

# F

## Adeguamento e potenziamento stadio biologico Studio di fattibilità, relazione tecnica **Versione 21.12.2012**

|              |  |
|--------------|--|
| COMMITTENTE: | Consorzio Depurazione Acque Chiasso e Dintorni   |
| LUOGO:       | Impianto di depurazione acque a Vacallo (Pizzamiglio)                                      |
| OPERA:       | Rinnovo e ammodernamento trattamento acque e<br>realizzazione trattamento microinquinanti  |
| MANDATO:     | Prestazioni per le fasi <b>Progettazione definitiva,</b><br><b>Appalto e Realizzazione</b> |
| APPALTO:     | Pubblico concorso  |

IDA Pizzamiglio

Adeguamento e potenziamento  
stadio biologico

# STUDIO DI FATTIBILITÀ RELAZIONE TECNICA

|                        |            |
|------------------------|------------|
| Versione               | 0          |
| Approvato / verificato | 21.12.2012 |
| Sostituisce            | --.--.---- |

Agno, 21 dicembre 2012

## Revisioni

| Versione | Data     | Indicazione delle modifiche | Copia a |
|----------|----------|-----------------------------|---------|
| 0        | 21.12.12 | Prima emissione             | CDACD   |
| 1        |          |                             |         |
| 2        |          |                             |         |
| 3        |          |                             |         |

## Indice

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduzione e metodologia di lavoro                                   | 5  |
| 2. Basi di dimensionamento  | 6  |
| 2.1 Portate e carichi di dimensionamento                                  | 6  |
| 2.2 Condizioni di esercizio   | 8  |
| 2.3 Esigenze di trattamento   | 8  |
| 3. Condizioni quadro e filosofia di intervento                            | 10 |
| 4. Studio di varianti   | 12 |
| 4.1 Variante 1: Trattamento convenzionale a fanghi attivi                 | 12 |
| 4.1.1 Dimensionamento   | 13 |
| 4.1.2 Disposizione planimetrica   | 14 |
| 4.1.3 Vantaggi e svantaggi  | 15 |
| 4.1.4 Conclusioni   | 15 |
| 4.2 Variante 2: Processo ibrido (FA+MBBR)                                 | 16 |
| 4.2.1 Dimensionamento   | 16 |
| 4.2.2 Disposizione planimetrica   | 18 |
| 4.2.3 Vantaggi e svantaggi  | 19 |
| 4.2.4 Conclusioni   | 19 |
| 4.3 Variante 3: Processo ad alto carico/basso carico (processo Attisholz) | 20 |
| 4.3.1 Dimensionamento   | 20 |
| 4.3.2 Disposizione planimetrica   | 21 |
| 4.3.3 Vantaggi e svantaggi  | 22 |
| 4.3.4 Conclusioni   | 22 |
| 4.4 Variante 4: MBBR  | 23 |
| 4.4.1 Dimensionamento   | 24 |
| 4.4.2 Disposizione planimetrica   | 25 |
| 4.4.3 Vantaggi e svantaggi  | 26 |
| 4.4.4 Conclusioni   | 26 |
| 4.5 Variante 5: Biofiltrazione  | 27 |
| 4.5.1 Dimensionamento   | 28 |
| 4.5.2 Disposizione planimetrica   | 28 |
| 4.5.3 Vantaggi e svantaggi  | 29 |
| 4.5.4 Conclusioni   | 29 |
| 4.6 Variante 6: SBR   | 30 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.6.1 | Dimensionamento                        | 31 |
| 4.6.2 | Disposizione planimetrica              | 32 |
| 4.6.3 | Vantaggi e svantaggi                   | 33 |
| 4.6.4 | Conclusioni                            | 33 |
| 4.7   | Variante 7: Membrane (MBR)             | 34 |
| 4.7.1 | Dimensionamento                        | 35 |
| 4.7.2 | Disposizione planimetrica              | 36 |
| 4.7.3 | Vantaggi e svantaggi                   | 37 |
| 4.7.4 | Conclusione                            | 37 |
| 5.    | Determinazione dei consumi energetici  | 38 |
| 6.    | Determinazione dei costi               | 39 |
| 6.1   | Costi di investimento                  | 39 |
| 6.2   | Costi di gestione                      | 40 |
| 6.3   | Costi annui                            | 42 |
| 7.    | Valutazione comparativa multi-criteria | 43 |
| 7.1   | Metodologia di lavoro                  | 43 |
| 7.2   | Criteri e pesi                         | 43 |
| 7.3   | Matrice di valutazione                 | 45 |
| 7.4   | Analisi di sensitività                 | 47 |
| 8.    | Conclusioni                            | 49 |

Indice tabelle

Indice figure

### **Allegati**

|             |  |
|-------------|--|
| Allegato 1: | Disposizione planimetrica variante 1-fanghi attivi     |
| Allegato 2: | Disposizione planimetrica variante 2-ibrido            |
| Allegato 3: | Disposizione planimetrica variante 4a-MBBR ad un piano |
| Allegato 4: | Disposizione planimetrica variante 4b-MBBR a due piani |
| Allegato 5: | Disposizione planimetrica variante 5-biofiltrazione    |
| Allegato 6: | Disposizione planimetrica variante 6-SBR               |
| Allegato 7: | Disposizione planimetrica variante 7-MBR               |

## Riassunto

Il Consorzio depurazione acque Chiasso e Dintorni (CDACD), concluso l'ampliamento dei pre-trattamenti meccanici e della linea fanghi, ha dato inizio ad una nuova fase di ottimizzazione delle proprie infrastrutture che interessa il cuore dell'impianto – il trattamento biologico – affidando agli scriventi un mandato per i primi stadi di progettazione.

Iniziata con una dettagliata definizione delle basi di dimensionamento, culminata con il relativo rapporto approvato dalle competenti Autorità Cantionali in data 18 settembre 2012, l'attività è proseguita con il presente studio di fattibilità, volto a definire e valutare tutte le possibili varianti tecnologiche potenzialmente applicabili presso l'IDA di Chiasso, individuando la soluzione che, secondo una combinazione di criteri, sia la migliore e possa quindi essere sviluppata con maggiore dettaglio nell'ambito della progettazione di massima.

La particolare situazione dell'area di impianto, caratterizzata da un penuria di spazio, ha comportato una certa complessità nell'elaborazione delle disposizioni planimetriche delle varianti, inducendo ad ampliare la superficie disponibile, in modo da poter alloggiare i volumi di trattamento necessari – decisamente superiori agli attuali – e poter comunque rispettare le esigenze di trattamento richieste anche in fase transitoria, provvedendo contestualmente ad una ri-organizzazione ed ottimizzazione della logistica.

La tecnologia della biofiltrazione – che comporta il passaggio dei reflui in differenti e consecutivi stadi caratterizzati dalla presenza di supporti fissi per la crescita di microorganismi dedicati ed una filtrazione finale – si è rivelata la migliore soluzione, grazie, in particolar modo, alla compattezza ed ai costi gestionali piuttosto contenuti. Positivamente hanno influito pure sicurezza di esercizio ed affidabilità, come testimoniato dalla buona e sempre crescente diffusione di tale scelta tecnica.

La soluzione prevede pure la realizzazione di due vasche di pioggia / emergenza, concepite al fine di mitigare i rischi in caso di inquinamento grave; l'analisi di rischio secondo OPIR, in fase di elaborazione da parte di specialisti del campo, fornirà indicazioni più precise a riguardo che saranno riprese nell'ambito della futura fase di progettazione di massima, in cui sarà approfondita pure la necessità di un trattamento separato per i surnatanti (acque di risulta), provenienti dalla linea fanghi.

Si è infine tenuta in considerazione la probabile modifica dell'Ordinanza sulla protezione delle acque (OPAc) in direzione dell'introduzione di un trattamento volto alla riduzione dei microinquinanti organici, per cui sono stati stimati preliminarmente gli ingombri e considerati nell'elaborazione delle proposte di disposizione. Non sono invece stati valutati i costi di investimento e gestione, che saranno affrontati in un relativo studio – come da incarico – non appena il quadro legislativo avrà assunto maggiore chiarezza.

Gli investimenti complessivi si collocano attorno ai 16 milioni di franchi, dei quali una rilevante frazione (circa 25%) sono connessi alle opere di ampliamento della superficie di impianto.

## **1. Introduzione e metodologia di lavoro**

Il presente studio è stato concepito su un approccio a differenti livelli di valutazione, con dettaglio crescente al diminuire delle varianti sotto esame. Si sono perseguite le attività di seguito elencate:

- Definizione di basi di dimensionamento, condizioni quadro d'azione ed esigenze di trattamento, tanto ad impianto a regime, tanto in fase transitoria (cantiere). Si sono quindi riprese tutte le indicazioni contenute nel rapporto “Basi di dimensionamento” approvato dalle Autorità Cantionali in data 18 settembre 2012.
- Presentazione e descrizione di tutte le varianti tecnologiche disponibili sul mercato e potenzialmente interessati per un'applicazione all'IDA di Chiasso, per ognuna delle quali si è pure proceduto ad un dimensionamento di massima, in modo da poter stimare i volumi necessari, ad una disposizione degli stessi nell'area di impianto e ad una stima dell'investimento e degli oneri gestionali. Nell'ambito della stessa fase si è infine effettuata una prima valutazione grossolana delle varianti, con lo scopo di discriminare tra quelle già definibili inapplicabili, non rispettando un criterio “killer”, e quelle invece meritevoli di ulteriore approfondimento mediante valutazione multi-criteria.
- Valutazione multi-criteria delle varianti non scartate nel precedente livello di analisi, con lo scopo di individuare la migliore tecnologia secondo una serie di criteri, e di pesi da applicare agli stessi, definiti a priori.
- Analisi di sensitività del risultato ottenuto nell'ambito della valutazione multi-criteria, al fine di verificare la bontà della scelta tecnologica effettuata anche al mutare dei pesi applicati ai criteri di valutazione.

La variante individuata quale migliore secondo la metodologia di cui sopra dovrà quindi essere sviluppata nell'ambito della prossima fase di progettazione preliminare, che si occuperà di approfondirne dimensionamento, disposizione e costi di investimento.

## 2. Basi di dimensionamento

Il rapporto “Basi di dimensionamento” riporta un’analisi esaustiva dei dati di esercizio e della loro evoluzione negli ultimi anni, giungendo così alla definizione dei dati di dimensionamento, in termini di abitanti equivalenti (AE), portata di tempo piovoso e frazione di acque parassite, riassunti nella tabella seguente.

| Parametro                                    | Unità | Valore |
|--|-------|--------|
| Potenzialità attuale (valore-90%)            | AE    | 44'000 |
| Riserva di progettazione                     | -     | 20%    |
| Potenzialità di dimensionamento (valore-90%) | AE    | 52'800 |
| Portata di tempo piovoso                     | l/s   | 528    |
| Frazione acque parassite                     | -     | 40%    |

Tabella 1      Dati assunti per il dimensionamento delle opere di “fase 3”.

Il presente capitolo si occupa di definire portate e carichi dei differenti inquinanti connessi alla potenzialità di dimensionamento sopra introdotte, nonché di riassumere le condizioni di processo.

### 2.1 Portate e carichi di dimensionamento

La seguente tabella riassume le informazioni relative alle portate in ingresso all’IDA di Chiasso.

| Parametro                                    |          | Unità   | Valore |
|--|----------|---------|--------|
| Potenzialità di dimensionamento (valore-90%) |          | AE      | 52'800 |
| Portata giornaliera                          | $Q_D$    | $m^3/d$ | 17'530 |
| Portata giornaliera acque reflue             | $Q_S$    | $m^3/d$ | 10'560 |
| Dotazione idrica                             |          | l/AE/d  | 200    |
| Portata giornaliera acque parassite          | $Q_F$    | $m^3/d$ | 6'970  |
| Percentuale sul totale ( $Q_D$ )             |          | %       | 40%    |
| Portata di tempo secco                       | $Q_{TS}$ | $m^3/h$ | 950    |
|  |          | l/s     | 264    |
| Portata di tempo piovoso                     | $Q_{RW}$ | $m^3/h$ | 1'901  |
|  |          | l/s     | 528    |

Tabella 2      Portate in ingresso all’IDA.

La portata giornaliera di acque reflue ( $Q_S$ ) in ingresso all’impianto è stata valutata sulla potenzialità di dimensionamento ipotizzando una dotazione idrica di 200 l/AE/d, valore-90% indicato in letteratura (DWA-ATV, VSA).



La portata giornaliera di acque parassite ( $Q_F$ ) è stata calcolata in modo che la portata di tempo piovoso ( $Q_{RW} = 2 * Q_{TS}$ ) fosse pari a 528 l/s, valore di dimensionamento assunto in sede di progettazione delle “fasi 1 e 2” e quindi massimo accettabile in ingresso all’IDA.

Essa è risultata di un ordine di grandezza paragonabile alla media del periodo di riferimento (2007-2011), valore del tutto accettabile e conservativo, in considerazione della tendenziale diminuzione degli apporti di acque parassite che ci si attende grazie alle misure di ottimizzazione previste dal PGS in ossequio alle direttive di settore (VSA STORM).

La portata giornaliera complessiva in ingresso all’IDA ( $Q_D$ ) è stata quindi determinata quale semplice somma dei due contributi precedentemente descritti ( $Q_S$  e  $Q_F$ ). Si rende attenti che quale fattore di punta, determinato come l’inverso delle ore di pioggia medie in un giorno, si è assunto 1.5, valore in linea con le indicazioni di letteratura e normalmente impiegato dagli scriventi.

La tabella seguente riporta invece i carichi di sostanze inquinanti in ingresso all’IDA ed in ingresso alla fase biologica.

| Parametro                                       | Unità       | Ingresso IDA | Ingresso BIO |
|---|-------------|--------------|--------------|
| Azoto totale Kjeldhal TKN                       | <b>kg/d</b> | <b>527</b>   | <b>479</b>   |
|   | g/AE/d      | 10.0         | 9.1          |
| Riferimento VSA / ATV                           | g/AE/d      | 11.0         | 10.0         |
| Azoto ammoniacale N-NH <sub>4</sub>             | <b>kg/d</b> | <b>446</b>   | <b>446</b>   |
|   | g/AE/d      | 8.4          | 8.4          |
| Riferimento VSA / ATV                           | g/AE/d      | 7.5          | 7.5          |
| Azoto nitrico N-NO <sub>3</sub>                 | <b>kg/d</b> | <b>125</b>   | <b>125</b>   |
|   | g/AE/d      | -            | -            |
| Riferimento VSA / ATV                           | g/AE/d      | -            | -            |
| Domanda chimica di ossigeno COD                 | <b>kg/d</b> | <b>6'284</b> | <b>4'713</b> |
|   | g/AE/d      | 119          | 89           |
| Riferimento VSA / ATV                           | g/AE/d      | 120          | 90           |
| Domanda biochimica di ossigeno BOD <sub>5</sub> | <b>kg/d</b> | <b>2'741</b> | <b>2'056</b> |
|   | g/AE/d      | 52           | 39           |
| Riferimento VSA / ATV                           | g/AE/d      | 60           | 45           |
| Fosforo totale P <sub>tot</sub>                 | <b>kg/d</b> | <b>88.7</b>  | <b>78.8</b>  |
|   | g/AE/d      | 1.7          | 1.5          |
| Riferimento VSA / ATV                           | g/AE/d      | 1.8          | 1.6          |
| Solidi sospesi totali TSS                       | <b>kg/d</b> | <b>3'464</b> | <b>1'732</b> |
|   | g/AE/d      | 66           | 33           |
| Riferimento VSA / ATV                           | g/AE/d      | 70           | 35           |

Tabella 3 Carichi in ingresso all’IDA e alla biologia

I carichi giornalieri in ingresso (kg/d) all'IDA e alla biologia sono stati determinati incrementando della riserva di progettazione (20%) i valori-90% del periodo di riferimento (2007-2011).

Al fine di saggiare la bontà dei dati individuati, si è calcolato il relativo carico specifico (g/AE/d), dividendo il carico giornaliero di ciascun inquinante per la potenzialità di dimensionamento del nuovo IDA (52'800 AE). I carichi specifici così determinati sono stati verificati mediante controllo incrociato con i valori di letteratura, risultando ottimamente correlati (precisione del  $\pm 10\%$ ). Azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_4$ ) e domanda biochimica di ossigeno ( $\text{BOD}_5$ ) hanno fatto registrare la maggiore deviazione, rispettivamente +13% e -13%, rispetto alle indicazioni di letteratura.

La significativa presenza di azoto ammoniacale nelle acque in ingresso all'IDA è fenomeno già attualmente noto (si veda per approfondimento il rapporto "Basi di dimensionamento") e tale da generare misure dedicate, quali un trattamento separato delle acque di risulta, che saranno approfondite nell'ambito delle attività di progettazione relative alle opere di "fase 3".

Per approfondimenti in merito al concetto di elaborazione dei dati sopra riportati, si rimanda invece al citato rapporto "Basi di dimensionamento", nonché all'Indagine Preliminare (IP), in cui è affrontata in dettaglio la tematica delle prospettive di sviluppo dei carichi in ingresso all'IDA fino all'orizzonte di dimensionamento, stabilito nel 2040.

## 2.2 Condizioni di esercizio

Il processo di rimozione biologica degli inquinanti sarà dimensionato per una temperatura di esercizio di 12 °C, come indicato nel rapporto "Basi di dimensionamento".

## 2.3 Esigenze di trattamento

L'OPAc (28 ottobre 1998, stato 1° agosto 2011) stabilisce, nell'allegato 3.1, le esigenze per l'immissione di acque di scarico comunali in ricettore naturale, riassunte nella seguente tabella.

| Parametro   | Valore-90% | Efficienza |
|---|------------|------------|
|   | mg/l       | %          |
| Richiesta biochimica di ossigeno ( $\text{BOD}_5$ ) | 15         | 90         |
| Carbonio organico disciolto (DOC)                   | 10         | 85         |
| Solidi sospesi totali (SST)                         | 5*         | -          |
| Azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_4$ )               | 2.0        | 90         |
| Azoto nitroso ( $\text{N-NO}_2$ )                   | 0.3        | -          |
| Fosforo totale ( $\text{P}_{\text{tot}}$ )          | 0.8        | 80         |

Tabella 4      *Esigenze di scarico generali secondo l'OPAc (allegato 3.1, cifre 2 e 3).*  
\* in caso accettazione revisione OPAc (microinquinanti)

Informazioni più dettagliate a riguardo sono riportate nel relativo capitolo del rapporto “Basi di dimensionamento”.

Per quanto riguarda la fase transitoria (cantiere), è richiesto che siano garantiti i medesimi standard qualitativi assicurati dall'attuale IDA, essendo gli stessi già inferiori a quanto richiesto dall'Ordinanza, essendo stato realizzato l'impianto sotto altre condizioni differenti, e meno restrittive, rispetto a quelle attualmente in atto.

### 3. Condizioni quadro e filosofia di intervento

Le condizioni di esercizio dell'attuale impianto, che vedono un carico in ingresso superiore all'originario valore di dimensionamento, e le esigenze di trattamento che lo stesso deve garantire – meno stringenti rispetto alle future, a seguito di un limite intrinseco dell'infrastruttura, progettata in un'epoca di in cui l'Ordinanza sulla protezione delle acque (OPAc) prevedeva limiti di immissione più blandi – hanno condotto le competenti Autorità Cantionali, in accordo con il Committente, a non concedere deroghe durante la fase transitoria di realizzazione del nuovo comparto biologico, al fine di evitare il rischio di un ulteriore indebolimento qualitativo dell'effluente.

Tale aspetto, apprezzabile in un'ottica di protezione dell'ambiente, implica per contro un maggiore grado di complessità della fase di cantiere, che si riflette sull'elaborazione delle differenti varianti di progetto e sulla valutazione delle stesse. La situazione è resa ulteriormente complessa dalla penuria di spazio che caratterizza l'area dell'IDA di Chiasso che dovrà quindi essere sottoposta ad una minuziosa pianificazione logistica, in modo da poter garantire un'adeguata flessibilità gestionale anche in futuro.

In considerazione di quanto sopra, si è resa necessaria la ricerca di ulteriore spazio in cui poter collocare parte delle nuove infrastrutture consortili; essendo l'attuale impianto inserito tra un'arteria di comunicazione piuttosto trafficata ed un versante naturale, un'erosione di quest'ultimo è risultata l'unica soluzione concepibile, attuabile tanto da un punto di vista tecnico-economico quanto amministrativo-pianificatorio (modifica del PR) per un ampliamento della superficie di impianto.

Tutte le varianti di seguito presentate, ad eccezione di una, prevedranno pertanto un ampliamento della superficie dell'IDA, grazie ad un parziale sbancamento del pendio naturale, in modo da poter operare con la filosofia basata sul susseguirsi dei seguenti passi:

- Realizzazione di una nuova linea di trattamento senza intaccare la corretta funzionalità dell'IDA nella sua configurazione attuale, garantendo così esigenze qualitative di trattamento medesime alle odierne.
- Messa in esercizio della nuova linea, che per suo carattere sarà in grado di generare un effluente di caratteristiche analoghe all'attuale.
- Riorganizzazione dell'area dell'attuale impianto biologico con la realizzazione di una nuova linea di trattamento del tutto analoga alla prima e dei bacini di pioggia con funzionalità di vasca di emergenza, secondo le indicazioni emerse nell'ambito dell'analisi secondo O-PIR.

Procedendo con le modalità sopra esposte sarà possibile operare con una filosofia basata sugli aspetti di seguito elencati:

- Mantenimento dell'attuale capacità di trattamento in fase transitoria (cantiere).
- Realizzazione di una soluzione ben strutturata e di potenzialità tale da garantire il rispetto di esigenze più restrittive rispetto alle attuali, in ottemperanza all'OPAc.

- Creazione di adeguati volumi di emergenza, tali da poter fronteggiare efficientemente gravi fenomeni di inquinamento, in rispetto dell'OPIR e secondo le modalità indicate nella relativa analisi.
- Predisposizione di una zona di impianto dedicata al trattamento dei microinquinanti organici, nella probabile evenienza di un aggiornamento legislativo in tale direzione.
- Riorganizzazione generale dell'area con maggiore spazio usufruibile ed una gestione più efficiente dello stesso.
- Creazione di una situazione in grado di garantire possibili ulteriori ampliamenti in un futuro remoto, in caso di mutamento delle condizioni al contorno (incremento dei carichi e/o modifica in senso restrittivo dell'OPAc).

#### **Nota sulle varianti**

Sono state considerate, descritte e valutate le varianti in grado di garantire le esigenze di trattamento definite dall'OPAc e riassunte nel relativo paragrafo 2.3.

Si è tenuta in considerazione la probabile necessità di introdurre un trattamento per la riduzione dei microinquinanti organici, riservando dello spazio adeguato per l'implementazione di tale fase aggiuntiva.

Si è agito in modo analogo per il trattamento separato delle acque di risulta provenienti dalla linea fanghi, che, in considerazione delle elevate concentrazioni di azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_4$ ) riscontrabili ad ingresso IDA, potrebbe costituire una soluzione certamente efficace per smussare i picchi di carico ed incoraggiare quindi la stabilità di processo. Una valutazione sulle effettive opportunità di realizzazione sarà effettuata nell'ambito della progettazione di massima, sulla base della variante tecnologica scaturita dalla valutazione multi-criteri.

#### **4. Studio di varianti**

Il presente capitolo si occupa di introdurre e descrivere le varianti tecnologiche vagliate, per ognuna delle quali è stato effettuato un dimensionamento di massima, basato sui fogli di calcolo DWA/ATV nonché sull'esperienza degli scriventi, al fine di identificare i volumi di trattamento necessari.

Scopo primario è stato infatti verificare la fattibilità tecnica di ogni soluzione, in relazione alla penuria di spazio disponibile nell'area dell'attuale IDA, aspetto che costituisce un importante criterio di esclusione.

Si sono inoltre elencati vantaggi e svantaggi di ogni variante, con l'obiettivo di disporre di ulteriori elementi per la valutazione comparativa "multi-criteria" delle varianti alloggiabili, affrontata nel successivo capitolo 7.

##### **4.1 Variante 1: Trattamento convenzionale a fanghi attivi**

Questa soluzione prevede l'impiego della tradizionale tecnologia a fanghi attivi, trattamento presente nella maggioranza degli impianti di depurazione svizzeri e ticinesi, incluso l'attuale IDA di Chiasso che, però, fu concepito per rimuovere unicamente il carico di carbonio organico (COD), dal momento che, ai tempi della progettazione, le norme non prevedevano alcuna esigenza relativa ai composti dell'azoto.

Ora che l'OPAc stabilisce delle esigenze di scarico relative anche per i composti dell'azoto, gli attuali volumi previsti per la fase biologica non sono sufficienti. La nitrificazione a biomassa sospesa, infatti, è condotta secondo gli stessi schemi in uso per i processi a fanghi attivi volti alla sola rimozione della sostanza organica, salvo che per il diverso dimensionamento derivante dall'esigenza di disporre di maggiori quantitativi di biomassa e di più intensa aerazione.

Ne risulta un ingombro volumetrico nettamente maggiore rispetto agli attuali bacini e una conseguente necessità di ampliamento dell'impianto.

L'effluente in uscita dalla chiarificazione finale deve essere inoltre trattato con un processo di filtrazione di volume per garantire la rimozione dei restanti inquinanti presenti in sospensione, in particolare solidi sospesi e batteri. Si prevede inoltre un volume dedicato alla ozonizzazione del refluo per la rimozione dei microinquinanti.

La seguente figura mostra lo schema semplificato del processo a fanghi attivi.

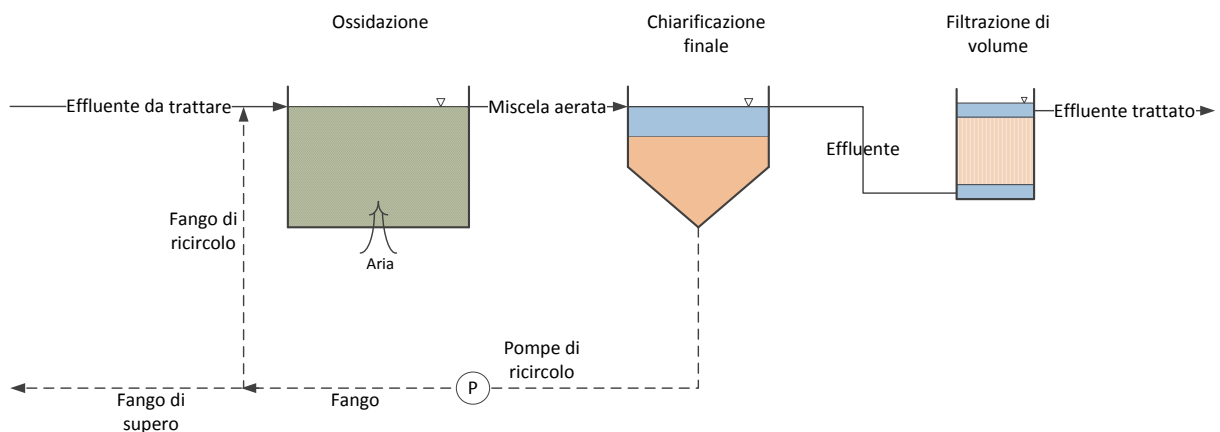


Figura 1 Schema processo a fanghi attivi

#### 4.1.1 Dimensionamento

Il dimensionamento è stato supportato dal foglio di lavoro ATV A 131, "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen".

##### Bacini di ossidazione

Il calcolo è stato effettuato nelle seguenti condizioni:

- Materia secca in vasca: 3.5 g/l. Si tratta di un valore prossimo al limite superiore dell'intervallo normalmente impiegato (2.0-4.0 g/l). Si è infatti optato per cercare di ridurre il più possibile i volumi di trattamento, in considerazione della limitata disponibilità di spazio dell'area.
- Età del fango: 8 giorni, valore tipico per un processo di nitrificazione completa dell'azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_4$ ) e che consente anche una parziale incipiente pre-denitrificazione, in una zona anossica idraulicamente a monte di quella aerata, configurazione che ha mostrato un'ottima garanzia di stabilità per l'intero trattamento biologico.

È risultato un volume necessario di 4'725 m<sup>3</sup>, pari quindi a 89 l/AE, valore piuttosto contenuto per un impianto nitrificante, reso possibile dalla scelta di una concentrazione di biomassa in vasca piuttosto elevata (3.5 g/l). Ciò costituisce indubbiamente una criticità, soprattutto in termini di flessibilità di processo.

Utilizzando la profondità degli attuali bacini, pari a 3.5 m, si ottiene un ingombro planimetrico di 1'350 m<sup>2</sup>.

La produzione di fango di supero è infine risultata pari a 2'050 kg<sub>SS</sub>/d.

La seguente tabella riassume i principali parametri di dimensionamento.

| Parametro                                 | Unità              | Valore |
|---|--------------------|--------|
| Numero linee di trattamento               | n.                 | 3      |
| Materia secca media                       | g <sub>ss</sub> /l | 3.5    |
| Età del fango                             | giorni             | 8      |
| Volume complessivo zona aerata, per linea | m <sup>3</sup>     | 1'575  |
| Profondità media utile                    | m                  | 3.5    |
| Ingombro planimetrico, per linea          | m <sup>2</sup>     | 450    |

Tabella 5 Riepilogo dati di dimensionamento bacini ossidazione FA

#### Bacini di chiarificazione finale

Il calcolo è stato effettuato nelle seguenti condizioni:

- Portata massima, in tempo piovoso,  $Q_{RW}$ : 528 l/s, pari al valore di dimensionamento (paragrafo 2.1).
- Rapporto di ricircolo in tempo piovoso: 0.75, valore di letteratura e comunemente impiegato in impianto.
- Indice di Mohlmann, SVI (Sludge Volume Index): 120 ml/g, valore di letteratura corrispondente ad un fango dalla buona sedimentabilità, risultato di un processo equilibrato.

La superficie necessaria è risultata pari a 1'250 m<sup>2</sup> (profondità: 4 m).

| Parametro  | Unità          | Valore |
|--|----------------|--------|
| Numero linee di trattamento                        | n.             | 3      |
| Rapporto di ricircolo in tempo piovoso             | -              | 0.75   |
| Indice di Mohlmann                                 | ml/g           | 120    |
| Altezza zona acqua chiarificata                    | m              | 0.50   |
| Altezza zona di separazione                        | m              | 1.89   |
| Altezza zona di flusso                             | m              | 0.70   |
| Altezza zona di ispessimento                       | m              | 0.92   |
| Volume complessivo zona chiarificazione, per linea | m <sup>3</sup> | 1'670  |
| Ingombro planimetrico, per linea                   | m <sup>2</sup> | 450    |

Tabella 6 Riepilogo dati di dimensionamento bacini di chiarificazione FA

#### 4.1.2 Disposizione planimetrica

Questa variante comporta degli elevati ingombri planimetrici e volumetrici. Sono necessarie pertanto 3 linee di trattamento, ciascuna con larghezza pari a 10 metri; ciò richiede lo sbancamento di parte del pendio a ridosso dell'impianto esistente data la scarsità di superficie disponibile e la costruzione dell'impianto su due livelli.



Come mostrato in allegato 1, al livello inferiore sono previsti i bacini di aerazione, la stazione di pompaggio del refluo al livello superiore e parte della filtrazione finale; al livello superiore i bacini di chiarificazione finale, l'impianto di ozonizzazione e la restante parte della filtrazione finale. Inoltre, per ottimizzare al meglio lo spazio a disposizione, il bacino delle acque piovane ed il bacino di emergenza devono essere costruiti al di sopra della decantazione primaria.

L'esecuzione si baserebbe su quanto descritto nel capitolo 3.

#### **4.1.3 Vantaggi e svantaggi**

Si elencano nel presente paragrafo vantaggi e svantaggi della soluzione con processo a fanghi attivi.

##### Vantaggi

- Il trattamento convenzionale a fanghi attivi è un processo relativamente semplice, conosciuto universalmente ed è, inoltre, quello attualmente presente presso l'IDA.
- Le 3 linee previste permettono una buona ridondanza.
- Fase di cantiere relativamente semplice.

##### Svantaggi

- Mancata adeguatezza alle esigenze di trattamento durante la fase transitoria: il decantatore della nuova linea di trattamento non riuscirebbe a trattare  $2 Q_{RW}$ .
- Ingombro planimetrico molto elevato: la conseguente costruzione del bacino delle acque piovane e del bacino di emergenza al di sopra dei bacini di decantazione primaria già esistenti risulterebbe di difficile realizzazione.
- Complicata individuazione di spazi utili per i locali elettrici e soffianti e del bacino di raccolta dei surnatanti.
- La concentrazione di biomassa in vasca di 3.5 g/l utilizzata per il dimensionamento dei bacini di aerazione è adatta anche se al limite superiore e quindi sicuramente non ottimale.
- Limitata flessibilità in caso di ampliamenti futuri.
- Costi di investimento elevati soprattutto a causa delle significative opere civili da realizzare.
- Costi di gestione elevati a causa della necessità di sollevamento dei reflui e dei fanghi di ricircolo.

#### **4.1.4 Conclusioni**

La variante comporta numerosi svantaggi; tra tutti, il fatto che durante la fase di cantiere non si possano garantire le esigenze qualitative di trattamento medesime alle odierne porta ad escludere questa opzione di trattamento e a non sottoporla alla valutazione multi-criteria.

## 4.2 Variante 2: Processo ibrido (FA+MBBR)

Il processo di trattamento ibrido consiste nel suddividere il reattore biologico in due settori; nel primo si sviluppa un processo a fanghi attivi tradizionale (FA), mentre nel secondo si mantiene un processo a biomassa adesa a letto mobile (MBBR – Mobile Bed Bio Reactor).

Questa tecnologia riprende la conformazione dei processi a fanghi attivi, in cui tuttavia la biomassa batterica non forma aggregati flocculosi liberamente dispersi, bensì si sviluppa sotto forma di biofilm su dei mezzi di supporto di dimensioni relativamente piccole.

I supporti sono mantenuti in movimenti per effetto di insufflazione d'aria dal fondo e sono liberi di muoversi nella vasca; sono trattenuti all'interno del reattore mediante una rete posta in corrispondenza delle sezioni di sbocco.

Questo tipo di processo è tipico nei casi in cui si voglia potenziare un impianto senza ricorrere ad importanti interventi, quali ad esempio la realizzazione di nuovi bacini. Per l'impianto di Chiasso, consente di ridurre le volumetrie necessarie e permette lo sviluppo su due linee di trattamento anziché le tre previste nella variante 1. Anche in questo caso, comunque, rimane la necessità di sbancare parte del pendio naturale.

La fase di chiarificazione finale rimane necessaria, con una riduzione, seppur minima, delle superfici richieste rispetto alla variante 1.

L'effluente in uscita dalla chiarificazione finale deve essere infine trattato con un processo di filtrazione di volume per garantire la rimozione dei restanti inquinanti presenti in sospensione, in particolare solidi sospesi e batteri.

La seguente figura mostra uno schema esemplificativo della variante proposta.

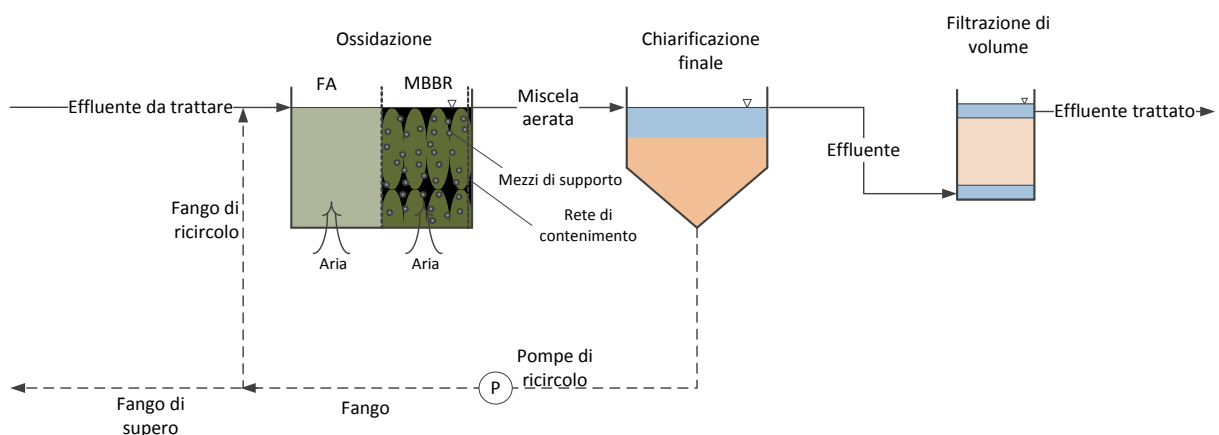


Figura 2 Schema processo ibrido (FA+MBBR)

### 4.2.1 Dimensionamento

Il dimensionamento è stato supportato, per quanto riguarda la parte a fanghi attivi e la chiarificazione finale, dal foglio di lavoro ATV A 131, "Bemessung von einstufigen Belebungsanla-

gen". Per quanto riguarda la parte MBBR, invece, ci si è basati sull'esperienza maturata nel campo dagli scriventi e su indicazioni di fornitori specializzati appositamente contattati.

La soluzione prevede lo sviluppi di due linee di trattamento identiche.

#### FA (eliminazione carbonio organico)

La temperatura di esercizio base del dimensionamento è stata quella invernale, pari a 12 °C; ad essa viene associata un'età del fango pari a 3.5 giorni.

Per una concentrazione di materia secca in vasca pari a 2.85 g/l, il volume necessario risulta essere pari a 2'800 m<sup>3</sup>, mentre la produzione di fango di supero è di 2'300 kg<sub>ss</sub>/d, valore leggermente superiore a quello della variante 1 derivante dall'età del fango minore.

| Parametro                                 | Unità          | Valore |
|---|----------------|--------|
| Numero linee                              | n.             | 2      |
| Materia secca media                       | g/l            | 2.75   |
| Età del fango                             | giorni         | 3.5    |
| Volume complessivo zona aerata, per linea | m <sup>3</sup> | 1'400  |
| Profondità media utile                    | m              | 3.5    |
| Ingombro planimetrico, per linea          | m <sup>2</sup> | 400    |

Tabella 7 Riepilogo dati di dimensionamento bacini di aerazione (rimozione COD) – processo ibrido

#### MBBR (eliminazione azoto)

L'eliminazione dell'azoto avviene negli stessi bacini dedicati alla rimozione del carbonio organico, per cui non vi è necessità di nuove costruzioni.

Per garantire la completa nitrificazione, il 50% del volume complessivo di 2'800 m<sup>3</sup> deve essere riempito dai mezzi di supporto così da sviluppare un processi di MBBR. Il tasso di riempimento deve essere del 45%.

| Parametro                              | Unità          | Valore |
|--|----------------|--------|
| Numero linee                           | n.             | 2      |
| Volume complessivo bacini di aerazione | m <sup>3</sup> | 2'800  |
| Volume per nitrificazione (MBBR)       | m <sup>3</sup> | 1'400  |
| Tasso di riempimento                   | %              | 45.0   |

Tabella 8 Riepilogo dati di dimensionamento MBBR processo ibrido

### Bacini di chiarificazione finale

La portata massima di dimensionamento è di 528 l/s pari a 1'900 m<sup>3</sup>/h; il rapporto di ricircolo considerato per tempo di pioggia e l'indice di Mohlmann sono, rispettivamente, pari a 0.75 e 120 ml/g.

Considerando un carico idraulico superficiale pari a 1.6 m/h si ottiene una superficie di sedimentazione pari a 1'200 m<sup>2</sup>; la profondità media delle vasche è di 3.5 metri.

| Parametro                              | Unità          | Valore |
|--|----------------|--------|
| Numero linee di trattamento            | n.             | 2      |
| Rapporto di ricircolo in tempo piovoso | -              | 0.75   |
| Indice di Mohlmann                     | ml/g           | 120    |
| Carico idraulico superficiale          | m/h            | 1.6    |
| Altezza zona acqua chiarificata        | m              | 0.50   |
| Altezza zona di separazione            | m              | 1.84   |
| Altezza zona di flusso                 | m              | 0.60   |
| Altezza zona di ispessimento           | m              | 0.52   |
| Ingombro planimetrico                  | m <sup>2</sup> | 1'200  |
| Profondità media utile                 | m              | 3.5    |
| Volume di chiarificazione              | m <sup>3</sup> | 4'200  |

Tabella 9      *Riepilogo dati di dimensionamento bacini di chiarificazione processo ibrido*

### **4.2.2 Disposizione planimetrica**

L'impianto verrebbe sviluppato su due livelli; la costruzione e l'esercizio in fase di cantiere avverrebbero secondo quanto descritto nel capitolo 3.

Al livello inferiore sono previsti i bacini di aerazione, la stazione di pompaggio per il rilancio del refluo al livello superiore, parte della filtrazione finale e il bacino di accumulo dei surnatanti.

Il bacino delle acque piovane e il bacino di emergenza troverebbero posto a ridosso della linea 2, così come mostrato in allegato 2, e non al di sopra dei bacini di decantazione primaria già esistenti come nel caso della variante 1.

Al livello superiore sono previsti i bacini di chiarificazione finale longitudinali e l'impianto di ozonizzazione per la rimozione dei microinquinanti. Al di sopra dei bacini di pioggia e di emergenza rimarrebbe spazio per i locali elettrici, soffianti e gli ulteriori impianti ausiliari.

#### **4.2.3 Vantaggi e svantaggi**

Si elencano nel presente paragrafo vantaggi e svantaggi della soluzione con processo ibrido.

##### Vantaggi

- Le due linee di trattamento permettono di avere spazio a fianco di esse per i bacini e gli impianti ausiliari, senza necessità di ulteriori superfici.
- Adeguatezza alle esigenze di trattamento in fase transitoria.
- Fase cantiere semplificata rispetto alla variante 1.

##### Svantaggi

- Le 2 linee previste permettono una minore ridondanza e quindi una minore flessibilità di gestione.
- Necessità di sollevamento dei reflui al livello superiore.
- Costi di investimento elevati anche a causa della necessità dei mezzi di supporto.
- Costi di gestione elevati (+15 % rispetto a variante 1) per la maggior richiesta di ossigeno dovuta all'MBBR.

#### **4.2.4 Conclusioni**

La variante si mostra competitiva grazie alla maggior semplicità di realizzazione e verrà quindi sottoposta a valutazione multi-criteria.

### 4.3 Variante 3: Processo ad alto carico/basso carico (processo Attisholz)

Il processo a alto carico/basso carico (o processo Attisholz 2AB) è un processo a fanghi attivi bistadio. L'idea alla base di questo processo è di utilizzare il primo stadio ad alto carico del fango per la rimozione del carbonio organico, lasciando al secondo stadio a medio/basso carico la rimozione della restante parte del carbonio organico e per la nitrificazione. Entrambi gli stadi devono essere dotati di una fase di chiarificazione per la rimozione del fango; dato l'elevato carico applicato, i fanghi di supero del primo stadio risultano molto putrescibili e adatti alla digestione anaerobica; il contenimento dei carichi applicati al secondo stadio diminuisce la putrescibilità dei fanghi di supero, che vengono quindi inviati a monte del primo stadio.

Nell'attuale impianto di Chiasso, i bacini di aerazione e di chiarificazione finale presenti possono, con opportune modifiche, rappresentare il primo stadio ad alto carico, mentre il secondo stadio dovrebbe essere tutto di nuova costruzione.

L'effluente in uscita dalla chiarificazione finale della biologia a basso carico verrà inoltre trattato con un processo di filtrazione di volume per garantire la rimozione dei restanti inquinanti presenti in sospensione, in particolare solidi sospesi e batteri.

La seguente figura mostra lo schema esemplificativo di un processo bistadio.

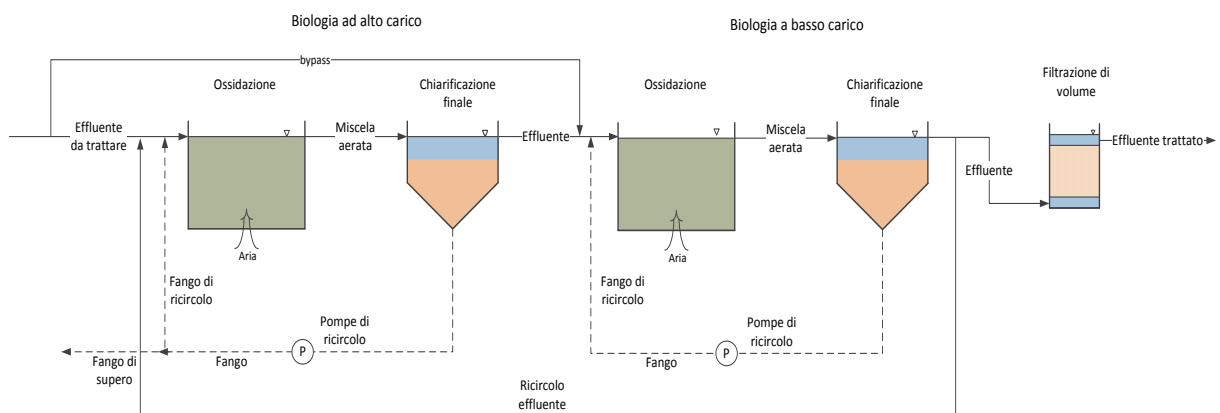


Figura 3 Schema processo bistadio

#### 4.3.1 Dimensionamento

Il dimensionamento è stato supportato dal foglio di lavoro ATV A 131, "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen".

##### Bacini di aerazione ad alto carico/bacini di chiarificazione intermedi

Considerando un'età del fango di 3.5 giorni, la concentrazione di materia secca nella fase biologica deve essere innalzata, per questo tipo di processo, a 5.7 g/l, valore molto elevato. Alternativamente si potrebbe implementare un sistema a biomassa adesa a letto mobile (MBBR).

L'attuale fase di chiarificazione finale sarebbe sufficiente come fase di chiarificazione intermedia.

| Parametro                                     | Unità          | Valore |
|---|----------------|--------|
| Numero linee                                  | n.             | 2      |
| Materia secca media                           | g/l            | 5.70   |
| Età del fango                                 | giorni         | 3.5    |
| Volume complessivo zona aerata, per linea     | m <sup>3</sup> | 700    |
| Volume complessivo chiarificazione, per linea | m <sup>3</sup> | 1'100  |

Tabella 10 Riepilogo dati di dimensionamento  
bacini di aerazione/chiarificazione – alto carico

#### Bacini di aerazione a basso carico/bacini di chiarificazione finale

Ai fini del dimensionamento, si ipotizza che l'80% del COD in ingresso venga rimosso nel primo stadio del processo. La riduzione del COD rimanente avverrebbe in questo stadio assieme ai processi di nitrificazione.

Un nuovo processo a fanghi attivi necessita di molto spazio; i volumi per i bacini di aerazione risulterebbero accettabili (850 m<sup>2</sup>) mentre la nuova chiarificazione finale necessita di 1'300 m<sup>2</sup> (2 x 650 m<sup>2</sup>). Un sistema a letto mobile o un processo a filtri biologici risulterebbero più convenienti.

| Parametro                                     | Unità          | Valore |
|---|----------------|--------|
| Numero linee                                  | n.             | 2      |
| Materia secca media                           | g/l            | 8.00   |
| Età del fango                                 | giorni         | 3.00   |
| Volume complessivo zona aerata, per linea     | m <sup>3</sup> | 425    |
| Volume complessivo chiarificazione, per linea | m <sup>3</sup> | 1'200  |

Tabella 11 Riepilogo dati di dimensionamento  
bacini di aerazione/chiarificazione – basso carico

### 4.3.2 Disposizione planimetrica

Il processo ad alto carico, date le volumetrie richieste, può essere inserito, con qualche piccola modifica, nei bacini attuali. Il processo a basso carico, al contrario, dovrebbe essere di nuova costruzione.

Dati gli elevati volumi necessari per il processo biologico, oltre ai volumi richiesti per gli impianti ausiliari, l'ozonizzazione, i bacini di pioggia e di emergenza, la filtrazione, è stato subito evidente come l'implementazione di questo tipo di processo presso l'impianto di Chiasso non fosse praticabile.

Per questo motivo non si è ritenuto necessario approfondire l'eventuale disposizione planimetrica.

#### **4.3.3 Vantaggi e svantaggi**

Si elencano nel presente paragrafo vantaggi e svantaggi della soluzione processo bistadio.

##### Vantaggi

La variante, nel contesto particolare dell'impianto di Chiasso, non presenta alcun significativo vantaggio.

##### Svantaggi

- Complessità realizzative.
- Complessità gestionali.
- Costi di investimento elevati.
- Costi di gestione elevati (doppio ricircolo, doppia fase di chiarificazione).
- Ingombri volumetrici e planimetrici elevati.

#### **4.3.4 Conclusioni**

Nel caso in esame questa variante non presenta alcun vantaggio per cui essa non viene presa in considerazione per la valutazione multi-criteria.



#### 4.4 Variante 4: MBBR

Questa variante prevede un processo a biomassa adesa a letto mobile (MBBR – Mobile Bed BioReactor) senza lo sviluppo contemporaneo di un processo a biomassa sospesa a fanghi attivi.

Come già in parte descritto nel paragrafo 4.2, la biomassa batterica si sviluppa in forma di biofilm su dei mezzi di supporto di piccole dimensioni, mantenuti in movimento per effetto della insufflazione d'aria. Essi vengono collocati alla rinfusa nelle vasche con un tasso di riempimento del 30-60%; la superficie specifica è di 400-600 m<sup>-2</sup>; i supporti e la biomassa vengono mantenuti nel reattore facilmente, date le loro dimensioni, attraverso una rete o una griglia posta in corrispondenza della sezione di sbocco. L'effluente trattato in uscita dalla biologia presenta quindi già buone caratteristiche; si prevede comunque una fase di chiarificazione secondaria, necessaria per l'eliminazione delle pellicole di spoglio staccatesi dai supporti e per migliorare la qualità del refluo in termini di solidi sospesi.

La fase di chiarificazione risulta in questo caso essere una sedimentazione discreta e non più di massa, con una conseguente diminuzione degli ingombri volumetrici e planimetrici dei sedimentatori secondari e assenza dei fanghi di ricircolo.

Prima della chiarificazione finale, il refluo entra in reattori di coagulazione-flocculazione, in modo da formare fiocchi più voluminosi e facilitarne in seguito la decantazione.

Nei seguenti paragrafi verranno descritte due versioni di questa variante, la 4A e la 4B; le due versioni si differenziano per il tipo di chiarificazione finale.

Nella prima (4a) è previsto invece una chiarificazione finale a pacchi lamellari, con conseguenze anche sulla disposizione planimetrica. Essi infatti permettono una notevole riduzione di ingombro planimetrico della fase di chiarificazione finale, poiché aumentano la superficie di separazione acqua-fanghi e riducono il percorso verticale di sedimentazione.

I pacchi lamellari sono delle strutture prefabbricate di tipo tubolare aventi un'inclinazione sull'orizzontale sufficiente a far scivolare verso il basso i solidi su di esse depositatisi, facendoli confluire sul fondo. Il sistema previsto opera in controcorrente ed è il sistema più diffuso, con alimentazione del refluo nella parte inferiore e sua risalita all'interno dei canali con verso opposto a quello dei sedimenti che scorrono verso il basso.

I pacchi lamellari sono diffusi nei casi di sedimentazione discreta, mentre sono solitamente sconsigliati nei casi di sedimentazione di massa per la maggiore possibilità di intasamento dei canali.

La seconda (4b) prevede invece un processo di chiarificazione tradizionale, con due bacini longitudinali.

In entrambe le versioni, l'effluente in uscita dalla chiarificazione finale verrà trattato con un processo di filtrazione di volume per garantire la rimozione dei restanti inquinanti presenti in sospensione, in particolare solidi sospesi e batteri.

La seguente figura mostra lo schema esemplificativo di un processo MBBR con chiarificazione finale tradizionale.

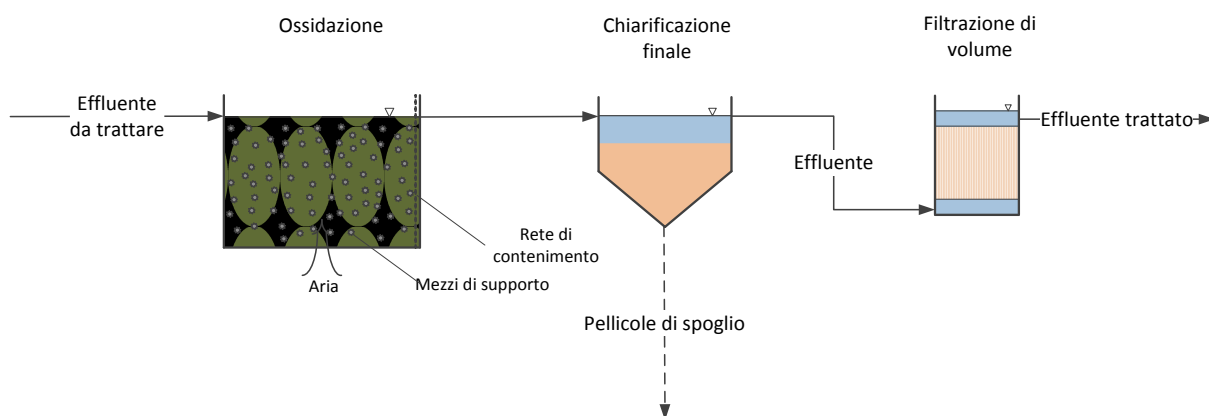


Figura 4 Schema processo MBBR

#### 4.4.1 Dimensionamento

Il dimensionamento è stato basato sull'esperienza maturata nel campo dagli scriventi e su indicazioni di fornitori specializzati appositamente contattati.

##### Bacini di biologia per eliminazione carbonio organico e nitrificazione

Il dimensionamento dei bacini è stato effettuato considerando un tasso di riempimento del 37.5 %; il volume necessario risulta essere 2'800 m<sup>3</sup>, di cui 1'100 m<sup>3</sup> per l'eliminazione del carbonio organico e 1'700 m<sup>3</sup> per la nitrificazione.

Si potrebbe anche considerare un tasso di riempimento maggiore, fino al 60%, con una riduzione dei volumi necessari. In entrambi i casi, comunque, i volumi attuali non sarebbero sufficienti per i bacini di pioggia, di emergenza e di stoccaggio del digestato. Si è quindi preferito dimensionare con un tasso di riempimento inferiore ed avere la possibilità di aumentarlo in seguito (riserva di espansione).

I volumi richiesti dai bacini di biologia non cambiano tra la variante 4a e la variante 4b.

Per la coagulazione-flocculazione sono necessari 380 m<sup>3</sup>.

| Parametro                           | Unità          | Valore |
|-------------------------------------|----------------|--------|
| Numero linee di trattamento         | n.             | 2      |
| Tasso di riempimento                | %              | 37.5   |
| Volume rimozione C                  | m <sup>3</sup> | 1'100  |
| Volume nitrificazione               | m <sup>3</sup> | 1'700  |
| Volume complessivo                  | m <sup>3</sup> | 2'800  |
| Volume coagulazione e flocculazione | m <sup>3</sup> | 380    |

Tabella 12 Riepilogo dati di dimensionamento MBBR

### Bacini di chiarificazione finale

Come descritto nel paragrafo precedente, la variante 4a si differenzia dalla 4b per l'introduzione della chiarificazione a pacchi lamellari.

#### Variante 4a

I bacini previsti sono 4 con un ingombro planimetrico totale di 240 m<sup>2</sup>, valore molto inferiore rispetto alla variante 4b.

| Parametro                          | Unità          | Valore |
|------------------------------------|----------------|--------|
| Chiarificazione a pacchi lamellari |                |        |
| Numero linee di trattamento        | n.             | 4      |
| Superficie complessiva, per linea  | m <sup>2</sup> | 60     |

Tabella 13 Riepilogo dati di dimensionamento  
bacini chiarificazione – variante 4a

#### Variante 4b

La superficie necessaria alla chiarificazione finale è pari a 790 m<sup>2</sup> e risulta essere inferiore rispetto a quella necessaria ad un trattamento a fanghi attivi tradizionale. Gli attuali bacini di chiarificazione finale occupano una superficie di 800 m<sup>2</sup>, appena sufficiente al fabbisogno calcolati; si è però deciso di prevedere due bacini di chiarificazione finale, ciascuno da 500 m<sup>2</sup>, per mantenere una riserva di espansione come nel caso dei bacini biologici. Inoltre il processo di chiarificazione, come si vedrà in seguito, è previsto al livello superiore della nuova costruzione, per cui gli attuali bacini di chiarificazione verrebbero riconvertiti per altro uso.

La prevista superficie complessiva risulta essere dunque 1'000 m<sup>2</sup>, a cui corrisponde, per le portate di dimensionamento, un carico idraulico superficiale massimo di 1.9 m/h, inferiore al carico massimo consentito di 2.4 m/h.

| Parametro                         | Unità          | Valore |
|-----------------------------------|----------------|--------|
| Numero linee di trattamento       | n.             | 2      |
| Superficie complessiva, per linea | m <sup>2</sup> | 500    |
| Carico idraulico superficiale     | m/h            | 1.9    |
| Profondità media                  | m              | 3-3.5  |

Tabella 14 Riepilogo dati di dimensionamento  
bacini chiarificazione – variante 4b

### **4.4.2 Disposizione planimetrica**

La disposizione planimetrica delle due versioni della variante 4 si differenzia per i differenti ingombri planimetrici (allegati 3 e 4).

#### Variante 4a

La chiarificazione finale a pacchi lamellari consente lo sviluppo di questa variante su un unico livello. I bacini per il processo MBBR sono anch'essi ridotti di lunghezza rispetto alla variante 4a ma molto più sviluppati in altezza (7 metri); prima della chiarificazione a pacchi lamellari, il refluo entra in reattori per la coagulazione-flocculazione.

Lo svolgimento dei lavori è previsto come per la variante 2: costruzione della linea di trattamento 1, sua messa in esercizio e costruzione della linea 2 dismettendo l'impianto attuale.

#### Variante 4b

Questa variante si deve sviluppare su due livelli, a causa degli elevati ingombri planimetrici richiesti. Al livello inferiore sono previsti le due linee di trattamento biologico MBBR, la stazione di pompaggio al livello superiore, la filtrazione finale ed i bacini di pioggia e di emergenza. Al livello superiore si trovano invece i bacini per la precipitazione e flocculazione, i bacini di chiarificazione finale e l'ozonizzazione.

Lo svolgimento dei lavori è previsto come per le varianti 2 e 4b.

### **4.4.3 Vantaggi e svantaggi**

Si elencano nel presente paragrafo vantaggi e svantaggi della soluzione MBBR.

#### Vantaggi

- Consumi energetici ridotti: l'MBBR richiede una maggiore quantità di aria ma l'assenza di fanghi di ricircolo, e quindi di una stazione di pompaggio, riduce questa divergenza.
- Possibilità di ampliamenti futuri.
- Ingombri planimetrici ridotti rispetto alle varianti 1 e 2.
- Costi di investimento contenuti per entrambe le varianti.
- Adeguatezza alle esigenze di trattamento in fase transitoria.

#### Svantaggi

- Le due linee di trattamento non consentono una elevata flessibilità di gestione.
- La fase di cantiere risulta complessa.
- Variante 4a: nessuna referenza per chiarificazione finale a pacchi lamellari in Svizzera.

### **4.4.4 Conclusioni**

La soluzione con processo MBBR risulta essere molto interessante e competitiva, soprattutto per la notevole riduzione dell'ingombro planimetrico. Le varianti 4A e 4B verranno pertanto sottoposte ad una valutazione multi-criteria.

#### 4.5 Variante 5: Biofiltrazione

La biofiltrazione (o filtrazione biologica) è un processo a biomassa adesa; la biomassa cresce in forma di biofilm su dei granuli di piccola pezzatura (2-5 mm) e elevata superficie specifica ( $1'000-1'200 \text{ m}^2$ ) che costituiscono il letto filtrante, mantenuto sempre sommerso. I granuli sono mantenuti all'interno del reattore da una griglia posta poco sopra il fondo del filtro che consente anche l'insufflazione d'aria di processo; il livello di miscelazione dei granuli rimane modesto, per cui il letto associa all'azione biologica un effetto di filtrazione meccanica.

Le pellicole di spoglie vengono mantenute all'interno del reattore per cui non è necessaria una fase di chiarificazione secondaria; per contro, non è possibile operare il modo continuo, poiché occorre periodicamente estrarre dal filtro le pellicole di spoglio accumulate. Di norma una volta al giorno, quindi, l'alimentazione deve essere interrotta per permettere il lavaggio con aria e acqua; per il lavaggio viene utilizzato di norma del refluo trattato, per cui si prevede un bacino di stoccaggio per il suo accumulo. Le acque usate di lavaggio devono essere sottoposte a decantazione e quindi reimmesse a monte delle fasi primarie. L'intermittenza di funzionamento rende inoltre necessario suddividere il trattamento in un adeguato numero di reattori per evitare sovraccarichi durante le fasi di lavaggio.

Per l'impianto di Chiasso, si prevede di mantenere distinte, in reattori specificatamente dedicati, le fasi aerobiche di rimozione del COD e di nitrificazione, per consentire una colonizzazione selettiva dei supporti e lo sviluppo di biofilm arricchiti di biomasse autotrofe nel reattore di nitrificazione.

L'effluente in uscita dalla biofiltrazione deve essere infine trattato con un processo di filtrazione di volume per garantire la rimozione dei restanti inquinanti presenti in sospensione, in particolare solidi sospesi e batteri.

Nel seguente schema sono rappresentati i due biofiltri in serie.

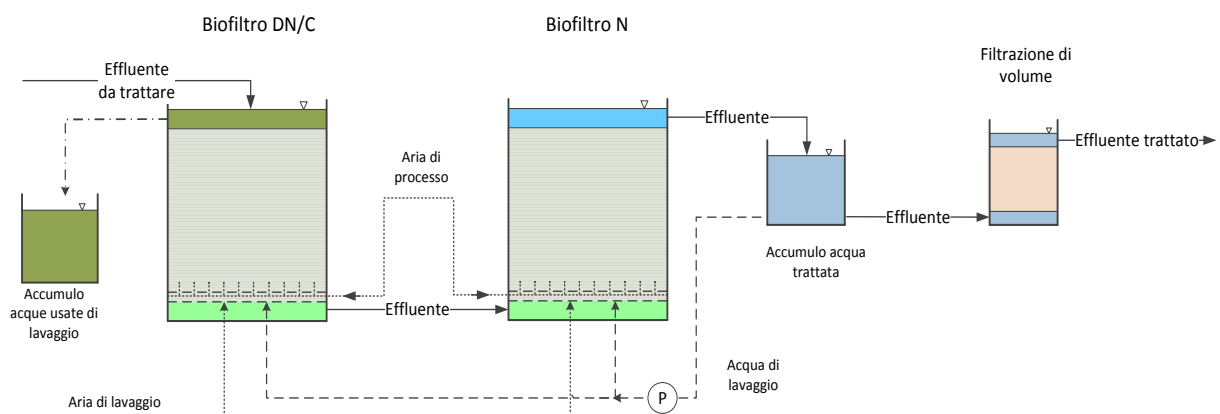


Figura 5 Schema biofiltrazione

#### 4.5.1 Dimensionamento

Il dimensionamento è stato basato sull'esperienza maturata nel campo dagli scriventi e su indicazioni di fornitori specializzati appositamente contattati.

La soluzione prevede due processi biologici in serie, costituiti ciascuno da 6 biofiltri operanti in parallelo; nella prima sezione i biofiltri rimuovono il carbonio organico, mentre nella seconda avviene la nitrificazione.

La superficie filtrante per ciascun biofiltro preposto alla rimozione del COD è di circa 22 m<sup>2</sup> mentre quella per ciascun biofiltro preposto alla nitrificazione è di circa 30.0 m<sup>2</sup>.

Tutti i biofiltri hanno un'altezza del letto filtrante di 9 metri. Il volume complessivo utile per la rimozione del carbonio organico risulta, quindi, essere di circa 1'200 m<sup>3</sup>, mentre per la nitrificazione di 1'600 m<sup>3</sup>.

| Parametro                              | Unità          | Valore |
|--|----------------|--------|
| Numero biofiltri rimozione COD         | n.             | 6      |
| Superficie filtrante complessiva, cad. | m <sup>2</sup> | 22.0   |
| Numero biofiltri nitrificazione        | n.             | 6      |
| Superficie filtrante complessiva, cad. | m <sup>2</sup> | 31.0   |
| Altezza biofiltri                      | m              | 9.00   |
| Volume complessivo biofiltrazione      | m <sup>3</sup> | 2'800  |

Tabella 15 Riepilogo dati di dimensionamento biofiltrazione

#### 4.5.2 Disposizione planimetrica

La variante può essere sviluppata su un unico livello, come mostrato in allegato 5.

Al posto degli attuali bacini di aerazione e dei bacini di decantazione finale saranno costruiti i biofiltri per la rimozione del carbonio organico e la fase di filtrazione finale, oltre ai locali per pompe e quadri elettrici.

Lo sbancamento di parte del pendio naturale permetterà la realizzazione dei biofiltri dedicati alla nitrificazione, dell'ozonizzazione e degli edifici per le apparecchiature ausiliare.

L'esecuzione dei lavori si baserebbe sulla sequenza delle fasi di seguito elencate:

- Sbancamento del pendio naturale e costruzione dei biofiltri per nitrificazione, del locale tecnico e degli ulteriori bacini previsti.
- Messa in esercizio dei nuovi biofiltri: durante la fase transitoria essi saranno utilizzati per la rimozione della sostanza organica in modo da poter garantire le attuali caratteristiche qualitative dell'effluente. Il bacino dedicato all'ozonizzazione viene utilizzato, in questa prima fase, come bacino di accumulo delle acque usate di lavaggio.

- Messa fuori esercizio dell'impianto attuale.
- Costruzione dei biofiltri dedicati alla rimozione del carbonio organico e dei filtri finali, oltre agli impianti ausiliari.
- Costruzione dei bacini di pioggia e di emergenza.
- Messa in esercizio dell'impianto.

#### **4.5.3 Vantaggi e svantaggi**

Si elencano nel presente paragrafo vantaggi e svantaggi della soluzione con biofiltrazione.

##### Vantaggi

- Sbancamento pendio ridotto.
- Flessibilità gestionale ottimale (6 linee).
- Assenza fase di chiarificazione secondaria: maggior semplicità di gestione.
- Adeguatezza alle esigenze di trattamento in fase transitoria.

##### Svantaggi

- Consumi energetici leggermente superiori rispetto ad un processo a fanghi attivi convenzionali, anche se minori rispetto ad un MBBR.
- Rilevanza delle opere edili.
- Gestione leggermente più complessa rispetto alle tecnologie più tradizionali.

#### **4.5.4 Conclusioni**

Il processo di biofiltrazione è sicuramente competitivo e deve essere sottoposto ad una analisi multi-criteria.

#### 4.6 Variante 6: SBR

Il processo SBR (Sequencing Batch Reactor) è una variante del trattamento a fanghi attivi convenzionale, in cui la fase biologica e la chiarificazione avvengono all'interno dello stesso bacino. Il processo opera in fase ciclica come mostrato in figura 6 e si articola in 4 fasi principali:

- Alimentazione: il refluo viene alimentato nel reattore; il substrato alimentato si aggiunge alla miscela refluo-fango mantenuta nel reattore dal ciclo precedente. La durata di questa fase rappresenta circa il 25% del tempo complessivo del ciclo.
- Ossidazione: il reattore è mantenuto in condizioni di miscelazione completa attraverso l'aerazione posta sul fondo di esso; durante questa fase vengono rimossi il carbonio organico e il carico ammoniacale. Questa fase dura circa il 35% del tempo complessivo.
- Sedimentazione: l'aerazione viene interrotta e avviene la separazione solido-liquido come in un sedimentatore secondario classico. Questo processo, tuttavia, è di norma molto più efficiente in un SBR che in un sistema a fanghi attivi classico poiché in questa fase il contenuto del reattore è completamente inattivo e non subisce alcuna perturbazione.
- Scarico: in questa fase avviene lo scarico dell'effluente trattato, con progressiva riduzione del livello del pelo libero. Il tempo dedicato a questa operazione varia tra il 5% e il 30% della durata complessiva del ciclo.

Una quinta fase, denominata di inattività, permette di dare flessibilità al sistema e rimodulare, se necessario, la durata delle fasi operative. In questa fase, di norma una volta al giorno, avviene anche lo scarico del fango di supero.

I processi SBR vengono utilizzati soprattutto per il trattamento di reflui molto concentrati; presso l'IDA di Chiasso, la portata di acque piovane ( $1'900 \text{ m}^3/\text{h}$ ) è relativamente alta per cui il processo non si presta in maniera particolare.

A valle del processo SBR, il refluo verrebbe quindi trattato con un processo di ozonizzazione per la rimozione dei microinquinanti e infine con un processo di filtrazione di volume per la rimozione delle sostanze sospese rimanenti.



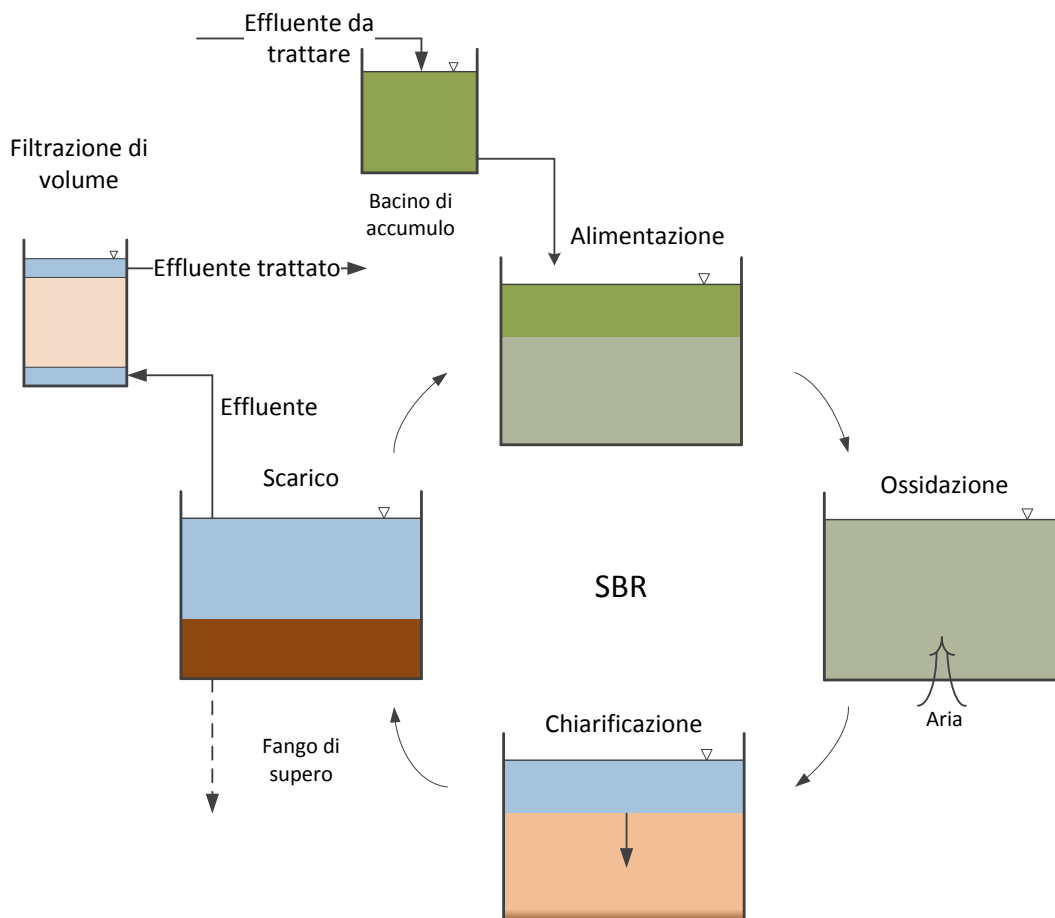


Figura 6 Schema processo SBR

#### 4.6.1 Dimensionamento

Il dimensionamento è stato basato sull'esperienza maturata nel campo dagli scriventi e su indicazioni di fornitori specializzati appositamente contattati.

La soluzione prevede 5 linee di trattamento.

##### Bacini di biologia

Il processo SBR necessita di un volume complessivo di circa 13'500 m<sup>3</sup>; considerando un'altezza utile di 9 metri, l'ingombro superficiale risulta essere di 1'500 m<sup>2</sup>.

| Parametro                        | Unità          | Valore |
|----------------------------------|----------------|--------|
| Numero linee di trattamento      | n.             | 5      |
| Volume complessivo, per linea    | m <sup>3</sup> | 2'700  |
| Altezza utile                    | m              | 9      |
| Ingombro superficiale, per linea | m <sup>2</sup> | 300    |

Tabella 16 Riepilogo dati di dimensionamento SBR

#### Bacino di accumulo

Dato il funzionamento discontinuo del processo SBR, si deve prevedere un bacino tampone a valle degli SBR, per permettere il caricamento in continuo dei trattamenti di ozonizzazione e di filtrazione finale. Vi è quindi necessità anche di un sollevamento del refluo a valle del bacino tampone.

Il bacino deve avere un volume di 1'000 m<sup>3</sup>.

#### **4.6.2 Disposizione planimetrica**

La soluzione richiede, dati gli elevati ingombri planimetrici del processo SBR, uno sbancamento del pendio naturale maggiore rispetto alle altre varianti descritte finora.

Inoltre, i bacini di pioggia e di emergenza devono essere realizzati sormontanti i bacini di decantazione primaria esistenti.

L'esecuzione dei lavori si baserebbe sulla sequenza di fasi di seguito descritte:

- Sbancamento del pendio naturale
- Realizzazione e messa in esercizio delle linee di trattamento 1,2 e 3, in modo da poter garantire, durante la fase di cantiere, le attuali caratteristiche qualitative dell'effluente
- Realizzazione dei bacini di pioggia e di emergenza
- Messa fuori esercizio dell'impianto esistente
- Realizzazione delle linee di trattamento 4 e 5, dell'ozonizzazione, della filtrazione finale e di tutti gli impianti ausiliari
- Messa in esercizio dell'impianto

#### **4.6.3 Vantaggi e svantaggi**

Si elencano nel presente paragrafo vantaggi e svantaggi della soluzione SBR.

##### Vantaggi

- Processo molto flessibile.
- Trattamento in unico bacino.
- Assenza fanghi di ricircolo.
- Fase di cantiere relativamente semplice.
- Adeguatezza alle esigenze di trattamento in fase transitoria.

##### Svantaggi

- Necessità di sollevamento del refluo dopo il processo SBR.
- Costi di investimento molto elevati a causa dello sbancamento del pendio.

#### **4.6.4 Conclusioni**

Il processo SBR rappresenterebbe una valida variante se non ci fosse un problema di disponibilità di superficie. Esso infatti comporta un ingombro planimetrico molto elevato e di conseguenza uno sbancamento eccessivo del pendio naturale, con un raddoppio della volumetria di pendio da sbancare rispetto alle altre varianti considerate. I costi di investimento risultano quindi troppo onerosi.

Per questo motivo la variante, seppur tecnicamente fattibile, è scartata senza un ulteriore approfondimento.

#### 4.7 Variante 7: Membrane (MBR)

La tecnologia MBR (Membrane Bio Reactor, Bioreattori a membrana) si è sviluppata a cavallo tra gli ultimi anni del '900 ed i primi del 2000, presentandosi quale soluzione particolarmente efficace in situazioni caratterizzate da penuria di spazio, grazie alla possibilità di poter lavorare con un trattamento biologico ad elevata concentrazione di materia secca, normalmente compresa tra gli 8 ed i 12 g<sub>SS</sub>/l, e quindi con volumi ridotti di almeno il 60% rispetto ad un impianto a fanghi attivi tradizionale.

La presenza di membrane, installate direttamente nelle vasche di aerazione o in bacini dedicati consecutivi alla sezione di ossidazione a seconda delle configurazioni, opera un effetto di filtrazione sull'effluente, il cui contenuto in sostanze in sospensione è quindi pressoché nullo, risultato peraltro ottenuto in assenza di una chiarificazione finale e quindi con ulteriore risparmio in termini di volume di trattamento.

Il maggior ostacolo alla diffusione di questa tecnologia dagli indubbi vantaggi è storicamente legato agli elevati consumi sia in termini di energia elettrica, dovendo conferire alla miscela aerata una pressione tale da poter attraversare le membrane, sia in termini di prodotti chimici, richiedendo le membrane periodici lavaggi, al fine di limitare fenomeni di sporcamento delle stesse ad opera di residui dalle acque reflue e la conseguente perdita di efficienza (bio-fouling).

Negli ultimi anni ha però avuto luce una nuova generazione di membrane, cosiddette a “fibra cava”, che consentono significativi risparmi in termini di consumi elettrici, rendendo la soluzione MBR più appetibile. La trattazione della tecnologia MBR nel presente documento ha perciò seguito unicamente tale tipologia di membrane, ritenute dagli scriventi le uniche in grado di poter essere ragionevolmente comparate alle altre varianti considerate.

La configurazione impiantistica è analoga al caso di membrane tradizionali: è prevista una vasca di ossidazione ad elevato carico (10 g<sub>SS</sub>/l), seguita da un bacino – sempre ad alto carico (12 g<sub>SS</sub>/l) – in cui sono alloggiate serie di membrane.

Le due vasche sono in collegamento idraulico grazie al pompaggio della miscela aerata che, successivamente, attraversa le membrane dall'esterno all'interno, grazie all'effetto di suzione generato da una batteria di pompe dedicate che consentono contestualmente l'allontanamento della fase filtrata (permeato). La miscela aerata in eccedenza è invece ricircolata per gravità alla precedente sezione di ossidazione.

La configurazione a due vasche presenta essenzialmente due vantaggi:

- Maggiore flessibilità gestionale, grazie alla regolazione indipendente dei parametri di funzionamento delle due sezioni.
- Migliore efficienza della sezione a membrane, costituendo la prima vasca una sorta di tampone, in grado di assorbire i picchi di carico, normalmente poco sopportati dalle membrane.

Al fine di limitare il contenuto di sostanze in sospensione, è necessaria la realizzazione di una grigliatura ad 1 mm.

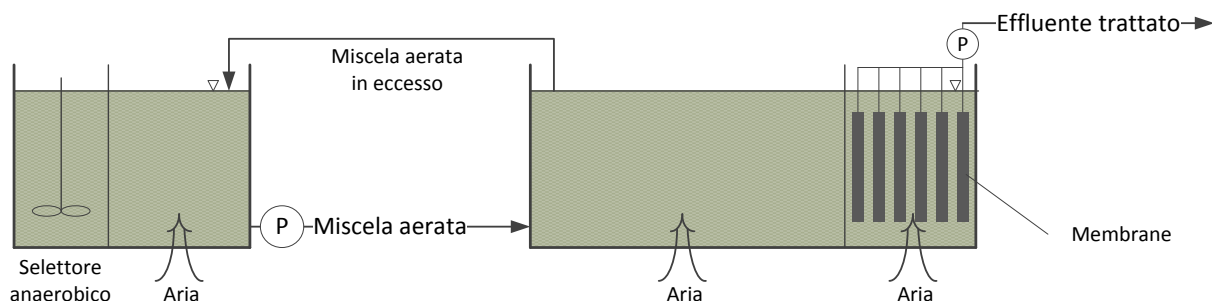


Figura 7 Schema processo MBR

#### 4.7.1 Dimensionamento

Il dimensionamento è stato basato sull'esperienza maturata nel campo dagli scriventi e su indicazioni di fornitori specializzati appositamente contattati.

La soluzione prevede due bacini biologici, uno di ossidazione "pura" ed uno di ossidazione-filtrazione a membrane, con una concentrazione di materia secca in vasca rispettivamente di 10 g<sub>SS</sub>/l e 11 g<sub>SS</sub>/l. Il volume necessario risultante, al netto dell'ingombro delle membrane, è quindi di 2'100 m<sup>3</sup>.

Grazie all'esiguo volume di trattamento necessario, è possibile aggiungere un "selettore anaerobico" (ca. 350 m<sup>3</sup> per linea), posto ad inizio biologia ed equipaggiato con un agitatore verticale, con lo scopo di conferire maggiore stabilità all'intera fase biologica. Si tratta di una soluzione già testata positivamente presso altri IDA che conferisce peraltro una certa riserva di trattamento alla soluzione, essendo possibile una trasformazione del selettore anaerobico in zona aerata per l'ossidazione di carbonio / nitrificazione, qualora i carichi in ingresso dovessero incrementare in maniera significativa.

La tecnologia non prevede chiarificazione finale, avendo le membrane funzione di ritenzione dei solidi (ultrafiltrazione).

| Parametro                                 | Unità              | Valore |
|---|--------------------|--------|
| Numero linee di trattamento               | -                  | 2      |
| Materia secca media                       | g <sub>SS</sub> /l | 10.5   |
| Volume complessivo zona aerata, per linea | m <sup>3</sup>     | 1'050  |
| Volume selettore anaerobico, per linea    | m <sup>3</sup>     | 350    |
| Volume totale di trattamento              | m <sup>3</sup>     | 1'400  |

Tabella 17 Riepilogo dati di dimensionamento MBR

#### 4.7.2 Disposizione planimetrica

Nel caso specifico in oggetto, al fine di contenere opere, costi e tempi di realizzazione, si è optato per una configurazione che mantenesse l'attuale biologia quale sezione di ossidazione ed i bacini di chiarificazione finale, dopo trasformazione, quale comparto di alloggiamento delle membrane.

È evidente come tale soluzione sia l'unica, tra quelle presentate finora, in grado di poter impiegare l'attuale infrastruttura senza profondi mutamenti, aspetto che ne costituisce il principale vantaggio.

L'esecuzione si baserebbe sulla sequenza delle fasi di seguito elencate:

- Installazione di un sistema provvisorio di filtrazione a tamburo rotante bi-stadio, in modo da poter garantire, durante la prima fase dei lavori (punto successivo), le attuali caratteristiche qualitative dell'effluente
- Messa fuori esercizio di una linea di chiarificazione finale e conversione della stessa a bacino di alloggiamento delle membrane
- Messa in esercizio di una linea bacino biologico (da risanare) + bacino membrane, in grado di garantire le attuali esigenze qualitative dell'effluente
- Messa fuori esercizio della seconda chiarificazione ed intervento del tutto analogo a quanto effettuato per la prima
- Messa in esercizio della seconda linea bacino biologico (da risanare) + bacino membrane, in grado di garantire le attuali esigenze qualitative dell'effluente
- Risanamento del primo bacino di biologia esistente.
- Risanamento del secondo bacino di biologia esistente.

L'edificio di servizio (locale elettrico / soffianti) sarà collocato, con configurazione analoga all'attuale, al di sopra delle vasche di trattamento, mentre si prevede la realizzazione dei bacini di pioggia / emergenza al di sopra dell'attuale decantazione primaria, che diventerebbe così un edificio a due piani.

L'eventuale fase di trattamento per la riduzione dei microinquinanti potrà essere collocata soltanto quale elevazione al di sopra del comparto biologico.

#### **4.7.3 Vantaggi e svantaggi**

Si elencano nel presente paragrafo vantaggi e svantaggi della soluzione a membrane.

##### *Vantaggi*

- Assenza di sbancamento del pendio, con conseguenti notevoli risparmi in termini tanto economici, quanto di tempi di realizzazione.
- Possibilità di utilizzare le vasche nell'attuale configurazione, a valle di un risanamento a livello di genio civile e di adattamenti ai fini dell'installazione delle nuove componenti elettromeccaniche.
- Effluente di ottima qualità senza la necessità di uno stadio di filtrazione finale.
- Adeguatezza alle esigenze di trattamento in fase transitoria.

##### *Svantaggi*

- Impossibilità di una riorganizzazione logistica dell'area.
- Limitatissima flessibilità in caso di ampliamenti futuri.
- Configurazione non del tutto ottimale per l'inserimento di una fase dedicata ai trattamenti per la rimozione dei microinquinanti organici.

#### **4.7.4 Conclusione**

La variante si mostra certamente competitiva, grazie alla possibilità di realizzazione senza sbancamento della montagna, e deve pertanto essere sottoposta valutazione multi-criteria.

## 5. Determinazione dei consumi energetici

Il presente capitolo contiene una stima dei consumi energetici delle soluzioni tecniche ritenute meritevoli di un approfondimento mediante valutazione multi-criteria (capitolo 7).

Si sono considerati – sulla base di informazioni di letteratura di settore (pubblicazione VSA “Energie in ARA”), dell’esperienza degli scriventi nella progettazione e gestione di IDA in cui sono attive le differenti tecnologie, nonché grazie ad indicazioni di fornitori contattati appositamente – le seguenti voci di consumo:

- Aerazione dei bacini di biologia, elemento preponderante nei consumi energetici di un impianto di depurazione, normalmente attorno al 50% del fabbisogno complessivo dello stesso.
- Pompaggi: sollevamento ad inizio trattamento biologico e pompaggio del fango di ricircolo (qualora presente).

La tabella seguente riassume i consumi energetici delle singole varianti.

| Parametro     | V2           | V4a          | V4b          | V5           | V7           |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Aerazione     | 1'600        | 1'900        | 2'100        | 1'300        | 1'800        |
| Pompaggi      | 400          | 100          | 200          | 100          | 900          |
| <b>Totale</b> | <b>2'000</b> | <b>2'000</b> | <b>2'300</b> | <b>1'400</b> | <b>2'700</b> |
| Scostamento   | 40%          | 41%          | 63%          | -            | 90%          |

Tabella 18      Stima dei consumi energetici. Valori in MWh/anno

Da una prima analisi generale, emerge come la variante 6 (biofiltrazione) risulti distintamente più favorevole rispetto alle varianti 2 (ibrido) e 4a (MBBR ad un piano), in seconda posizione a pari merito, prima della 4b (MBBR a due piani) e la 7 (MBR), caratterizzata da consumi pressoché doppi rispetto alla 5.

Approfondendo la valutazione, si può affermare quanto segue:

- Aerazione: la variante 5 emerge per i consumi particolarmente contenuti, richiedendo tutte le tecnologie a “letto fluido” (presenza di supporti mobili) un maggiore fabbisogno di aria e la soluzione MBR dell’aria supplementare al flusso di ossidazione al fine di poter effettuare alcuni interventi di pulizia delle membrane.
- Pompaggi: la variante 5 emerge anche in quest’ambito, a pari merito con la 4a, essendo entrambe sviluppate su un solo piano e non richiedendo quindi sollevamenti ulteriori. La variante 2 è particolarmente sfavorevole a causa della necessità di pompare al secondo piano non solo le acque, ma anche i fanghi di ricircolo, flusso che invece non caratterizza la tecnologia MBBR e pertanto la 4b. Particolarmente elevato risulta infine il fabbisogno delle membrane, trattandosi di un processo di ultrafiltrazione che richiede quindi una certa pressione del refluo.



## 6. Determinazione dei costi

Il presente capitolo si occupa di tracciare una stima dei costi di investimento e di gestione per ogni soluzione tecnologica ritenuta meritevole di approfondimento mediante valutazione multi-criteri (capitolo 7). Le indicazioni economiche sono state ottenute mediante contatti dedicati con differenti fornitori delle tecnologie ed elaborate sulla base dell'esperienza nel campo degli scriventi.

### 6.1 Costi di investimento

L'investimento necessario per la realizzazione di ogni variante è stato suddiviso nelle tre voci di costo di seguito elencate:

- Opere edili: interventi di preparazione ed ampliamento dell'area di impianto; risanamenti, adattamenti e nuova costruzione di vasche (incluse bacini di pioggia / emergenza)
- Componenti elettromeccaniche: diverse apparecchiature necessarie per l'implementazione delle differenti varianti tecnologiche
- Impianti elettrici ed automazione, al presente grado di approfondimento del progetto stimato quale 30% delle componenti elettromeccaniche.

In linea con la filosofia di intervento presentata nel capitolo 3, non sono stati al momento inclusi i costi per una fase aggiuntiva di eliminazione dei microinquinanti organici, né per il trattamento separato delle acque di risulta.

La tabella seguente riassume una stima degli investimenti necessari per l'implementazione delle differenti varianti.

| Parametro                         | V2           | V4a          | V4b          | V5           | V7           |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Opere edili                       | 9.70         | 9.10         | 9.40         | 9.50         | 3.80         |
| Sbancamento                       | 4.00         | 4.00         | 4.00         | 2.30         | 0.00         |
| Costruzioni / risanamenti         | 4.20         | 3.60         | 3.90         | 5.70         | 1.30         |
| Bacini di pioggia / emergenza     | 1.50         | 1.50         | 1.50         | 1.50         | 2.50         |
| Componenti elettromeccaniche      | 4.60         | 5.30         | 5.20         | 5.00         | 9.20         |
| Impianti elettrici ed automazione | 1.40         | 1.60         | 1.60         | 1.50         | 2.80         |
| <b>Totale</b>                     | <b>15.70</b> | <b>16.00</b> | <b>16.20</b> | <b>16.00</b> | <b>15.80</b> |

Tabella 19      Stima costi di investimento. Valori in milioni CHF

Da una prima analisi generale, è evidente come, a seguito della necessità di procedere allo sbancamento del pendio naturale, le opere edili siano preponderanti per tutte le varianti ad eccezione del trattamento a membrane (MBR), in cui le componenti elettromeccaniche hanno però un peso notevolmente superiore. Ne consegue, per ogni variante, un investimento del tutto paragonabile, con costi compresi attorno ai 16 milioni di CHF.

Approfondendo la valutazione, si può affermare quanto segue:

- Opere edili: le varianti 2, 4a e 4b, piuttosto simili nella loro configurazione, comportano interventi e quindi investimenti altrettanto paragonabili. Notevole (ca. il 50% dell'intero importo) è l'onere per lo sbancamento del pendio, dal momento che l'operazione deve essere effettuata su tutta la lunghezza tra l'edificio di servizio e la zona trattamento fanghi (digestori).

La variante 5, piuttosto onerosa da un punto di vista di nuove costruzioni, prevede uno sbancamento solo nella prima metà della citata lunghezza, con un certo contenimento dei relativi costi, grazie alla minore elevazione dell'attuale muro di contenimento che si può riscontrare in prossimità dell'edificio di servizio.

La variante 7, sfruttando essenzialmente i volumi già esistenti che dovranno comunque essere completamente risanati in considerazione della vetustà degli stessi e non prevedendo alcun ampliamento della zona di impianto in direzione della montagna, comporta investimenti di genio civile particolarmente contenuti.

La realizzazione delle vasche di pioggia ed emergenza risulta invece più onerosa per la variante 7, trovando le stesse poste al di sopra degli attuali bacini di decantazione primaria.

- Componenti elettromeccaniche: le varianti 2, 4a, 4b e 5, pur essendo radicalmente differenti l'una con l'altra, comportano costi di apparecchiature essenzialmente paragonabili allo stato attuale di accuratezza delle informazioni di natura economica.

La variante 7 risulta invece decisamente più onerosa, a causa dei costi delle membrane stesse, della necessità di prevedere un rafforzamento del pre-trattamento delle acque ed un impianto di filtrazione provvisorio durante il cantiere al fine di garantire le esigenze di trattamento in fase transitoria.

- Impianti elettrici ed automazione: valgono le medesime considerazioni di natura quantitativa espresse al precedente punto, essendo l'onere degli stessi legato agli importi relativi alle componenti elettromeccaniche.

## 6.2 Costi di gestione

I costi di gestione si riferiscono agli oneri di esercizio, comprendendo le voci di seguito elencate:

- Manutenzione, stimata allo 0.5% dell'investimento relativo alle opere edili ed al 2% dell'investimento relativo alle componenti elettromeccaniche
- Consumi energetici, costituiti, in maniera preponderante, dall'aerazione dei bacini di ossidazione e comprendenti pompaggi / sollevamenti
- Prodotti chimici aggiuntivi a quelli già in uso (precipitante per il fosforo, flocculante per trattamenti meccanici dei fanghi)
- Smaltimenti aggiuntivi rispetto agli attuali (fango, grigliate, sabbie).

Non sono stati considerati i costi del personale, dal momento che il grado di occupazione dello stesso non dovrebbe significativamente mutare da variante a variante.

La tabella seguente riassume una stima degli oneri gestionali di ogni variante.

| Parametro              | V2         | V4a        | V4b        | V5         | V7         |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Manutenzione           | 170        | 180        | 180        | 180        | 260        |
| Consumi energetici     | 340        | 340        | 400        | 240        | 460        |
| Prodotti chimici extra | -          | -          | -          | -          | 100        |
| Smaltimenti extra      | 40         | -          | -          | -          | -          |
| <b>Totale</b>          | <b>550</b> | <b>520</b> | <b>580</b> | <b>420</b> | <b>820</b> |

Tabella 20      *Stima costi di gestione. Valori in migliaia di CHF*

Da una prima analisi generale, è evidente come la variante 5 (biofiltrazione) presenti i minori costi gestionali, così come la variante 7 (MBR) sia invece la più onerosa; paragonabili sono invece le varianti 2 (ibrido), 4a (MBBR ad un piano) e 4b (MBBR a due piani).

Approfondendo la valutazione emerge quanto segue:

- Manutenzione: le varianti 2, 4a, 4b e 5 comportano costi del tutto paragonabili, a differenza delle 7, nettamente più onerosa a seguito della preponderanza delle componenti elettromeccaniche nei costi di investimento.
- Consumi energetici: la variante 5 risulta più favorevole, in linea con quanto riscontrato nell'ambito della stima dei consumi energetici (paragrafo 5).
- Prodotti chimici extra, consumi che riguardano unicamente la variante 7, che necessita di frequenti operazioni di lavaggio contro lo sporcamento delle membrane (biofouling).
- Smaltimenti extra, aspetto che interessa soltanto la variante 2, per sua natura caratterizzata da un incremento di fanghi pari al 10%.

### 6.3 Costi annui

Il presente paragrafo si occupa di stimare i costi annui, intesi quali somma di:

- Costi di capitale: investimento ammortizzato su 40 anni, per quanto riguarda le opere edili, e 15 anni, per quanto riguarda le componenti elettromeccaniche, ed assumendo un tasso di interesse del 4%.
- Costi di gestione, dettagliatamente descritti al precedente paragrafo 6.2.

La tabella seguente riassume i costi annui di ogni variante tecnologica.

| Parametro         | V2           | V4a          | V4b          | V5           | V7           |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Costi di capitale | 1'030        | 1'080        | 1'090        | 1'060        | 1'270        |
| Costi di gestione | 550          | 520          | 580          | 420          | 820          |
| <b>Totale</b>     | <b>1'580</b> | <b>1'600</b> | <b>1'670</b> | <b>1'480</b> | <b>2'090</b> |
| Scostamento       | 7%           | 8%           | 13%          | -            | 41%          |

Tabella 21      *Stima costi annui. Valori in migliaia di CHF*

In linea con gli approfondimenti dei precedenti paragrafi 6.2 e 6.3, la 5 (biofiltrazione) emerge quale variante ottimale grazie, in particolar modo, ai costi di gestione più contenuti rispetto alle altre soluzioni.

A livello di costi di capitale, invece, il distacco risulta meno marcato con una situazione che si può definire paritetica tra tutte le varianti, ad eccezione della 7 (MBR), zavorrata dall'elevata presenza di componenti elettromeccaniche il cui tempo di ammortamento è inferiore a quello delle opere edili.

Complessivamente i distacchi rispetto alle varianti 2, 4a e 4b sono piuttosto contenuti (< 20%); differente è la situazione con la 7, i cui costi risultano superiori di circa il 50%.

## 7. Valutazione comparativa multi-criteria

Il presente capitolo si occupa di sottoporre le varianti tecnologiche, non escluse secondo un criterio “killer”, ad una valutazione multi-criteria, con lo scopo di individuare la soluzione più efficiente secondo la metodologia e la combinazione di criteri e pesi descritta nei seguenti paragrafi.

Oggetto di valutazione sono le seguenti varianti:

- Variante 2: ibrido
- Variante 4a: MBBR ad un piano
- Variante 4b: MBBR a due piani
- Variante 5: biofiltrazione
- Variante 7: MBR.

### 7.1 Metodologia di lavoro

Le differenti soluzioni sono state sottoposte ad una valutazione basata su sei criteri dettagliatamente illustrati nel successivo paragrafo 7.2; ogni variante ha ottenuto, per ciascun di essi, un punteggio compreso tra 0 e 5, rispettivamente minimo e massimo. Il risultato finale è stato calcolato attraverso la media dei punteggi attribuiti per ciascun criterio, ponderata secondo fattori scelti in considerazione del contesto specifico del progetto e sulla base dell'esperienza maturata dagli scriventi.

La valutazione è stata effettuata con l'ausilio di una matrice, riportata nel paragrafo 7.3.

### 7.2 Criteri e pesi

In linea con l'esperienza degli scriventi nel campo, si è deciso di impiegare i criteri, a cui applicare i pesi, di seguito descritti:

- Costi annui (peso: 40%). Si tratta della somma dei costi di investimento – con ammortamento su 40 anni per le opere civili e su 15 anni per le componenti elettromeccaniche, impianti elettrici ed automazione – e dei costi gestionali.

La variante a costo minore è stata valutata con 5; i punteggi delle rimanenti varianti sono stati calcolati linearmente, sulla base dello scostamento percentuale dalla migliore (sottrazione di un punto ogni 15%).

- Consumi energetici (peso: 20%), criterio di notevole importanza e crescente interesse, in considerazione della sempre maggiore attualità del tema energia.

La variante a costo minore è stata valutata con 5; per la determinazione dei punteggi delle altre si è proceduto con la medesima metodologia adottata per i costi annui.

- Facilità di gestione (peso: 15%), somma di due sottocriteri:
  - Sicurezza di esercizio: affidabilità e stabilità della tecnologia
  - Complessità di manutenzione, in cui sono tenuti in considerazione la frequenza degli interventi di manutenzione, il loro grado di automazione e l'impegno che il personale d'impianto deve riservarci.
- Flessibilità nel tempo (peso: 10%), criterio che considera la facilità di ampliamento dell'IDA in futuro (riserva di spazio), nel caso di mutamento delle condizioni al contorno, siano i carichi in ingresso o le esigenze di trattamento richieste dall'OPAc.
- Ridondanza (peso: 10%), espressione indiretta del grado di sicurezza di protezione dell'ambiente garantito dalla tecnologia.
- Complessità di cantiere (peso: 5%), somma di due sottocriteri:
  - Tempistiche di costruzione: durata del cantiere e delle fasi transitorie in cui il rispetto dei limiti di legge risulta più laborioso
  - Necessità di provvisori per il rispetto delle esigenze imposte durante la fase di cantiere.

La seguente tabella riassume i criteri, ed i pesi ad essi assegnati, adottati per la valutazione multi-criteri delle varianti tecnologiche.

| Parametro                           | Peso |
|-------------------------------------|------|
| Costi annui (investimento+gestione) | 40%  |
| Consumi energetici                  | 20%  |
| Facilità di gestione                | 15%  |
| Flessibilità nel tempo              | 10%  |
| Ridondanza                          | 10%  |
| Complessità di cantiere             | 5%   |

Tabella 22      Criteri di valutazione e pesi applicati

### 7.3 Matrice di valutazione

Si riporta la matrice impiegata ai fini della valutazione multi-criteria delle differenti varianti tecnologiche.

| Criterio                 | V2   | V4a  | V4b  | V5   | V7   |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| Costi annui              | 4.55 | 4.46 | 4.14 | 5.00 | 2.25 |
| Consumi energetici       | 2.36 | 2.30 | 0.81 | 5.00 | 0.00 |
| Facilità di gestione     | 4.50 | 3.00 | 5.00 | 4.00 | 3.25 |
| Sicurezza esercizio      | 4.00 | 2.00 | 5.00 | 5.00 | 4.50 |
| Complessità manutenzione | 5.00 | 4.00 | 5.00 | 3.00 | 2.00 |
| Flessibilità nel tempo   | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 5.00 | 2.00 |
| Ridondanza               | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 2.00 |
| Complessità di cantiere  | 2.50 | 3.00 | 2.50 | 3.00 | 4.50 |
| Tempistiche              | 2.00 | 3.00 | 2.00 | 1.00 | 5.00 |
| Provvisori               | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 5.00 | 4.00 |
| Totale                   | 3.59 | 3.34 | 3.19 | 4.75 | 2.01 |
| Posizione                | 2    | 3    | 4    | 1    | 5    |
| Distacco dalla prima     | -24% | -30% | -33% | -    | -58% |

Tabella 23 Matrice di valutazione

Si può notare come la variante 5 (biofiltrazione) sia risultata superiore, infliggendo alle altre un distacco ragionevolmente maggiore al grado di precisione della presente fase di progetto. In analogia, la variante 7 (MBR) è risultata, piuttosto marcatamente, la meno vantaggiosa.

Le varianti 2 (ibrido), 4a (MBBR ad un piano) e 4b (MBBR a due piani) sono risultate invece piuttosto “vicine” e possono essere quindi considerate tutte al medesimo livello.

In considerazione di ciò, la graduatoria a seguito della valutazione multi-criteria può essere riassunta nel seguente modo:

- Prima posizione: variante 5 (biofiltrazione)
- Seconda posizione: varianti 2 (ibrido), 4a (MBBR ad un piano) e 4b (MBBR a due piano)
- Ultima posizione: variante 7 (MBR).

Il grafico seguente fornisce un'indicazione visiva dei punteggi ottenuti dalle varianti.

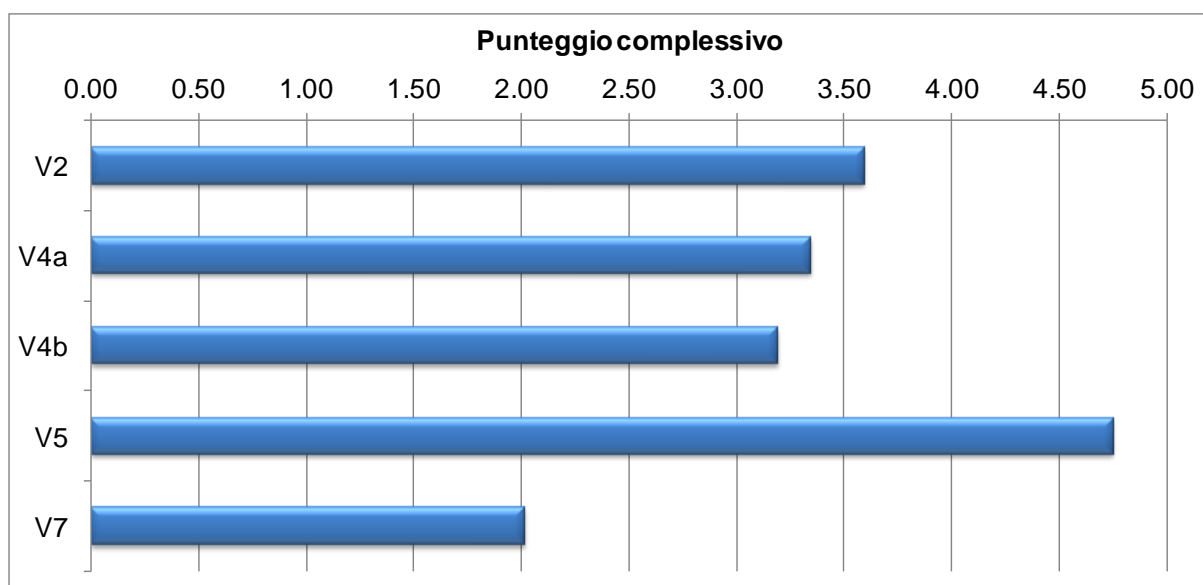


Figura 8 *Rappresentazione grafica risultati valutazione multi-criteria*

Di seguito si riporta un'analisi dei risultati ottenuti, criterio per criterio:

- Costi annui: in linea con le osservazioni di cui al paragrafo 6.3, la variante 5 (biofiltrazione) risulta la più vantaggiosa, infliggendo un distacco piuttosto contenuto alle altre, eccezion fatta per la soluzione MBR.
- Consumi energetici: in linea con le osservazioni di cui al capitolo 5, la variante 5 (biofiltrazione) è nettamente la più vantaggiosa.
- Facilità di gestione: la variante 4b (MBBR a due piani) emerge, garantendo le migliori sicurezza di esercizio (tecnologia testata positivamente presso numerosi impianti) e semplicità di manutenzione.

Particolarmente critiche risultano, invece, per quanto riguarda la sicurezza di esercizio, la variante 4a (MBBR ad un piano), penalizzata dalla chiarificazione finale a pacchi lamellari – tecnologia per la quale in Svizzera non esiste alcuna referenza – e, per quanto riguarda la complessità di manutenzione, la variante 7 (MBR), a causa della necessità di frequenti lavaggi chimici.

- Flessibilità del tempo: la variante 5 (biofiltrazione) risulta chiaramente migliore, grazie ai limitati fabbisogni di volumetrie di trattamento, che conferiscono alla soluzione una notevole riserva di spazio per ampliamenti futuri.

Le varianti 2 (ibrido), 4a (MBBR ad un piano) e 4b (MBBR a due piani), piuttosto simili a livello di ingombri, hanno limitata riserva di spazio (eventuale edificazione al di sopra delle vasche di pioggia / emergenza).

La variante 7 (MBR), infine, non modificando l'area di impianto, garantisce la minore flessibilità nel tempo, malgrado i volumi individuati concedano comunque alcune riserve.

- Ridondanza: la variante 5 (biofiltrazione) è l'unica che garantirebbe un numero di linee di trattamento maggiore di due. Secondo le prime indicazioni dei fornitori, si dovrebbe poter



lavorare con 6 serie di celle in parallelo, conferendo così alla soluzione una ridondanza più che adeguata.

- Complessità di cantiere: la variante 7 (MBR) è decisamente migliore delle altre, non contemplando la necessità di ampliare la superficie di impianto mediante sbancamento, malgrado la fase di cantiere preveda l'installazione di provvisori più complessi rispetto a quanto prevedibile per le altre soluzioni tecnologiche.

Le varianti 2 (ibrido), 4a (MBBR ad un piano) e 4b (MBBR a due piani), presentando un layout piuttosto simile l'una con l'altra, sono tra loro paragonabili, mentre la variante 5 si distingue per quasi totale assenza di soluzioni provvisorie, ma risulta piuttosto penalizzata per quanto riguarda l'esecuzione delle opere civili, complesse e rilevanti.

#### 7.4 Analisi di sensitività

Si è impostata un'analisi di sensitività che valutasse i mutamenti dei punteggi della valutazione multi-criteri al variare dei pesi assegnati ai differenti criteri; tale strumento costituisce un'indicazione dell'affidabilità del risultato.

Si è proceduto dimezzando il peso di un solo criterio alla volta, ottenendo così sei indicazioni, ognuna delle quale caratterizzata da un peso al 50% per un criterio e tutti gli altri riscalati secondo i rapporti originari.

La figura seguente riporta un'indicazione grafica dell'analisi.

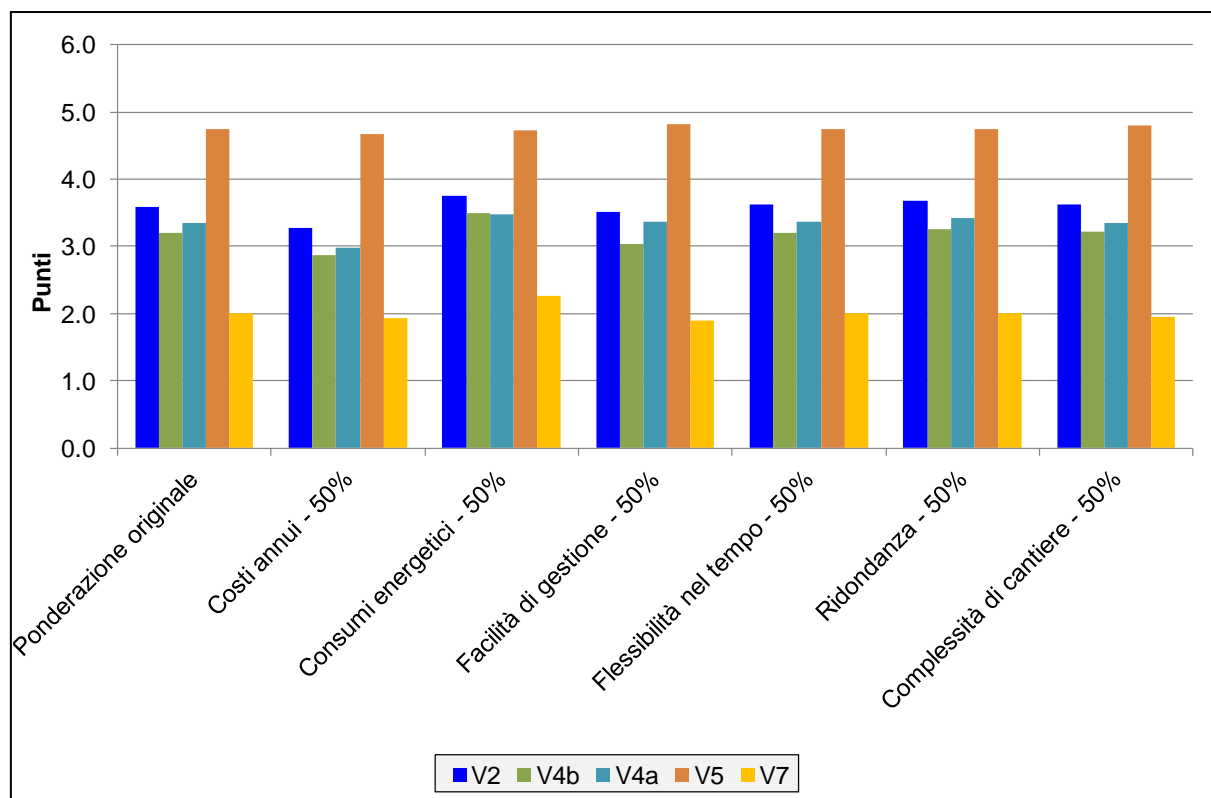


Figura 9 Rappresentazione grafica analisi di sensitività

È evidente come la variante 5 (biofiltrazione) sia marcatamente superiore alle altre anche al variare della ponderazione. Tale aspetto, in linea con il chiaro scostamento della soluzione migliore rispetto a tutte le altre visibile con la ponderazione originale, è ragionevole garanzia di affidabilità dei risultati della valutazione multi-criteria, nonostante il grado di incertezza che caratterizza una fase così arretrata di pianificazione quale è la presente.

## 8. Conclusioni

Il presente studio di fattibilità costituisce un importante punto di partenza per l'ulteriore fase di ottimizzazione ed ampliamento delle infrastrutture CDACD, che si colloca quale coronamento di una serie di interventi incominciati nei primi anni 2000.

È stato infatti incentrato sulla definizione e valutazione di tutte le possibili varianti tecnologiche potenzialmente applicabili presso l'IDA di Chiasso, individuando la soluzione che, secondo una combinazione di criteri, apparisse ottimale e potesse quindi essere sviluppata con maggiore dettaglio nell'ambito della progettazione di massima.

La particolare situazione dell'area di impianto, caratterizzata da un penuria di spazio, ha comportato una certa complessità nell'elaborazione delle disposizioni planimetriche delle varianti, inducendo ad ampliare la superficie disponibile, in modo da poter alloggiare i volumi di trattamento necessari – decisamente superiori agli attuali – e poter comunque rispettare le esigenze di trattamento richieste anche in fase transitoria, provvedendo contestualmente ad una ri-organizzazione ed ottimizzazione della logistica.

La tecnologia della biofiltrazione – che comporta il passaggio dei reflui in differenti e consecutivi stadi caratterizzati dalla presenza di supporti fissi per la crescita di microorganismi dedicati ed una filtrazione finale – si è rivelata la migliore soluzione, grazie, in particolar modo, alla compattezza ed ai costi gestionali piuttosto contenuti. Positivamente hanno influito pure sicurezza di esercizio ed affidabilità, come testimoniato dalla buona e sempre crescente diffusione di tale scelta tecnica.

La soluzione prevede pure la realizzazione di due vasche di pioggia / emergenza, concepite al fine di mitigare i rischi in caso di inquinamento grave; l'analisi di rischio secondo OPIR, in fase di elaborazione da parte di specialisti del campo, fornirà indicazioni più precise a riguardo che saranno riprese nell'ambito della futura fase di progettazione di massima, in cui sarà approfondita pure la necessità di un trattamento separato per i surnatanti (acque di risulta), provenienti dalla linea fanghi.

Si è infine tenuta in considerazione la probabile modifica dell'Ordinanza sulla protezione delle acque (OPAc) in direzione dell'introduzione di un trattamento volto alla riduzione dei microinquinanti organici, per cui sono stati stimati preliminarmente gli ingombri e considerati nell'elaborazione delle proposte di disposizione. Non sono invece stati valutati i costi di investimento e gestione, che saranno affrontati in un relativo studio – come da incarico – non appena il quadro legislativo avrà assunto maggiore chiarezza.

Gli investimenti complessivi si collocano attorno ai 16 milioni di franchi, dei quali una rilevante frazione (circa 25%) sono connessi alle opere di ampliamento della superficie di impianto.

**Indice tabelle**

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabella 1  | Dati assunti per il dimensionamento delle opere di “fase 3”.   | 6  |
| Tabella 2  | Portate in ingresso all’IDA.   | 6  |
| Tabella 3  | Carichi in ingresso all’IDA e alla biologia  | 7  |
| Tabella 4  | Esigenze di scarico generali secondo l’OPAc (allegato 3.1, cifre 2 e 3). * in caso accettazione revisione OPAc (microinquinanti) | 8  |
| Tabella 5  | Riepilogo dati di dimensionamento bacini ossidazione FA  | 14 |
| Tabella 6  | Riepilogo dati di dimensionamento bacini di chiarificazione FA   | 14 |
| Tabella 7  | Riepilogo dati di dimensionamento bacini di aerazione (rimozione COD )– processo ibrido  | 17 |
| Tabella 8  | Riepilogo dati di dimensionamento MBBR processo ibrido   | 17 |
| Tabella 9  | Riepilogo dati di dimensionamento bacini di chiarificazione processo ibrido  | 18 |
| Tabella 10 | Riepilogo dati di dimensionamento bacini di aerazione/chiarificazione – alto carico  | 21 |
| Tabella 11 | Riepilogo dati di dimensionamento bacini di aerazione/chiarificazione – basso carico   | 21 |
| Tabella 12 | Riepilogo dati di dimensionamento MBBR   | 24 |
| Tabella 13 | Riepilogo dati di dimensionamento bacini chiarificazione – variante 4a   | 25 |
| Tabella 14 | Riepilogo dati di dimensionamento bacini chiarificazione – variante 4b   | 25 |
| Tabella 15 | Riepilogo dati di dimensionamento biofiltrazione   | 28 |
| Tabella 16 | Riepilogo dati di dimensionamento SBR  | 32 |
| Tabella 17 | Riepilogo dati di dimensionamento MBR  | 35 |
| Tabella 18 | Stima dei consumi energetici. Valori in MWh/anno   | 38 |
| Tabella 19 | Stima costi di investimento. Valori in milioni CHF   | 39 |
| Tabella 20 | Stima costi di gestione. Valori in migliaia di CHF   | 41 |
| Tabella 21 | Stima costi annui. Valori in migliaia di CHF   | 42 |
| Tabella 22 | Criteri di valutazione e pesi applicati  | 44 |
| Tabella 23 | Matrice di valutazione   | 45 |

## Indice figure

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Figura 1 | Schema processo a fanghi attivi                               | 13 |
| Figura 2 | Schema processo ibrido (FA+MBBR)                              | 16 |
| Figura 3 | Schema processo bistadio                                      | 20 |
| Figura 4 | Schema processo MBBR  | 24 |
| Figura 5 | Schema biofiltrazione   | 27 |
| Figura 6 | Schema processo SBR   | 31 |
| Figura 7 | Schema processo MBR   | 35 |
| Figura 8 | Rappresentazione grafica risultati valutazione multi-criteria | 46 |
| Figura 9 | Rappresentazione grafica analisi di sensitività               | 47 |

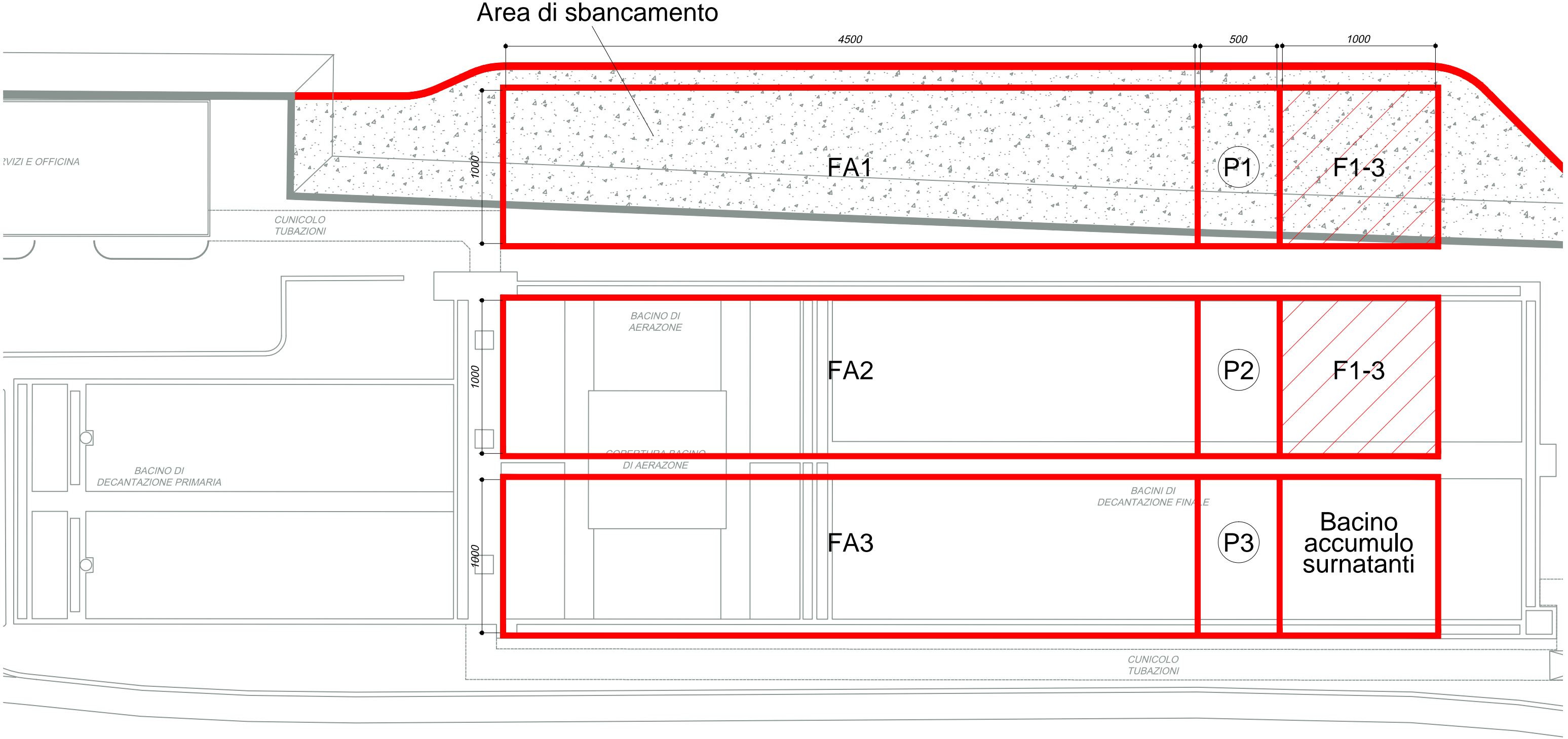
## **ALLEGATO 1**

Disposizione planimetrica variante 1: fanghi attivi

- Livello inferiore
- Livello superiore

# Disposizione planimetrica variante 1 - Fanghi attivi

LIVELLO INFERIORE

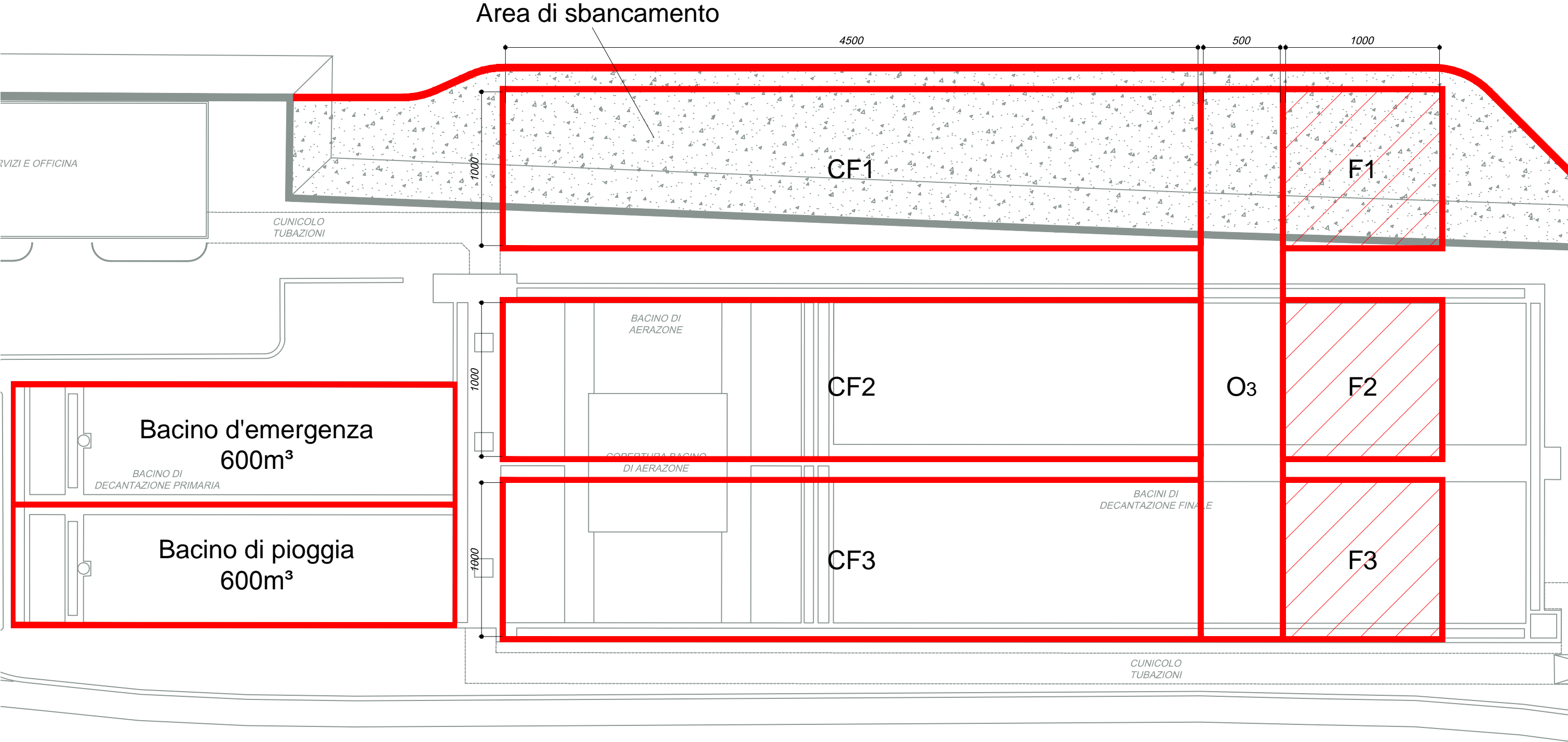


## LEGENDA

- FA = Fanghi Attivi
- P = Pompaggio
- F = Filtrazione

# Disposizione planimetrica variante 1 - Fanghi attivi

LIVELLO SUPERIORE



## LEGENDA

- CF = Chiarificazione Finale
- O<sub>3</sub> = Ozonizzazione
- F = Filtrazione



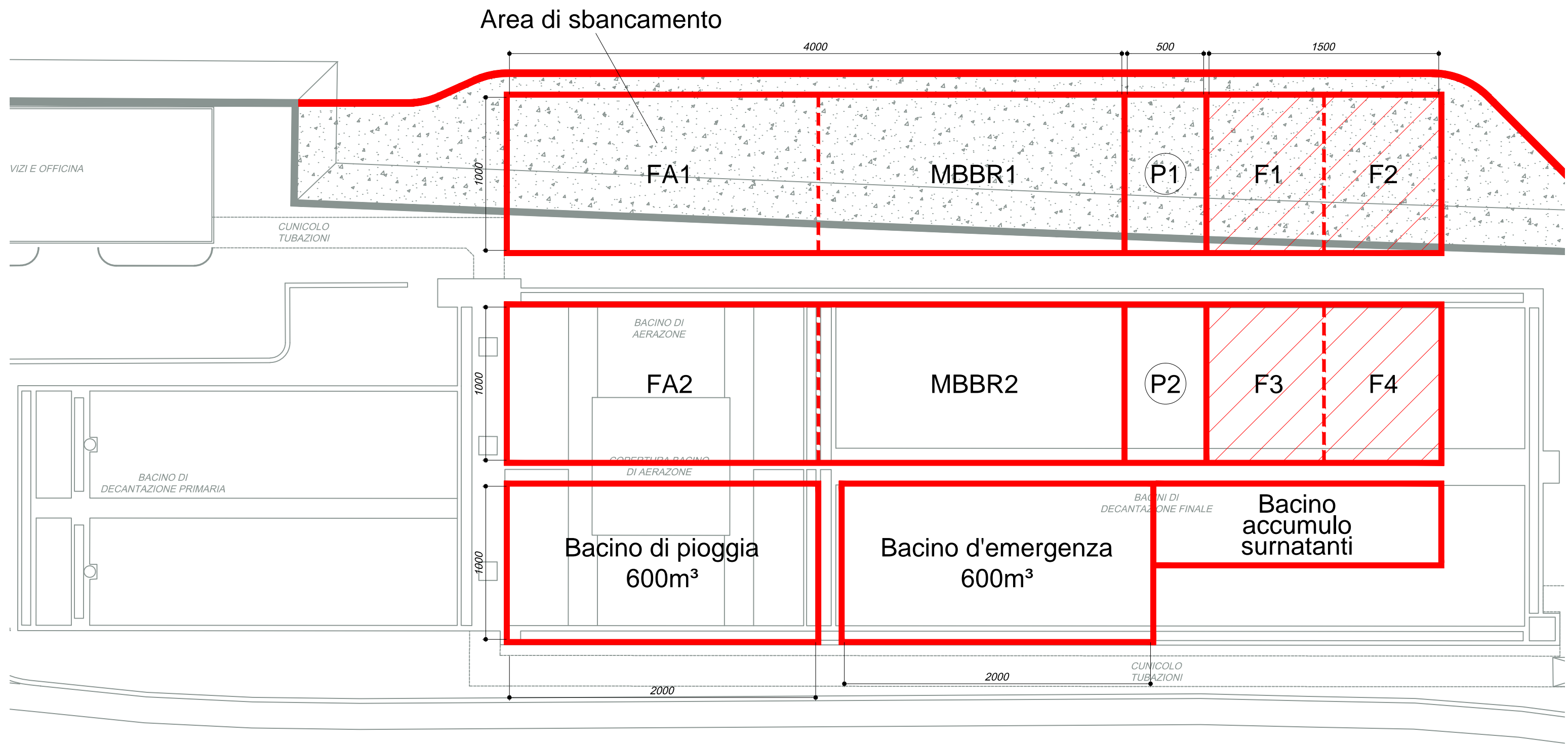
## **ALLEGATO 2**

Disposizione planimetrica variante 2: ibrido

- Livello inferiore
- Livello superiore

# Disposizione planimetrica variante 2 - Ibrido

LIVELLO INFERIORE

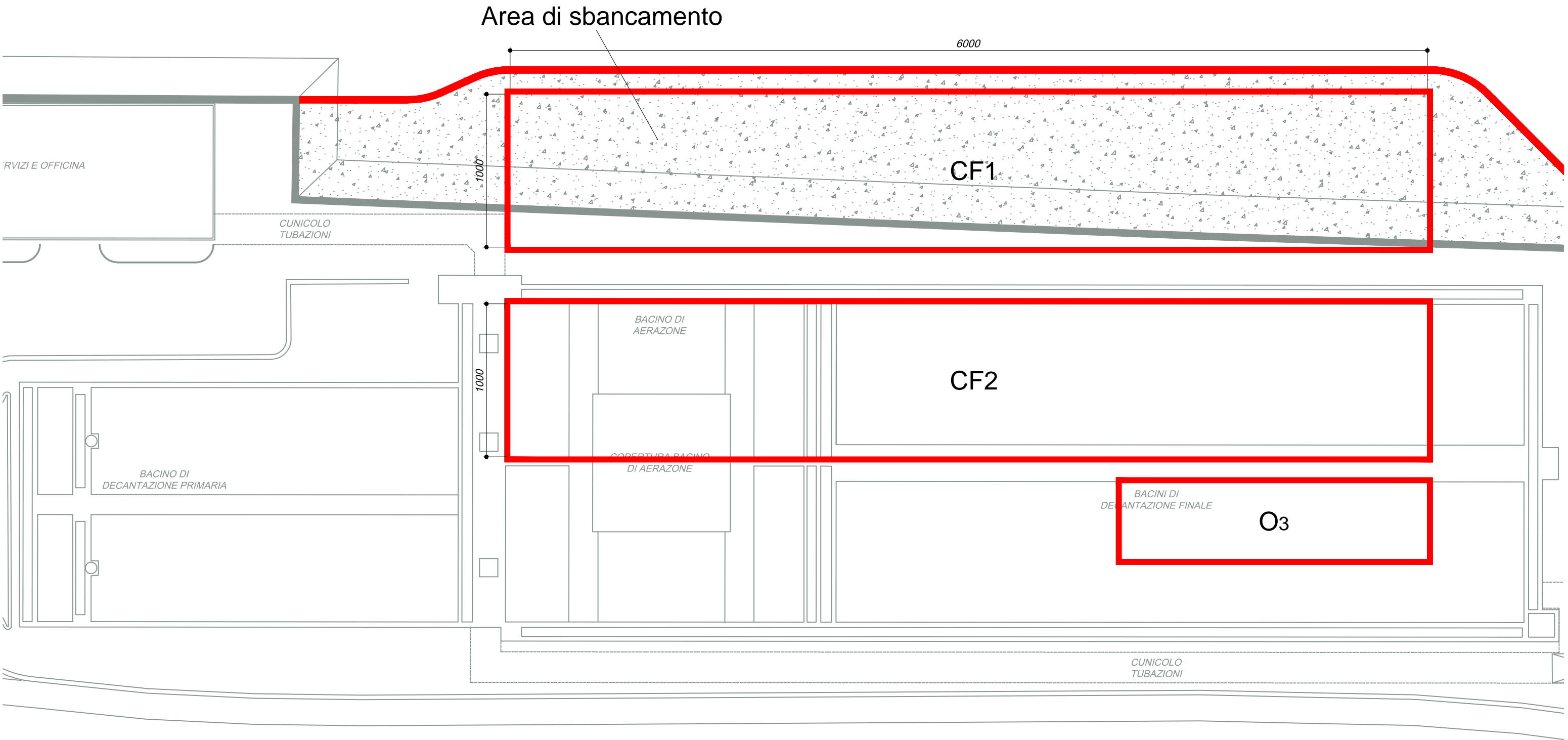


## LEGENDA

- FA = Fanghi Attivi
- MBBR = Mobile Bed BioReactor
- P = Pompaggio
- F = Filtrazione

# Disposizione planimetrica variante 2 - Ibrido

LIVELLO SUPERIORE



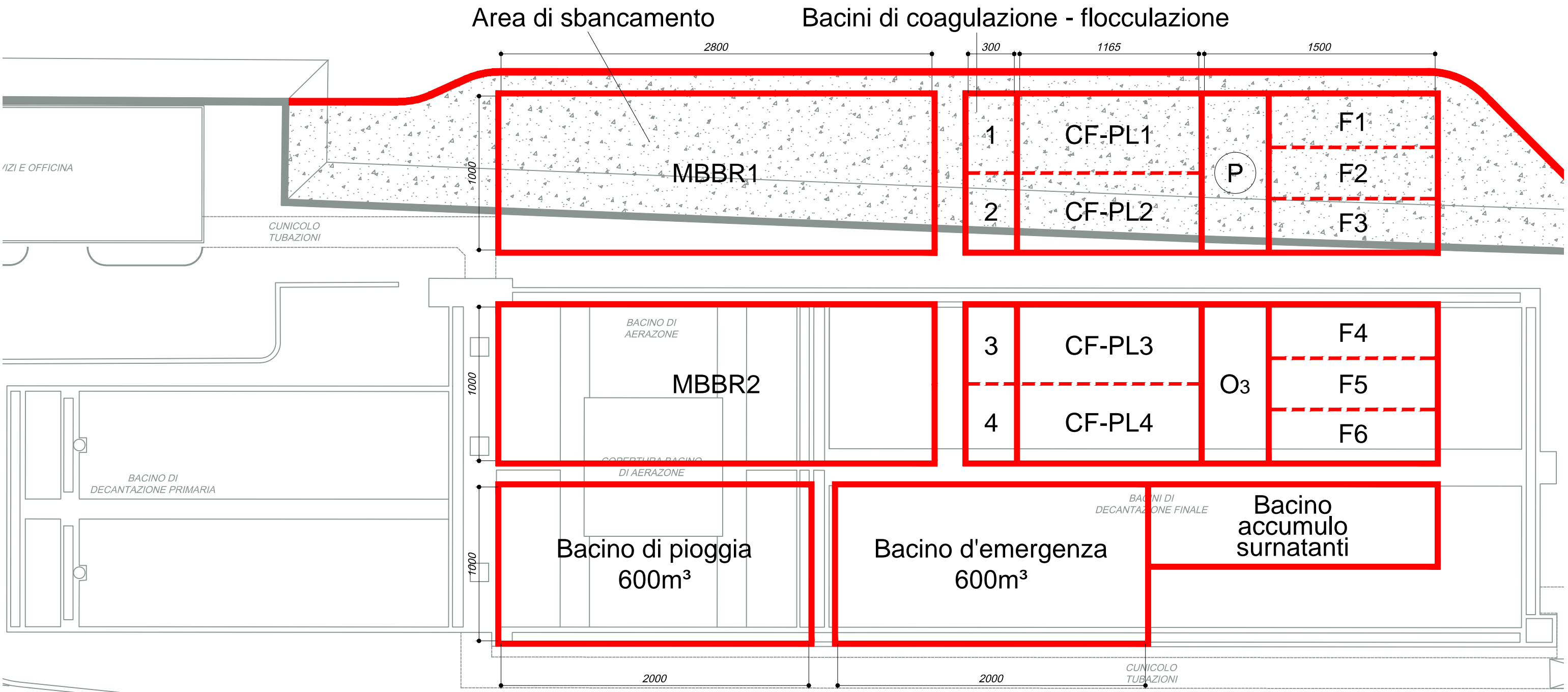
## LEGENDA

CF = Chiarificazione Finale  
O3 = Ozonizzazione

## **ALLEGATO 3**

Disposizione planimetrica variante 4a: MBBR ad un piano

# Disposizione planimetrica variante 4a - MBBR ad un piano



## LEGENDA

- MBBR = Mobile Bed BioReactor
- CF-PL = Chiarificazione Finale a pacchi lamellari
- P = Pompaggio
- O<sub>3</sub> = Ozonizzazione
- F = Filtrazione

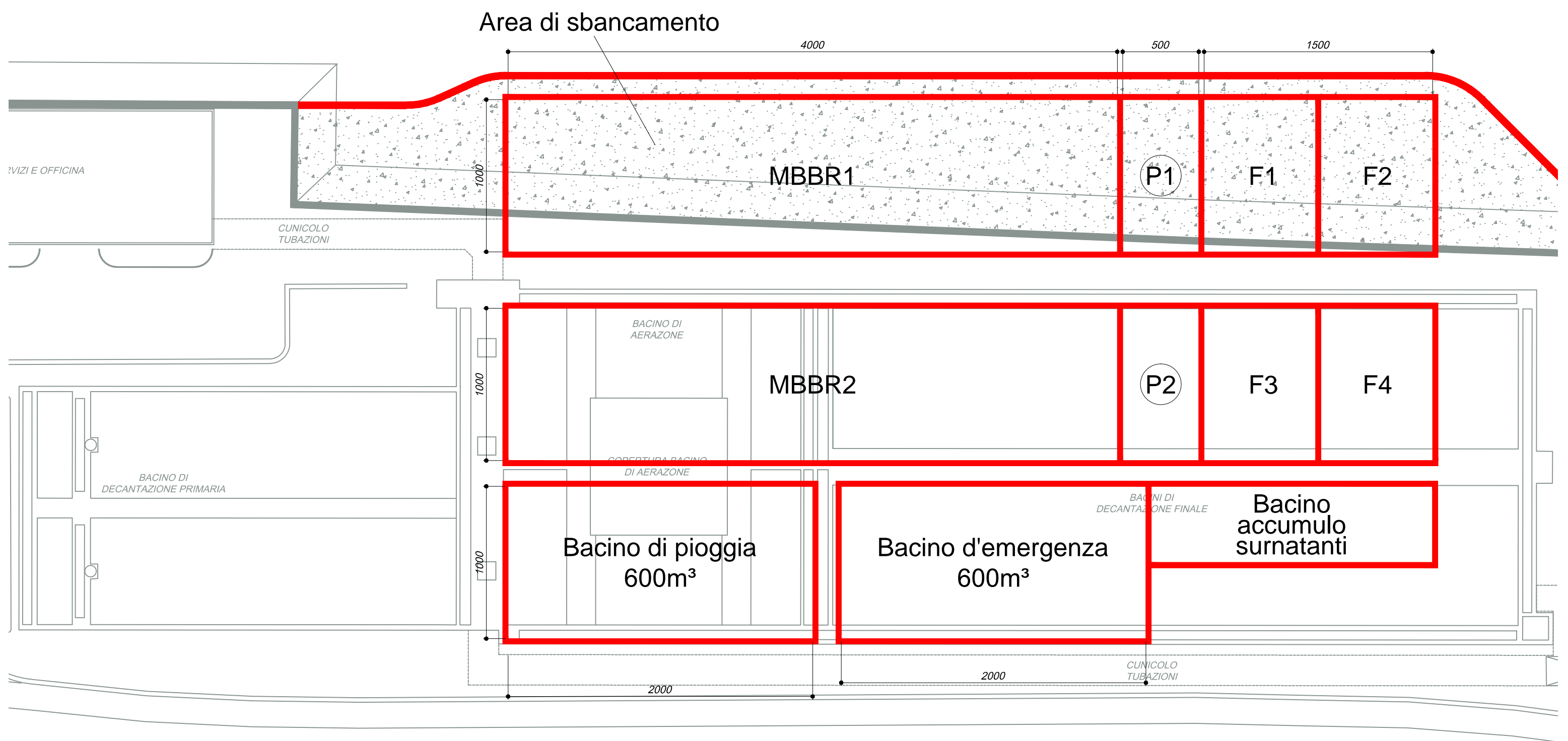
## **ALLEGATO 4**

Disposizione planimetrica variante 4b: MBBR a due piani

- Livello inferiore
- Livello superiore

Disposizione planimetrica variante 4b - MBBR a due piani

LIVELLO INFERIORE

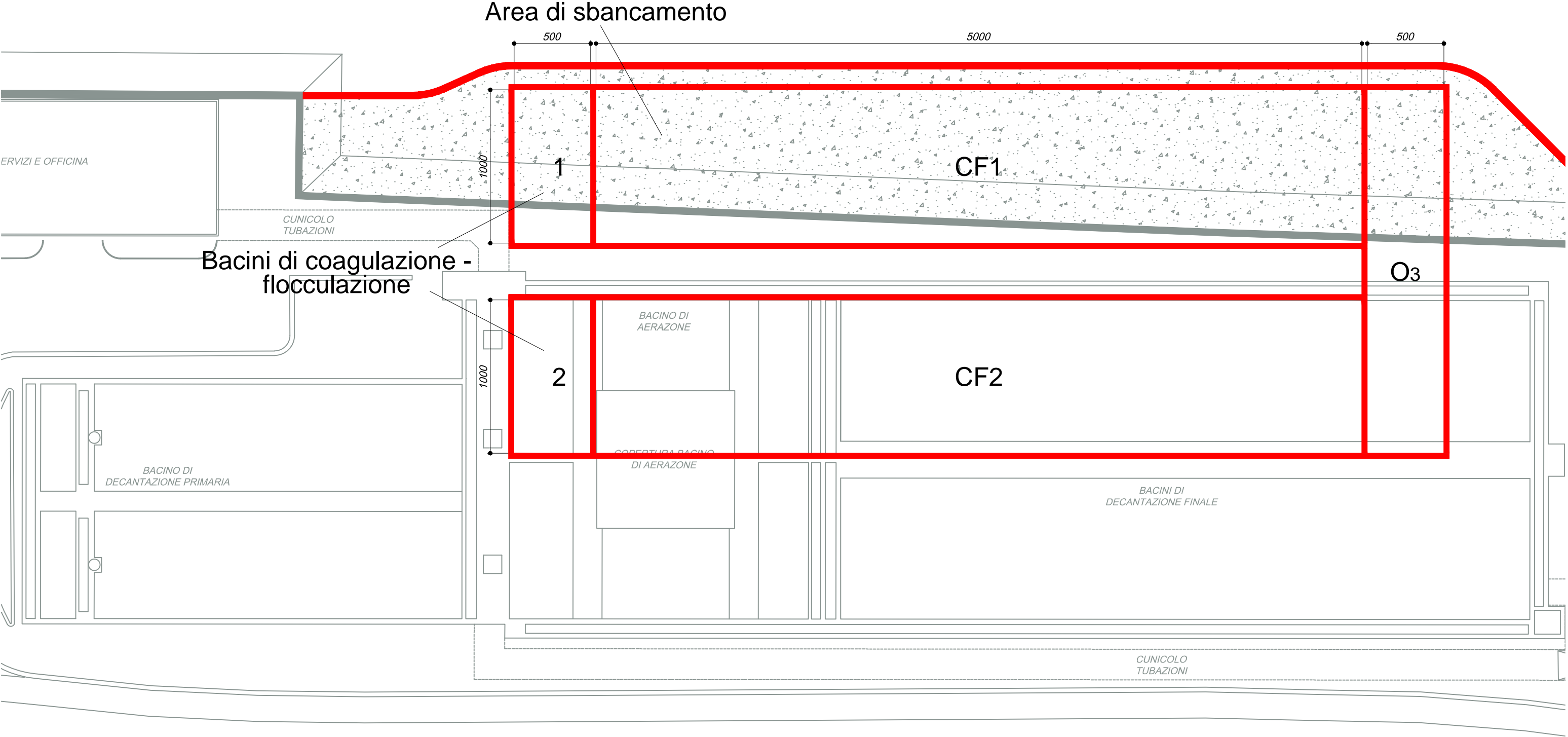


LEGENDA

- MBBR = Mobile Bed BioReactor
- P = Pompaggio
- F = Filtrazione

# Disposizione planimetrica variante 4b - MBBR a due piani

LIVELLO SUPERIORE



## LEGENDA

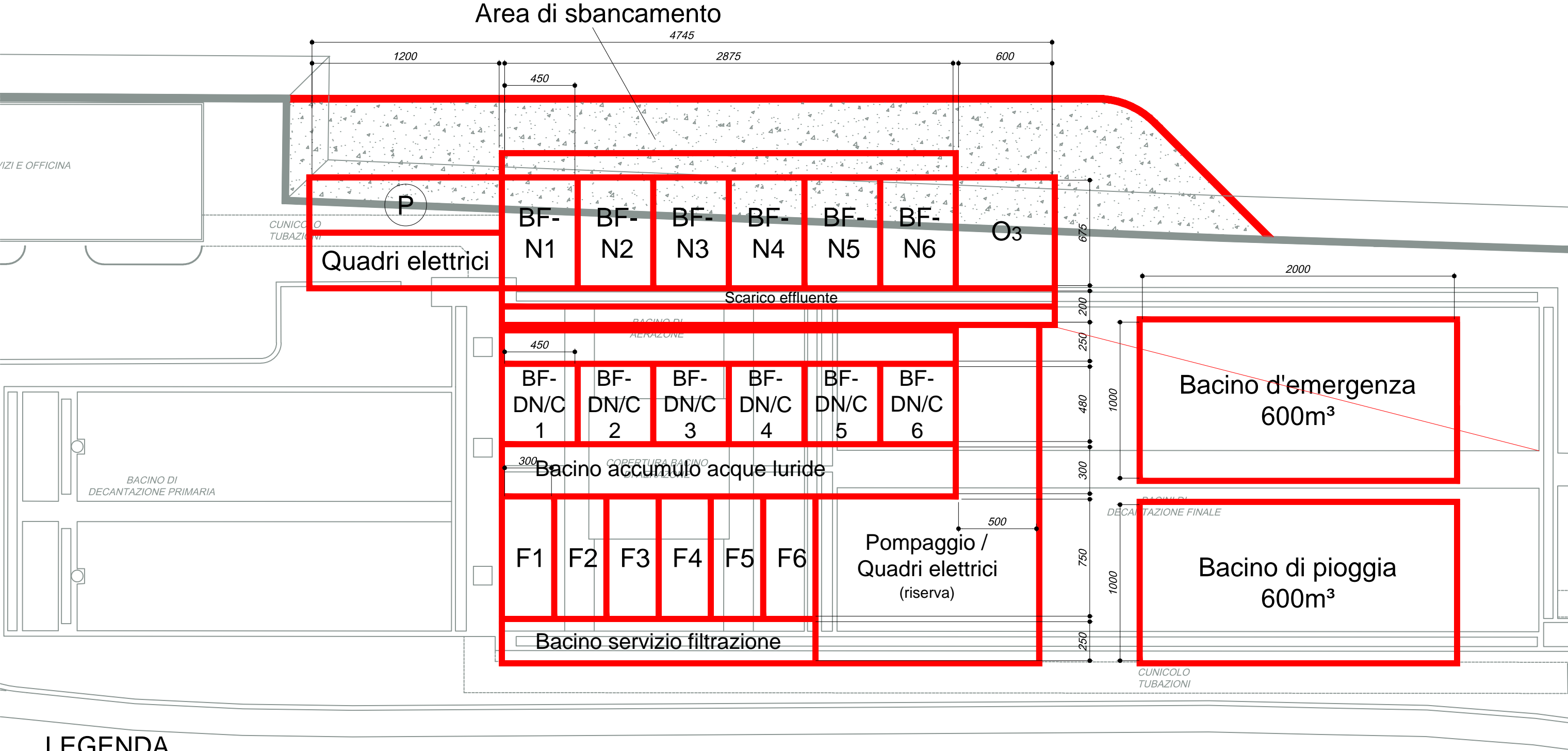
CF = Chiarificazione Finale  
O<sub>3</sub> = Ozonizzazione



## **ALLEGATO 5**

Disposizione planimetrica variante 5: biofiltrazione

# Disposizione planimetrica variante 5 - Biofiltrazione



## LEGENDA

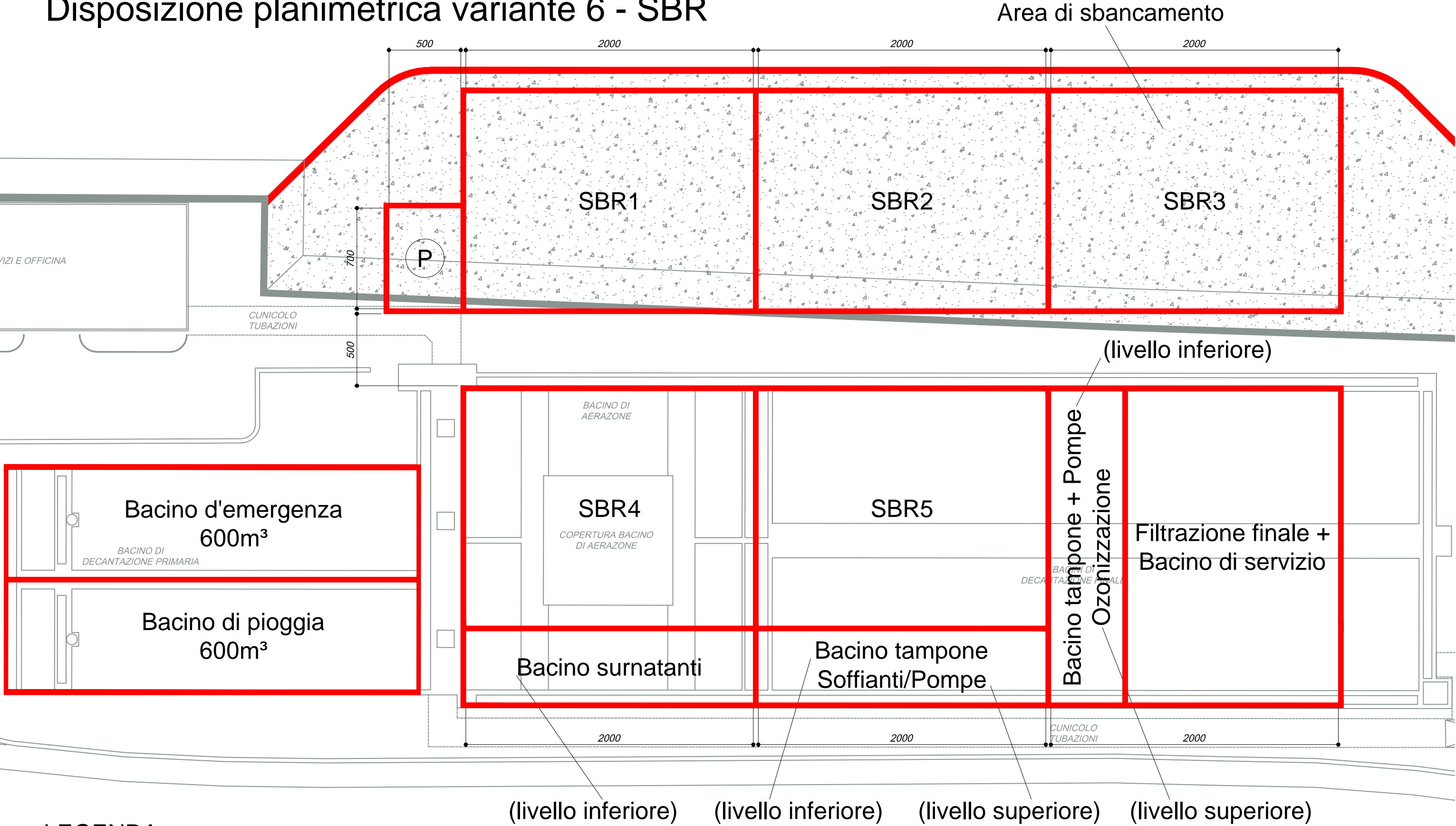
- BF-N = Biofiltro Nitrificazione
- BF-DN/C = Biofiltro rimozione carbonio
- P = Pompaggio
- O<sub>3</sub> = Ozonizzazione
- F = Filtrazione

## **ALLEGATO 6**

Disposizione planimetrica variante 6: SBR

- Livello inferiore
- Livello superiore

# Disposizione planimetrica variante 6 - SBR



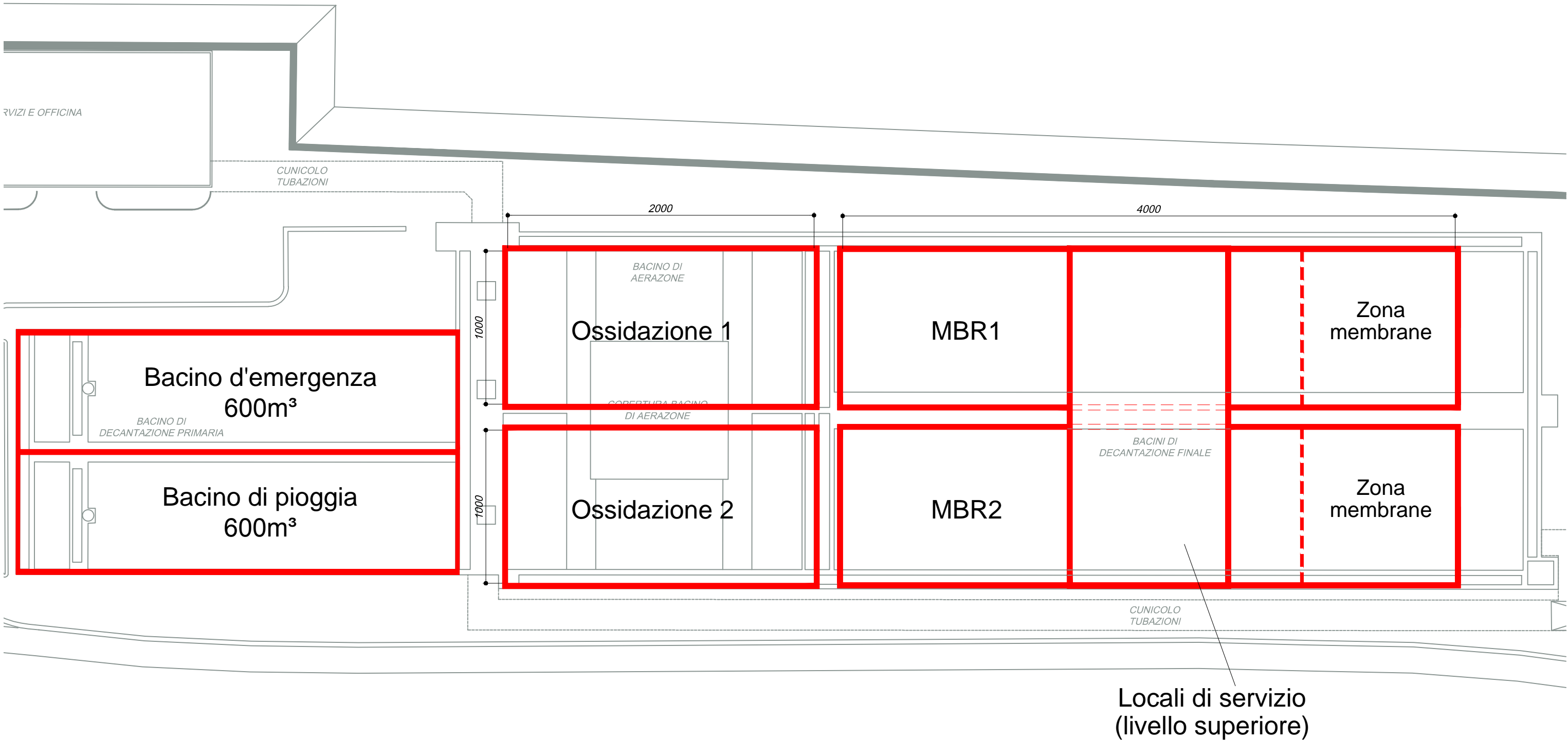
## LEGENDA

SBR = Sequencing batch reactor  
P = Pompaggio

## **ALLEGATO 7**

Disposizione planimetrica variante 7: MBR

# Disposizione planimetrica variante 7 - MBR



## LEGENDA

MBR = Membrane BioReactor