.46                | 1.52   |
| Air.01c – secondo collettore | 70                  | 1880                 | 25                     | 400      | 8.792    | 20.08                | 1.97   |
| Air.02 – nuova tubazione     | 70                  | 3526                 | 15                     | 350      | 10.180   | 37.28                | 3.66   |

**NB: sono state evidenziate le righe corrispondenti alle tubazioni esistenti**

Le principali considerazioni risultano le seguenti:

1. La configurazione plano-altimetrica del piping aria viene illustrata nella relativa tavola architettonica;
2. La nuova tubazione sarà in AISI304;

3. Tutti gli stacchi dal collettore principale alla rete aria interna alle vasche avranno un diametro DN200 e saranno in AISI304, qualora il costruttivo lo richieda potranno in fase di cantierizzazione essere adeguate alla flangia di raccordo previa validazione della D.L.

## 7.2. Criteri di dimensionamento della tubazione aria a servizio della stabilizzazione aerobica

Allo stato di progetto si prevede l'utilizzo della soffiante esistente per la distribuzione dell'aria alla vasca di stabilizzazione aerobica, così come il piping rimarrà inalterato rispetto allo stato di fatto. Si prevede di collegare la tubazione aria in arrivo alla vasca con la nuova rete aria attraverso una sola calata.

Nella seguente tabella è riportato il riepilogo della verifica della tubazione a servizio della rete aria nella stabilizzazione aerobica con la nuova portata di progetto.

**Tabella 7-2: Verifica piping aria Air.03**

|        | Temperatura aria | Aria Pratica         | Lunghezza tubazione | Diametro | Velocità | Perdite di carico    |        |
|--------|------------------|----------------------|---------------------|----------|----------|----------------------|--------|
|        | [°C]             | [Nm <sup>3</sup> /h] | [m]                 | [mm]     | [m/s]    | [mmH <sub>2</sub> O] | [mbar] |
| Air.03 | 70               | 617                  | 50                  | 250      | 3.491    | 8.24                 | 0.81   |

Le principali considerazioni risultano le seguenti:

1. La configurazione plano-altimetrica del piping aria viene illustrata nella relativa tavola architettonica;
2. Tutti gli stacchi dal collettore principale alla rete aria interna alla vasca avranno un diametro DN100 e saranno in AISI304.

## 8. DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI DI MISCELAZIONE

Si riporta di seguito il riassunto dei calcoli effettuati per il dimensionamento dei sistemi di miscelazione all'interno delle due vasche biologiche.

**Tabella 8-1: Dimensionamento del sistema di miscelazione per il processo biologico**

| <b>Dati</b>                                 | <b>UdM</b>       | <b>Valore</b> |
|---|------------------|---------------|
| Numero linee                                | N.               | 2             |
| Lunghezza singola vasca                     | m                | 15            |
| Larghezza singola vasca                     | m                | 12            |
| Battente                                    | m                | 4.50          |
| Superficie individuale                      | m <sup>2</sup>   | 180           |
| Superficie globale                          | m <sup>2</sup>   | 360           |
| Volume individuale                          | m <sup>3</sup>   | 810           |
| Volume globale                              | m <sup>3</sup>   | 1620          |
| <b>Nuovi Elettromiscelatori</b>             |                  |               |
| Densità di potenza                          | W/m <sup>3</sup> | 6             |
| Potenza all'asse richiesta per vasca        | kW               | 4.9           |
| Elettromiscelatori per vasca                | N°               | 3             |
| Elettromiscelatori TOTALI                   | N°               | 6             |
| Potenza all'asse singolo elettromiscelatore | kW               | 1.7           |