

POLITECNICO DI MILANO

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, e  
Rilevamento



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

**DEPURAZIONE DEI REFLUI DA  
IMPIANTO TRATTAMENTO RIFIUTI  
DI BERGAMO**

Relatore: Prof. Roberto Canziani

Correlatore: Prof. Mario Grosso

Tesi di laurea di:  
Filippo Bonassoli  
Matr. 823300

Anno accademico 2014/2015



# Ringraziamenti

Con questa Tesi termina il mio bel percorso al Politecnico di Milano, che in questi cinque anni e mezzo mi ha formato come studente, come uomo, ed oggi, come Ingegnere.

La mia storia al Politecnico si conclude come desideravo, con un tirocinio di un anno presso l'Area Impianti di A2A Ambiente di Bergamo, per portare avanti un progetto che potesse riguardare tutte le tematiche trattate nel corso della mia specializzazione.

Ringrazio A2A Ambiente che nelle figure dell'Ing. Angeloni e dell'Ing. Bonacina, mi ha permesso di intraprendere questo tirocinio, ma soprattutto ringrazio la mia tutor, Ing. Vanoncini per la pazienza, la disponibilità, e i suoi suggerimenti.

Ringrazio l'Ing. Gamba per il supporto tecnico.

Ringrazio tutte le persone conosciute all'interno dell'Area Impianti, che mi hanno dedicato anche solo due minuti del loro tempo, che mi hanno apprezzato ed aiutato.

Ringrazio il Professor Roberto Canziani per i suoi preziosi consigli, pratici e teorici, che mi hanno insegnato a ragionare "da Ingegnere".

Ringrazio infine il Professor Mario Grosso che per primo mi ha incoraggiato ad intraprendere quest'esperienza formativa.

Ringrazio tutti i miei compagni di corso con i quali ho condiviso quest'avventura al Poli.

Ringrazio Ilaria, mia Sorella, che sempre mi sta vicino.

Ringrazio i miei parenti, che sempre fanno il tifo per me.

Ringrazio le mie due super Nonne, che più di tutti mi hanno sempre coccolato e ringrazio chi non c'è più, ma so che mi sta vicino e veglia su di me ogni giorno.

Ringrazio tutta la Famiglia Belingheri, per come avete imparato a conoscermi, per come mi fate sentire a casa.

Ringrazio tutti i miei amici, che non basterebbe una pagina per poterli elencare tutti.

Ringrazio tutti i miei colleghi arbitri, i miei compagni di allenamento, con i quali condivido una grande passione.

Ringrazio Martina, la mia bella gioia, che sempre mi sostiene e mi dà coraggio, e che passo dopo passo mi cammina vicino, Lei che mi permette di dare valore a tutto ciò che sto facendo.

Oggi sono qui solo grazie ai miei Genitori, Cristina e BC, è bello pensare che quasi 20 anni fa mi avete accompagnato al mio primo giorno di scuola, e oggi siete qui per il mio ultimo.

Senza di Voi tutto questo non sarebbe stato possibile, e un semplice grazie non sarà mai abbastanza, voglio dedicarVi questo traguardo, sono fortunato ad avervi con me, Vi voglio bene.



## Sintesi

Si è fatto sempre più crescente l'interesse per le tecnologie di risanamento ambientale, e, più precisamente la gestione dei rifiuti, le tecnologie di depurazione delle acque, il risanamento di siti contaminati, il trattamento delle emissioni aeriformi. L'elaborato è basato su una esperienza di tirocinio della durata di un anno presso l'impianto di trattamento rifiuti di Bergamo gestito dalla Società A2A Ambiente. Oggetto del tirocinio è lo studio preliminare di un progetto per realizzare un impianto di depurazione per tutti i reflui prodotti dalle varie attività di trattamento dei rifiuti. L'attuale gestione prevede lo smaltimento di questi nell'attiguo impianto di depurazione delle acque reflue della città di Bergamo gestito da Uniacque. L'obiettivo di A2A Ambiente è di rendersi per quanto possibile indipendente da società esterne per il trattamento dei flussi residui delle operazioni di trattamento dei rifiuti, comprese le acque di scarico del termovalorizzatore e dell'impianto di produzione di combustibile solido secondario (CSS).

È stata quindi studiata la possibilità di realizzare un piccolo impianto di depurazione che garantisca autonomia tecnica ed economica per la gestione di queste acque reflue. Il lavoro inizia analizzando le tipologie di reflui prodotti: dai percolati provenienti dalle aie di essiccazione, alle acque di prima pioggia, ai liquidi scaricati dai mezzi di pulizia delle strade, alle acque deionizzate usate nell'impianto di teleriscaldamento, fino alle acque di lavaggio nei sistemi di trattamento dell'aria. In seguito il lavoro definisce i carichi inquinanti e le portate scaricate, arrivando a delineare una soluzione che consenta una efficiente raccolta di tutti questi reflui e la loro depurazione fino al conseguimento dei limiti allo scarico in acque superficiali.



# Indice

<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	<b>I</b>
<b>SINTESI</b> .....	<b>III</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b> .....	<b>IX</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>15</b>
<b>CAPITOLO 1 L'AREA IMPIANTI DI BERGAMO</b> .....	<b>17</b>
1.1 IL SETTORE IMPIANTI DI BERGAMO .....	18
1.1.1 <i>L'impianto</i> .....	18
1.2 PRODUZIONE DEL COMBUSTIBILE SOLIDO SECONDARIO.....	22
1.2.1 <i>Trattamento dell'aria di processo</i> .....	25
1.3 L'IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE .....	27
1.3.1 <i>Trattamento dei fumi</i> .....	31
1.3.2 <i>Emissioni di microinquinanti</i> .....	32
1.4 L'IMPIANTO DI STOCCAGGIO .....	33
1.5 TRASBORDO DI RIFIUTI DA ATTIVITÀ DI IGIENE AL SUOLO .....	35
1.6 LA PIATTAFORMA ECOLOGICA.....	36
1.7 LA CENTRALE DEL TELERISCALDAMENTO .....	36
<b>CAPITOLO 2 LA RETE DI RACCOLTA ACQUE</b> .....	<b>39</b>
2.1 STATO DI FATTO DELLA RETE DI RACCOLTA DELLE ACQUE E CONSUMI IDRICI .....	40
2.1.1 <i>Impianto chimico-fisico</i> .....	41
2.2 RICOSTRUZIONE DELLE PORTATE DEI REFLUI TRATTATI .....	45
2.2.1 <i>Dati pluviometrici e aree drenanti</i> .....	45
2.3 PUNTO DI SCARICO SN2.....	47
2.3.1 <i>Acque provenienti dalle aree di stoccaggio</i> .....	47
2.3.2 <i>Acque provenienti dall'impianto di produzione del CSS</i> .....	48

2.3.3 Acque provenienti dai mezzi per lo spazzamento stradale .....	53
2.4 PUNTO DI SCARICO SN4 .....	56
2.4.1 Acque reflue raccolte nella vasca "Pesa" .....	56
2.4.2 Acque di prima pioggia .....	59
2.5 PUNTO DI SCARICO SN5.....	60
2.5.1 Spurgo caldaie dalla centrale di teleriscaldamento .....	60
2.5.2 Raccolta delle acque pluviali della centrale di teleriscaldamento .....	61
2.5.3 Osservazioni riguardo lo scarico Sn5.....	61
2.6 ANALISI CHIMICHE E BILANCI DI MASSA .....	62
2.6.1 Schema dell'impianto .....	63
2.6.2 Portate ricostruite .....	64
2.6.3 Analisi chimiche e carichi inquinati.....	65
2.6.4 Bilancio di massa dei carichi inquinanti .....	70
2.7 CARATTERISTICHE DEL REFLUO IN INGRESSO AL NUOVO IMPIANTO DI DEPURAZIONE .....	77
<b>CAPITOLO 3 IL PROGETTO.....</b>	<b>83</b>
3.1 DESCRIZIONE DEL REFLUO IN INGRESSO.....	84
3.1.1 Dati in ingresso .....	84
3.2 VASCA DI EQUALIZZAZIONE.....	86
3.2.1 Caratterizzazione delle acque .....	87
3.3 TRATTAMENTO BIOLOGICO DEL REFLUO.....	88
3.3.1 Processo a fanghi attivi.....	89
3.3.2 Parametri fissati per il dimensionamento.....	90
3.3.3 Nitrificazione.....	92
3.3.4 Pre-denitrificazione.....	95
3.3.5 Sistema di aerazione .....	98
3.3.6 Dosaggio di Carbone Attivo in Polvere .....	101
3.3.7 Dosaggio di bicarbonato di sodio.....	102
3.4 SEDIMENTATORE SECONDARIO.....	104
3.4.1 Portate di ricircolo .....	104
3.4.2 Linea Fanghi.....	106
3.5 FILTRAZIONE.....	107
3.6 SCARICO NEL CORPO IDRICO RICETTORE .....	110
3.7 SCHEMA DELL'IMPIANTO.....	111
<b>CAPITOLO 4 SCELTA IMPIANTISTICA .....</b>	<b>115</b>
4.1 IPOTESI PER L'INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI DEPURAZIONE PREFABBRICATO.....	116
4.1.1 Possibile configurazione dell'impianto prefabbricato .....	116

<i>4.1.2 Localizzazione dell'impianto</i> .....	119
4.2 CONCLUSIONI .....	121
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CONSULTATI</b> .....	<b>125</b>



## Indice delle figure

<b>Figura 1</b> Schema funzionale Area Impianti di Bergamo	20
<b>Figura 2</b> Schema Funzionale della produzione di CSS	23
<b>Figura 3</b> Descrizione dell'area impianti	38
<b>Figura 4</b> Reti di raccolta delle acque nere e meteoriche	43
<b>Figura 5</b> Diagrammi di flusso delle acque nere e meteoriche in impianto	44
<b>Figura 6</b> Schema per il bilancio di massa del punto di scarico Sn2	63
<b>Figura 7</b> Schema per il bilancio del punto di scarico Sn4	63
<b>Figura 8</b> Diagramma di flusso e bilancio di massa del refluo in ingresso al nuovo impianto di depurazione	80
<b>Figura 9</b> Rappresentazione del sistema ipotizzato per il ricircolo dei fanghi attivi	104
<b>Figura 10</b> Filtro a tela (Cloth Media Filter – CMF)	108
<b>Figura 11</b> Schema dell'impianto	113
<b>Figura 12</b> Possibile configurazione dell'impianto prefabbricato	117
<b>Figura 13</b> Possibile localizzazione dell'impianto prefabbricato nell'area in corrispondenza alla attuale vasca “Vezzani”	119



# Indice delle tabelle

<b>Tabella 1</b> Scheda del Sito	21
<b>Tabella 2</b> Dati pluviometrici, Stazione Bergamo-Stezzano, 2004-2014	46
<b>Tabella 3</b> Acque meteoriche raccolte nella vasca "Vezzani" e scaricate tramite il punto Sn2	48
<b>Tabella 4</b> Calcolo portata di acqua proveniente dalla fossa biologica dell'impianto CSS	49
<b>Tabella 5</b> Consumo dello Scrubber	50
<b>Tabella 6</b> Dati tecnici degli ugelli di irrigazione	51
<b>Tabella 7</b> Calcolo della portata di acqua dovuta al sistema di irrigazione	52
<b>Tabella 8</b> Stima della quantità di percolati dalla fossa di ricezione e dalle aie di essiccazione	53
<b>Tabella 9</b> Ore di funzionamento impianto chimico-fisico	54
<b>Tabella 10</b> Stima acque delle acque meteoriche smaltite nella vasca "Pesa"	57
<b>Tabella 11</b> Acqua destinata al contro lavaggio dell'impianto di demineralizzazione	57
<b>Tabella 12</b> Acqua di spurgo dalla caldaia e destinata allo scarico Sn4	58
<b>Tabella 13</b> Calcolo della portata di acqua (da uso civile) scaricata dal termovalorizzatore	58
<b>Tabella 14</b> Acqua di spurgo dalla rete del teleriscaldamento scaricata attraverso il punto Sn5	60
<b>Tabella 15</b> Acque meteoriche scaricate al punto Sn5	61
<b>Tabella 16</b> Analisi chimiche condotte nei punti strategici dell'impianto	62
<b>Tabella 17</b> Portate di refluo, in tempo secco e di pioggia, inviate allo scarico Sn2	64
<b>Tabella 18</b> Portate di refluo, in tempo secco e di pioggia, inviate allo scarico Sn4	65
<b>Tabella 19</b> Analisi chimiche condotte sulle acque meteoriche	66
<b>Tabella 20</b> Analisi chimiche relative all'impianto di produzione di CSS	67
<b>Tabella 21</b> Analisi chimiche relative all'impianto chimico-fisico	69
<b>Tabella 22</b> Analisi chimiche relative al punto di scarico Sn4	70
<b>Tabella 23</b> Parametri al punto di scarico Sn2 in tempo di pioggia - portata 2,5141 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	72

<b>Tabella 24</b> Parametri al punto di scarico Sn2 in tempo secco (portata 1,6567 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ).	73
<b>Tabella 25</b> Bilancio di massa al punto di scarico Sn4	75
<b>Tabella 26</b> Miscelazione dei flussi e definizione dei carichi e della portata finale da inviare al nuovo impianto	78
<b>Tabella 27</b> Caratteristiche del nuovo scarico e rispetto, allo stato di fatto dei limiti di legge	79
<b>Tabella 28</b> Proiezione delle percentuali di rimozione da ottenere con il nuovo impianto	81
<b>Tabella 29</b> Definizione della portata di calcolo	84
<b>Tabella 30</b> Carichi e concentrazioni di inquinanti in ingresso	84
<b>Tabella 31</b> Calcolo della popolazione equivalente	85
<b>Tabella 32</b> Caratterizzazione del refluo	85
<b>Tabella 33</b> Caratterizzazione del refluo in ingresso	88
<b>Tabella 34</b> Parametri fissati per il dimensionamento	90
<b>Tabella 35</b> Cinetiche per la rimozione del BOD e di nitrificazione a 20°C	91
<b>Tabella 36</b> Cinetiche per la rimozione del BOD e di nitrificazione e a 12°C	92
<b>Tabella 37</b> Calcolo del tempo medio di residenza dei fanghi	93
<b>Tabella 38</b> Solidi sospesi presenti nel reattore	94
<b>Tabella 39</b> Dimensionamento del volume del reattore di ossidazione	94
<b>Tabella 40</b> Produzione di fanghi di supero e rese di crescita cellulare	95
<b>Tabella 41</b> Parametri da considerare per il dimensionamento della pre-denitrificazione	96
<b>Tabella 42</b> Percentuali di rbCOD e coefficienti per il calcolo di SDNR	97
<b>Tabella 43</b> Dimensionamento della fase di pre-denitrificazione	98
<b>Tabella 44</b> Progetto del sistema di aerazione a bolle fini - Parametri di processo	100
<b>Tabella 45</b> Calcolo del fabbisogno di ossigeno e della quantità di aria	100
<b>Tabella 46</b> Dosaggio di carbone attivo in polvere	101
<b>Tabella 47</b> Benefici sulla rimozione del COD dal dosaggio di PAC	102
<b>Tabella 48</b> Alcalinità presente nell'influente	103
<b>Tabella 49</b> Differenti configurazioni di dosaggio di bicarbonato di sodio	103
<b>Tabella 50</b> Dimensionamento del sedimentatore secondario	106
<b>Tabella 51</b> Possibile configurazione di filtrazione di superficie terziaria	108
<b>Tabella 52</b> Parametri in uscita dalla filtrazione terziaria	109
<b>Tabella 53</b> Concentrazione degli inquinanti in uscita dal nuovo impianto di depurazione	110





---

# INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo elaborato di Tesi è quello di impostare la progettazione di un impianto di depurazione dei reflui raccolti dalle varie lavorazioni che i rifiuti subiscono all'interno dell'impianto di produzione CSS e Termovalorizzazione di A2A Ambiente a Bergamo. Questa esigenza nasce dal fatto che A2A Ambiente, attualmente, paga una società esterna, Uniacque, per smaltire questi reflui tramite l'attiguo impianto di depurazione acque cittadino.

Dopo la raccolta e lo studio dei dati, nella prima parte di questo elaborato viene descritto l'impianto di trattamento rifiuti di A2A Ambiente di Bergamo, che non si limita alla termovalorizzazione, ma opera una vera e propria gestione integrata dei rifiuti, di cui verrà descritta ogni componente per individuarne i flussi e capire l'origine dei reflui da trattare.

Nella parte centrale viene presentata la caratterizzazione dei reflui, la ricostruzione dei carichi inquinanti e delle loro portate, in tempo secco e in tempo di pioggia. Viene descritto il percorso che le acque effettuano all'interno dell'impianto, e, una volta localizzate le vasche di accumulo, vengono identificati gli attuali punti di scarico al depuratore di Uniacque.

Nella terza parte si individua la scelta impiantistica sulla quale basare il progetto dell'impianto di depurazione. Data la variabilità dei reflui raccolti, si è scelto di adottare uno schema impiantistico classico a fanghi attivi, che è il più flessibile e al contempo di più semplice gestione. Il dimensionamento è stato condotto prendendo come riferimento le portate ed i carichi del tempo di pioggia, che si sono rivelati i più gravosi per il dilavamento delle superfici e dei piazzali di lavoro.

In primo luogo i reflui vengono raccolti in un'unica vasca di equalizzazione, da cui sono rilanciati al trattamento biologico che si compone di una vasca di pre-denitrificazione seguita dall'ossidazione biologica per la rimozione del COD biodegradabile e la nitrificazione, e, infine, dal sedimentatore secondario completo di ricircolo dei fanghi. Si è previsto di dosare

carbone attivo in polvere nella vasca di ossidazione biologica per favorire la rimozione del COD non biodegradabile e di bicarbonato di sodio per il controllo del pH.

Il fango di supero prodotto dai processi biologici, insieme al carbone attivo esausto, viene raccolto in una vasca e smaltito in altri impianti del gruppo A2A. Il flusso chiarificato in uscita dal sedimentatore passa attraverso un sistema di filtrazione terziaria per la rimozione finale dei solidi sospesi e delle particelle residue di carbone attivo. Con questa soluzione impiantistica l'effluente finale rispetterà i limiti dei parametri stabiliti dalla Tabella 3, Allegato V, del D.L.G.S. 152/06, per lo scarico del refluo in un corpo idrico superficiale. Nel nostro caso il corpo idrico ricettore sarà il canale scolmatore in uscita dall'attiguo impianto di depurazione acque cittadino che confluisce circa 5km più ad ovest nel Fiume Brembo.

Considerate le modeste portate e carichi inquinanti (171 abitanti equivalenti, portata media giornaliera di circa  $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), la progettazione è stata condotta con criteri di massima economicità e semplicità realizzativa e gestionale.

Oltre a utilizzare per quanto possibile vasche già esistenti, la scelta dell'impianto si è orientata verso un'opera compatta, realizzata in cemento armato prefabbricato, in grado di soddisfare i requisiti previsti per il conseguimento degli obiettivi di depurazione.

---

# **CAPITOLO 1**

## **L'AREA IMPIANTI**

### **DI BERGAMO**

L'Area Impianti A2A Ambiente di Bergamo fa parte del Gruppo industriale A2A, leader in Italia nel settore delle local utilities, che affonda le sue radici storiche in Lombardia e che sta sempre più assumendo un ruolo rilevante anche a livello europeo. Il Gruppo è presente, nel settore ambientale, anche all'estero, in Gran Bretagna, Spagna e in Grecia con A2A Ambiente. A2A è inoltre presente sui mercati dell'Est europeo, attraverso una rilevante quota azionaria della società energetica montenegrina EPCG. Il Gruppo A2A è nato nel 2008 dalla fusione tra le due ex municipalizzate lombarde ASM Brescia e AEM Milano, e ad oggi, dopo otto anni dalla sua nascita, oltre ad esser quotata alla borsa italiana, è:

- il secondo operatore elettrico italiano con oltre 12 mila MW di capacità installata;
- leader nazionale nel settore ambientale, con circa 3 milioni di tonnellate di rifiuti trattati dei quali oltre la metà utilizzati per produrre energia elettrica;
- tra i principali operatori in Italia nel settore del teleriscaldamento con 2.874 GWht venduti ai clienti finali, e nel settore del gas, con oltre 2 miliardi di metri cubi distribuiti;

A2A Ambiente, gruppo di cui l'Impianto fa parte, è stata costituita il 1° luglio 2013 con l'intento di riunire tutte le attività di trattamento dei rifiuti che in passato facevano a capo agli impianti delle diverse società dislocate sul territorio Lombardo: Aprica, Ecodeco ed AMSA.

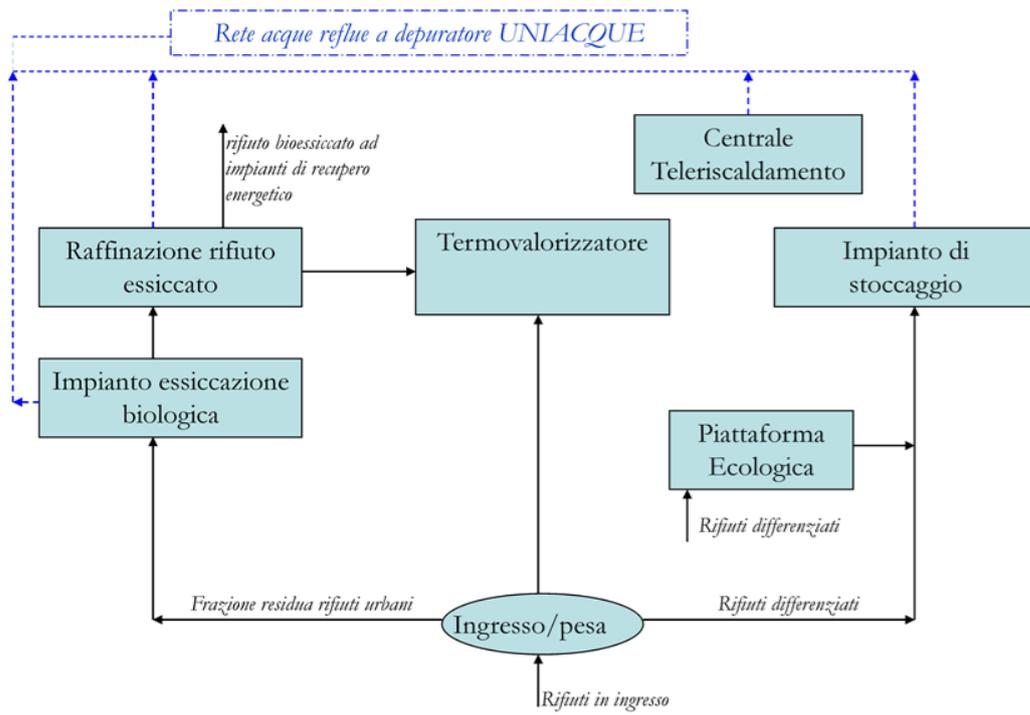
## 1.1 Il settore Impianti di Bergamo

Nell'Area Impianti Bergamo, situata a Bergamo in via Goltara e confinante con i comuni di Lallio e di Treviolo, si svolgono le attività di trattamento dei rifiuti. Dal 2008 sono inoltre entrate in funzione due caldaie per la produzione di calore destinato al teleriscaldamento della città di Bergamo. Le attività di trattamento rifiuti e depurazione acque si svolgono nell'Area Impianti sin dagli anni '60. Bergamo Ambiente e Servizi S.p.A. (in seguito BAS), società per azioni a capitale pubblico, nacque il 31 dicembre 1994 dalla fusione di due aziende municipalizzate: AMAC, gestore di acqua, gas, pubblica illuminazione e AMNU operativa nell'igiene urbana, smaltimento rifiuti e depurazione delle acque. Nel 2003 viene dismesso il vecchio impianto di termovalorizzazione ed entra in funzione il nuovo impianto, denominato GE 40/10 alimentato a Combustibile Solido Secondario, in parte prodotto dall'Impianto di bioessiccazione che riceve i rifiuti della città di Bergamo e situato nella stessa area impianti, in parte proveniente dalle altre sedi del gruppo. Due anni dopo, nel 2005, BAS, partecipata al 99,5% dal Comune di Bergamo, viene fusa per incorporazione in ASM Brescia SpA. La costituzione di A2A nel 2008 e i successivi ed ulteriori riassetti societari collocano attualmente in A2A Ambiente tutte le attività dell'Area Impianti di Bergamo, che comprendono, oltre all'impianto di produzione di CSS anche la gestione dell'impianto di stoccaggio rifiuti e la produzione di calore per il teleriscaldamento a mezzo di due caldaie, costruite dopo la demolizione del vecchio termovalorizzatore (avvenuta nel 2007). Nella zona ad est dell'Impianto troviamo l'isola ecologica che, pur facendo parte del sito, è sotto la responsabilità di Aprica S.p.A. in quanto la sua attività è inquadrabile nell'ambito della raccolta dei rifiuti urbani, appannaggio di tale società. Infine a Nord dell'area troviamo l'impianto di depurazione delle acque della Città di Bergamo, gestita da una società esterna al gruppo, Uniacque, responsabile del servizio idrico nell'ambito provinciale.

### 1.1.1 L'impianto

L'impianto accoglie il rifiuto urbano non differenziato raccolto in 42 comuni della Provincia di Bergamo. Dopo i controlli e la pesatura all'ingresso, il rifiuto viene indirizzato alla Linea di produzione del Combustibile Solido Secondario. Qui, mediante un processo di essiccazione biologica e raffinazione meccanica, si trasforma il rifiuto in un vero e proprio combustibile idoneo al recupero mediante termovalorizzazione. Una quota parte del CSS prodotto viene utilizzata per alimentare il Termovalorizzatore in loco, mentre il restante materiale essiccato viene recuperato, per una scelta societaria, in altri impianti del gruppo. L'impianto di produzione del CSS è in funzione dal 1998, ed è in grado di trattare un quantitativo

complessivo annuo di 72.000 tonnellate di rifiuto indifferenziato (250 t/giorno con picco fino a 350 t/giorno per periodi di durata non superiore a 15 giorni consecutivi). Il Termovalorizzatore, funzionante in assetto cogenerativo, produce sia energia elettrica che calore dalla combustione di CSS. L'impianto di termovalorizzazione di rifiuti speciali non pericolosi, in funzione dal 2003, è costituito da un generatore di energia elettrica e calore avente potenza termica complessiva pari a 48 MW. L'impianto è autorizzato al recupero dei rifiuti speciali non pericolosi per un quantitativo complessivo annuo di 75.000 tonnellate. Il calore prodotto viene quindi assorbito dalla rete di Teleriscaldamento della città di Bergamo. Il rifiuto proveniente dalla raccolta differenziata sul territorio, dalla Piattaforma Ecologica interna al Sito e quello conferito da privati, viene invece smistato nelle apposite aree dell'Impianto di Stoccaggio e, una volta raggiunta la quantità necessaria per il carico ottimale, viene destinato ad appositi impianti di recupero. L'impianto di stoccaggio e messa in riserva dei rifiuti è in funzione dal 1996, e rientra nelle attività di ricondizionamento e deposito preliminare prima di un opportuno smaltimento in un'altra sede, di riciclo e recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche), di riciclo e recupero dei metalli o dei composti metallici, e di riciclo e recupero di altre sostanze inorganiche. All'interno dell'area impianti troviamo dal 2008 due caldaie gemelle da 44 MW ognuna, alimentate a gas naturale, che costituiscono la Centrale di Teleriscaldamento, cuore del sistema di distribuzione di calore cittadino. L'impianto, entrato in funzione dal gennaio 2009, produce acqua surriscaldata che viene immessa nella rete di teleriscaldamento della Città di Bergamo, in parte già realizzata ed in parte in fase di realizzazione ed estensione. Il diagramma di flusso seguente illustra schematicamente le operazioni che avvengono sul Sito e la relazione fra i singoli impianti.



**Figura 1** Schema funzionale Area Impianti di Bergamo

All'interno del complesso sono svolte anche attività di supporto alla gestione dei rifiuti e degli impianti, quali:

- il trasbordo di rifiuti provenienti da attività di igiene del suolo, finalizzato a ridurre la movimentazione dei veicoli e rendere più efficiente il conferimento agli impianti finali dei quantitativi raccolti;
- le attività di supporto alla gestione degli impianti (attività amministrative, servizio accettazione e pesa, movimentazione dei rifiuti, manutenzione di mezzi e strutture, manutenzione impianti, gestione magazzino materiali e ricambi, etc.).

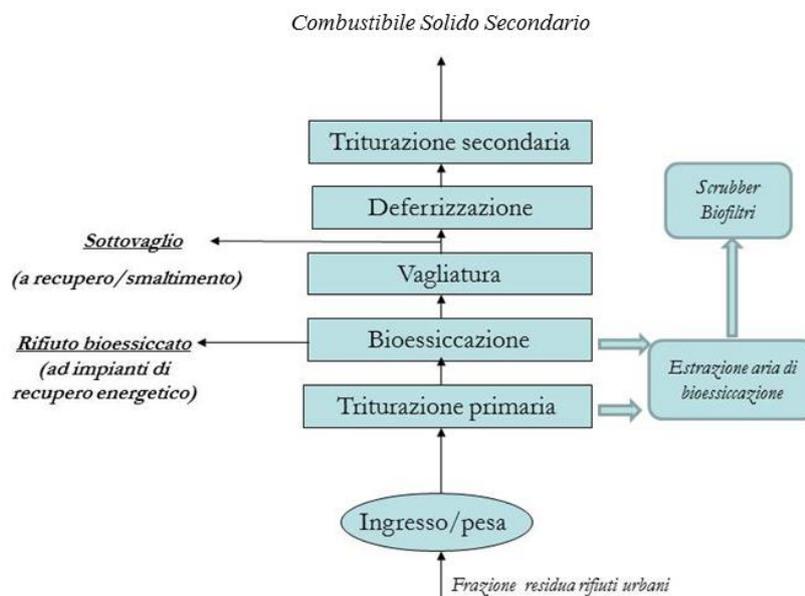
L'area del complesso copre complessivamente una superficie di circa 58.000 m<sup>2</sup>, di cui 15.000 m<sup>2</sup> circa destinati a verde, 11.000 m<sup>2</sup> circa coperti ed utilizzati per gli impianti e le aree di stoccaggio e 32.000 m<sup>2</sup> circa di superficie scoperta impermeabilizzata comprendente i piazzali e la viabilità interna.

**Tabella 1** Scheda del Sito

<b>Ubicazione</b>	Via Goltara 23, Bergamo
<b>Tipo di impianti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impianto di bioessiccazione, per la produzione di Combustibile Solido Secondario da rifiuti urbani</li> <li>• Termovalorizzatore, alimentato a rifiuti speciali CSS, con produzione di Energia Elettrica e Calore</li> <li>• Piattaforma ecologica per la raccolta differenziata</li> <li>• Impianto per lo stoccaggio di rifiuti da raccolta differenziata</li> <li>• Centrale di produzione calore per Teleriscaldamento</li> </ul>
<b>Superficie del sito</b>	57.100 m <sup>2</sup> di cui 15.300 a verde, 11.300 coperta, 29.000 di superficie scoperta impermeabilizzata, 1.500 di superficie pavimentata drenante
<b>Attività</b>	Stoccaggio, trattamento e recupero di rifiuti urbani e speciali, produzione di energia elettrica e calore
<b>Potenzialità</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Termovalorizzatore:</b> 59.400 t/anno di rifiuti termovalorizzati, 48 MWt di energia prodotta</li> <li>• <b>Linea CSS:</b> 72.000 t/anno</li> <li>• <b>Stoccaggio:</b> 3.305 m<sup>3</sup>/anno di rifiuti stoccati</li> <li>• <b>Piattaforma ecologica:</b> 307,24 m<sup>3</sup> rifiuti non pericolosi, 55-35 m<sup>3</sup> rifiuti pericolosi</li> <li>• <b>Caldie teleriscaldamento:</b> due caldaie semplici da 44 MW ciascuna</li> </ul>

## 1.2 Produzione del Combustibile Solido Secondario

Il processo di produzione del Combustibile Solido Secondario (CSS) è basato sulla tecnologia delle aie statiche di essiccazione, con cui il rifiuto in arrivo all'impianto viene sottoposto ad ossidazione biologica. L'impianto di produzione del CSS in condizioni nominali di funzionamento è in grado di trattare nella sezione di biostabilizzazione un quantitativo giornaliero di rifiuti urbani ed assimilabili pari a circa 230 - 250 tonnellate. Il processo di essiccazione biologica porta ad una perdita complessiva di peso pari a circa il 20%, dovuto sia all'ossidazione di parte del materiale biodegradabile presente, sia all'evaporazione dell'acqua contenuta nei rifiuti. Il materiale stabilizzato viene poi sottoposto ad una fase di raffinazione meccanica, attraverso la quale si produce il CSS vero e proprio. Dopo la ricezione, il rifiuto viene alimentato ad un rompisacco-tritratore che provvede a macinare il materiale. Il materiale così omogeneizzato viene posto dalla benna, manovrata automaticamente dal sistema di controllo, in una sezione precisa dell'aia o vasca di essiccazione biologica. Il posizionamento del rifiuto tritratato secondo settori longitudinali della vasca, consente di controllare i tempi di bioessiccazione, solitamente attorno ai 10 giorni, in modo da inviare alla successiva raffinazione il rifiuto effettivamente stabilizzato. Il processo prevede che l'aria venga aspirata dal fondo della vasca, attraversando i rifiuti dall'alto verso il basso. L'aria di processo viene poi inviata all'impianto di depurazione prima di essere reimpressa nell'ambiente. Questa fase del processo, fortemente esotermica, permette l'evaporazione dell'acqua e contemporaneamente la stabilizzazione biologica del materiale. Dopo il processo di bioessiccazione, si passa alla raffinazione del materiale che viene effettuata tramite una sequenza di operazioni: vagliatura, deferrizzazione, tritrazione secondaria, demetallizzazione ed eventuale pressatura. Tra le principali fasi del processo di produzione del Combustibile Solido Secondario troviamo quelle descritte nella seguente figura.



**Figura 2** Schema Funzionale della produzione di CSS

#### Scarico dei rifiuti in fossa di ricezione

I rifiuti in arrivo all'impianto vengono scaricati in una zona di ricezione dimensionata sulla base del fabbisogno giornaliero di accettazione. L'area di scarico dei rifiuti in entrata è costituita da una vasca interrata sul cui fondo è presente una struttura sopraelevata, realizzata con elementi forati per permettere il passaggio di eventuali percolati, che garantisce l'aspirazione di aria tramite 4 appositi ventilatori. L'accesso all'interno della fossa avviene tramite quattro portoni ad impacchettamento rapido. Tale soluzione permette, qualora si rendesse necessario, di tenere separate diverse tipologie di rifiuto. Nelle stagioni critiche estive, durante lo scarico dei mezzi un sottile getto di acqua nebulizzata riduce al minimo le emissioni odorose e l'uscita di insetti. Per ridurre e contenere la presenza di insetti, soprattutto mosche, all'interno dell'area di essiccazione, ed anche in corrispondenza dei doppi portoni per lo scarico dei rifiuti in ingresso, sono inoltre installati specifici sistemi di cattura, realizzati mediante lampade attrattive collegate ad un impianto di aspirazione dedicato, che convoglia gli insetti all'interno di appositi contenitori di prelievo.

#### Triturazione dei rifiuti

Il materiale prelevato dalla vasca di ricezione viene triturato al fine di omogeneizzarne la pezzatura a 200-300 mm, migliorando così il processo di essiccazione biologica successivo. L'area di triturazione è costituita da una vasca parzialmente interrata dotata di un sistema per l'aspirazione dell'aria dal fondo, realizzato analogamente a quanto presente nella fossa di

ricezione. Sulle pareti laterali della vasca sono installate delle rotaie che permettono ad un trituratore, posizionato su di un carro ponte, di spostarsi durante la triturazione in modo da riempire uniformemente tutta la vasca sottostante.

#### Trattamento aerobico di essiccazione biologica

Il materiale pretrattato è inviato mediante gru a ponte automatizzate nell'area di fermentazione accelerata. In questa zona la massa di rifiuto viene mantenuta per circa 10 giorni in condizioni aerobiche raggiungendo una temperatura di circa 50-60°C. Tale processo favorisce la stabilizzazione, la deodorizzazione e l'igienizzazione del rifiuto in ingresso, che mediamente ha un contenuto del 20-40% di sostanze organiche putrescibili parte delle quali si rendono disponibili come substrato del processo di degradazione biologica (5-10%). L'esotermia del processo è sfruttata per essiccare il rifiuto che, alla fine del processo, contiene il 20% di acqua in meno rispetto al materiale in ingresso (35-40%, tipico contenuto di acqua di un RSU). Il prodotto ottenuto ha un potere calorifico compreso tra le 3200 e 3600 kcal/kg. L'area di bioessiccazione occupa il 70% dell'intero capannone dedicato all'ossidazione biologica del rifiuto. Il materiale viene depositato giornalmente nell'area, e da questa movimentato, per mezzo di gru a ponte automatizzate. Sul fondo dell'area è presente il sistema di aspirazione dell'aria necessario per la bioessiccazione del materiale stesso. Il materiale che ha terminato il processo di essiccazione biologica viene prelevato mediante gru a ponte automatizzate e depositato nella tramoggia di estrazione, da cui può essere movimentato verso la sezione di raffinazione collegata oppure può essere inviato direttamente ad impianti di recupero.

#### Raffinazione ed affinamento del rifiuto stabilizzato ed essiccato

L'area dedicata alla raffinazione del materiale bioessiccato è realizzata all'interno di un apposito capannone, adiacente a quello di bioessiccazione, sul lato orientale. In questa fase il materiale essiccato è inizialmente separato dalle parti più fini a mezzo di vagliatura con lo scopo di estrarre componenti inerti (sabbie, vetri, frammenti di laterizi, ecc.) poi deferrizzato tramite elettrocalamita ed infine triturato per ottenere un CSS di pezzatura adatta alla combustione in impianti a letto fluido. Il CSS così prodotto viene successivamente demetallizzato col metodo delle correnti parassite che permette di separare i metalli non ferromagnetici, e poi avviato alla pressa stazionaria oppure verso lo scarico diretto sui mezzi adibiti al trasporto. Le componenti della sezione di raffinazione che presentano uno sviluppo di polveri, quali il vaglio, i demetallizzatori, la tramoggia del trituratore e le zone dei nastri sono mantenute in depressione per mezzo di cappe posizionate sui macchinari e collegate all'impianto di aspirazione dotato di filtro a maniche per la captazione delle polveri.

#### Estrazione, compattazione e carico del materiale sui mezzi adibiti al trasporto

Il CSS prodotto viene inviato alla pressa di compattazione e caricato direttamente sui mezzi di trasporto diretti all'impianto di termovalorizzazione.

La linea di produzione del CSS è dotata di una serie di specifici accorgimenti tecnici, finalizzati a garantire condizioni di ottimale confinamento, all'interno delle aree d'impianto, degli insetti che, durante il periodo estivo ed in differenti stadi di sviluppo, sono trasportati insieme ai rifiuti. Oltre che dalla completa chiusura dei capannoni all'interno dei quali sono lavorati i rifiuti, il confinamento è ottenuto mediante impiego di portoni, dotati di barriere ad acqua che si attivano automaticamente ad ogni apertura. Oltre al confinamento degli insetti in impianto vengono adottati dei sistemi per la raccolta di tutti quei percolati che vengono prodotti durante le fasi di trattamento dei rifiuti. Per quanto riguarda l'impianto di produzione del CSS sono state realizzate due vasche per la raccolta delle acque di processo e di pioggia. Entrambe sono collocate sotto la soletta dell'area adiacente alla vasca trituratore. Una vasca raccoglie le acque meteoriche provenienti dal piazzale su cui sono collocate le porte di ingresso all'area di scarico del rifiuto e dal piazzale antistante la zona di uscita del CSS. La seconda vasca raccoglie le condense dei biofiltri ed il percolato derivante dalle aree di ricezione e trattamento del rifiuto.

### **1.2.1 Trattamento dell'aria di processo**

La contaminazione principale dei flussi d'aria coinvolti nel processo biologico di bioossidazione riguarda i macroinquinanti di origine organica quali composti ammoniacali (ammoniaca, ammine), composti solforati, mercaptani, acidi grassi, alcoli ecc. La problematica principale è rappresentata non tanto dalla tossicità di tali sostanze, quanto dai possibili cattivi odori propri di tali composti che hanno la caratteristica di possedere una soglia olfattiva estremamente bassa (tra 0,0001 e 0,03 mg/Nm<sup>3</sup> per H<sub>2</sub>S). L'abbattimento di tali inquinanti organici avviene ad opera di un sistema costituito da uno scrubber ad acqua e sei biofiltri, installati sul tetto del capannone. Per la parte di raffinazione la contaminazione dei flussi d'aria è dovuta alle polveri che si originano dai vari processi (vagliatura, demetallizzazione, triturazione, ecc..). In questo caso il sistema di abbattimento utilizzato è quello del filtro a maniche. La produzione del CSS genera al massimo circa 66.000 Nm<sup>3</sup>/h di arie esauste dal processo di bioessiccazione e 24.000 Nm<sup>3</sup>/h dal processo di raffinazione.

#### Trattamento dell'aria della zona di bioessiccazione

L'aria di processo aspirata dai ventilatori situati nell'area di ricezione e di essiccazione biologica, prima di essere immessa in atmosfera viene inviata all'impianto di abbattimento delle emissioni. Tale impianto permette di tenere sotto controllo la quantità di aria che attraversa la massa di rifiuti all'interno dell'area di bioessiccazione e di conseguenza permette di gestire l'ossigenazione e la temperatura al fine di ottimizzare il processo di fermentazione

biologica. Ogni settore delle aree interne alla sezione di bioessiccazione è collegato ad un ventilatore di aspirazione posto sul tetto del capannone, per mezzo di collettori (realizzati in calcestruzzo per il tratto interrato ed in polipropilene per il tratto fuori terra) che corrono lungo le pareti. Ogni ventilatore è dotato di inverter che, in base ai sensori della temperatura nell'aria e quindi in base all'intensità della fermentazione biologica, regola la portata d'aria necessaria ad ottenere la bioessiccazione ottimale. Ogni ventilatore ha una potenza installata di 11 kW; la potenza complessiva installata è pari a circa 286 kW e garantisce una portata complessiva del flusso di massimo 66.000 Nm<sup>3</sup>/ora. La prevalenza massima superabile da ogni ventilatore è pari a circa 720 mm di colonna d'acqua. L'aria di processo aspirata dai 26 ventilatori situati nell'area di ricezione e di bioessiccazione, prima di essere immessa in atmosfera, viene inviata ad un sistema di abbattimento delle emissioni costituito da due stadi: uno di lavaggio ad umido realizzato dallo scrubber ed uno di abbattimento biologico ad opera dei biofiltri. Nella filtrazione biologica dell'aria di scarico le componenti odorigene vengono decomposte nel biofiltro per mezzo delle attività metaboliche di microrganismi e quindi eliminate. Il presupposto di tale processo è quindi che le sostanze da eliminare siano fondamentalmente biodegradabili. In effetti la natura dispone di un ampio spettro di tipi di microrganismi che nel loro complesso sono in grado di degradare sostanze di tipo diverso. I biofiltri sono costituiti da vasche riempite con della biomassa (torba, legno, cortecce, ramaglie) che, mantenuta umida, risulta essere un supporto ideale per lo sviluppo dei batteri necessari alla degradazione di quei composti organici intermedi presenti nell'aria da trattare che sono responsabili della formazione di odori. Tutta la biomassa, che presenta uno spessore di circa 1,2 metri, è sostenuta da una pedana forata che permette la distribuzione omogenea dell'aria da trattare su tutta la superficie coperta dal biofiltro. I biofiltri sono completati da un sistema di drenaggio e scarico dell'acqua meteorica e di irrigazione che viene raccolta e trattata con l'acqua del percolato della massa dei rifiuti. In quanto materiale biologico, il letto del biofiltro subisce una degradazione e, dopo qualche anno di utilizzo è necessario un ricambio in modo tale da evitare che si presentino condizioni di inibizione dell'attività batterica presente all'interno del letto e quindi un abbassamento dell'efficienza di degradazione delle molecole organiche responsabili degli odori sgradevoli.

Oltre al cambio del materiale del letto, che per i biofiltri in esame avviene ogni circa 4 anni, tale sistema di contenimento necessita di una manutenzione ordinaria di pulizia superficiale dalla flora infestante e l'apporto di materiale ulteriore nell'eventualità di diminuzione dello spessore filtrante. Prima di entrare nei biofiltri l'aria di scarico collettata viene pretrattata in una torre di abbattimento ad umido (scrubber) in cui la rimozione degli inquinanti (principalmente le polveri e le sostanze solubili) presenti nel flusso gassoso contaminato avviene mediante l'azione di un liquido, in questo caso acqua. In tal modo la struttura dello strato filtrante non viene danneggiata e i microrganismi trovano condizioni di vita ottimali. Se l'aria di scarico contiene anche polvere, è necessario infatti fare precipitare queste

particelle solide attraverso il lavaggio con acqua, perché altrimenti tali particelle con il tempo bloccherebbero i pori dello strato filtrante inferiore, con crescente perdita di pressione nel biofiltro. È inoltre essenziale una preumidificazione dell'aria. Nello scrubber sono presenti dei corpi di riempimento (anelli), che facilitano il contatto gas/liquido e i relativi scambi chimico/fisici. L'aria lavata prima di uscire dall'impianto passa attraverso un separatore di gocce che impedisce l'emissione del liquido di lavaggio in atmosfera. Dopo il contatto con l'aria il liquido di lavaggio ricade nella vasca di accumulo dalla quale verrà riciclata agli spruzzatori. Nella parte inferiore dello scrubber troviamo una valvola di spurgo che invia le acque di lavaggio alla rete di raccolta dei reflui presente in impianto.

#### Trattamento dell'aria della zona di raffinazione

E' costituita da un filtro a maniche a cappe, queste sono posizionate nelle zone maggiormente soggette alla produzione di polveri dell'area di raffinazione, quali le zone del vaglio, dei demetallizzatori e della tramoggia del trituratore. Le polveri captate sono raccolte e stoccate per essere successivamente inviate ad impianti di recupero o smaltimento. Il filtro è composto da un corpo centrale a struttura pannellata (a moduli multipli), in grado di resistere ad una depressione di 600 mm.c.a., e completo della pre-camera in ingresso, questo per evitare l'impatto diretto del flusso polverulento sulle maniche. Il filtro è composto da tre sezioni separate, in modo che, senza pregiudicare il funzionamento della macchina, una sezione può essere messa fuori servizio per manutenzione. Ogni manica viene periodicamente lavata con getti di aria compressa che agiscono in senso inverso al fluido trattato, in modo da pulire in profondità il mezzo filtrante e restituirgli il grado di permeabilità ottimale. Le polveri captate sono raccolte in tramogge inferiori. Infine troviamo il camino per l'emissione in atmosfera dell'aria filtrata dalle polveri presenti nell'area di raffinazione, questo è posizionato, come il filtro a maniche, nella parte sud-est del capannone.

## **1.3 L'impianto di termovalorizzazione**

L'impianto di termovalorizzazione è progettato per recuperare energia dal combustibile costituito da rifiuti speciali non pericolosi (in pratica esclusivamente CSS), con una potenzialità termica complessiva di circa 48 MW. Il combustibile proviene sia dall'impianto interno di produzione precedentemente descritto, sia da altri impianti del gruppo o impianti esterni. Prima dell'invio a recupero il combustibile subisce un ulteriore passaggio di deferrizzazione per mezzo di elettrocalamita. I metalli separati vengono successivamente inviati ad impianti di recupero finale. L'impianto di trattamento, recupero e valorizzazione energetica, mediante termovalorizzazione, di rifiuti speciali non pericolosi, è fondamentalmente costituito dalle sezioni che sono di seguito elencate:

- accettazione, stoccaggio e trasporto del combustibile;
- recupero termico (combustore a letto fluido bollente e generatore di vapore);
- linea di trattamento dei fumi di combustione;
- recupero energetico;
- stoccaggio reagenti e residui di combustione.

La potenzialità annua dell'impianto è compresa tra le 62.000 e le 100.000 tonnellate/anno, in funzione del potere calorifico dei rifiuti speciali non pericolosi portati a valorizzazione energetica, compreso tra i 13.000 e 21.000 kJ/kg, con portata oraria nominale compresa tra 7 e 12 tonnellate/h. I limiti autorizzati stabiliscono un quantitativo massimo da trattare pari a 75.000 t/a di rifiuti.

#### Accettazione, stoccaggio e trasporto del combustibile

Il CSS per l'alimentazione dell'impianto di termovalorizzazione è scaricato in una fossa di ricezione e stoccaggio, chiusa da portoni ad impacchettamento verticale e protetta da un'avanfossa, anch'essa chiusa mediante portoni analoghi. La fossa, realizzata in cemento armato, con rivestimento interno protettivo in lamiera metallica, ha capacità di stoccaggio complessiva pari a circa 3.400 m<sup>3</sup>, comprensivi della volumetria disponibile per l'accumulo fuori terra a ridosso della parete nord della fossa stessa, ed è dotata di un sistema di aspirazione dell'aria. Dalla fossa di ricezione e stoccaggio, il combustibile viene movimentato per l'invio alle linee di trasporto e alimentazione del forno, mediante un carroponte con benna. Il combustibile prelevato è caricato all'interno di due tramogge che, tramite un sistema di spintori e coclee, alimentano altrettante linee di trasporto realizzate mediante nastri gommati chiusi, alla cui estremità sono posizionate le tramogge dosatrici (metering bin) che regolano la corretta immissione del combustibile nel combustore a letto fluido bollente. La regolazione della portata di combustibile è attuata per mezzo di logiche di controllo che tengono conto dei parametri principali di funzionamento dell'impianto (temperature di combustione, produzione di vapore, quantità di aria comburente, etc.). Durante il normale funzionamento, l'aria aspirata dalla fossa di ricezione e stoccaggio viene utilizzata come aria comburente, previa depolverazione effettuata all'interno di un filtro a maniche dedicato. Qualora rimanga combustibile stoccato all'interno della fossa durante periodi di fermo impianto, l'aria viene depolverata e trattata con carboni attivi per eliminare le componenti odorigene potenzialmente moleste, prima di essere reimpressa all'esterno.

#### Recupero termico

Il cuore dell'impianto è costituito da un forno a letto fluido bollente, dove aria, combustibile e materiale inerte (sabbia) formano una miscela fluida ad alta temperatura.

Esso è costituito da:

- sistema di dosaggio del combustibile e dell'aria comburente;

- camera di combustione;
- bruciatori ausiliari;
- sistema di raccolta, ricircolo e recupero della sabbia.

Per la distribuzione dell'aria primaria comburente, e di fluidificazione del letto, alla base della camera di combustione sono installati dei collettori dimensionati per garantire la corretta portata e pressione agli ugelli di immissione. Per permettere una maggiore possibilità di controllo e contenimento delle temperature nel letto, una quota parte dell'aria primaria comburente può essere costituita da fumi prelevati in uscita dall'economizzatore, previa depolverazione effettuata per mezzo di apposite apparecchiature di separazione.

Al di sopra del letto, attraverso penetrazioni realizzate nella parete del forno, è immessa nella camera di combustione aria secondaria. La camera di combustione, avente sezione di circa 4,50 x 5,90 metri ed altezza complessiva di circa 13,60 metri, è realizzata esternamente da pareti costituite da lamiera di acciaio al carbonio di idoneo spessore, saldate tra loro ed irrigidite con piatti e profilati, in modo da assicurarne la tenuta e garantire l'isolamento esterno. Internamente la superficie della camera è rivestita di materiale refrattario ed isolante in grado di resistere all'erosione, all'attacco chimico e all'ossidazione e di mantenere le previste temperature di esercizio. Il dimensionamento della camera di combustione è tale da garantire che i gas ossidati a valle dell'ultima immissione di aria sono mantenuti ad una temperatura di almeno 850°C per un tempo superiore ai due secondi. Durante il normale funzionamento del forno, alla sabbia con cui viene reintegrato il letto fluido viene addizionata della dolomite, con il duplice scopo di aumentare la temperatura di rammollimento delle ceneri, limitando così i fenomeni di agglomerazione nel letto, e di operare un primo abbattimento degli ossidi di zolfo. All'interno del combustore sono installati due bruciatori ausiliari alimentati con gas naturale, normalmente utilizzati nelle fasi di avvio e arresto. Tuttavia, nel caso in cui la composizione del combustibile fornisca un apporto energetico inferiore a quello necessario al mantenimento delle minime temperature di funzionamento (850°C), le logiche di controllo dell'impianto intervengono mediante attivazione automatica degli stessi bruciatori. I fumi caldi in uscita dal combustore, prima di essere inviati al trattamento, cedono la propria energia termica mediante produzione di vapore ad alta pressione che viene successivamente utilizzato per la produzione di energia elettrica e/o per cedere calore alla rete di teleriscaldamento. Il generatore di vapore, o caldaia, è costituito dalle seguenti componenti principali, poste in sequenza in relazione al ciclo del vapore d'acqua: economizzatore, evaporatore, corpo cilindrico, surriscaldatori interni, surriscaldatore esterno a metano o biogas. I fumi di combustione entrano in caldaia alla temperatura di circa 950 – 980 °C ed escono dall'economizzatore a circa 190 °C.

### Recupero energetico

Il vapore prodotto dal generatore viene avviato alla turbina dove l'energia in esso contenuta viene convertita in energia meccanica, utilizzata per azionare l'alternatore che genera energia elettrica. Le componenti principali del sistema di recupero energetico sono costituite da: turbina vapore ed alternatore, condensatore e sottostazione di trasformazione e consegna dell'energia elettrica. La turbina è collegata, tramite riduttore, ad un alternatore di tipo sincrono a tre fasi, funzionante a 15.000 V e con potenza di 14.525 MVA. Durante i periodi estivi, in cui è più ridotto il carico termico richiesto dalle utenze connesse con la rete di teleriscaldamento, la turbina funziona prevalentemente in condizioni di generazione elettrica, con scarico sottovuoto del vapore che viene raffreddato e condensato mediante utilizzo di acqua proveniente dalle vasche di decantazione dell'attiguo impianto di depurazione delle acque reflue. La possibilità di derivare vapore da uno spillamento di macchina permette comunque, se necessario, di alimentare uno scambiatore/condensatore installato su una derivazione della rete di teleriscaldamento, e di cedere all'acqua di circolazione la quantità di calore usualmente richiesta per i soli usi igienico-sanitari. Al crescere della domanda di carico termico della rete di teleriscaldamento, lo scambiatore/condensatore può essere alimentato con vapore prelevato direttamente, a valori di pressione prossimi ai livelli atmosferici, dallo scarico della turbina il cui funzionamento, in tali condizioni, diviene di tipo cogenerativo spinto.

### Stoccaggio reagenti e residui di combustione

Nella parte inferiore del combustore sono posizionate due tramogge a fondo piramidale, per il recupero degli agglomerati e delle sabbie che vengono separate per gravità all'interno del forno. Una volta drenate, la sabbia e le scorie presenti nel letto subiscono un trattamento di separazione e recupero della parte ancora utilizzabile, che viene rimessa in circolo e nuovamente alimentata al forno. La parte di scarto costituisce invece un rifiuto che è possibile recuperare in impianti esterni. I reagenti allo stato solido (sabbia, bicarbonato, dolomite, carboni attivi) sono contenuti in sili realizzati in acciaio, aventi capacità variabile a seconda dei quantitativi di materiale trattato (25 – 100 m<sup>3</sup>, circa). I reagenti allo stato liquido (soluzione ammoniacale, soluzione acquosa di acido cloridrico e soluzione acquosa di idrossido di sodio) sono contenuti in serbatoi aventi capacità variabile a seconda dei quantitativi di materiale trattato (15 – 25 m<sup>3</sup>, circa), dotati di vasche che garantiscono il contenimento delle soluzioni nell'eventuale caso di rottura del serbatoio o di parti di esso. I residui della combustione, tutti allo stato solido, vengono inviati ad una batteria di sili di contenimento tramite sistemi di trasporto pneumatico. I sili sono realizzati in acciaio e sono dotati in sommità di sistemi di depolverazione che, per quanto riguarda i residui leggeri, sono dotati di collegamento diretto degli sfiati alla linea di depurazione fumi dell'impianto.

### 1.3.1 Trattamento dei fumi

All'interno della linea di depurazione i prodotti dalla combustione, dei quali è stato sfruttato il calore per la produzione di energia, vengono trattati per prevenire qualsiasi forma di inquinamento ambientale e garantire il pieno rispetto dei limiti previsti dalla normativa vigente. I fumi, per essere depurati da tutte le componenti inquinanti, attraversano sequenzialmente, un filtro a maniche depolveratore, un reattore a secco, un filtro a maniche reattore e infine un reattore SCR DeNO<sub>x</sub> per la riduzione catalitica degli NO<sub>x</sub>.

#### Filtro depolveratore

Si tratta di un filtro a maniche adibito al trattenimento delle ceneri volanti (fly-ashes) contenute nei fumi immediatamente a valle della combustione. Il filtro è costituito da due corpi indipendenti, ognuno suddiviso in quattro celle all'interno delle quali i gas affluiscono dalle bocche inferiori e defluiscono dalle bocche superiori tramite un collettore centrale comune. Ogni cella è dotata di una valvola manuale per poter isolare completamente la stessa in caso di esigenza di manutenzione.

#### Reattore a secco

I gas all'uscita del filtro ceneri sono inviati al reattore a secco, all'interno del quale avviene la reazione principale di abbattimento delle componenti inquinanti ancora presenti, grazie all'iniezione di specifici reagenti solidi. Per l'abbattimento dei composti acidi viene utilizzato il bicarbonato di sodio, mentre per i metalli pesanti e i microinquinanti organici si utilizzano i carboni attivi in polvere (PAC), entrambi stoccati in sili dedicati. La quantità di bicarbonato da utilizzare viene determinata sulla base della misura di concentrazione dell'HCl rilevata dall'analizzatore al camino, mentre quella dei PAC è definita in relazione alla portata complessiva dei fumi da trattare.

#### Filtro reattore

Il filtro reattore ha struttura e funzionamento analoghi a quelli del filtro depolveratore, sulla superficie esterna delle maniche del filtro reattore sono in particolare trattenuti gli inquinanti costituiti dai prodotti sodici residui, cioè dai prodotti delle reazioni tra le componenti acide ed il bicarbonato di sodio, i carboni attivi in polvere che hanno abbattuto i microinquinanti organici ed i metalli pesanti, ed una parte dei reagenti che completano la loro attività a valle del reattore.

#### Reattore SCR DeNO<sub>x</sub> per la riduzione catalitica degli NO<sub>x</sub>

Il reattore SCR (Selective Catalytic Reduction), di tipo catalitico selettivo, contiene al proprio interno un catalizzatore in pellets che favorisce la reazione tra gli ossidi di azoto presenti nei fumi e l'ammoniaca iniettata attraverso una apposita griglia posta a monte dello stesso.

### 1.3.2 Emissioni di microinquinanti

I principali microinquinanti rilevati nei fumi sono Diossine, PCB, benzofurani, IPA e Metalli. I microinquinanti vengono monitorati periodicamente con prelievi ed analisi specifiche. Le concentrazioni di queste sostanze sono estremamente basse ed ampiamente entro i limiti di legge. Il termovalorizzatore è dotato di un complesso sistema per il monitoraggio in continuo delle emissioni (SME). Le apparecchiature di misura sono collocate sul camino ad un'altezza di circa 4 m in un box prefabbricato. Il sistema è costituito da strumenti separati ma posti tutti sulla medesima linea di campionamento. Il prelievo dei campioni di fumi da analizzare è realizzato in condizioni isocinetiche, mantenendo inoltre il fluido alla temperatura costante di 180°C mediante riscaldatori elettrici. Vengono effettuate misure di portata, umidità, temperatura e pressione, accompagnate dal monitoraggio delle polveri totali tramite un fotometro, e dall'analisi del carbonio organico totale attraverso il principio di funzionamento del Multi-Fid è basato sul rivelatore a ionizzazione di fiamma. Uno spettrofotometro infrarosso a Trasformata di Fourier (FT-IR), è in grado di eseguire in continuo e simultaneamente le misure di SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HCl, H<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>. Tutte le funzioni dello strumento (calcolo della Trasformata Veloce di Fourier, autodiagnostica interna, monitoraggio e visualizzazione allarmi, presentazione variabili misurate, ecc.) sono gestite interamente da un'unità di controllo computerizzata dedicata. E' sempre possibile inoltre verificare, qualora richiesto, la corretta taratura dello strumento FT-IR, con bombole di calibrazione certificate. Infine è presente un analizzatore di ossigeno in grado di misurare in continuo, tramite un sensore all'ossido di zirconio, la percentuale di ossigeno nei fumi emessi. Il Sistema è dotato di calcolatore per la gestione dei dati provenienti da ogni singolo strumento di misura. Il calcolatore, oltre alla gestione dello strumento di analisi degli inquinanti, effettua:

- la normalizzazione dei valori riscontrati riportandoli alle condizioni standard di misura convenzionali;
- il calcolo delle medie semiorarie, giornaliere e settimanali;
- la memorizzazione su supporto magnetico dei valori calcolati;
- l'acquisizione degli allarmi;
- la stampa delle medie riportando i valori grezzi, normalizzati ed i valori dei parametri impiegati per la normalizzazione.

Il Sistema di Monitoraggio Emissioni permette di garantire il continuo controllo delle emissioni in relazione ai limiti imposti dalla vigente normativa. I dati ottenuti sono resi disponibili agli operatori e tutte le eventuali anomalie sono immediatamente visualizzate, permettendo una rapida azione di intervento per il ripristino dei parametri da parte del

personale in turno. Il sistema provvede all'archiviazione di tutte le rilevazioni rendendo in ogni momento disponibile lo storico delle misure.

## 1.4 L'impianto di stoccaggio

L'impianto e le aree dedicate allo stoccaggio dei rifiuti sono divise in sei aree principali: due aree chiuse, di seguito denominate area A (A1 ed A2) ed area B (B1 e B2), un'area costituita da un capannone suddiviso in sottosettori, parzialmente chiusi, denominata area C, e infine altre tre aree scoperte denominate D, E ed F.

### Area di stoccaggio A

L'area di stoccaggio A, coperta e suddivisa in due sottosezioni separate denominate A1 e A2, è stata ricavata dalla chiusura dei volumi resi disponibili da preesistenti tettoie situate nella zona nord dell'impianto. L'area sottesa dalla tettoia maggiore, area A1, risulta completamente confinata da interventi di tamponamento delle superfici verticali e dalla realizzazione di idonee strutture per la chiusura frontale. L'area A2 è stata ricavata dalla chiusura delle superfici verticali della tettoia minore, lasciando libero il lato sud in modo tale da permettere le operazioni di gestione del rifiuto. Complessivamente la superficie utile dell'area di stoccaggio A è pari a 425 m<sup>2</sup>, di cui circa 350 m<sup>2</sup> sono relativi all'area A1 e circa 75 m<sup>2</sup> all'area A2. La pavimentazione di entrambe le aree è costituita in conglomerato bituminoso con una morfologia che permette il convogliamento di eventuali reflui verso i sistemi di captazione appositamente predisposti, in grado poi di inviarli alla rete di raccolta esistente, direttamente collegata all'adiacente impianto di depurazione delle acque.

### Area di stoccaggio B

L'area identificata con la lettera B, situata a ovest delle tettoie A, è totalmente coperta ed è suddivisa in due sottoaree collegate tra loro: B1 e B2. L'ambiente è completamente confinato con le stesse modalità descritte per l'area A1. Al suo interno è stata costruita una vasca di contenimento, interrata e chiusa, per la Frazione Organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU), utilizzata solo nei casi di impossibilità al conferimento diretto agli impianti dedicati. La vasca, da quando è stata approntata, non è mai stata utilizzata in quanto il materiale raccolto è stato fino ad ora sempre indirizzato agli impianti finali di recupero. L'utilizzo della vasca rimane pertanto esclusivamente previsto come supporto alla temporanea gestione di eventuali emergenze conseguenti alla non disponibilità al ritiro da parte degli impianti di recupero, previa comunicazione agli Enti interessati. Tale vasca, avente una capacità complessiva di 56 m<sup>3</sup> (30 t di FORSU), è completamente interrata e realizzata in cemento armato con impermeabilizzazione a doppia guaina. Il lato della vasca destinato al conferimento del rifiuto è dotato di un cordolo alto 25 cm ed il sistema di chiusura è

costituito da quattro portelloni motorizzati messi in funzione dagli operatori prima delle fasi di carico/scarico. Per la vasca sono previsti sia un sistema di convogliamento e rilancio dei percolati che un sistema di aspirazione dell'aria collegato a sistemi di trattamento. La superficie dell'area B disponibile per le operazioni di messa in riserva e deposito preliminare delle frazioni dei rifiuti è complessivamente quantificata in circa 700 m<sup>2</sup> di cui circa 28 m<sup>2</sup> occupati dalla vasca di contenimento della FORSU. Le pavimentazioni sono realizzate in cemento industriale e opportune pendenze onde convogliare le acque presso la rete di raccolta, collegata all'adiacente impianto di depurazione acque.

#### Area di stoccaggio C

Il capannone principale di stoccaggio rifiuti ha una superficie utile di circa 1200 m<sup>2</sup> ed è suddiviso in 15 settori, ciascuno adibito ad una specifica tipologia di rifiuto. Il capannone è realizzato da una struttura coperta, aperta sui lati esterni e suddivisa in settori mediante muri realizzati in blocchi in cemento armato con pannelli di polycarbonato e lamiera metallica; il perimetro è per lo più aperto, ad eccezione delle aree 5a , 6b e 14 le quali sono dotate di porte ad impacchettamento. Ciascuna sub-area (da area 1 a area 15) del capannone di stoccaggio è dotata di pavimentazione impermeabile con pendenza rivolta verso il lato esterno dove, per tutta la lunghezza di ciascuna sub area è collocato un sistema di collettamento di eventuali rilasci in idonee vasche di raccolta delle acque speciali. Ciascuna delle 8 vasche è costruita in cemento armato con rivestimento in resina epossidica e presenta un dimensionamento differente dalle altre. Nell'area C avviene la riduzione volumetrica di carta/cartone e plastica realizzata attraverso l'utilizzo di una pressa di compattazione.

#### Area di stoccaggio D

L'area D, completamente scoperta, adibita allo stoccaggio di rifiuti non pericolosi è situata a sud dell'area di stoccaggio C, copre una superficie di 380 m<sup>2</sup> circa ed è pavimentata in conglomerato bituminoso su cui vengono depositati circa 10 container aventi una capacità di 20/30 m<sup>3</sup> l'uno.

#### Area di stoccaggio E

L'area E è situata ad est dell'area di stoccaggio C, copre una superficie di circa 200 m<sup>2</sup> ed è dotata di pavimentazione in conglomerato bituminoso. L'area è autorizzata per il deposito di un numero massimo di 4 container di 20/30 m<sup>3</sup>. L'area, anch'essa completamente scoperta, è autorizzata per lo stoccaggio di materiale non pericoloso.

#### Area di stoccaggio F

L'area F è situata a nord-est dell'area di stoccaggio C a ridosso delle aree di stoccaggio A e B. Tale area copre una superficie di 1.100 m<sup>2</sup> circa ed è delimitata da elementi prefabbricati in calcestruzzo vibrocompresso aventi altezza pari a 3,7 m, che offrono una protezione all'azione del vento e, contestualmente, rappresentano una barriera fisica alla propagazione del rumore prodotto dai mezzi meccanici in movimento. L'area F è autorizzata allo stoccaggio di materiale esclusivamente non pericoloso.

## **1.5 Trasbordo di rifiuti da attività di igiene al suolo**

La stazione di trasferimento dei rifiuti derivanti dall'attività di igiene del suolo e dallo spazzamento stradale è localizzata al confine nord dell'area industriale dove è presente una struttura di ribaltamento appositamente predisposta. I rifiuti, provenienti dalle attività di igiene del suolo svolte nel territorio del Comune di Bergamo da Aprica S.p.A., vengono trasbordati dagli automezzi all'interno di containers scarrabili utilizzati anche direttamente per il trasporto alla destinazione finale di recupero. In alternativa per tale attività è possibile utilizzare anche un'area appositamente predisposta, e localizzata sempre in prossimità della struttura di ribaltamento sopra descritta, dotata di una pavimentazione costituita da uno strato in PVC di spessore pari a 5 mm, saldato a caldo, da uno strato di feltro tessuto non tessuto come intercapedine, da un foglio in polietilene avente uno spessore pari a 10 mm e da una gettata finale di cemento. Tale area è collegata ad una vasca di additivazione di reagenti chimico-fisici utilizzata per un primo abbattimento degli eventuali reflui raccolti (ricchi di metalli pesanti) prima dell'invio alla rete di raccolta delle acque nere e successivamente all'impianto di depurazione.

## 1.6 La piattaforma ecologica

La piattaforma ecologica, come accennato in precedenza, non è più direttamente gestita da A2A Ambiente a partire dal primo luglio del 2013. La piattaforma ecologica occupa un'area di circa 3.100 mq. I rifiuti provenienti dalla piattaforma ecologica, con frequenza subordinata alle quantità massime stoccabili, vengono inviati all'impianto di stoccaggio, previa pesatura effettuata in ingresso, e da qui inviati a successivo destino. E' presente un impianto di transito (cella frigorifera per carcasse animali) localizzato all'interno della piattaforma ecologica, costituito da un'idonea cella termicamente controllata, di volume interno pari a circa 30 metri cubi, in grado di contenere mediamente una trentina di carcasse animali introdotte in casse di plastica pallettizzabili. Con frequenza periodica (in media ogni due mesi), le carcasse animali vengono prelevate dalla Ditta convenzionata e, tramite mezzi propri debitamente autorizzati, conferite presso gli impianti di pretrattamento autorizzati e, da qui, inviati alla termodistruzione secondo le vigenti norme.

## 1.7 La centrale del teleriscaldamento

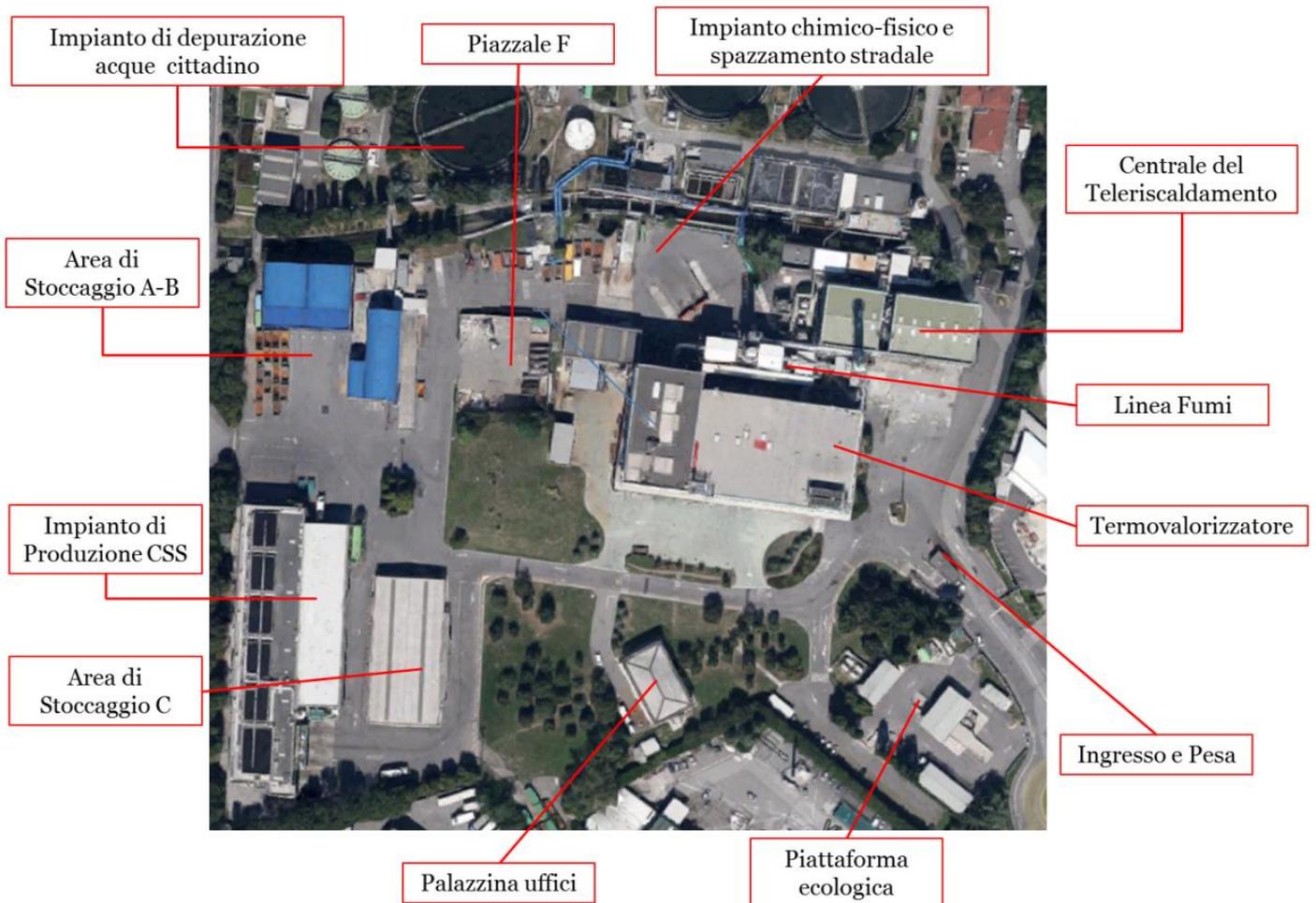
L'impianto, entrato in funzione dal gennaio 2009, è destinato alla produzione di acqua surriscaldata da immettere nella rete di teleriscaldamento della Città di Bergamo, in parte già realizzata ed in parte in fase di realizzazione ed estensione. La produzione di acqua surriscaldata è ottenuta mediante funzionamento di due caldaie alimentate a gas naturale, dimensionate per poter cedere all'acqua del sistema di teleriscaldamento, una potenza termica di circa 44 MW netti ciascuna. L'impianto, produce acqua surriscaldata, a circa 150 °C di temperatura e circa 25 bar di pressione, dopodiché l'energia termica viene ceduta all'acqua che fluisce nella rete del teleriscaldamento attraverso degli scambiatori di calore a fascio tubiero. L'acqua utilizzata per questo procedimento viene prelevata dall'acquedotto municipale e tramite un sistema di resine a scambio ionico viene demineralizzata. Le acque di lavaggio esauste, utilizzate per rigenerare le resine, e l'acqua demineralizzata estratta dalle caldaie, vengono raccolte in alcuni serbatoi e successivamente smaltite tramite la rete di raccolta delle acque nere presente in impianto. L'acqua surriscaldata è prodotta mediante combustione di gas naturale all'interno di due caldaie (generatori), ognuna delle quali costituita dai seguenti componenti principali:

- camera di combustione, di tipo pressurizzato, completamente schermata da tubi, dotata di rivestimento refrattario nella sola zona dei coni dei bruciatori;
- bruciatori a gas naturale, del tipo low NO<sub>x</sub>, dotati di accorgimenti per la ripartizione ed il controllo in portata dei singoli flussi d'aria, in modo da realizzare una combustione a

stadi, progressiva e sotto stechiometrica nella zona centrale della fiamma, per un ottimale contenimento degli ossidi di azoto, senza compromissione dei livelli di monossido di carbonio;

- fascio tubiero a convezione, in controcorrente, per lo scambio termico tra i fumi in uscita dalla camera di combustione e l'acqua del circuito caldaia;
- ventilatore aria comburente alimentato tramite inverter;
- preriscaldatore d'aria, del tipo a tubi di fumo, dimensionato affinché la temperatura dei fumi al camino, in condizioni di carico di punta, sia di 125 °C, circa;
- condotti aria e fumi (fino all'innesto nella canna verticale di scarico in atmosfera), realizzati in lamiera d'acciaio, dotati di idonei soffietti di dilatazione e serrande di intercettazione e regolazione, inserite mediante collegamenti flangiati;
- pompe di circolazione e relative tubazioni di mandata e ritorno per il collegamento allo scambiatore di separazione.

L'impianto è inoltre dotato di un sistema di monitoraggio delle emissioni per il controllo della concentrazione in uscita degli ossidi di azoto, del monossido di carbonio e del tenore di ossigeno. L'impianto è caratterizzato da un punto di emissione puntuale, dove si concentrano i fumi provenienti da entrambe le caldaie installate: fumi di combustione, aventi caratteristiche chimico – fisiche tra loro identiche, sono portati tramite tubazioni orizzontali separate fino alla base della canna verticale di espulsione, attraverso la quale sono poi convogliati in un unico punto di emissione in quota. I flussi dei fumi prodotti dalla combustione del gas naturale hanno portata e temperatura variabili in funzione del regime di funzionamento effettivamente richiesto all'impianto; i valori minimi si hanno durante i periodi iniziali di accensione e riscaldamento dei generatori di calore, mentre i valori massimi si raggiungono durante il funzionamento al carico di punta di entrambe le caldaie. La portata massima delle emissioni dell'impianto di produzione di acqua calda per il teleriscaldamento è pari a 102.000 Nm<sup>3</sup>/h, nelle condizioni di funzionamento al carico massimo di punta di entrambe le caldaie, mentre la temperatura dei fumi allo scarico è variabile tra 90 e 125 °C, circa, in funzione dei livelli di carico di funzionamento dell'impianto.



**Figura 3** Descrizione dell'area impianti

---

## **CAPITOLO 2**

### **LA RETE DI**

### **RACCOLTA ACQUE**

Nel capitolo precedente si sono descritte tutte le attività svolte nell'area impianti di Bergamo. All'interno del complesso industriale, come si è potuto ben capire, non si trattano solo rifiuti ma esistono anche una serie di attività legate all'igiene del suolo, allo stoccaggio dei rifiuti e alla produzione di calore. Ogni attività genera, in diverse quantità, delle acque di scarico: percolati provenienti dai rifiuti, acque di contro lavaggio delle resine a scambio ionico (utilizzate per generare acqua demineralizzata per le caldaie), scarichi civili provenienti dalla palazzina degli uffici e liquidi provenienti dai mezzi di spazzamento stradale si aggiungono alle acque dilavate dai piazzali e a quelle scaricate dallo scrubber e dai biofiltri. Allo stato attuale questi reflui sono raccolti in apposite vasche situate in punti strategici dell'area, collettati tramite un sistema fognario ed inviati a tre punti di scarico, che confluiscono nell'attiguo impianto di depurazione acque gestito da Uniacque. In questo capitolo verranno ricostruite ed analizzate le portate di ogni singolo scarico e il carico di inquinanti in essi contenuti. Verranno quindi definite le caratteristiche finali del refluo che verrà poi utilizzato per il dimensionamento dell'impianto di depurazione. Per ricostruire le portate provenienti dalle diverse zone dell'impianto si è fatto riferimento ai dati storici conservati in impianto, a misuratori di portata installati, dati idraulici registrati e dati dedotti dai software di funzionamento e dall'esperienza degli addetti ai lavori all'interno dell'impianto.

## 2.1 Stato di fatto della rete di raccolta delle acque e consumi idrici

I consumi idrici del complesso impiantistico sono principalmente correlati ai seguenti impieghi:

- barriere ad acqua installate sulle porte di scarico dei rifiuti (operative nel periodo estivo);
- trattamento dei reflui gassosi (ricambio scrubber e umidificazione biofiltri);
- produzione di acqua demineralizzata per il termovalorizzatore e le caldaie per il teleriscaldamento.

L'approvvigionamento idrico dell'intero complesso, finalizzato all'utilizzo sia a scopo industriale che civico, deriva completamente dall'acquedotto. All'interno del complesso non sono presenti punti di prelievo dalla falda, né viene utilizzata risorsa derivante dai corpi idrici superficiali presenti nelle immediate vicinanze dell'area. Nel contesto dell'ottimizzazione nell'impiego della risorsa, lo scrubber facente parte del ciclo di trattamento dell'aria derivante dal processo di essiccamento dei rifiuti è dotato di un sistema di ricircolo. Per quanto riguarda la rete anti incendio non si fa riferimento solo all'acquedotto, ma è previsto l'utilizzo prioritario dell'accumulo di acqua meteorica costituito dalle vasche di prima e seconda pioggia. All'interno dell'Area Impianti, come abbiamo visto, si producono diverse tipologie di acque reflue, che vengono raccolte in reti distinte in relazione alla loro provenienza ed al potenziale carico inquinante. In primo luogo le acque reflue sono suddivisibili in tre tipologie: acque nere provenienti dai servizi igienici, acque reflue di processo ed acque meteoriche. Si sono individuati i seguenti flussi idrici principali:

- Acque nere provenienti dall'uso umano;
- Acque reflue scaricate dal sistema di demineralizzazione;
- Acque provenienti dalla zona di trasbordo dei rifiuti da igiene del suolo (tipicamente scaricate dai mezzi per lo spazzamento stradale);
- Acque reflue originate dall'impianto di produzione del CSS e dall'impianto di stoccaggio;
- Acque meteoriche di dilavamento dai piazzali di lavoro.

Le uniche acque in uscita dall'Area Impianti sono quelle meteoriche di seconda pioggia. Queste vengono scaricate in condizioni di "troppo pieno" tramite uno stramazzone verso il torrente Morletta, che attraversa l'area impianti in direzione est-ovest. Lo scarico è previsto dall'Autorizzazione Integrata Ambientale ed è indicato sulle tavole riguardanti le reti con la sigla "S1". Tutte le restanti acque, escluse quelle che costituiscono la riserva antincendio, vengono consegnate al depuratore gestito da Uniacque per essere trattate insieme ai reflui fognari cittadini. I punti di recapito degli scarichi idrici all'attiguo impianto di depurazione sono i seguenti ed identificati con le rispettive sigle:

- Punto “Sn2”: raccoglie gli scarichi provenienti dalle aree e dai piazzali adibiti allo stoccaggio dei rifiuti, gli scarichi dell’impianto di produzione del CSS e, previo trattamento chimico – fisico, i reflui provenienti dalle aree di trasbordo dei rifiuti da igiene del suolo. All’occorrenza raccoglie i percolati dalle vasche di decantazione di eventuali prodotti provenienti dalle sezioni di generazione vapore, depurazione fumi e contenimento dei reagenti e dei residui di combustione dell’impianto di termovalorizzazione;
- Punto “Sn4”: ad esso confluiscono le acque meteoriche rilanciate dalla vasca di prima pioggia, gli scarichi della palazzina uffici e gli scarichi dell’impianto di termovalorizzazione di rifiuti speciali non pericolosi;
- Punto “Sn5”: raccoglie le acque demineralizzate scaricate dalle caldaie dell’impianto di teleriscaldamento, e i pluviali dello stesso impianto.
- Punto “Sn3”:, è situato dove sorge l’impianto chimico-fisico per l’abbattimento dei metalli pesanti scaricati dai mezzi per l’igiene al suolo. Ad oggi lo scarico non è più utilizzato in quanto è stato dismesso. Rimane però indicato nelle tavole perché in precedenza, costituiva lo scarico di emergenza in caso di troppo pieno dell’impianto chimico-fisico.

### **2.1.1 Impianto chimico-fisico**

All’interno dell’impianto esiste già un sistema di trattamento preliminare le acque reflue provenienti dall’attività di trasbordo dello spazzamento stradale. Questo trattamento si è reso necessario a causa dell’elevato contenuto, nei liquidi scaricati, di metalli pesanti e solidi sospesi. Tali quantità non permettono un idoneo smaltimento (tramite il punto di scarico Sn2) all’attiguo impianto di depurazione acque. L’impianto svolge la funzione di trattamento preliminare delle acque reflue provenienti dalla vasca denominata “Carubia” ed destinata a raccogliere le acque derivanti dall’area di trasbordo dello spazzamento stradale. Lo scopo dell’impianto è quello di garantire un primo abbattimento del contenuto di metalli presenti nel refluo. Esso è costituito da tre vasche aperte, collegate tramite stramazzi, ciascuna della capacità di 1m<sup>3</sup>. La prima vasca è dotata di un mixer per l’omogeneizzazione dell’acqua reflua con il reagente. Il processo di trattamento si basa sul principio di abbattimento dei metalli in ambiente fortemente basico, garantito attraverso il dosaggio proporzionato di idrossido di sodio (soda) in concentrazione al 20%. L’ingresso del refluo avviene tramite una pompa sommersa della portata di 12 m<sup>3</sup>/h, mentre il dosaggio di reagente avviene tramite una seconda pompa dosatrice della portata di 3,5 litri/ora. Al fine di garantire il corretto dosaggio del reagente nella quantità necessaria dalla chiarificazione del refluo da trattare, il funzionamento delle due pompe, è impostato in modo da garantire che per ogni m<sup>3</sup> di refluo venga dosato 1 litro di reagente. Il reagente è stoccato in una cisterna con volume paria ad 1

m3. In caso di emergenza, come precedentemente descritto, i liquidi in eccesso dovuti ad eventi meteorici straordinari vengono convogliati alla vasca di equalizzazione collegata al punto di scarico Sn2.

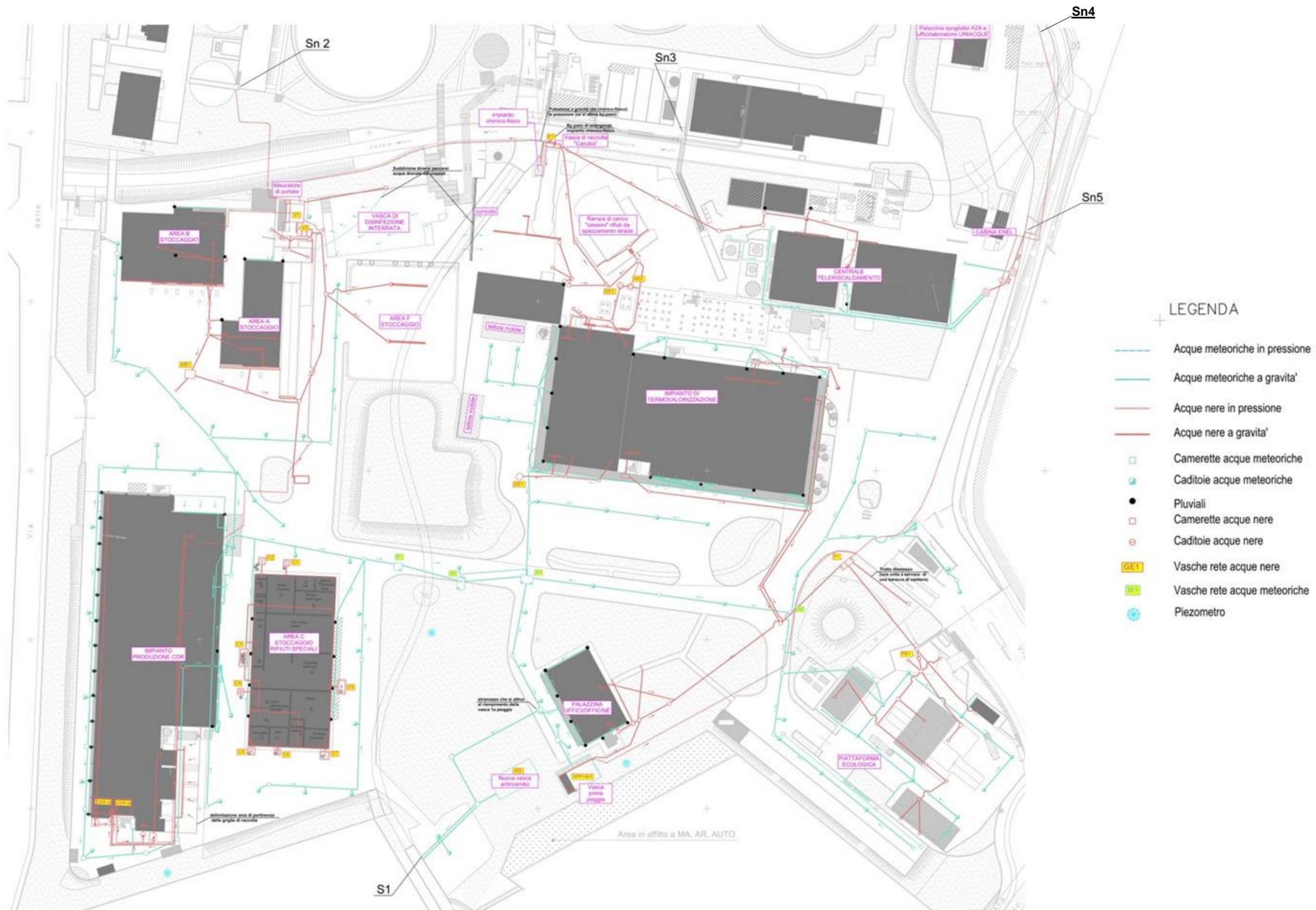


Figura 4 Reti di raccolta delle acque nere e meteoriche

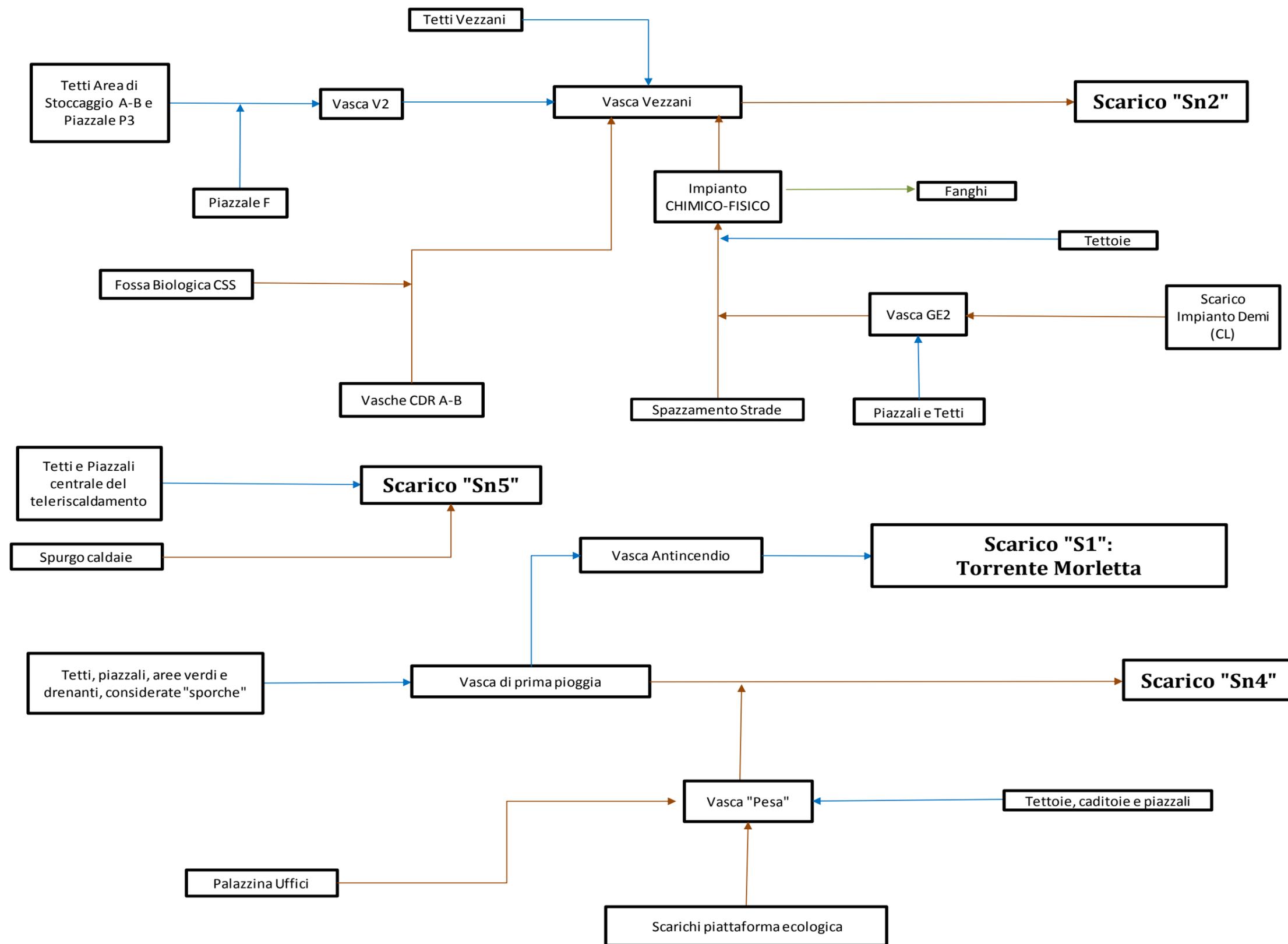


Figura 5 Diagrammi di flusso delle acque nere e meteoriche in impianto

## **2.2 Ricostruzione delle portate dei reflui trattati**

Per la ricostruzione delle portate dei reflui già raccolti, si è proceduto acquisendo tutta la documentazione disponibile presso A2A Ambiente, costituita sia da tavole relative a vari progetti, sia da elaborati e documenti predisposti per le normali attività di gestione dell'insediamento. Di fondamentale importanza, per la ricostruzione delle portate e dei loro percorsi tramite il sistema fognario e le vasche di accumulo, sono stati i documenti redatti dal Dr. Ing. P.G. Fenaroli nel Maggio 2013 e nel Dicembre 2014 e che forniscono una completa visione d'insieme delle reti di raccolta delle acque meteoriche e nere all'interno dell'impianto. Per ciò che riguarda le reti di raccolta e collettamento delle acque meteoriche e dei vari reflui, va sottolineato che la situazione attuale dell'insediamento è frutto di una stratificazione decisamente articolata di progetti e realizzazioni che si sono succeduti nel tempo, da oltre 50 anni ad oggi, parallelamente alle trasformazioni/estensioni della funzione svolta dall'insediamento stesso, delle esigenze di conformarsi a normative che si sono via via modificate ed evolute e, non da ultimo, anche alle variazioni di proprietà e societarie che sono intervenute in tempi più recenti. Da sottolineare, per la sua fondamentale importanza ed utilità, è poi la disponibilità e la partecipazione continua del personale tecnico A2A Ambiente, sia nelle fasi di raccolta del materiale bibliografico e storico, sia nel momento della ricostruzione vera e propria dei quantitativi di acqua trattata.

Una volta studiato il percorso delle acque in impianto, si sono calcolate le portate. Questo è stato possibile grazie ad una stima basata su diversi approcci a seconda del tratto fognario in esame:

- Dati pluviometrici e aree drenanti;
- Report sulle ore di funzionamento delle pompe di rilancio situate in alcune vasche di accumulo;
- Dati sui consumi di acqua prelevata dall'acquedotto;
- Dati sulle ore di funzionamento dei biofiltri e del sistema di irrigazione;
- Dati sulle ore di funzionamento dello scrubber;
- Dati sulle ore di funzionamento dell'impianto di abbattimento dei metalli pesanti.

### **2.2.1 Dati pluviometrici e aree drenanti**

Dal sito dell'Arpa Lombardia, sono stati scaricati i dati mensili di precipitazione e temperatura riferiti alla stazione meteorologica di Bergamo-Stezzano. I dati scaricati fanno riferimento al periodo 2004-2014. Una volta scaricati i dati si è calcolato la media delle precipitazioni e delle temperature per ogni mese dell'anno, e successivamente sono state

calcolate le medie annuali di precipitazione e temperatura. Le acque meteoriche in impianto sono convogliate o direttamente nella linea acque nere (se provenienti da aree considerate “sporche” a causa del trasbordo dei rifiuti), oppure convogliate dapprima nella linea delle acque “bianche”, raccolte nella vasca di prima pioggia e successivamente, smaltite all’impianto di depurazione gestito da Uniacque. Come da normativa infatti, i primi 5 mm di pioggia caduti nei primi 15 minuti di precipitazione sono raccolti nella vasca di prima pioggia, ed ogni 48/96 ore dall’ultimo evento di pioggia intenso, tramite un sistema di pompe, l’acqua viene convogliata alla rete delle acque nere e smaltita tramite lo scarico Sn4. Durante l’evento precipitativo, una volta che la vasca di prima pioggia si è completamente riempita l’acqua in surplus (detta di seconda pioggia) viene convogliata tramite uno stramazzo ad una vasca con funzione antincendio. Quando anche quest’ultima raggiunge l’apice, l’acqua stramazza, come già visto, nel Torrente Morletta (scarico “S1”). Per il calcolo dei volumi di acqua meteorica trattati e smaltiti dall’impianto, si è fatto riferimento alla formula:

$$V = \alpha * pioggia * A \text{ (m}^3\text{)}$$

Dove con  $\alpha$  si fa riferimento al coefficiente di deflusso per la superficie considerata. I metri di pioggia, come precedentemente affermato, si sono ricavati dai dati forniti da Arpa Lombardia, mentre le superfici e la loro misura (A, in m<sup>2</sup>) sono state ricavate da un documento disponibile in impianto (“Stato di fatto della rete di raccolta delle acque meteoriche con analisi di possibili soluzioni migliorative e progetto delle modifiche”, maggio 2013), dove per ogni area dell’impianto considerata era stata determinata la superficie con indicazione se la stessa recapitasse nella rete di acque nere o meteoriche.

**Tabella 2** Dati pluviometrici, Stazione Bergamo-Stezzano, 2004-2014

$\alpha=0,95$	Anno									
Pioggia	2004	2005	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014
mm	1085	852	779	691	1424	1596	916	1185	1293	1814
$\alpha * pioggia \text{ (m)}$	1,03	0,81	0,74	0,66	1,35	1,52	0,87	1,13	1,23	1,72

Per il dimensionamento ed il calcolo delle portate di reflu dovute alla componente meteorica si è scelta la situazione peggiore. Come si può vedere in **Tabella 2** la situazione critica coincide con l’anno 2014, dove presso la stazione metereologica di riferimento si è riscontrata una precipitazione totale di 1814 mm. Tenendo conto che per le superfici considerate si è scelto di utilizzare un coefficiente di deflusso pari a 0,95 (i piazzali di lavoro sono impermeabilizzati) si sono andate a calcolare le quantità di reflu trattato considerando un’altezza di pioggia invasata pari a 1,72 m.

## 2.3 Punto di scarico Sn2

Il punto di scarico Sn2 è il più complesso tra i tre presenti in impianto, poiché raccoglie la maggior parte dei reflui provenienti dalle diverse aree di trattamento rifiuti. Il punto di scarico comunica direttamente, come si può vedere in Figura 3, con la fase di sedimentazione primaria dell'impianto di depurazione cittadino. Prima di essere rilanciati al depuratore di Uniacque tutti i reflui vengono raccolti in una vasca, denominata "Vezzani", in grado di contenere fino a 98 m<sup>3</sup> di liquidi. All'interno della stessa sono presenti delle pompe che rilanciano il refluo verso la tubazione di scarico, lungo la quale è installato un misuratore di portata, che monitora le quantità di acqua scaricate. I dati registrati dal misuratore di portata serviranno in seguito per verificare la correttezza delle portate stimate nell'analisi dei flussi. La stessa vasca "Vezzani", in fase di progetto è stata scelta, per via della sua elevata volumetria, come possibile bacino di recapito per tutti i reflui raccolti, da inviare al nuovo impianto di depurazione. Prima di entrare nella vasca "Vezzani" i reflui attraversano una vasca (V2), divisa da tre setti in tre piccole vasche del volume di 1 m<sup>3</sup> ciascuna, in cui subiscono una fase di grigliatura grossolana.

Al punto di scarico Sn2 pervengono, come descritto in **Figura 5**, tre diversi flussi di reflui: i reflui raccolti nell'impianto di produzione di CSS, le acque meteoriche provenienti dai piazzali di lavoro e dai tetti delle aree di stoccaggio e le acque rilanciate dall'impianto chimico-fisico.

### 2.3.1 Acque provenienti dalle aree di stoccaggio

Per quanto riguarda le aree di stoccaggio, data la natura chimico fisica dei rifiuti che vengono depositati nelle aree A e B e dato che tali aree risultano coperte dall'azione di dilavamento provocata dalle piogge, per il loro utilizzo attuale è da escludere la formazione di liquami di natura pericolosa derivanti dal rifiuto. Eventuali percolati potrebbero formarsi a causa della frazione organica degli RSU, ma gli stessi non sono di natura pericolosa e vengono, quindi, inviati al pozzetto di collettamento predisposto nelle immediate vicinanze delle suddette aree e da qui inviati al punto di scarico Sn2 e successivamente all'impianto di depurazione delle acque insieme ai reflui provenienti dalle altre aree impiantistiche. Per i rifiuti pericolosi e non pericolosi stoccati nel capannone C sono stati previsti degli adeguati sistemi che collettano eventuali reflui liquidi in apposite vasche a tenuta. Un'adeguata pavimentazione garantisce, inoltre, che non vi sia la possibilità di percolazione attraverso il pavimento in caso di sversamento occasionale. In caso di sversamenti di liquidi pericolosi questi vengono smaltiti attraverso un sistema di spurghi, senza essere inviati all'attiguo impianto di depurazione. Di conseguenza, non essendo collettate alla rete delle acque nere, tali vasche non verranno considerate in fase di progettazione. Le aree D, E sono realizzate su pavimentazioni

impermeabili, inoltre, i cassoni in esse stoccati sono mantenuti coperti, riducendo così la possibilità di sversamenti al suolo di liquidi pericolosi. Anche l'area F è dotata di una pavimentazione impermeabile, esiste poi un sistema di collettamento che invia le acque di dilavamento al pozzetto di raccolta dei reflui posto nelle vicinanze delle aree di stoccaggio A e B, prima del rilancio all'impianto di depurazione (Pozzetto Sn2).

#### Piazzali e pluviali insistenti sullo scarico Sn2

Sullo scarico Sn2 insistono diversi piazzali, considerati "sporchi", inoltre anche i pluviali che raccolgono le acque dai tetti e dalle tettoie nelle aree di stoccaggio vengono inviati alla rete di raccolta delle acque nere. Come si può vedere in **Tabella 3**, considerando l'origine meteorica delle acque e la superficie dilavata, come descritto in precedenza, si è calcolato il volume di acqua invasato in m<sup>3</sup> (riferito all'anno 2014) e coincidente con la situazione peggiore. Tenuto conto del fatto che troviamo 8760 ore in un anno, è stata calcolata la portata invasata in m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. L'acqua meteorica totale che perviene al punto di scarico Sn2 e dovuta al dilavamento di tetti e piazzali corrisponde a 0,80 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (in tempo di pioggia). Tutte le portate elencate, tranne i "Tetti Vezzani", confluiscono dapprima nella vasca V2 di grigliatura e successivamente nella Vezzani. Le acque meteoriche raccolte dalla rete dei pluviali elencati come "Tetti Vezzani" confluiscono direttamente nell'omonima vasca.

**Tabella 3** Acque meteoriche raccolte nella vasca "Vezzani" e scaricate tramite il punto Sn2

Aree che confluiscono nella vasca "Vezzani"	Superficie (m <sup>2</sup> )	V <sub>tot</sub> (m <sup>3</sup> )	Portata (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
Tetto A	442,0	761,9	0,087
Tetto B	644,2	1110,5	0,127
Piazzale di Stoccaggio F	1046,5	1803,8	0,206
Tetto Vezzani 1	46,8	80,6	0,009
Tetto Vezzani 2	21,8	37,6	0,004
Piazzale di Stoccaggio 3	1875,9	3233,5	0,37
Totale	4077,3	7028,0	0,80

### **2.3.2 Acque provenienti dall'impianto di produzione del CSS**

I flussi principali di reflui prodotti dall'impianto di produzione del CSS derivano dalle acque di servizio per le barriere ad acqua, dalle acque di condensazione raccolte nei biofiltri, dallo scarico degli scrubber e dagli scarichi di percolazione dalla sezione di bioessiccazione. L'impianto è dotato di due vasche in cemento armato, denominate "CDR-A" e "CDR-B", la prima è destinata alla raccolta delle acque di processo mentre la seconda raccoglie le acque meteoriche dilavate dal piazzale antistante l'impianto di bioessiccazione e le acque di scarico dello scrubber. Entrambe sono collocate sotto la soletta dell'area adiacente alla vasca di

triturazione e sono tra loro comunicanti. La vasca CDR-A raccoglie le acque di processo: le condense dei biofiltri, il percolato derivante dalle aree di ricezione e trattamento del rifiuto e le acque derivanti dall'utilizzo della guardia idraulica dei portoni di accesso all'area di conferimento e da quelle utilizzate per la sanificazione dei mezzi interni al complesso. Poiché dal 2012, per la scarsa infestazione di mosche rilevata, queste barriere ad acqua non sono più in funzione, la portata d'acqua ad esse riferita (circa 20m<sup>3</sup> all'anno) è stata esclusa dalla stima dei volumi necessari al dimensionamento. Nelle due vasche sono presenti due pompe che tramite una condotta in pressione rilanciano i reflui alla vasca "Vezzani" collegata con il punto di scarico Sn2. Lungo questa condotta si collega la tubazione proveniente dalla fossa biologica che raccoglie gli scarichi dei bagni e degli spogliatoi utilizzati dagli operatori nell'area di bioessiccazione. Per la stima dei volumi di acqua, oltre al consueto approccio basato sugli apporti meteorici, si sono studiati i dati relativi alle pompe (ore di funzionamento e portata), e quelli relativi al funzionamento dello scrubber e del sistema di irrigazione dei biofiltri (tutti riferiti all'anno 2014).

#### Fossa biologica impianto CSS

Per la stima di questi volumi si è fatto riferimento alla dotazione idrica pro capite e ad un opportuno coefficiente di correzione che tiene conto del fatto che ci troviamo in un ambiente lavorativo. La dotazione idrica pro capite varia in funzione del numero di abitanti di una popolazione. Poiché Bergamo conta circa 120000 abitanti si è scelta una dotazione idrica pro capite pari a 300 L Ab<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Inoltre, poiché ci troviamo in un contesto industriale è stato adottato un coefficiente di equivalenza di 0,33 abitanti per ogni addetto ufficio (Bonomo, 2014). All'interno dell'impianto di bioessiccazione lavorano 8 persone, in base alle quali si è stimata la quantità di acqua scaricata nella rete delle acque nere.

**Tabella 4** Calcolo portata di acqua proveniente dalla fossa biologica dell'impianto CSS

Parametro	Valore	Unità di misura
Dotazione Idrica pro capite	300	L ab <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
Coeff. Equivalenza "Addetto ufficio"	0,33	ab ab <sub>CSS</sub> <sup>-1</sup>
D.I. Impianto produzione CSS	99	L ab <sub>CSS</sub> <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
Numero addetti	8	ab <sub>CSS</sub>
Portata giornaliera	634	L d <sup>-1</sup>
Portata annua	240	m <sup>3</sup>
Portata oraria	0,0274	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>

#### Consumo dello scrubber

Lo scrubber è posizionato all'esterno delle aie di essiccazione. Ad esso viene convogliata, tramite dei ventilatori, l'aria utilizzata per il trattamento di ossidazione biologica. Lo scrubber costituisce il primo stadio per l'abbattimento delle emissioni nell'aria estratta. La sua funzione

è quella di rimuovere tramite l'utilizzo di un liquido le polveri contenute nell'aria e rendere il flusso idoneo per il passaggio nel secondo stadio, costituito dai biofiltri. Il liquido utilizzato per l'abbattimento è acqua prelevata dall'acquedotto. Per moderare il consumo di acqua questa, una volta utilizzata nella torre a spruzzo viene ricircolata, finché, una volta satura di polveri e sostanze solubili viene scaricata. L'acqua scaricata viene collettata tramite la rete di raccolta delle acque nere, e raggiunge la vasca CDR-B. Per la stima della portata di reflujo derivante dallo scrubber si è fatto riferimento al manuale ed al programma di funzionamento fornito dalla ditta costruttrice. Lo scrubber funziona in continuo sulle 24 ore per 365 giorni all'anno (come le aie di essiccazione). Lo scarico delle acque di lavaggio avviene ogni ora, e ha una durata di 6 minuti. La portata d'acqua in uscita dallo spurgo è pari a 70 litri al minuto. E' facile pensare che ogni ora vengano quindi scaricati 420 litri di acqua. Convertendo i litri in metri cubi, e guardando l'andamento sull'intera giornata si trovano 10,08 m<sup>3</sup> di acqua scaricati. Questi corrispondono ad un quantitativo annuo di 3679,2 m<sup>3</sup> inviati alla vasca CDR-B e in seguito al punto di scarico Sn2. La portata oraria dovuta allo scrubber corrisponde a 0,42 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

**Tabella 5** Consumo dello Scrubber

Parametro	Valore	Unità di misura
Durata dello scarico	6	min h <sup>-1</sup>
Portata tubo di scarico	70	L min <sup>-1</sup>
Portata oraria	420	L h <sup>-1</sup>
Portata giornaliera	10080	L d <sup>-1</sup>
Portata giornaliera	10,08	m <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>
Portata annua	3679,2	m <sup>3</sup>
Portata oraria scaricata in vasca CDR-B	0,42	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>

### Biofiltri

Il secondo stadio per il controllo della qualità dell'aria in uscita dall'impianto di produzione del CSS è costituito da 6 biofiltri. Questi attuano un abbattimento biologico mediante azione batterica. Nella filtrazione biologica dell'aria di scarico le componenti odorigene vengono decomposte nel biofiltro per mezzo delle attività metaboliche di microrganismi e quindi eliminate. Il presupposto di tale processo è quindi che le sostanze da eliminare siano fondamentalmente biodegradabili. La natura dispone di un ampio spettro di tipi di microrganismi che nel loro complesso sono in grado di degradare svariate sostanze. I biofiltri sono costituiti da vasche riempite con della biomassa (torba, legno, cortecce, ramaglie) che, mantenuta umida, risulta essere un supporto ideale per lo sviluppo dei batteri necessari alla degradazione di quei composti organici intermedi presenti nell'aria da trattare e che sono responsabili della formazione di odori. Tutta la biomassa, che presenta uno spessore di circa 1,2 metri, è sostenuta da una pedana forata che permette la distribuzione omogenea dell'aria

da trattare su tutta la superficie coperta dal biofiltro. I biofiltri sono completati da un sistema di drenaggio e scarico dell'acqua meteorica e di irrigazione che viene raccolta e trattata con l'acqua del percolato proveniente dalla massa dei rifiuti. Proprio perché la massa contenuta all'interno del biofiltro deve continuamente essere mantenuta umida, c'è un considerevole apporto idrico. Tale apporto dipende dal sistema di irrigazione, che a sua volta viene programmato in funzione della piovosità del periodo. L'acqua utilizzata dal sistema di irrigazione è prelevata direttamente dall'acquedotto. Una volta raccolte tramite il sistema di drenaggio presente nel biofiltro, le acque vengono inviate, tramite un sistema a gravità alla vasca CDR-A. Nella fase di ricostruzione dei volumi di acqua scaricati dai biofiltri, ci siamo basati su due approcci. Il primo, ha permesso di stimare la quantità di acqua dovuta al sistema di irrigazione basandosi sui dati di funzionamento di tale sistema (tipologia e portate dei singoli ugelli e programma di funzionamento). Il secondo approccio, basato sui dati di consumo di acqua dall'acquedotto, ci ha permesso di verificare che le portate di acqua stimate fossero verosimili. Questo è stato possibile perché l'impianto di produzione del CSS è dotato di un contatore che misura i m<sup>3</sup> di acqua potabile consumata in impianto. L'acqua potabile, prelevata dall'acquedotto è usata per 3 funzioni: uso civile (spogliatoi e bagni), acqua di lavaggio dello scrubber ed irrigazione. Nei paragrafi precedenti abbiamo ricavato le quantità di acqua dovute alle prime due attività elencate, così le abbiamo sottratte ai m<sup>3</sup> totali di acqua consumati e abbiamo ricavato la quantità di acqua utilizzata per l'irrigazione dei biofiltri. Tra le due quantità stimate, ai fini del dimensionamento si è poi scelta la quantità critica di acqua a favore di sicurezza. Infine per trovare la quantità totale di acqua percolata, si è calcolata la quantità di acqua meteorica dilavata dalle superfici dei biofiltri.

Il sistema di irrigazione installato nei biofiltri è costituito da ugelli K-Rain Mini Pro 1.5. Il Mini Pro è un irrigatore a turbina idraulica lubrificata ad acqua in grado di sviluppare gittate variabili da 5,1 a 9,1 m. Nella nostra configurazione, come si può vedere in **Tabella 6** la pressione è pari a 2,8 bar, l'ugello in corrispondenza di tale pressione registra una portata di 6,4 litri minuto<sup>-1</sup> (9,4 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)

**Tabella 6** Dati tecnici degli ugelli di irrigazione

Pressione	Gittata	Portata		
		L min <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
2,1	6,9	5,3	0,32	7,6
2,8	7,2	6,4	0,39	9,3
3,4	7,2	7,2	0,43	10,4

Sulle superfici dei sei biofiltri sono installati in totale 20 ugelli. Questi si attivano a seconda della stagione e della piovosità, con diverse frequenze e irrogano acqua per 8 minuti. Un software informatico gestisce l'attivazione del sistema di irrigazione secondo tre diverse

configurazioni: estiva, estiva intensiva ed invernale. La configurazione “estiva” prevede l’attivazione degli ugelli ogni 2 ore dalle 01:00 alle 22:00, mentre quella “estiva intensiva” è così organizzata: partenza degli ugelli ogni ora dalle 06:00 alle 19:00, e ogni due ore dalle 19:00 alle 06.00. Per scelta tecnica la configurazione invernale (attivazione 5 volte al giorno) non viene mai utilizzata sia perchè c’è il pericolo che a causa delle basse temperature invernali della zona, l’acqua ghiacci nelle tubature, sia perché in inverno le sole acque meteoriche sono in grado di soddisfare la percentuale di umidità richiesta dal biofiltro. Il sistema memorizza inoltre i giorni e il tipo di configurazione con cui il sistema di irrigazione lavora. Nell’anno 2014, a causa della ricca piovosità, la configurazione “estiva intensiva” è stata attivata solo 20 giorni, mentre la configurazione “estiva” ha funzionato per 225 giorni. Dai dati raccolti e appena descritti si è quindi ricostruita la portata totale annua di acqua raccolta nella vasca CDR-A che ha origine dal sistema di irrigazione. Essa è stata stimata essere 2942 m<sup>3</sup> anno<sup>-1</sup> (**Tabella 7**).

**Tabella 7** Calcolo della portata di acqua dovuta al sistema di irrigazione

Ugelli (n=20)	Partenze	Durata	Funzio- namento	Portata			Q <sub>20</sub>	Giorni di lavoro	Portata
				L min <sup>-1</sup>	L d <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>			
Estiva	11	8	88	6,4	566,7	0,57	11,3	225	2550
Estiva intensiva	19	8	152	6,4	978,9	0,98	19,6	20	392
Invernale	5	8	40	6,4	257,6	0,26	5,2	0	0
								Totale	2942

La stima effettuata è stata poi verificata attraverso i dati registrati dai contatori misuranti il consumo di acqua potabile nell’area dell’impianto di produzione di CSS. L’acqua prelevata dall’acquedotto viene utilizzata per tre diverse funzioni:

- Usi civili;
- Acqua di lavaggio per lo scrubber;
- Acqua per l’irrigazione dei biofiltri.

La quantità di acqua prelevata per usi civili, è stata ricavata, come descritto in precedenza facendo riferimento sulla dotazione idrica pro capite degli addetti di impianto. Essa è stata stimata essere pari a 240 m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup>. La quantità di acqua consumata dallo scrubber per il trattamento dell’aria esausta proveniente dalle aie di bioessiccazione è pari a 3679,2 m<sup>3</sup>a<sup>-1</sup>.

Dai contatori installati si è ricavato che l’acqua potabile prelevata dall’acquedotto nell’anno 2014 è pari a 6875 m<sup>3</sup>. La quantità di acqua utilizzata per il sistema di irrigazione dei biofiltri è stata così ricavata tramite l’equazione:

$$\text{Irrigazione} = \text{Consumo Totale} - \text{Usi civili} - \text{Scrubber}$$

Nel 2014, il volume di acqua utilizzato per l'irrigazione è stato pari a 2955,8 m<sup>3</sup>, tale quantitativo corrisponde ad una portata oraria di 0,337 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

#### Fossa di ricezione ed aie di essiccazione

I percolati provenienti dalla fossa di ricezione e dalle aie di essiccazione, vengono raccolti tramite due pozzetti collocati sotto la soletta del capannone. All'interno dei pozzetti sono posizionate due pompe (indicate nei documenti presenti in impianto come "pompa 3" e "pompa 4") in grado di rilanciare questi percolati alla vasca CDR-A. Le due pompe, identiche, operano con una portata pari a 7,2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; inoltre sono registrate le ore di funzionamento durante l'anno. La pompa 3 che estrae i percolati delle aie di essiccazione, nel 2014 ha lavorato (in riferimento alla situazione "peggiore") per un totale di 307 ore. La quantità di refluo inviata alla vasca CDR-A è quindi pari a 2210,4 m<sup>3</sup>. La pompa 4, che estrae i percolati dal pozzetto situato nei pressi della fossa di ricezione, ha lavorato per 271 ore, facendo registrare un volume scaricato pari a 1951,2 m<sup>3</sup>. I dati vengono riassunti in **Tabella 8**.

**Tabella 8** Stima della quantità di percolati dalla fossa di ricezione e dalle aie di essiccazione

Origine dei percolati	Sigla della pompa di riferimento	Portata pompa	Ore di funzionamento	Volume percolati	Portata refluo
		m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	h	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Aie di essiccazione	3	7,2	307	2210,4	0,252
Fossa di ricezione	4	7,2	271	1951,2	0,223

### **2.3.3 Acque provenienti dai mezzi per lo spazzamento stradale**

Le acque reflue eventualmente prodotte dalle attività di trasbordo del rifiuto derivante da spazzamento stradale e dalla pulizia delle caditoie e pozzetti stradali, vengono scaricate, attraverso un'apposita pedana sovrelevata in due containers. Una volta che questi containers sono colmi i rifiuti vengono opportunamente smaltiti. Tuttavia questi rifiuti spesso li ritroviamo in forma liquida. Il liquido così percola attraverso un sistema di canalizzazione nella rete delle acque nere. I percolati raccolti vengono inviati ad una vasca detta "Carubia", che ha lo scopo di accumulare questi liquidi prima che essi vengano smaltiti attraverso lo

scarico Sn2. Oltre ai reflui provenienti dai mezzi per l'igiene del suolo e dello spazzamento stradale, la vasca "Carubia", raccoglie anche altre tipologie di refluo:

- Acque meteoriche provenienti dal piazzale antistante la pedana di scarico;
- Acque meteoriche provenienti dalle tettoie del deposito mezzi;
- Scarico dell'acqua demineralizzata dalla centrale del teleriscaldamento;
- Scarico delle acque di contro lavaggio del sistema di resine a scambio ionico per ottenere acqua demineralizzata per le caldaie degli impianti energetici.

Nella vasca "Carubia" è installata una pompa che rilancia il refluo all'impianto chimico-fisico. Infatti, come già visto, prima di essere inviati al punto di scarico Sn2, questi reflui vengono trattati grazie ad un impianto chimico-fisico in grado di abbattere i metalli pesanti in essi contenuti e renderli idonei per lo smaltimento in fognatura. Proprio grazie ai dati relativi alle ore di funzionamento della pompa e alla sua portata si è ricostruito il volume di acqua proveniente dall'area di spazzamento dei mezzi, trattato dall'impianto-chimico fisico e smaltito al depuratore acque attraverso lo scarico Sn2. Nel caso in cui vi siano abbondanti eventi meteorici, l'impianto chimico-fisico non è in grado di smaltire la totalità del refluo, tuttavia essendo questo molto diluito viene smaltito attraverso un sistema di bypass, dalla vasca "Carubia" alla vasca "Vezzani". Le ore di funzionamento della pompa vengono annotate circa settimanalmente da un addetto. Per la stima si è fatto riferimento ai dati raccolti dal 18/03/2014 al 25/03/2015, considerando che al 18/03 il contatore rilevava 1897,2 ore di funzionamento. Sapendo che la pompa ha una portata oraria pari a  $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , moltiplicando le ore di funzionamento per la portata si trova il volume di acqua smaltito per il periodo di riferimento. Dal periodo di riferimento si ricava il volume giornaliero smaltito attraverso l'impianto chimico-fisico. Se il volume supera la capacità della vasca di accumulo ( $14 \text{ m}^3$ ), significa che è stato attivato il bypass per smaltire l'acqua in eccesso. Per calcolare la quantità totale di refluo inviato al punto di scarico Sn2, si sono sommate le quantità di acqua smaltite tramite l'impianto e quelle inviate tramite il sistema di bypass.

**Tabella 9** Ore di funzionamento impianto chimico-fisico

Data	Tempo di funzionamento		Volume smaltito		Bypass attivo
	h/anno	h/sett	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /d	
24/03/2014	1902,3	5,1	61,2	10,2	NO
31/03/2014	1909,8	7,5	90	12,9	NO
07/04/2014	1914,1	4,3	51,6	7,4	NO
14/04/2014	1916,3	2,15	25,8	3,7	NO
21/04/2014	1921,7	5,45	65,4	9,3	NO
28/04/2014	1923,6	1,9	22,8	3,3	NO
06/05/2014	1924,2	0,6	7,2	0,9	NO
03/06/2014	1927,1	2,92	35,04	1,3	NO

09/06/2014	1929,9	2,75	33	5,5	NO
16/06/2014	1933,5	3,63	43,56	6,2	NO
23/06/2014	1936,2	2,74	32,88	4,7	NO
30/06/2014	1946,2	9,94	119,28	17,0	SI=3,04 m <sup>3</sup>
07/07/2014	1950,2	4,02	48,24	6,9	NO
14/07/2014	1954,7	4,5	54	7,7	NO
21/07/2014	1955,2	0,5	6	0,9	NO
28/07/2014	1961	5,8	69,6	9,9	NO
05/08/2014	1967	6	72	9,0	NO
11/08/2014	1970,7	3,73	44,76	7,5	NO
18/08/2014	1976,9	6,17	74,04	10,6	NO
25/08/2014	1986,6	9,7	116,4	16,6	SI=2,63 m <sup>3</sup>
01/09/2014	1993,6	7	84	12,0	NO
08/09/2014	1994,2	0,57	6,84	1,0	NO
15/09/2014	1995,3	1,13	13,56	1,9	NO
22/09/2014	2002,3	6,98	83,76	12,0	NO
13/10/2014	2009,6	7,36	88,32	4,2	NO
20/10/2014	2011,2	1,56	18,72	2,7	NO
27/10/2014	2011,9	0,73	8,76	1,3	NO
03/11/2014	2013,2	1,27	15,24	2,2	NO
10/11/2014	2025,3	12,1	145,2	20,7	SI=6,74 m <sup>3</sup>
17/11/2014	2037,8	12,5	150	21,4	SI=7,43 m <sup>3</sup>
03/12/2014	2046,1	8,3	99,6	6,2	NO
09/12/2014	2049,7	3,6	43,2	7,2	NO
16/12/2014	2055	5,3	63,6	9,1	NO
23/12/2014	2058,3	3,3	39,6	5,7	NO
29/12/2014	2060,2	1,9	22,8	3,8	NO
29/01/2015	2076,8	16,6	199,2	6,4	NO
11/03/2015	2092,7	15,9	190,8	4,7	NO
25/03/2015	2096,6	3,86	46,32	3,3	NO

Come si può vedere in **Tabella 9**, il volume di acqua smaltito dal sistema di bypass è pari a 19,84 m<sup>3</sup> in un anno. Per il calcolo del volume di acqua smaltito tramite l'impianto chimico-fisico si è fatto riferimento alla formula:

$$\text{Volume acqua (m}^3\text{)} = \text{ore di funzionamento (h)} * \text{portata oraria } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$$

Considerando che l'impianto nel corso dell'anno di riferimento ha funzionato per 194,26 ore, il volume di acqua inviato al punto di scarico Sn2 è stato pari a 2331,12 m<sup>3</sup>. Sommando a questa quantità i 19,84 m<sup>3</sup> passati attraverso il bypass si ottiene il volume di acqua totale smaltito dall'area dello spazzamento stradale e pari a 2350,96 m<sup>3</sup>. Questi corrispondono ad una portata oraria inviata al punto di scarico Sn2 pari a 0,27 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

## 2.4 Punto di scarico Sn4

Il punto di scarico Sn4, verso il depuratore di Uniacque è il secondo, per importanza, presente in impianto. Questo raccoglie i reflui provenienti dalle varie attività svolte all'interno del termovalorizzatore: lo scarico dello spurgo delle caldaie, l'acqua utilizzata per uso civile, le acque meteoriche provenienti dal piazzale di scarico. Questi reflui, per gravità, raggiungono una vasca di accumulo, detta vasca "Pesa" (situata all'ingresso dell'impianto, come si può vedere in Figura 3). Alla stessa vasca confluiscono i reflui provenienti dalla palazzina degli uffici (acque ad uso civile e le acque meteoriche provenienti dai vialetti che circondano l'edificio) e le acque di dilavamento dai piazzali della piattaforma ecologica. All'interno della vasca della pesa, è collocata una pompa che rilancia tutti i reflui, tramite una condotta in pressione, in testa all'impianto di depurazione acque cittadino (Figura 3). Un altro importante contributo è costituito dalla vasca di prima pioggia. Questa, raccoglie tutte le acque meteoriche provenienti dai piazzali "puliti" ovvero quelli su cui non avviene la lavorazione dei rifiuti. La vasca ha un volume utile di 148,7 m<sup>3</sup>, raccoglie le acque di prima pioggia, che sono costituite dai primi 5 mm di precipitazione e nelle successive 96 ore le invia tramite una condotta in pressione, che si collega a quella proveniente dalla vasca della pesa, in testa all'impianto di depurazione (scarico Sn4, Figura 3).

### 2.4.1 Acque reflue raccolte nella vasca "Pesa"

Le acque raccolte nella vasca "Pesa" provengono da diverse zone dell'impianto. Al suo interno troviamo diverse tipologie di refluo:

- Acque meteoriche provenienti dal piazzale di scarico del termovalorizzatore;
- Acque meteoriche provenienti dai vialetti;
- Acque di spurgo dalla caldaia del termovalorizzatore;
- Acque nere provenienti dalla palazzina uffici e dall'area di manutenzione;
- Acque nere da uso civile provenienti dal termovalorizzatore.

Acque meteoriche provenienti da vialetti e piazzale di scarico

I volumi di acqua dilavati dai vialetti e dal piazzale antistante la fossa di scarico del termovalorizzatore, si sono ricavati, come già descritto, moltiplicando l'altezza di acqua caduta nell'anno 2014 per la superficie dilavata tenendo conto di un opportuno coefficiente di dilavamento. Si sono così ricavate le portate descritte in **Tabella 10**.

**Tabella 10** Stima acque delle acque meteoriche smaltite nella vasca "Pesa"

Area	Superficie (m <sup>2</sup> )	Pioggia (m)	Coeff. dilavamento	Volume (m <sup>3</sup> )	Portata (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
Vialetto	87,45	1,814	0,3	47,60	0,005
Piazzale (P5)	36,36	1,814	0,95	62,67	0,007

Acque di spurgo della caldaia del termovalorizzatore

Le acque di spurgo provenienti dalla caldaia del termovalorizzatore vengono scaricate nella rete di raccolta delle acque nere e confluiscono nella vasca "Pesa". L'acqua spurgata dalla caldaia coincide con l'acqua di acquedotto trasformata in acqua demineralizzata, per reintegrarla, a cui sottraggo la parte di acqua di contro lavaggio (che viene smaltita tramite lo scarico Sn2). Le quantità di acqua si sono ricavate grazie al contatore, posto sulla condotta relativa all'acquedotto che misura i m<sup>3</sup> di acqua inviati all'impianto di demineralizzazione. Nel nostro anno di riferimento, all'impianto di demineralizzazione sono stati inviati 4328,2 m<sup>3</sup>. A questi va sottratta l'acqua utilizzata per il contro lavaggio dell'impianto. Queste acque vengono raccolte in un serbatoio dalla capacità di 8 m<sup>3</sup>. Il serbatoio viene svuotato 3 volte ogni due settimane (1,5 volte a settimana), abbiamo così ricavato il volume totale smaltito (**Tabella 11**).

**Tabella 11** Acqua destinata al contro lavaggio dell'impianto di demineralizzazione

Parametro	Valore	Unità di misura
Volume serbatoio	8	m <sup>3</sup>
Numero di settimane	52	sett/a
Numero di scarichi	1,5	n°/sett
Numero scarichi annuo	78	n°/a
Volume scaricato tramite Sn2	624	m <sup>3</sup> /a

Dalla quantità appena calcolata si può ricavare l'acqua destinata alla caldaia e che, una volta finito il suo ciclo, viene inviata alla rete di raccolta delle acque nere e successivamente allo scarico Sn4.

**Tabella 12** Acqua di spurgo dalla caldaia e destinata allo scarico Sn4

Parametro	Valore	Unità di misura
Consumo di acqua da acquedotto	4328,2	m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup>
Acque di contro lavaggio	624,0	m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup>
Acque caldaia inviate a Sn4	3704,2	m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup>

La portata oraria di acqua inviata al punto di scarico Sn4 è pari a 0,423 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

#### Acque nere provenienti dalla palazzina uffici e dall'area di manutenzione

Anche in questo caso, è presente un contatore sul ramo di acquedotto che porta l'acqua potabile alla zona della palazzina uffici e all'area di manutenzione. Una volta che l'acqua viene utilizzata, per scopi lavorativi e scopi civili, viene collettata tramite il sistema fognario e confluisce nella sua totalità alla vasca "pesa". Di conseguenza, per il bilancio di massa, l'acqua in ingresso al "sistema" palazzina prelevata dall'acquedotto coincide con l'acqua in uscita dall'edificio che ritroviamo nella vasca. I dati relativi al periodo di riferimento mostrano un consumo di acqua potabile dall'acquedotto pari a 3692,1 m<sup>3</sup>. Tale acqua confluirà nella rete fognaria e successivamente allo scarico Sn4 con una portata oraria pari a 0,421 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

#### Acque nere (da uso civile) provenienti dal termovalorizzatore

Per la stima del questi volume di questi reflui si è fatto riferimento alla dotazione idrica pro capite e ad un opportuno coefficiente di correzione. Questo tiene conto del fatto che ci troviamo in un ambiente lavorativo. La dotazione idrica pro capite varia in funzione del numero di abitanti di una popolazione. Poiché Bergamo conta circa 120000 abitanti si è scelta una dotazione idrica pro capite pari a 300 L Ab<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Inoltre, poiché ci troviamo in un contesto industriale è stato scelto un coefficiente di equivalenza rispetto all'abitante residente, pari a 0,33 (Addetto ufficio), Bonomo L., 2014, Trattamenti delle acque reflue, McGraw-Hill, Milano. All'interno del termovalorizzatore lavorano 10 persone. Si è così stimata la quantità di acqua scaricata nella vasca della pesa.

**Tabella 13** Calcolo della portata di acqua (da uso civile) scaricata dal termovalorizzatore

Parametro	Valore	Unità di misura
Dotazione Idrica pro capite	300	L ab <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
Coeff. Equivalenza "Addetto ufficio"	0,33	ab ab <sub>TV</sub> <sup>-1</sup>
D.I. Impianto produzione CSS	99	L ab <sub>TV</sub> <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
Numero addetti	10	Ab <sub>TV</sub>
Portata giornaliera	990	L d <sup>-1</sup>
Portata annua	361,4	m <sup>3</sup>
Portata oraria	0,0413	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>

## 2.4.2 Acque di prima pioggia

Tutte le aree in cui vengono svolte le attività di movimentazione del rifiuto e scarico di materiale sono dotate di pavimentazione opportunamente impermeabilizzata in conglomerato bituminoso. Il piazzale adibito alla circolazione dei mezzi pesanti è completamente pavimentato e dotato di una rete di raccolta delle acque meteoriche che vengono inviate alla vasca di raccolta delle acque di prima pioggia posta in prossimità del lato sud della palazzina uffici. Lo scarico, il carico e la movimentazione dei rifiuti avvengono in assenza di contatto tra i rifiuti medesimi ed i pneumatici, evitando, di fatto, lo sporcamento sia delle aree interne che esterne (a differenza dei piazzali su cui avviene la lavorazione del rifiuto). La vasca di prima pioggia, è stata realizzata per evitare il dilavamento nei corsi d'acqua superficiali di alcune sostanze inquinanti che potrebbero essere presenti nei piazzali dell'area a causa della movimentazione e dello scarico del rifiuto. Tale vasca, una volta raggiunta la condizione di "troppo pieno", solleva le acque di prima pioggia e le convoglia all'impianto di depurazione di Uniacque, tramite lo scarico Sn4, mentre riversa le acque di seconda pioggia in una seconda vasca, utilizzata come riserva antincendio. Infine tramite uno scolmatore, l'acqua in eccesso viene riversata nel torrente Morletta che scorre ad ovest dell'impianto (Figura 3, scarico S1). La vasca di prima pioggia ha una capacità di 148,7 m<sup>3</sup> ed è realizzata in cemento armato con doppia resinatura epossidica interna. La pompa utilizzata dalla vasca sopporta una portata di acqua fino a 30 l/sec. Per il calcolo del volume di acqua inviato all'impianto di depurazione e proveniente dalla vasca di prima pioggia abbiamo valutato il "numero di svuotamenti" della vasca nel 2014. La vasca ha un volume dimensionato per garantire la raccolta (secondo la normativa) dei primi 5 mm di pioggia provenienti dai piazzali. Nell'arco delle 96 ore successive, il volume di prima pioggia deve essere smaltito all'impianto di depurazione. Per ricavare il numero di volte che la pompa situata nella vasca si è attivata per rilanciare i reflui, siamo andati a valutare, il numero di eventi meteorici che nelle 24 ore avessero fatto registrare un'altezza di pioggia maggiore di 5mm. Ipotizzando che nell'arco di 24 ore, la vasca si fosse riempita nella sua totalità (e il resto dell'altezza di pioggia fosse stato raccolto nella vasca antincendio e poi scolmato nel Morletta), ne consegue il suo immediato svuotamento, perché secondo la normativa deve essere in grado di raccogliere i nuovi eventi meteorici delle ore successive. Abbiamo così calcolato che il volume di acqua inviato allo scarico Sn4 fosse calcolabile secondo la seguente formula:

$$V_{scaricato} = n^{\circ}svuotamenti * V_{vasca}^{1^{\circ}pioggia}$$

I dati pluviometrici sono stati ricavati, come descritto in precedenza dal sito dell'Arpa Lombardia, da cui abbiamo scaricato i dati giornalieri di precipitazione riferiti alla stazione meteorologica di Bergamo-Stezzano. Gli eventi meteorici nel nostro anno di riferimento sono

stati 165. Di questi 30 hanno superato l'altezza d'acqua di 5 mm nell'arco delle 24 ore. Per le ipotesi condotte in precedenza, si sono verificati 30 svuotamenti. Abbiamo così ricavato il volume di acqua rilanciato all'impianto di depurazione, pari a 4461 m<sup>3</sup>. Questo coincide con la portata oraria, considerata in fase di dimensionamento e pari a 0,509 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

## 2.5 Punto di scarico Sn5

Il terzo punto di scarico delle acque al depuratore cittadino, identificato in Figura 3 come Sn5 è risultato essere il più semplice e il meno rilevante dal punto di vista qualitativo e quantitativo delle acque smaltite. Lo scarico invia al depuratore due tipologie di refluo: le acque meteoriche dilavate dai tetti e dal piazzale della centrale del teleriscaldamento e le acque demineralizzate spurgate dalle caldaie della centrale del teleriscaldamento.

### 2.5.1 Spurgo caldaie dalla centrale di teleriscaldamento

I reflui che provengono dai circuiti termici (spurghi, condense, blow down, etc.), dalla rigenerazione dei sistemi di demineralizzazione delle acque di caldaia, e dai lavaggi delle aree interne degli impianti di produzione di calore per il teleriscaldamento vengono dapprima raccolti in vasche e cisterne e successivamente inviati ai punti di scarico presenti nell'area. Al punto di scarico Sn5 viene inviato lo "spurgo" in uscita dalla rete del teleriscaldamento. Tale quantità si è ricavata, ancora una volta, facendo riferimento ai dati registrati da un contatore posto sul ramo di acquedotto in entrata alla centrale del teleriscaldamento. L'acqua prelevata dall'acquedotto, viene privata dei suoi ioni metallici tramite un addolcitore e va ad integrare l'acqua in uscita dalla rete. Sapendo che la quantità di acqua prelevata dall'acquedotto, la troviamo scaricata nella sua totalità dallo spurgo della rete, andando ad effettuare un bilancio di massa, abbiamo trovato la quantità di acqua demineralizzata smaltita attraverso lo scarico Sn5.

**Tabella 14** Acqua di spurgo dalla rete del teleriscaldamento scaricata attraverso il punto Sn5

Acqua Prelevata da acquedotto	Acqua in uscita dalle caldaie	Portata scaricata
m <sup>3</sup> anno <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> anno <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
228	228	0,026

Prima di finire allo scarico verso il depuratore, l'acqua in uscita dalle caldaie raggiunge un pozzetto, localizzato nel piazzale antistante, dove si miscela con le acque meteoriche provenienti dal dilavamento dei tetti e del piazzale relativi alla centrale del teleriscaldamento.

## 2.5.2 Raccolta delle acque pluviali della centrale di teleriscaldamento

Allo scarico Sn5 vengono inviate le acque meteoriche dilavate dal piazzale antistante la centrale del teleriscaldamento (P9) e quelle raccolte attraverso i pluviali dai tetti. Come si può vedere in **Tabella 15**, considerando l'origine meteorica delle acque e la superficie dilavata, come descritto in precedenza, si è calcolato il volume di acqua invasato in m<sup>3</sup>. Tenuto conto del fatto che troviamo 8760 ore in un anno, abbiamo calcolato la portata invasata in m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. L'acqua meteorica totale che perviene al punto di scarico Sn5 e dovuta al dilavamento di tetti e piazzali corrisponde a 0,516 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (in tempo di pioggia). Tutte le portate elencate, confluiscono dapprima in un pozzetto di accumulo (dove si miscelano con l'acqua di spurgo proveniente dalle caldaie) localizzato ad est del piazzale P9, e successivamente al punto di scarico Sn5.

**Tabella 15** Acque meteoriche scaricate al punto Sn5

Aree confluenti a scarico Sn5	Origine Acqua	Superficie (m <sup>2</sup> )	V <sub>tot</sub> (m <sup>3</sup> )	Portata (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
Tetto centrale teleriscaldamento 1	meteorica	422,1	727,6	0,083
Tetto centrale teleriscaldamento 2	meteorica	623,7	1075,1	0,123
Piazzale P9	meteorica	1576,8	2717,9	0,310

## 2.5.3 Osservazioni riguardo lo scarico Sn5

In definitiva lo scarico Sn5 smaltisce:

- in occasioni di eventi meteorici 0,516 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> di acqua;
- 0,026 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> di acqua demineralizzata spurgata dalla rete di teleriscaldamento.

Vista la tipologia di refluo appena descritto, notiamo che in tempo secco abbiamo una piccola portata rispetto le altre raccolte in impianto. Viceversa in tempo di pioggia, la portata aumenta fino a 0,542 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Il refluo in questione tuttavia non è caratterizzato da carichi inquinanti rilevanti, ma esclusivamente da acque meteoriche e acque demineralizzate. Proprio in prossimità del punto di scarico Sn5, ad est dell'impianto scorre un torrente, la Roggia Piuggia. Per la caratteristica delle acque raccolte, si può pensare che la totalità delle acque ad oggi inviate allo scarico Sn5 possa essere smaltite direttamente nella roggia. Tale soluzione viene avvalorata dal fatto che già nel 2012, ARPA Lombardia, ha avanzato un'ipotesi in tal senso, ovvero smaltire le acque provenienti dalla zona della centrale del teleriscaldamento, direttamente in un corpo idrico ricettore e non più al depuratore gestito da Uniacque.

## 2.6 Analisi chimiche e bilanci di massa

Le uniche acque in uscita dall'Area Impianti sono quelle meteoriche di seconda pioggia il cui scarico è previsto dall'Autorizzazione Integrata Ambientale. Tutte le restanti acque vengono consegnate attraverso i tre scarichi appena descritti al depuratore Uniacque per essere trattate insieme ai reflui fognari cittadini.

Per assicurare la compatibilità dei reflui col depuratore, sono stati fissati dei limiti contrattuali per i principali parametri chimici, il cui rispetto è verificato da periodici campionamenti ed analisi. I campionamenti e le analisi vengono svolte almeno annualmente, in diversi punti dell'impianto, principalmente nei pozzetti e nelle vasche di accumulo, dove i reflui, provenienti da diverse zone dell'impianto, si mischiano. Sono state così ricostruite le concentrazioni dei principali inquinanti, e attraverso le portate ricostruite si sono ricavati i carichi inquinanti. Dai carichi inquinanti si è passati ad effettuare il bilancio di massa che ha permesso di individuare le caratteristiche del refluo da considerare per il dimensionamento del nuovo impiantino di depurazione. Le analisi chimiche sono svolte da laboratori esterni e indipendenti dalla Società A2A. I risultati delle analisi vengono forniti in forma cartacea. Per ricostruire le concentrazioni medie degli inquinanti rilevati nei vari reflui raccolti in impianto, si sono trasferiti su fogli di calcolo i dati delle analisi chimiche effettuate dal 2005. I diversi punti strategici in cui avvengono i prelievi non sono soggetti ad un campionamento costante, ma occasionale con frequenza variabile a secondo di quanto previsto dall'Autorizzazione Integrata Ambientale. I punti strategici individuati per il campionamento sono quelli descritti in **Tabella 16**, nella stessa viene anche riportato il numero di analisi presenti nel decennio 2005-2015.

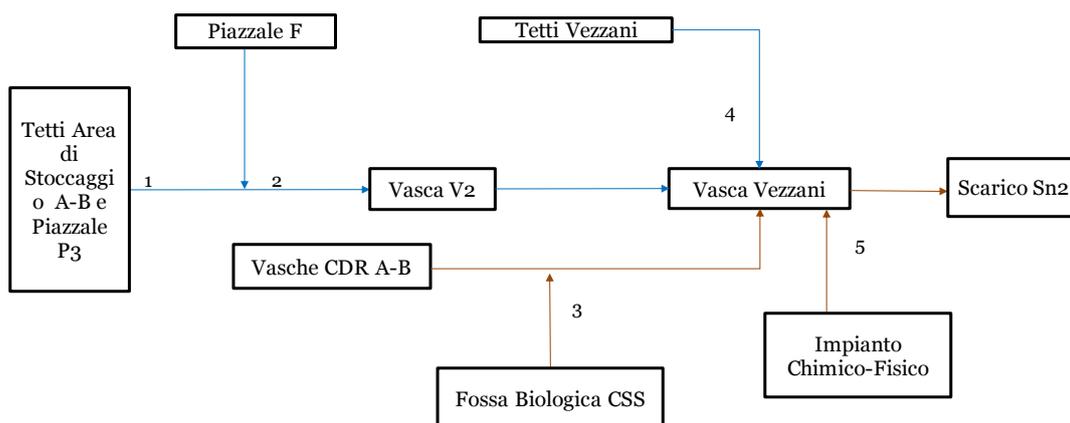
**Tabella 16** Analisi chimiche condotte nei punti strategici dell'impianto

Origine Refluo	Analisi presenti
Vasca Vezzani	19
Vasca Carubia	6
Flusso in uscita da impianto chimico-fisico	7
Acque meteoriche	16
Vasche e fossa biologica impianto CSS	7
Scarico Acqua Demi (pH e Cloruri)	10
Percolati Biofiltri (pH e NH <sub>4</sub> )	48
Scarico Sn4	16

### 2.6.1 Schema dell'impianto

In funzione dei punti di campionamento disponibili e delle portate ricostruite, si è sviluppato lo schema dei flussi dei reflui in impianto. I punti in cui essi si miscelano sono stati scelti come nodi nel successivo bilancio di massa.

#### Punto di scarico Sn2

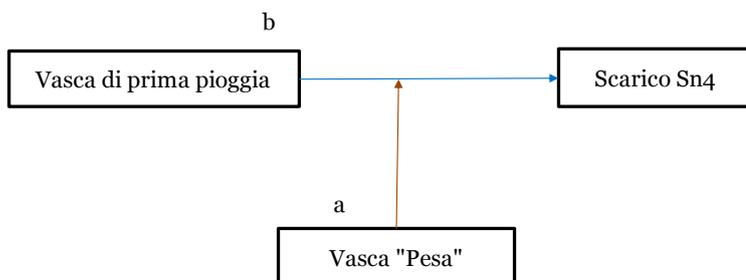


**Figura 6** Schema per il bilancio di massa del punto di scarico Sn2

Per il punto di scarico Sn2 si sono individuati, cinque diversi punti di miscelazione. In corrispondenza di tali punti, siamo a conoscenza delle analisi chimiche che riguardano il refluo in oggetto. Dal punto di vista qualitativo si possono dividere i reflui in due tipologie:

- Apporti meteorici, in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** evidenziati in azzurro;
- Reflui da lavorazione del rifiuto, in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** evidenziati in marroncino.

#### Punto di scarico Sn4



**Figura 7** Schema per il bilancio del punto di scarico Sn4

Per il punto di scarico Sn4 si è individuato un solo punto di miscelazione, questo si trova lungo la condotta di mandata che porta l'acqua di prima pioggia allo scarico Sn4. Il refluo finale, che viene smaltito al punto di scarico Sn4 è costituito da due tipologie di acque (

):

- Acqua meteorica proveniente dalla vasca di prima pioggia;
- Acque nere provenienti dalla vasca della pesa.

## 2.6.2 Portate ricostruite

Nella prima parte di questo capitolo ci si è occupati della ricostruzione delle portate. Sono ora da valutare due configurazioni: tempo secco e tempo di pioggia. Nella prima si trovano le quantità di refluo sempre presenti in impianto, ovvero quelle che derivano dagli impianti di depurazione dell'aria, di abbattimento dei metalli pesanti, e i percolati derivanti dalla lavorazione dei rifiuti. Nel tempo di pioggia, alle quantità appena descritte si vanno a sommare quelle in funzione degli apporti meteorici ovvero le quantità di acqua dilavate dalle superfici di lavoro e dai tetti che confluiscono o nella rete delle acque nere, o nella vasca di prima pioggia. In **Tabella 17** e **Tabella 18**, troviamo riassunti i valori di portata adottati per il dimensionamento, ed organizzati secondo gli schemi di flusso riportati in Figura 5 e 6.

**Tabella 17** Portate di refluo, in tempo secco e di pioggia, inviate allo scarico Sn2

BILANCIO DELLE PORTATE		Portata (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	
Nodo	Origine Acqua	Tempo Secco	Tempo di Pioggia
1	Tetto A	0	0,087
	Tetto B	0	0,1268
	Piazzale P3	0	0,3691
2	Nodo 1	0	0,5829
	Piazzale F	0	0,2059
3	Impianto CSS	1,3583	1,4134
	Fossa biologica CSS	0,0274	0,0274
4	Tetti Vezzani	0	0,0135

5	Impianto Chimico-Fisico	0,271	0,271
Vasca Vezzani	Nodo 2	0	0,7888
	Nodo 3	1,3857	1,4408
	Nodo 4	0	0,0135
	Nodo 5	0,271	0,271
Sn2	TOTALE	1,6567	2,5141

Per quanto riguarda lo scarico Sn2, si registra in tempo secco un apporto di 1,6567 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, mentre in tempo di pioggia la quantità totale smaltita è pari a 2,5141 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. In corrispondenza della condotta di mandata dei reflui dalla vasca Vezzani allo scarico Sn2 dell'impianto di depurazione acque cittadino è stato installato nel 2012 un misuratore di portata in grado di registrare il volume di acqua inviato da A2A Ambiente alla società Uniaque. Il misuratore ha fatto registrare nel 2014 (anno di riferimento per le stime dei volumi di acqua) un totale di 20077 m<sup>3</sup> di acqua scaricati tramite il punto Sn2. Tale quantità corrisponde a 55 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> e quindi a 2,292 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. I dati osservati dal misuratore sono serviti per verificare i dati stimati.

Nel 2014 i giorni di pioggia sono stati 165, mentre quelli di tempo secco sono stati 200. Andando ad effettuare una media ponderata, considerando che per 165 giorni si ha avuto, secondo le nostre stime 2,5141 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e per 200 giorni 1,6567 m<sup>3</sup>, si è ricavato, come quantità media di refluo inviato all'impianto, 2,045 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Il risultato stimato si discosta di 0,15 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> dalla portata registrata, quindi si possono ritenere i volumi stimati una misura affidabile ed idonea per il successivo dimensionamento.

In **Tabella 18** vengono invece valutate le portate di refluo smaltite dal punto di scarico Sn4. In tempo secco la portata è pari a 0,8856 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>: il contributo principale arriva dalla vasca della pesa, in cui vengono scaricate le acque provenienti dalla palazzina uffici e lo spurgo della caldaia del termovalorizzatore. In presenza di eventi meteorici la portata passa a 1,407 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> in quanto è di fondamentale importanza il volume di acqua scaricato dalla vasca di prima pioggia.

**Tabella 18** Portate di refluo, in tempo secco e di pioggia, inviate allo scarico Sn4

BILANCIO DELLE PORTATE		Portata (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	
Nodo	Origine	Tempo Secco	Tempo di Pioggia
a	Vasca Pesa	0,8856	0,898
b	Vasca Prima Pioggia	0	0,509
Sn4	TOTALE	0,8856	1,407

### 2.6.3 Analisi chimiche e carichi inquinati

Le analisi chimiche sono state condotte su circa 56 parametri inquinanti, che abbiamo ritrovato nei reflui in diverse concentrazioni. Una grande quantità di valori, riguardanti le concentrazioni di metalli come: Alluminio, Antimonio, Arsenico, Bario, Boro, Cobalto, Ferro, Manganese, Mercurio, Stagno, Selenio, Vanadio non verranno presentati nell'analisi poiché registrati in concentrazione inferiore allo 0,01 mg L<sup>-1</sup> nella totalità delle analisi effettuate nei diversi punti di prelievo. Allo stesso modo escluderemo dall'analisi sostanze come i Solventi Organici Aromatici, Clorurati ed azotati. In concentrazione minore di 0,0001 mg L<sup>-1</sup> sono stati misurati inquinanti come Aldrin, Endrin, Dieldrin e Isodrin. Nelle acque analizzate inoltre non si riscontra la presenza di pesticidi. Le analisi di queste quantità, seppure presenti ma non rilevanti ai fini del dimensionamento, non verranno presentate.

#### Acque meteoriche

Le analisi chimiche sulle acque meteoriche sono state condotte prelevando campioni in diversi punti della rete di raccolta e dalla vasca di prima pioggia. Facendo una media di tutte le concentrazioni rilevate si sono ricavate le concentrazioni riportate in **Tabella 19**. Le concentrazioni riportate verranno utilizzate per il calcolo dei carichi inquinanti relativi alle superfici e ai tetti, dilavati dalle acque meteoriche in occasione di eventi precipitativi.

**Tabella 19** Analisi chimiche condotte sulle acque meteoriche

Parametro	Concentrazione
	mg L <sup>-1</sup>
pH (unità pH)	7,2
Conducibilità (uS/cm)	282,9
SST	6,61
COD	20,84
BOD	5,56
N-NH <sub>4</sub>	1,36
P <sub>tot</sub>	0,43
N <sub>tot</sub>	2,07
Tensioattivi anionici	0,23
Tensioattivi non ionici	0,25
Tensioattivi cationici	0,29
Tensioattivi totali	0,45
Cianuri liberi	0,02
Grassi e Oli veg/anim	1,57

Idrocarburi totali	0,88
Cadmio	0,00
Cromo totale	0,16
Nichel	0,18
Piombo	0,04
Rame	0,02
Zinco	0,18
Cromo VI	0,03
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	0,92
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,23
Orto-fosfati	0,10
Materiali grossolani	0,00
Mat. Sedimentabili 2h (cc/L)	0,00
Fenoli	0,05
Aldeidi	0,14
Cloruri	18,52
Solfati	23,46
Fluoruri	0,21
Solfuri	0,66
Solfiti	0,70

#### Reflui provenienti dalla fossa biologica e dalle vasche dell'impianto CSS

Le analisi chimiche sulle acque provenienti dall'impianto CSS sono state condotte prelevando campioni in due diversi punti: il pozzetto in cui confluiscono gli scarichi della fossa biologica dell'impianto e la vasca CDR-A, in cui confluiscono percolati da lavorazione dei rifiuti, gli scarichi dello scrubber e dei biofiltri. Facendo una media di tutte le concentrazioni rilevate si sono ricavate le concentrazioni riportate in **Tabella 20**.

**Tabella 20** Analisi chimiche relative all'impianto di produzione di CSS

Impianto CSS	Vasca CDR-A	Fossa biologica
Parametro	Concentrazione	Concentrazione
	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
pH (unità pH)	7,41	7,40
Conducibilità (uS/cm)	1379,33	0,00
SST	43,13	12,00
COD	221,00	8,00
BOD	59,50	2,00
N-NH <sub>4</sub>	129,05	3,60
P <sub>tot</sub>	1,74	1,37
N <sub>tot</sub>	211,00	0,00

Tensioattivi anionici	1,06	0,20
Tensioattivi non ionici	0,24	0,30
Tensioattivi cationici	0,35	0,50
Tensioattivi totali	1,26	0,50
Cianuri liberi	0,01	0,00
Grassi e Oli veg/anim	1,37	0,50
Idrocarburi totali	1,96	0,02
Cadmio	0,00	0,01
Cromo totale	0,13	0,10
Nichel	0,15	0,20
Piombo	0,03	0,05
Rame	0,02	0,03

(segue)

(seguito Tabella 20)

Impianto CSS	Vasca CDR-A	Fossa biologica
Parametro	Concentrazione	Concentrazione
	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
Zinco	0,16	0,30
Cromo VI	0,05	0,10
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	79,43	0,70
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	11,34	0,15
Orto-fosfati	0,80	0,00
Materiali grossolani	0,00	0,00
Mat. Sedimentabili 2h (cc/L)	2,00	0,00
Fenoli	0,21	0,04
Aldeidi	0,22	0,08
Cloruri	28,85	1,60
Solfati	44,48	8,50
Fluoruri	0,11	0,12
Solfuri	0,55	1,00
Solfiti	0,75	1,00

### Impianto chimico-fisico

Le analisi chimiche sulle acque provenienti dall'impianto chimico-fisico per l'abbattimento dei metalli pesanti e delle sostanze inquinanti proveniente dalle attività di igiene al suolo e di spazzamento stradale sono state condotte prelevando campioni in due diversi punti: uno a monte dell'impianto, nella vasca Carubia, ed uno a valle, sulla condotta di mandata dei reflui depurati verso lo scarico Sn2. In **Tabella 21** viene presentato un confronto tra pre e post trattamento del refluo, evidenziando l'abbattimento dei metalli pesanti, e quindi il buon funzionamento dell'impianto. Ai fini del dimensionamento verranno utilizzate, per il calcolo

dei carichi inquinanti, le concentrazioni di inquinanti riferite alle acque in uscita dall'impianto chimico-fisico.

**Tabella 21** Analisi chimiche relative all'impianto chimico-fisico

Impianto chimico-fisico	INGRESSO	USCITA
Parametro	Concentrazione	Concentrazione
	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
pH (unità pH)	6,22	7,26
Conducibilità (uS/cm)	2996,67	2537,80
SST	4213,88	450,80
COD	4280,00	2875,67
BOD	929,50	936,00
N-NH <sub>4</sub>	8,18	8,58
P <sub>tot</sub>	4,29	3,40
N <sub>tot</sub>	26,80	34,62
Tensioattivi anionici	2,44	1,45
Tensioattivi non ionici	0,58	0,88
Tensioattivi cationici	0,20	0,50
Tensioattivi totali	2,87	2,31
Cianuri liberi	0,01	0,02
Grassi e Oli veg/anim	37,08	11,12
Idrocarburi totali	44,94	3,87
Cadmio	0,00	0,00
Cromo totale	0,22	0,16
Nichel	0,25	0,17
Piombo	0,57	0,05
Rame	1,27	0,12
Zinco	4,87	0,49
Cromo VI	0,03	0,03
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	4,58	0,72
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,14	0,13

Orto-fosfati	0,90	6,50
Materiali grossolani	0,00	0,00
Mat. Sedimentabili 2h (cc/L)	1,00	0,60
Fenoli	1,42	5,01
Aldeidi	1,28	3,23
Cloruri	328,78	165,15
Solfati	44,23	36,73
Fluoruri	0,55	1,35
Solfuri	0,10	0,50
Solfiti	0,23	3,35

#### Punto di scarico Sn4

Per la stima dei carichi inquinanti dovuti allo scarico Sn4, si sono utilizzate le analisi chimiche che riportavano le concentrazioni degli inquinanti direttamente campionate nel punto di scarico al depuratore di Uniacque. I valori degli analiti campionati sono riassunti in **Tabella 22**.

**Tabella 22** Analisi chimiche relative al punto di scarico Sn4

Parametro	Concentrazione	Parametro	Concentrazione
	mg L <sup>-1</sup>		mg L <sup>-1</sup>
pH (unità pH)	7,54	Cromo totale	0,14
Conducibilità (µS/cm)	482,67	Nichel	0,13
SST	62,10	Piombo	0,02
COD	147,60	Rame	0,03
BOD	60,00	Zinco	0,18
N-NH <sub>4</sub>	56,73	Cromo VI	0,03
P <sub>tot</sub>	4,58	N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	0,29
N <sub>tot</sub>	27,10	N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,30
Tensioattivi anionici	1,96	Orto-fosfati	4,50
Tensioattivi non ionici	0,24	Fenoli	0,19
Tensioattivi cationici	0,00	Aldeidi	0,38
Tensioattivi totali	2,17	Cloruri	32,13
Cianuri liberi	0,01	Solfati	34,57

Grassi e Oli veg/anim	5,33	Fluoruri	0,55
Idrocarburi totali	1,67	Solfuri	0,10
Cadmio	0,00	Solfiti	0,30

### 2.6.4 Bilancio di massa dei carichi inquinanti

Dalle portate stimate, e dalle concentrazioni degli inquinanti ricavate dalle analisi chimiche effettuate, si sono ricavati i carichi di inquinante. Il carico, espresso in  $\text{kg d}^{-1}$  è stato poi utilizzato per il successivo bilancio di massa. Il bilancio di massa è stato condotto andando a sommare, per ogni nodo, i carichi di inquinanti in ingresso e andando ad individuare la nuova quantità in uscita. Per ricavare il carico di inquinante, conoscendo la concentrazione e la portata si utilizza l'equazione:

$$C (\text{kg d}^{-1}) = c (\text{mg L}^{-1}) * Q (\text{m}^3 \text{h}^{-1}) * 24 (\text{h d}^{-1}) * 10^{-3}$$

In questo paragrafo vengono presentati i risultati finali ottenuti con il bilancio di massa al punto di scarico Sn2 ed Sn4 ed il confronto dei parametri stimati con i limiti di legge fissati dal D.L.G.S 152/06, Allegato V, Tabella 3. Viene illustrato il rispetto del per lo scarico sia in acque superficiali che in fognatura. Poiché l'attuale gestione dei reflui, prevede già lo smaltimento in fognatura (con adeguate deroghe sulle concentrazioni scaricate), si andrà a valutare, come interesse ed obiettivo del progetto, che le concentrazioni in uscita rispettino i limiti di legge per uno scarico in acque superficiali (in corpo idrico ricettore).

#### Punto di scarico Sn2

Le tabelle, in cui vengono presentati i bilanci di massa relativi al punto di scarico Sn2, a causa della loro complessità sono state riportate nell'Appendice A.. Il calcolo è stato fatto in due condizioni, la prima relativa al tempo di pioggia e la seconda relativa al tempo secco. Come si può dedurre dalla **Tabella 23** e **Tabella 24**, la situazione critica la si ritrova in corrispondenza del tempo di pioggia. Dal punto di vista idraulico la portata in tempo di pioggia è di circa  $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  maggiore rispetto quella del tempo secco, mentre il carico di inquinanti, seppur di poco, è maggiore in occasione del tempo di pioggia. Questo è dovuto al fatto che in occasione di eventi meteorici si ha un dilavamento di tutte quelle superfici di lavoro su cui il rifiuto viene trattato, e ciò implica che il carico di inquinanti aumenti.

**Tabella 23** Parametri al punto di scarico Sn2 in tempo di pioggia - portata 2,5141 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

Parametro	Carico kg/d	Conc. mg/L	Parametri allo scarico Sn2 in tempo di pioggia			
			LIMITE di legge (mg L <sup>-1</sup> )		CONFORMITA'	
			Acque Superficiali	Fognatura	Acque Superficiali	Fognatura
SST	4,53	75,08	80,00	200,00	OK	OK
COD	26,61	440,95	160,00	500,00	limite superato	OK
BOD	8,21	136,14	40,00	250,00	limite superato	OK
N-NH <sub>4</sub>	4,46	73,95	15,00	30,00	limite superato	limite superato
P <sub>tot</sub>	0,09	1,49	10,00	10,00	OK	OK
N <sub>tot</sub>	7,42	123,01	-	-	-	-
TA anionici	0,05	0,83	-	-	-	-
TA non ionici	0,02	0,31	-	-	-	-
TA cationici	0,02	0,35	-	-	-	-
Tensioattivi totali	0,07	1,10	2,00	4,00	OK	OK
Cianuri liberi	0,00	0,01	0,50	1,00	OK	OK
Grassi e Oli	0,15	2,47	20,00	40,00	OK	OK
Idrocarburi totali	0,11	1,80	5,00	10,00	OK	OK
Cadmio	0,00	0,00	0,02	0,02	OK	OK
Cromo totale	0,01	0,14	2,00	4,00	OK	OK
Nichel	0,01	0,16	2,00	4,00	OK	OK
Piombo	0,00	0,03	0,20	0,30	OK	OK
Rame	0,00	0,03	0,10	0,40	OK	OK
Zinco	0,01	0,20	0,50	1,00	OK	OK
Cromo VI	0,00	0,04	0,20	0,20	OK	OK
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	2,72	45,03	20,00	30,00	limite superato	limite superato
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,39	6,47	0,60	0,60	limite superato	limite superato
Orto-fosfati	0,07	1,18	-	-	-	-
Materiali grossolani	0,00	0,00	0,00	0,00	OK	OK
Mat. sed.2h (cc/L)	0,07	1,19	-	-	-	-
Fenoli	0,04	0,67	0,50	1,00	limite superato	OK
Aldeidi	0,03	0,52	1,00	2,00	OK	OK
Cloruri	2,41	39,95	1200,00	1200,00	OK	OK
Solfati	2,20	36,54	1000,00	1000,00	OK	OK
Fluoruri	0,02	0,27	6,00	12,00	OK	OK
Solfuri	0,04	0,59	1,00	2,00	OK	OK
Solfiti	0,06	1,02	1,00	2,00	limite superato	OK

**Tabella 24** Parametri al punto di scarico Sn2 in tempo secco (portata 1,6567 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>).

Parametro	Carico kg/d	Conc. mg/L	Parametri allo scarico Sn2 in tempo secco			
			LIMITE di legge (mg L <sup>-1</sup> )		CONFORMITA'	
			Acque Sup.	Fognatura	Acque Superficiali	Fognatura
SST	4,35	109,30	80,00	200,00	limite superato	OK
COD	25,91	651,72	160,00	500,00	limite superato	limite superato
BOD	8,03	201,93	40,00	250,00	limite superato	OK
N-NH <sub>4</sub>	4,27	107,27	15,00	30,00	limite superato	limite superato
P <sub>tot</sub>	0,08	2,00	10,00	10,00	OK	OK
N <sub>tot</sub>	7,10	178,66	-	-	-	-
TA anionici	0,04	1,11	-	-	-	-
TA non ionici	0,01	0,35	-	-	-	-
TA cationici	0,01	0,38	-	-	-	-
Tensioattivi totali	0,06	1,41	2,00	4,00	OK	OK
Cianuri liberi	0,00	0,01	0,50	1,00	OK	OK
Grassi e Oli	0,12	2,95	20,00	40,00	OK	OK
Idrocarburi tot.	0,09	2,24	5,00	10,00	OK	OK
Cadmio	0,00	0,00	0,02	0,02	OK	OK
Cromo totale	0,01	0,13	2,00	4,00	OK	OK
Nichel	0,01	0,15	2,00	4,00	OK	OK
Piombo	0,00	0,03	0,20	0,30	OK	OK
Rame	0,00	0,04	0,10	0,40	OK	OK
Zinco	0,01	0,21	0,50	1,00	OK	OK
Cromo VI	0,00	0,05	0,20	0,20	OK	OK
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	2,59	65,25	20,00	30,00	limite superato	limite superato
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,37	9,32	0,60	0,60	limite superato	limite superato
Orto-fosfati	0,07	1,72	-	-	-	-
Materiali gross.	0,00	0,00	0,00	0,00	OK	OK
Mat. sed.2h (cc/L)	0,07	1,74	-	-	-	-
Fenoli	0,04	0,99	0,50	1,00	limite superato	OK
Aldeidi	0,03	0,71	1,00	2,00	OK	OK
Cloruri	2,02	50,70	1200,00	1200,00	OK	OK
Solfati	1,69	42,61	1000,00	1000,00	OK	OK
Fluoruri	0,01	0,31	6,00	12,00	OK	OK
Solfuri	0,02	0,55	1,00	2,00	OK	OK
Solfiti	0,05	1,18	1,00	2,00	limite superato	OK



Punto di scarico Sn4

Per la stima dei carichi inquinanti dovuti allo scarico Sn4, si sono utilizzate le analisi chimiche che riportavano le concentrazioni degli inquinanti direttamente campionate nel punto di scarico al depuratore di Uniacque. Le portate stimate nel punto di scarico Sn4 sono state pari a 0,8856 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> in tempo secco e 1,407 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> in tempo di pioggia. Grazie alle analisi ed alle portate stimate si è calcolato il carico degli inquinanti smaltito tramite lo scarico e l'attuale rispetto dei limiti di legge (**Tabella 25**).

**Tabella 25** Bilancio di massa al punto di scarico Sn4

Parametro	Carico inquinanti			Parametri allo scarico Sn4 riferiti alla normativa			
	Tempo Secco	Tempo Pioggia	[Conc]	LIMITE (mg/L)		SUPERAMENTO	
	kg d <sup>-1</sup>	kg d <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	Acque Sup.	Fognatura	Acque Superficiali	Fognatura
SST	1,32	2,10	62,10	80	200	OK	OK
COD	3,14	4,99	147,60	160	500	OK	OK
BOD	1,28	2,03	60,00	40	250	limite superato	OK
N-NH <sub>4</sub>	1,21	1,92	56,73	15	30	limite superato	limite superato
P <sub>tot</sub>	0,10	0,15	4,58	10	10	OK	OK
N <sub>tot</sub>	0,58	0,92	27,10	-	-	-	-
TA anionici	0,04	0,07	1,96	-	-	-	-
TA non ionici	0,01	0,01	0,24	-	-	-	-
TA cationici	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-
Tensioattivi totali	0,05	0,07	2,17	2	4	limite superato	OK
Cianuri liberi	0,00	0,00	0,01	0,5	1	OK	OK
Grassi e Oli v/a	0,11	0,18	5,33	20	40	OK	OK
Idrocarburi totali	0,04	0,06	1,67	5	10	OK	OK
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	OK	OK
Cromo totale	0,00	0,00	0,14	2	4	OK	OK
Nichel	0,00	0,00	0,13	2	4	OK	OK

(segue)

(seguito Tabella 25)

Parametro	Carico inquinanti		[Conc] mg L-1	Parametri allo scarico Sn4			
	Tempo Secco	Tempo Pioggia		LIMITE di legge (mg/L)		CONFORMITA'	
	kg d <sup>-1</sup>	kg d <sup>-1</sup>		Acque Sup.	Fognatura	Acque Superficiali	Fognatura
Piombo	0,00	0,00	0,02	0,2	0,3	OK	OK
Rame	0,00	0,00	0,03	0,1	0,4	OK	OK
Zinco	0,00	0,01	0,18	0,5	1	OK	OK
Cromo VI	0,00	0,00	0,03	0,2	0,2	OK	OK
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	0,01	0,01	0,29	20	30	OK	OK
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,01	0,01	0,30	0,6	0,6	OK	OK
Orto-fosfati	0,10	0,15	4,50	-	-	-	-
Materiali gross.	0,00	0,00	0,00	0	0	OK	OK
Mat. Sed.2h (cc/L)	0,01	0,01	0,30	-	-	-	-
Fenoli	0,00	0,01	0,19	0,5	1	OK	OK
Aldeidi	0,01	0,01	0,38	1	2	OK	OK
Cloruri	0,68	1,09	32,13	1200	1200	OK	OK
Solfati	0,73	1,17	34,57	1000	1000	OK	OK
Fluoruri	0,01	0,02	0,55	6	12	OK	OK
Solfuri	0,00	0,00	0,10	1	2	OK	OK
Solfiti	0,01	0,01	0,30	1	2	OK	OK

Come si può dedurre dai dati descritti, il punto di scarico Sn2, rispetto allo scarico Sn4 non rispetta i limiti di legge per più parametri. In linea generale, per entrambi i flussi si può notare come essi siano contaminati principalmente da inquinanti di origine organica: non vengono allo stato attuale rispettati i limiti di BOD, COD e di azoto, nitrico, nitroso ed ammoniacale. Nei reflui è presente un elevato contenuto di solidi sospesi, questo a causa delle particelle che si sollevano durante le operazioni di trattamento dei rifiuti e che, dopo esser state dilavate, raggiungono la rete di raccolta delle acque nere.

## **2.7 Caratteristiche del refluo in ingresso al nuovo impianto di depurazione**

Ad oggi il flusso Sn2 e il flusso Sn4 raggiungono l'impianto di depurazione acque cittadino tramite due condotte tra loro separate, raggiungendo l'impianto in due diversi punti di scarico. Per ottimizzare la gestione futura dei reflui all'interno del sito impiantistico si è scelto di unire questi due flussi. La condotta che porta al punto di scarico Sn4 verrà deviata, attraverso un'apposita tubazione e verrà collegata con il punto di scarico Sn2. I reflui scaricati nel punto Sn4, secondo le ipotesi progettuali, andranno a miscelarsi con i reflui attualmente smaltiti tramite Sn2, nella vasca Vezzani. Questa è stata scelta come bacino di miscelazione-equalizzazione, grazie alle sue dimensioni (98m<sup>3</sup>) in grado di contenere e di accumulare, come verrà mostrato nel prossimo capitolo, tutto il volume di acqua proveniente dalle varie zone dell'impianto. In generale quindi nella vasca Vezzani, ci sarà la miscelazione dei due flussi. Abbiamo dimostrato come nel tempo di pioggia, sia le portate che il carico di inquinanti siano maggiori rispetto a quanto rilevato nel tempo secco, per questo motivo, ai fini del dimensionamento, verranno utilizzati i dati e i parametri relativi al tempo di pioggia. Il nuovo impianto che verrà progettato dovrà essere in grado di garantire la depurazione del refluo in corrispondenza di questa situazione critica. Come si può vedere in **Tabella 26** si è effettuato il bilancio di massa tra lo scarico Sn2 e lo scarico Sn4. Al punto di scarico Sn2 confluisce una portata di 2,5141 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, al punto Sn4 troviamo invece una portata di 1,4074 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. La portata che troveremo in uscita dalla vasca Vezzani e diretta al nuovo impianto di depurazione sarà pari a 3,922 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

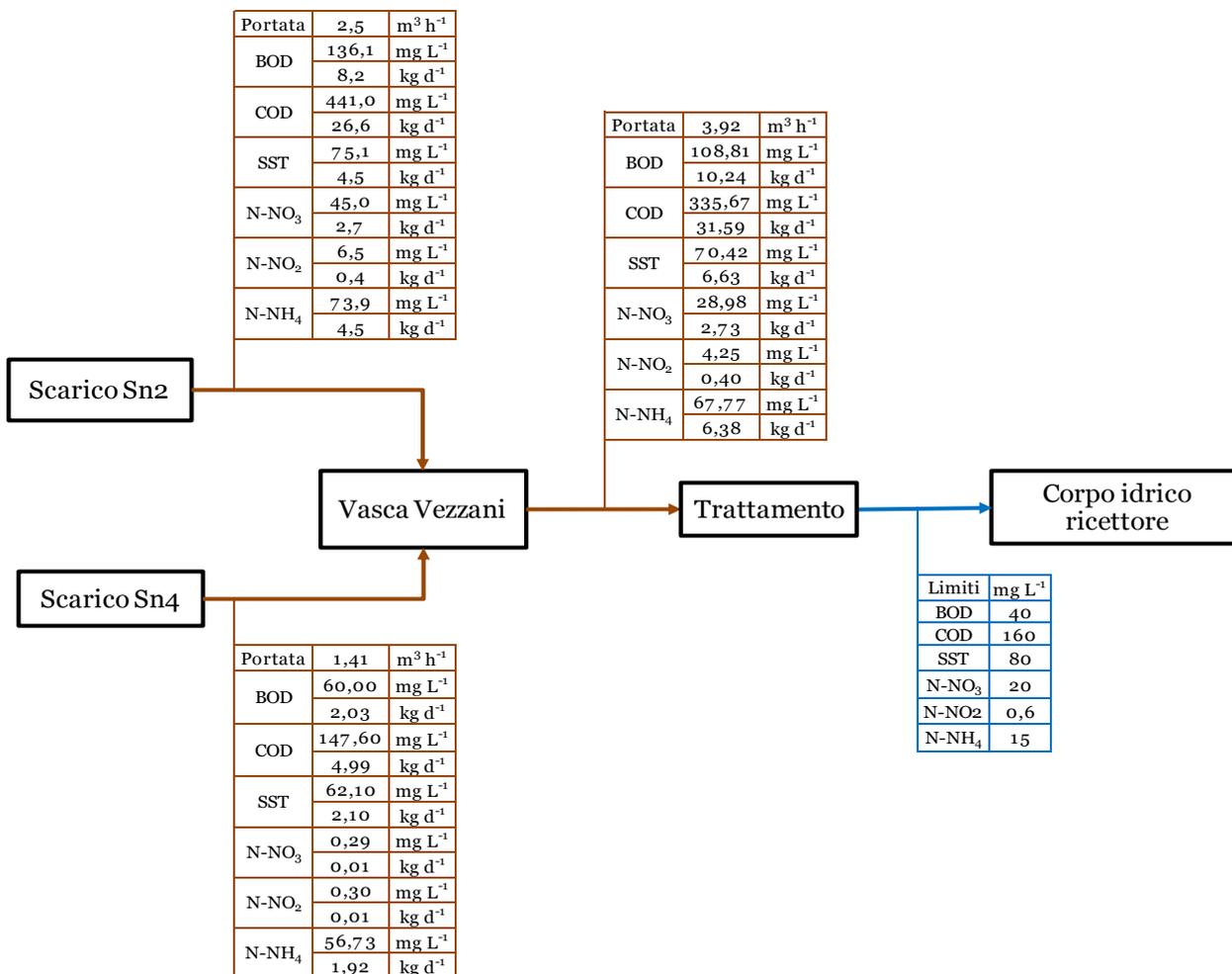
**Tabella 26** Miscelazione dei flussi e definizione dei carichi e della portata finale da inviare al nuovo impianto

Flussi in ingresso	Sn2		Sn4		Miscelazione Vasca Vezzani	Portata totale (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	
Portata (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	2,5141		1,4074			3,922	
Parametro	Carico	[Conc]	Carico	[Conc]	Parametro	Carico	Concentrazione
	kg d <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	kg d <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>		kg d <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
SST	4,530	75,08	2,098	62,10	SST	6,628	70,42
COD	26,607	440,95	4,986	147,60	COD	31,592	335,67
BOD	8,215	136,14	2,027	60,00	BOD	10,241	108,81
N-NH <sub>4</sub>	4,462	73,95	1,916	56,73	N-NH <sub>4</sub>	6,378	67,77
P <sub>tot</sub>	0,090	1,49	0,155	4,58	P <sub>tot</sub>	0,245	2,60
N <sub>tot</sub>	7,423	123,01	0,915	27,10	N <sub>tot</sub>	8,338	88,59
TA anionici	0,050	0,83	0,066	1,96	TA anionici	0,116	1,24
TA non ionici	0,019	0,31	0,008	0,24	TA non ionici	0,027	0,29
TA cationici	0,021	0,35	0,000	0,00	TA cationici	0,021	0,22
Tensioattivi totali	0,066	1,10	0,073	2,17	Tensioattivi totali	0,140	1,49
Cianuri liberi	0,001	0,01	0,000	0,01	Cianuri liberi	0,001	0,01
Grassi e Oli veg/anim	0,149	2,47	0,180	5,33	Grassi e Oli veg/anim	0,329	3,50
Idrocarburi totali	0,108	1,80	0,056	1,67	Idrocarburi totali	0,165	1,75
Cadmio	0,000	0,00	0,000	0,00	Cadmio	0,000	0,00
Cromo totale	0,008	0,14	0,005	0,14	Cromo totale	0,013	0,14
Nichel	0,010	0,16	0,005	0,13	Nichel	0,014	0,15
Piombo	0,002	0,03	0,001	0,02	Piombo	0,003	0,03
Rame	0,002	0,03	0,001	0,03	Rame	0,003	0,03
Zinco	0,012	0,20	0,006	0,18	Zinco	0,018	0,19
Cromo VI	0,003	0,04	0,001	0,03	Cromo VI	0,004	0,04
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	2,717	45,03	0,010	0,29	N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	2,727	28,98
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,390	6,47	0,010	0,30	N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,400	4,25
Orto-fosfati	0,071	1,18	0,152	4,50	Orto-fosfati	0,223	2,37
Materiali gross.	0,000	0,00	0,000	0,00	Materiali gross.	0,000	0,00
Mat. Sed.2h (cc/L)	0,072	1,19	0,010	0,30	Mat. Sed.2h (cc/L)	0,082	0,87
Fenoli	0,041	0,67	0,006	0,19	Fenoli	0,047	0,50
Aldeidi	0,031	0,52	0,013	0,38	Aldeidi	0,044	0,47
Cloruri	2,410	39,95	1,085	32,13	Cloruri	3,496	37,14
Solfati	2,205	36,54	1,168	34,57	Solfati	3,372	35,83
Fluoruri	0,017	0,27	0,019	0,55	Fluoruri	0,035	0,37
Solfuri	0,035	0,59	0,003	0,10	Solfuri	0,039	0,41
Solfiti	0,061	1,02	0,010	0,30	Solfiti	0,071	0,76

**Tabella 27** Caratteristiche del nuovo scarico e rispetto, allo stato di fatto dei limiti di legge

Portata totale nuovo scarico (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )		3,92	D.L.G.S 152/06, All. V, Tabella 3	
Parametro	Carico	[Conc]	LIMITE (mg L <sup>-1</sup> )	SUPERAMENTO
	kg d <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	Acque Superficiali	Acque Superficiali
SST	6,63	70,42	80	OK
COD	31,59	335,67	160	limite superato
BOD	10,24	108,81	40	limite superato
N-NH <sub>4</sub>	6,38	67,77	15	limite superato
P <sub>tot</sub>	0,24	2,60	10	OK
N <sub>tot</sub>	8,34	88,59	-	-
Tensioattivi anionici	0,12	1,24	-	-
Tensioattivi non ionici	0,03	0,29	-	-
Tensioattivi cationici	0,02	0,22	-	-
Tensioattivi totali	0,14	1,49	2	OK
Cianuri liberi	0,00	0,01	0,5	OK
Grassi e Oli veg/anim	0,33	3,50	20	OK
Idrocarburi totali	0,16	1,75	5	OK
Cadmio	0,00	0,00	0,02	OK
Cromo totale	0,01	0,14	2	OK
Nichel	0,01	0,15	2	OK
Piombo	0,00	0,03	0,2	OK
Rame	0,00	0,03	0,1	OK
Zinco	0,02	0,19	0,5	OK
Cromo VI	0,00	0,04	0,2	OK
N-NO <sub>3</sub> (nitrico)	2,73	28,98	20	limite superato
N-NO <sub>2</sub> (nitroso)	0,40	4,25	0,6	limite superato
Orto-fosfati	0,22	2,37	-	-
Materiali gross.	0,00	0,00	0	OK
Mat. Sed.2h (cc/L)	0,08	0,87	-	-
Fenoli	0,05	0,50	0,5	OK
Aldeidi	0,04	0,47	1	OK
Cloruri	3,50	37,14	1200	OK
Solfati	3,37	35,83	1000	OK
Fluoruri	0,04	0,37	6	OK
Solfuri	0,04	0,41	1	OK
Solfiti	0,07	0,76	1	OK

Per quanto riguarda i principali inquinanti da considerare per il dimensionamento, si farà riferimento alla **Tabella 27**. Come si può vedere, il nuovo scarico, presenta le caratteristiche tipiche di un refluo inquinato da sostanze organiche. Non vengono rispettati i limiti per quanto riguarda lo scarico in corpo idrico ricettore per sostanze come BOD, COD ed Azoto ammoniacale, nitrico e nitroso. I solidi sospesi presenti, sono in concentrazione molto vicina al limite (che non viene tuttavia superato): questo è dovuto al fatto, che, in presenza di eventi meteorici una notevole quantità di acqua legata al contributo dello scarico della vasca di prima pioggia, andrà a diluire tutti gli altri scarichi, compresi quelli originati dai piazzali di lavoro.



**Figura 8** Diagramma di flusso e bilancio di massa del refluo in ingresso al nuovo impianto di depurazione

In **Figura 8** è riportato il diagramma di flusso ed il bilancio di massa relativo al nuovo scarico individuato. Vengono presentati gli inquinanti di maggiore interesse, che verranno utilizzati in fase di dimensionamento. La portata trattata dall'impianto sarà pari a  $3,92 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Andando a valutare le concentrazioni che si dovranno ottenere in uscita, stabilite dal D.L.G.S 152/06, All. V, Tabella 3, si può ipotizzare che il nuovo impianto di depurazione riesca ad ottenere, al minimo, le percentuali di rimozione presentate in **Tabella 28**.

**Tabella 28** Proiezione delle percentuali di rimozione da ottenere con il nuovo impianto

Parametro	Carico ( $\text{kg d}^{-1}$ )		% rimozione
	Ingresso	Uscita	
BOD	10,24	3,76	63%
COD	31,59	15,06	52%
SST	6,63	OK	-
N-NO <sub>3</sub>	2,73	1,88	31%
N-NO <sub>2</sub>	0,40	0,06	86%
N-NH <sub>4</sub>	6,38	1,41	78%

Dai dati appena descritti vengono confermate le ipotesi per il dimensionamento di un impianto di depurazione dei reflui a fanghi attivi, in grado di abbattere tramite la vasca di ossidazione biologica e di nitrificazione l'elevato contenuto di sostanze organiche e di azoto ammoniacale. Per abbattere l'elevato contenuto di azoto nitrico e nitroso verrà inoltre prevista una fase di pre-denitrificazione. Per quanto riguarda l'elevato contenuto di COD, per raggiungere le percentuali di rimozione auspiccate, verrà previsto il dosaggio di carbone attivo in polvere in grado di aumentare le rese di rimozione.



---

## CAPITOLO 3

# IL PROGETTO

In questo capitolo si individua la scelta impiantistica sulla quale basare il progetto dell'impianto di depurazione. Per effettuare il dimensionamento si sono adottati i criteri del manuale "Wastewater Engineering, Treatment and Resource Recovery", Metcalf & Eddy, 5<sup>th</sup> edition (Tchobanoglous et al., 2014).

Data la variabilità dei reflui raccolti, come descritto nei capitoli precedenti, si è scelto di adottare uno schema impiantistico classico a fanghi attivi, flessibile e allo stesso tempo di semplice gestione. Il dimensionamento è stato condotto prendendo come riferimento le portate ed i carichi del tempo di pioggia, che si sono rivelati i più gravosi, a causa del dilavamento delle superfici e dei piazzali di lavoro.

In primo luogo i reflui vengono raccolti in un'unica vasca di equalizzazione, da cui sono rilanciati al trattamento biologico che si compone di una vasca di pre-denitrificazione seguita dall'ossidazione biologica per la rimozione del COD biodegradabile e la nitrificazione, e, infine, dal sedimentatore secondario completo di ricircolo dei fanghi.

Si è previsto di dosare carbone attivo in polvere nella vasca di ossidazione biologica per favorire la rimozione del COD non biodegradabile e di bicarbonato di sodio per il controllo del pH. Il fango di supero prodotto dai processi biologici, insieme al carbone attivo esausto, verrà raccolto in una vasca e smaltito in altri impianti del gruppo A2A.

Il flusso chiarificato in uscita dal sedimentatore passerà attraverso un sistema di filtrazione terziaria per la rimozione finale dei solidi sospesi e delle particelle residue di carbone attivo. Con questa soluzione impiantistica l'effluente finale rispetterà i limiti dei parametri stabiliti dalla Tabella 3, Allegato V, del D.L.G.S. 152/06, per lo scarico del refluo in un corpo idrico superficiale. Nel caso oggetto di studio, il corpo idrico ricettore sarà il Canale Scolmatore in uscita dall'attiguo impianto di depurazione acque cittadino che confluisce, circa 5 km più ad ovest, nel Fiume Brembo.

## 3.1 Descrizione del refluo in ingresso

Il dimensionamento dell'impianto di depurazione è generalmente condotto considerando una portata di calcolo pari al 95° percentile della distribuzione statistica delle portate misurate. Non essendo stato possibile ricostruire la distribuzione statistica delle portate, è stata scelta una portata di calcolo pari al 95% della portata massima osservata in tempo di pioggia. Come si può vedere nella **Tabella 29**, la portata di calcolo sarà quindi pari a 3,73 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

**Tabella 29** Definizione della portata di calcolo

Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	%-ile assunto per il progetto	Q <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
3,92	95%	3,73

Portate eccedenti il 95° percentile potranno essere comunque trattate con rendimenti di rimozione leggermente inferiori a quelli di progetto, ma garantendo sempre il rispetto dei limiti allo scarico.

### 3.1.1 Dati in ingresso

Dopo aver definito la portata di calcolo, si sono ricavati i carichi in ingresso e le concentrazioni in ingresso al nuovo impianto. Dalla **Tabella 30** si può notare come nel refluo si abbia un elevato contenuto di sostanze organiche come BOD, COD, oltre ad azoto ammoniacale, nitroso e nitrico.

**Tabella 30** Carichi e concentrazioni di inquinanti in ingresso

Parametro	Concentrazione	Carico
	mg L <sup>-1</sup>	kg d <sup>-1</sup>
BOD	114,54	10,24
COD	353,34	31,59
SST	74,13	6,63
N-NO <sub>2</sub>	4,48	0,40
N-NO <sub>3</sub>	30,50	2,73
N <sub>tot</sub>	93,25	8,34
TKN	58,28	5,21
CaCO <sub>3</sub>	469,11	41,94
N-NH <sub>4</sub>	55,48	4,96
P	2,74	0,24

La concentrazione di solidi sospesi non è elevata, ma dovrà, nel corso del tempo, continuamente essere monitorata. Le particelle in questione derivano principalmente dai piazzali di lavoro e dalle operazioni svolte sui rifiuti oltre che dalla componente meteorica considerata nell'analisi. L'azoto ammoniacale, come abbiamo già descritto trova origine nell'impianto di produzione del CSS, dove i biofiltri degradano le sostanze odorigene contenute nell'aria esausta in  $\text{NH}_4$ .

Dopo aver calcolato il carico di BOD in ingresso, pari a  $10,24 \text{ kg d}^{-1}$ , e assumendo l'apporto di BOD pro-capite ( $\alpha=0,06 \text{ kg ab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) come definito dalla Direttiva CE/91/271, recepita dal D. Lgs. 152/2006, la popolazione equivalente servita dall'impianto in progetto risulta di 171 AE. (

**Tabella 31).** La esigua dimensione porta a scegliere un impianto prefabbricato.

**Tabella 31** Calcolo della popolazione equivalente

Parametro	Valore	Unità di misura
$\alpha_{\text{BOD}}$	0,06	$\text{kg ab}^{-1} \text{ d}^{-1}$
$C_{\text{BOD}}$	10,24	$\text{kg d}^{-1}$
$\text{POP}_{\text{eq}}$	171	ab

Attraverso le concentrazioni ed i carichi stimati, si è potuto verificare che nel refluo fosse presente la quantità di nutrienti necessaria per lo sviluppo della biomassa batterica: viene infatti soddisfatta la condizione in cui al minimo si debba verificare  $\text{BOD:N:P}=100:5:1$ .

**Tabella 32** Caratterizzazione del refluo

BOD/COD	0,32
$\text{NH}_4/\text{TKN}$	0,95
BOD/SST	1,55
COD/TKN	6,06
BOD/N	1,23
verifica su N	N sufficiente
BOD/P	41,8
verifica su P	P sufficiente

Come si può vedere in **Tabella 32**, si sono ricavati i rapporti tra le varie sostanze contenute nel refluo in ingresso, questi sono importanti indici in grado di fornire informazioni sulle caratteristiche dell'acqua da depurare:

- BOD/COD: questo rapporto indica la biodegradabilità del refluo. Il valore ottenuto, 0,32, rappresenta valori tipici per i reflui industriali (per i reflui civili il valore medio

è 0,54). Il refluo in questione ha al suo interno molte sostanze organiche, ma poco biodegradabili.

- $\text{NH}_4/\text{TKN}$ : questo valore sta ad indicare quanto TKN è già stato idrolizzato ad ammoniaca. Nel caso in esame ritroviamo il 98% del TKN idrolizzato ad ammoniaca. La spiegazione si ritrova in parte nell'apporto di ammoniaca dall'impianto per la deodorizzazione dell'aria e, in parte, per la tipologia della rete delle acque nere presenti in impianto. Lungo questa rete si trovano molte vasche di accumulo che comportano elevati tempi di residenza determinando sedimentazione del particolato e idrolisi dell'azoto organico.
- $\text{BOD}/\text{SST}$ : il rapporto indica l'apporto di solidi sospesi totali. Un valore pari a 1,55 sta ad indicare che non vi è un elevato apporto di SST, ma ciò potrebbe essere dovuto semplicemente alla sedimentazione in rete e alla rimozione in alcuni pretrattamenti già esistenti.
- $\text{COD}/\text{TKN}$ : in un refluo civile è tipicamente un valore compreso tra 9 e 10 e va ad indicare l'apporto di sostanze organiche. Il valore riscontrato nell'analisi del refluo (6,06) va a confermare le caratteristiche industriali dello stesso e la difficoltà di conseguire la denitrificazione completa per carenza di carbonio organico biodegradabile. Tuttavia, la ridotta potenzialità dell'impianto lo esclude da quelli che devono conseguire elevate rese di rimozione dell'azoto.

## 3.2 Vasca di equalizzazione

I trattamenti di equalizzazione – omogeneizzazione permettono di conseguire:

- il livellamento delle punte di portata (equalizzazione);
- il livellamento delle punte di inquinamento (omogeneizzazione).

Questi pretrattamenti hanno l'obiettivo di alimentare, nei processi di depurazione, dei liquami sufficientemente costanti in qualità e portata, condizione necessaria per realizzare buone efficienze di depurazione e stabilità di esercizio. Tale soluzione vale tipicamente per i processi chimico-fisici e, soprattutto, per i processi biologici notoriamente molto sensibili alle variazioni di carico (quantitativo e qualitativo). Il tipico campo di impiego è quello diffusissimo degli scarichi industriali con lavorazioni discontinue nell'arco dell'intera giornata. Questa condizione si rende necessaria, nel dimensionamento dell'impianto per riuscire ad equalizzare, omogeneizzare e controllare la portata variabile in ingresso alla depurazione, funzione delle diverse attività svolte all'interno dell'area. Al fine di conseguire tali obiettivi, l'acqua di scarico viene raccolta in una vasca di accumulo di capacità sufficiente

a riportare la variabilità entro limiti sopportabili dai successivi processi di depurazione. La vasca scelta per tale ruolo è la vasca già esistente nei pressi del punto di scarico Sn2 e denominata "Vezzani". Questa è in grado di contenere fino a 98 m<sup>3</sup> di liquidi. All'interno della stessa inoltre sono già presenti due pompe, che lavorano con portate analoghe a quelle richieste dalle condizioni di dimensionamento. Prima di entrare nella vasca "Vezzani" i reflui provenienti dall'impianto di trattamento rifiuti e produzione del CSS vengono inviati ad una piccola vasca (V2 - 3 m<sup>3</sup>), dove attraversano una fase di grigliatura grossolana (dimensione degli stacci 50 mm).

### 3.2.1 Caratterizzazione delle acque

La caratterizzazione del refluo spesso rappresenta la fase critica del dimensionamento. In mancanza di analisi specifiche è necessario assumere ipotesi che integrino i pochi parametri analizzati. Il COD è composto da una parte biodegradabile e da una non biodegradabile. A loro volta queste due porzioni si dividono in una parte solubile ed in una particolata (che comprende colloidali e solidi sospesi). Il COD biodegradabile si divide in due frazioni: una rapidamente biodegradabile ed una lentamente biodegradabile. Il COD solubile non biodegradabile viene solitamente fatto coincidere con il COD filtrato in uscita con l'effluente. Noto il valore del COD e dei solidi sospesi, sono state assunte alcune ipotesi e relazioni che legano le varie frazioni di BOD, COD, SST.

Il COD biodegradabile viene considerato 1,6 volte la concentrazione di BOD in ingresso e sarà pari a 183 g m<sup>-3</sup>. Ricavato la parte biodegradabile, si calcola la parte non biodegradabile attraverso la formula:

$$nbCOD = COD - bCOD$$

Assumiamo per ipotesi che il rapporto tra BOD solubile e COD solubile sia pari al rapporto tra BOD e COD in ingresso con il refluo e pari a 0,32. Sempre per ipotesi considero che la parte particolata del COD sia legata alla presenza dei solidi sospesi (1 gCOD=1 gSST). La concentrazione di COD solubile nell'influenza sarà pari alla concentrazione di COD filtrato. La concentrazione del COD filtrato sarà ricavata sottraendo al COD totale la quantità di solidi sospesi totali. Grazie alle ipotesi appena descritte si può passare al calcolo del COD solubile non biodegradabile in uscita con l'effluente:

$$nbsCOD_e = sCOD - sBOD$$

Ricavando una quantità di nbsCOD nell'effluente pari a 134 g m<sup>-3</sup>, elevata e vicina ai limiti di legge, si presenta la necessità di dosare in vasca di ossidazione del carbone attivo in polvere in grado di migliorare le rese di rimozione di quella parte di COD non biodegradabile.

Dalle componenti del COD appena ricavate si calcola la quantità di COD particolato e non biodegradabile:

$$nbpCOD = COD - bCOD - nbsCOD_e$$

Si sceglie un rapporto SSV/SST pari a 0,45 a causa delle caratteristiche industriali del refluo in questione: la concentrazione di solidi sospesi volatili contenuti nell'influente sarà pari a 33 g m<sup>-3</sup>. Calcolo ora la quantità di COD in relazione ai solidi sospesi volatili presenti:

$$SSV_{COD} = \frac{COD - sCOD}{SSV} = 2,2 \text{ gCOD/gSSV}$$

Dalla quantità appena ricavata si calcolano poi i solidi sospesi volatili non biodegradabili (nbSSV) e i solidi sospesi inerti (iSST) nell'influente.

La caratterizzazione ottenuta è quindi stata riassunta in **Tabella 33**.

**Tabella 33** Caratterizzazione del refluo in ingresso

Parametro	Valore	Unità di misura
bCOD	183	g bCOD m <sup>-3</sup>
nbCOD	170	g m <sup>-3</sup>
sCOD=COD <sub>filtrato</sub>	279	g m <sup>-3</sup>
BOD/COD	0,32	-
BOD <sub>SOL</sub> /COD <sub>SOL</sub>	0,32	-
sBOD	91	g m <sup>-3</sup>
nbsCOD <sub>e</sub>	134	g m <sup>-3</sup>
nbp COD	36	g m <sup>-3</sup>
SSV/SST	0,45	-
SSV	33	g m <sup>-3</sup>
SSV <sub>cod</sub>	2,2	g COD g SSV <sup>-1</sup>
nbSSV	16	nbSSV m <sup>-3</sup>
iSST	41	g SST m <sup>-3</sup>

### 3.3 Trattamento biologico del refluo

La rimozione della sostanza organica biodegradabile può essere ottenuta sia per via aerobica che per via anaerobica. I processi aerobici presentano cinetiche veloci, caratterizzate da un'utilizzazione spinta del substrato organico che viene degradato. L'attività aerobica si basa sull'utilizzo di numerosi ceppi batterici con vie metaboliche spesso indipendenti. Consorzi

batterici costituiti da molte specie consentono di degradare un'ampia gamma di composti organici, avendo questi diverse caratteristiche che, sinergicamente tra di loro riescono a far fronte a nuovi substrati, nuove condizioni operative, e garantiscono elevate resistenze nei confronti di agenti inibenti o tossici. Questo modo di operare sarà necessario nel nuovo impianto data la variabilità dei reflui in ingresso. Il metabolismo aerobico richiede disponibilità di ossigeno libero, con necessità di fornire lo stesso in funzione del substrato da rimuovere. L'ossigeno verrà reso disponibile grazie ad un apposito sistema di aerazione. Un'altra importante caratteristica dei processi aerobici è il fatto che consentono la contestuale rimozione dell'ammoniaca tramite la vasca di ossidazione biologica. Va tenuto conto che nelle acque reflue, l'azoto è sempre presente in forma organica o ammoniacale e la sua presenza è sempre associata alla presenza di inquinanti organici. La rimozione dell'azoto avviene in due step. Si farà riferimento ad una prima fase, in cui batteri autotrofi nitrificatori degraderanno l'azoto in nitrati, successivamente seguirà una seconda fase di denitrificazione (ad opera di batteri eterotrofi) in cui avremo una riduzione dei nitrati ad azoto elementare ( $N_2$ ). Tuttavia la preliminare nitrificazione dello scarico comporta la rimozione di sostanza organica biodegradabile, che viceversa potrebbe essere fonte di carbonio organico per le reazioni eterotrofe di denitrificazione. Per questo motivo si è scelta una configurazione impiantistica in grado di garantire, attraverso una pre-denitrificazione, associata ad opportuni sistemi di ricircolo, le rese di rimozione richieste per il rispetto dei limiti riguardanti le concentrazioni di azoto. Idraulicamente la pre-denitrificazione precederà il reattore di ossidazione dell'ammoniaca e della sostanza organica.

Per il dimensionamento si è seguito il procedimento fornito da (Tchobanoglous et al., 2014, Cap. 8, Tabella 15, pag. 755 e Tabella 21, pag. 805).

### **3.3.1 Processo a fanghi attivi**

I processi descritti nel precedente paragrafo trovano la loro implementazione e sintetizzazione in un processo a fanghi attivi classico. Questo è costituito da un trattamento aerobico che è garantita mediante un'opportuna aerazione dello scarico. Lo scarico, come abbiamo visto, contiene al suo interno una popolazione batterica, precostituita, caratterizzata da un ceppo autotrofo per lo sviluppo della nitrificazione ed un ceppo eterotrofo per la rimozione della sostanza organica. La popolazione batterica, anziché rimanere dispersa nella massa liquida, tende a concentrarsi ed aggregandosi a formare degli agglomerati di natura fioccosa, dalla dimensione di qualche decimo di millimetro che prende appunto il nome di "fango attivo". Il fango attivo viene mantenuto in sospensione all'interno del reattore grazie al sistema di aerazione. Questo, situato sul fondo della vasca è in grado di generare delle bolle d'aria della dimensione di qualche centimetro che nella loro risalita mantengono in sospensione, e miscelano i fiocchi di fango. I fiocchi non sono costituiti da soli batteri ma al loro interno

possiamo trovare anche altri organismi: protozoi, metozoi, rotiferi, larve e vermi. Questi sono legati tra di loro grazie alla catena alimentare. Oltre alla parte “attiva” nel fiocco di fango troviamo materiale inerte e costituenti inorganici. Infine una volta che l’effluente depurato esce dal reattore di ossidazione biologica, posso separare la parte liquida dal fango grazie ad una successiva fase di sedimentazione secondaria. Dalla fase di sedimentazione secondaria un sistema di pompe estrarrà il fango necessario ad ottenere le rese di rimozione auspiccate e lo ricicolerà all’ingresso del reattore.

E’ importante sottolineare che, nella fase di avviamento dell’impianto non si avrà una differenza tra le concentrazioni del refluo in ingresso e quello in uscita, tuttavia, man mano che procederà il ricircolo del fango estratto, si svilupperà biomassa batterica, fino a raggiungere le condizioni per cui l’impianto è stato dimensionato. Una volta che il sistema sarà a regime, continuerà lo sviluppo del fango attivo. Per mantenere le condizioni di stazionarietà nel reattore, diventerà necessario estrarre dal sistema la biomassa in eccesso che si formerà. Questa quantità, detta fango di supero, verrà smaltita invece attraverso la linea fanghi. Le caratteristiche chimico fisiche e biologiche del fango di supero sono analoghe a quelle del fango biologico inviato al sistema di ricircolo.

### 3.3.2 Parametri fissati per il dimensionamento

Dopo aver caratterizzato il refluo in ingresso si è passati alla fase di definizione dei parametri per il dimensionamento. Si sono scelti i valori da fissare come obiettivi di dimensionamento, i valori di concentrazione da ottenere in uscita, il layout impiantistico, ed i fattori di sicurezza.

**Tabella 34** Parametri fissati per il dimensionamento

Parametro	Valore	Unità di misura
Azoto ammoniacale in uscita, $N-NH_{4,e}$	2	mg L <sup>-1</sup>
Azoto complessivo in uscita, $N_e$	12	mg L <sup>-1</sup>
Alcalinità residua nell’effluente, $CaCO_3$	70	gCaCO <sub>3</sub> m <sup>-3</sup>
BOD filtrato in uscita, $sBOD_e$	3	mg L <sup>-1</sup>
Solidi sospesi in uscita, $SST_e$	12	mg L <sup>-1</sup>
Ossigeno disciolto in vasca, O.D.	2	mg L <sup>-1</sup>
Fattore di sicurezza per la nitrificazione, F.S.	1,5	-
Rapporto di ricircolo dei fanghi	2	-
Ricircolo della miscela aerata	0	-
Temperatura di progetto	12	°C

Come si può vedere in **Tabella 34** si sono fissati come obiettivi di dimensionamento una concentrazione di azoto ammoniacale pari a 2 mg L<sup>-1</sup> e una concentrazione di azoto totale nell'effluente pari a 12 mg L<sup>-1</sup>. Per tutte le fasi del processo bisognerà mantenere un pH vicino alla neutralità, tale da permettere il corretto funzionamento dei metabolismi batterici (CaCO<sub>3</sub>=70 mg L<sup>-1</sup>). Il nuovo impianto permetterà di rimuovere la quasi totalità del substrato organico biodegradabile (3 mg L<sup>-1</sup> di BOD disciolto nell'effluente). Per il bacino di aerazione viene scelto un fattore di sicurezza per la nitrificazione pari a 1,5 e una concentrazione di ossigeno disciolto in vasca pari a 2 mg L<sup>-1</sup>. Non dovendosi ottenere la rimozione spinta dell'azoto nitrico, non è stato previsto il ricircolo della miscela aerata tra il volume di denitrificazione e quello di nitrificazione, ma solo il ricircolo dei fanghi tra il sedimentatore secondario e la fase biologica. Considerate infatti i modesti carichi da trattare un ricircolo unico pari a due volte la portata è in grado di realizzare gli obiettivi prefissati. Per il progetto si è assunta la temperatura di 12°C. In caso di precipitazioni nevose la temperatura potrà scendere sotto tale valore, ma, per temperature inferiori a 12°C, la normativa esenta dal conseguimento dei valori limite per la rimozione dell'azoto (nota 3 alla Tabella 2 dell'allegato 5 al D. Lgs. 1052/2006 e s.m.i.).

In **Tabella 35** vengono presentati i valori delle cinetiche di rimozione per il BOD e per la nitrificazione. I valori, che sono forniti alla temperatura estiva media (20°C), in fase di dimensionamento verranno corretti tramite i coefficienti di crescita e scomparsa e riferiti alla temperatura di 12°C.

**Tabella 35** Cinetiche per la rimozione del BOD e di nitrificazione a 20°C

Coefficiente a 20°C	ox COD	ox NH <sub>4</sub>	ox NO <sub>2</sub>	Unità di misura
$\mu_{\max}$	6	0,9	1	d <sup>-1</sup>
$K_s, K_{NH_4}, K_{NO_2}$	8	0,5	0,2	mg L <sup>-1</sup>
Y	0,45	0,15	0,05	gSSV g subOX <sup>-1</sup>
b	0,12	0,17	0,17	d <sup>-1</sup>
$f_d$	0,15	0,15	0,15	-
$K_{O_2}$	0,2	0,5	0,9	mg L <sup>-1</sup>
$\Theta_{\text{crescita}}$	1,07	1,072	1,063	-
$\Theta_{\text{scomparsa}}$	1,04	1,029	1,029	-

### 3.3.3 Nitrificazione

La nitrificazione è un processo svolto da batteri autotrofi che, in presenza di ossigeno libero quale accettore di elettroni, ossidano dapprima l'ammoniaca a nitriti e successivamente a nitrati. Trattandosi di batteri autotrofi vi è un contemporaneo consumo di anidride carbonica e quindi una modifica dell'equilibrio carbonati-bicarbonati presenti nel refluo. Ciò comporterà un abbassamento dell'alcalinità. Per contrastare questo problema, in fase di dimensionamento si è previsto il dosaggio di bicarbonato di sodio. Nella nostra soluzione impiantistica la nitrificazione verrà condotta in contemporanea alla rimozione della sostanza organica biodegradabile. Per questo motivo, il tempo di residenza del refluo nel reattore, dovrà garantire la crescita sia dei batteri autotrofi che di quelli eterotrofi, i primi hanno infatti una velocità di crescita inferiore rispetto i batteri eterotrofi, costituendo quindi un fattore limitante. Se tali condizioni di co-esistenza vengono garantite i batteri autotrofi trovano idonee condizioni per la loro crescita, viste anche l'aerobicità del sistema e l'abbondante presenza di CO<sub>2</sub> dovuta alla respirazione degli eterotrofi.

#### Dimensionamento

Dopo aver definito i parametri in ingresso, come si può vedere in **Tabella 36** si sono assunte le velocità di crescita e di scomparsa batterica, riferite alla temperatura di 12°C, riguardanti i vari ceppi batterici per l'ossidazione del COD, dell'ammoniaca e degli NO<sub>x</sub>.

**Tabella 36** Cinetiche per la rimozione del BOD e di nitrificazione e a 12°C

Coefficiente a 12°C	ox COD	ox NH <sub>4</sub>	ox NO <sub>2</sub>	Unità di misura
$\mu_{\max,12^\circ}$	3,492	0,20	0,613	d <sup>-1</sup>
$b_{12^\circ}$	0,088	0,135	0,135	d <sup>-1</sup>

Il reattore sarà dimensionato in funzione delle cinetiche di nitrificazione: gli organismi nitrificatori (AOB), crescono nel reattore molto più lentamente rispetto gli organismi eterotrofi che rimuovono il carbonio organico.

Una volta definite le cinetiche di nitrificazione, si è passato al calcolo del tempo di residenza dei fanghi nel reattore (SRT) affinché ci sia un adeguato sviluppo della biomassa. Viene dapprima ricavato il tempo di residenza teorico:

$$SRT' = \frac{1}{\mu_{AOB}}$$

Dal tempo di residenza teorico, applicando il fattore di sicurezza si ricava il tempo di residenza effettivo nel reattore. È necessario applicare un coefficiente di sicurezza in quanto bisogna assicurare che ci sia un adeguato margine per far fronte a prolungate punte di carico e

rallentamenti del processo dovuti ad effetti inibitori. Incrementando di un fattore pari a 1,5 si ricava l'SRT del sistema pari a 7,7 giorni (**Tabella 37**).

**Tabella 37** Calcolo del tempo medio di residenza dei fanghi

Parametro	Valore	Unità di misura
N-NH <sub>4</sub> in uscita	2,00	mg L <sup>-1</sup>
K <sub>NH<sub>4</sub></sub>	0,5	mg L <sup>-1</sup>
S <sub>0</sub> =O.D.	2	mg L <sup>-1</sup>
K <sub>CO<sub>2</sub>,AOB</sub>	0,5	mg L <sup>-1</sup>
μ <sub>AOB</sub>	0,20	d <sup>-1</sup>
F.S.	1,5	-
SRT'	5,1	d
SRT	7,7	d

Calcolato il tempo di residenza nel reattore biologico si procede ricavando la quantità di COD solubile biodegradabile in uscita con l'effluente. Tale quantità, indicata con S, è in funzione esclusivamente del tempo di residenza e delle cinetiche di crescita e scomparsa batterica ed è ottenibile grazie alla formula:

$$S = \frac{K_S [1 + b_H(SRT)]}{SRT(\mu_{max} - b_H) - 1} = 0,53 \frac{g \text{ bCOD}}{m^3}$$

La biomassa presente nel reattore biologico (P<sub>x,BIO,SSV</sub>), identificata come solidi sospesi volatili è costituita da tre gruppi:

- A. Batteri eterotrofi;
- B. Batteri autotrofi nitrificanti;
- C. Residui non biodegradabili della scomparsa batterica (viene trascurato il termine correlato alla scomparsa dei batteri autotrofi perché poco rilevante).

Nel dimensionamento del reattore di nitrificazione è necessario sapere la quantità di azoto da ossidare (NO<sub>x</sub>). Tuttavia questa è funzione della biomassa biodegradabile che ancora non si conosce, della concentrazione di azoto in uscita e del TKN in ingresso al reattore. A favore di sicurezza verrà ipotizzato che tutto l'azoto organico in ingresso al reattore sia completamente idrolizzabile ad azoto ammoniacale (tutto il TKN è considerato ossidabile ad eccezione di quello in uscita, N<sub>e</sub>). Si procede quindi attraverso un approccio iterativo, ipotizzando una quantità iniziale di NO<sub>x</sub> pari all'80% del TKN in ingresso con il refluo e andando ad impostare un ciclo iterativo che si conclude quando la concentrazione di NO<sub>x</sub> converge in modo stabile ad un valore di circa 5 mg L<sup>-1</sup>. Si ricava una quantità di NO<sub>x</sub> pari a 49,4 mg L<sup>-1</sup>. In presenza di tale concentrazione si riscontra una quantità di biomassa pari a 5,16 kg d<sup>-1</sup>. Con la portata di refluo in ingresso al reattore troviamo anche sostanza organica non biodegradabile (nbSSV).

La quantità totale degli SSV presenti sarà quindi 6,60 kg d<sup>-1</sup>. Dai solidi sospesi volatili ricavo la quantità giornaliera di solidi sospesi totali nel reattore, P<sub>x,SST</sub>. Considerando la massa giornaliera influente ed il tempo di residenza, posso calcolare la massa di SSV e SST presenti nel bacino di aerazione (**Tabella 38**).

**Tabella 38** Solidi sospesi presenti nel reattore

P <sub>x,BIO,SSV</sub>	5,16	kg SSV d <sup>-1</sup>
P <sub>x,SSV</sub>	6,60	kg SSV d <sup>-1</sup>
P <sub>x,SST</sub>	11,15	kg SST d <sup>-1</sup>
Massa (SSV)	50,7	kg SSV
Massa (SST)	85,8	kg SST

La massa di solidi sospesi volatili sarà pari a 50,7 kg mentre i totali saranno pari a 85,8 kg. A causa della variabilità del refluo e delle sue caratteristiche industriali, si è ipotizzato di ottenere una concentrazione di solidi sospesi totali nel reattore pari a 2000 g m<sup>-3</sup>. Conoscendo la massa di solidi sospesi totali e la concentrazione X<sub>SST</sub> si è ricavato il volume del reattore di ossidazione pari a 42,9 m<sup>3</sup>. Dalle dimensioni del bacino si è ricavato il tempo di residenza idraulico del refluo (11,5 ore), il rapporto tra SSV e SST e la concentrazione di SSV nel mixed liquor (**Tabella 39**). Successivamente si sono calcolati il carico del fango (F/M) ed il carico volumetrico di BOD in ingresso al reattore (BOD loading). Il carico del fango risulta 0,2 kg BOD kg MLSSV<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> che risulta inferiore ai valori standard (0,3). Per questo motivo una volta realizzato l'impianto si dovranno valutare con molta attenzione i parametri di funzionamento del sistema di aerazione e il modo in cui verrà condotta l'ossidazione biologica (concentrazione di ossigeno disciolto, valori di concentrazione in ingresso al reattore).

**Tabella 39** Dimensionamento del volume del reattore di ossidazione

X <sub>SST</sub>	2000	g SST m <sup>-3</sup>
V	42,9	m <sup>3</sup>
τ	11,5	ore
SSV/SST	0,59	kg SSV kg SST <sup>-1</sup>
MLSSV	1182,89	g SSV m <sup>-3</sup>
Carico del fango	0,20	kg BOD <sub>5</sub> kg SSV <sub>ML</sub> <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
Carico volumetrico (BOD <sub>5</sub> )	0,24	kg BOD <sub>5</sub> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>

Una volta ottenuti tutti i parametri per il funzionamento del reattore di ossidazione biologica, come si può vedere in **Tabella 40** si sono calcolati i rendimenti di rimozione ottenibili con la configurazione ipotizzata. Nel reattore avremo una quantità di biomassa pari ad 11,15 kg SST d<sup>-1</sup>. Del carico di COD in ingresso verranno degradati 16,34 kg bCOD d<sup>-1</sup>. Ciò sta a significare

che il rendimento di degradazione osservato nel reattore tra COD biodegradabile e solidi sospesi totali sarà pari a 0,68 g SST/g bCOD.

**Tabella 40** Produzione di fanghi di supero e rese di crescita cellulare

$P_{x,SST}$	11,15	kg SST d <sup>-1</sup>
bCOD rimosso	16,34	kg bCOD d <sup>-1</sup>
$Y_{obs,SST}$	0,68	g SST g bCOD <sup>-1</sup>
$Y_{obs,SST}$	1,09	g SST g BOD <sup>-1</sup>
$Y_{obs,SSV}$	0,40	g SSV g bCOD <sup>-1</sup>
$Y_{obs,SSV}$	0,65	g SSV g BOD <sup>-1</sup>

### 3.3.4 Pre-denitrificazione

Questo processo è in grado di degradare l'azoto organico presente nel refluo utilizzando il carbonio già presente nel refluo come substrato. Idraulicamente esiste un ricircolo che preleva i nitrati in uscita dalla fase di nitrificazione e li rinvia in testa all'impianto dove tramite la denitrificazione vengono ridotti ad azoto elementare. Oltre al ricircolo in arrivo dal sedimentatore secondario, troviamo il refluo proveniente dalla vasca di equalizzazione. Il BOD viene immesso con il refluo in arrivo unitamente ai nitrati presenti nel ricircolo. In questa prima fase anossica si ha la rimozione dei nitrati con un corrispondente consumo di sostanza organica biodegradabile, nella successiva fase aerobica avremo l'ossidazione dei nitrati del TKN e verrà completata la rimozione del BOD. La frazione di nitrati reimmessi è funzione del rapporto che si vuole mantenere in uscita dalla nitrificazione. Dell'azoto ossidato in nitrificazione, solo quello contenuto nei ricircoli potrà essere denitrificato. Per il motivo appena descritto si è stabilito di fissare una concentrazione massima di nitrati in uscita con l'effluente pari a 12 mg L<sup>-1</sup>. Questa concentrazione sarà uno degli obiettivi di progetto. Il processo di denitrificazione si svolge utilizzando un mix di batteri autotrofi ed eterotrofi che fluiscono in continuazione nel reattore, nelle sue due parti e nel ricircolo. La concentrazione di biomassa sarà identica nei due stadi biologici del reattore, e il rapporto tra le due sarà dettato dal rapporto BOD/N che troviamo in ingresso. La biomassa autotrofa, aerobica obbligata, si manterrà inattiva in denitrificazione, viceversa la biomassa eterotrofa agirà in entrambi gli stadi.

#### Dimensionamento

Il reattore di denitrificazione può essere dimensionato sulla base della velocità specifica di denitrificazione (specific denitrification rate, SDNR) che esprime la quantità di azoto nitrico denitrificato nell'unità di tempo per unità di massa della frazione presa a riferimento. La cinetica di denitrificazione è di ordine zero rispetto ai nitrati. Anche in questo caso, poiché la

biomassa presente nel reattore di denitrificazione è funzione del volume dello stesso, si procede per tentativi: si ipotizza un volume iniziale di denitrificazione pari al 20% del volume del reattore di nitrificazione, se le dimensioni permettono di avere una quantità di biomassa tale da degradare tutti i nitrati presenti si assumerà tale volume come quello definitivo, viceversa si procederà ipotizzando un volume di secondo tentativo maggiore del primo, e si andrà a valutare se con tale configurazione si otterranno le rese di rimozione richieste. Nel nostro caso il volume idoneo alla denitrificazione è stato ottenuto al secondo passaggio iterativo, dove veniva ipotizzato un volume iniziale di denitrificazione pari al 30% rispetto quello di nitrificazione.

Prima di procedere con il dimensionamento, si definiscono i parametri in ingresso al reattore di denitrificazione (**Tabella 41**). La portata sarà pari a  $89,4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , il volume di nitrificazione sarà quello calcolato nel precedente paragrafo:  $42,9 \text{ m}^3$  e il tempo di residenza nel reattore pari a 7,7 giorni (d). Definite già le velocità di crescita/scomparsa della biomassa batterica per prima cosa si è calcolata la concentrazione di biomassa attiva nel reattore ( $X_b=790 \text{ g m}^{-3}$ ). Per valutare i nitrati in ingresso al reattore si valutano i ricircoli interni e totali del sistema: per scelta progettuale si è deciso, come descritto in precedenza di mantenere esclusivamente un unico ricircolo totale (vedere Paragrafo 3.4.1). La quantità di nitrati alimentata al reattore sarà funzione del ricircolo R (pari a due volte la portata in ingresso,  $178,8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ), quindi l'impianto dovrà esser dimensionato in modo da poter rimuovere un carico complessivo di nitrati pari a  $2145,87 \text{ g d}^{-1}$ .

**Tabella 41** Parametri da considerare per il dimensionamento della pre-denitrificazione

Parametro	Valore	Unità di misura
Q	89,4	$\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$
$V_{\text{nitrificazione}}$	42,9	$\text{m}^3$
SRT	7,7	d
$Y_H$	0,45	$\text{gSSV g bCOD}^{-1}$
$S_o$	183,3	$\text{g bCOD m}^{-3}$
$b_H$	0,088	$\text{gSSV gSSV}^{-1} \text{ d}^{-1}$
$X_b$	790	$\text{g m}^{-3}$
$\tau_{\text{aer}}$	11,5	ore
MLVSS	1182,9	$\text{g m}^{-3}$
$\text{NO}_x$	49,4	$\text{g m}^{-3}$
$N_e$	12	$\text{g m}^{-3}$
R (IR = 0)	2,0	-
Portata in ingresso al reattore anossico	178,8	$\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$
$N_{\text{ox}}$ alimentati	2145,87	$\text{g d}^{-1}$

Il reattore di denitrificazione verrà dimensionato sulla base della velocità specifica di denitrificazione (SDNR), questa a sua volta, varia in funzione del carico  $F/M_b$  secondo l'equazione:

$$SDNR_b = b_0 + b_1 \left[ \ln \left( \frac{F}{M_b} \right) \right]$$

Il carico  $F/M_b$  viene determinato ad ogni passaggio in funzione della quantità di biomassa presente nel reattore, mentre i coefficienti  $b_0$  e  $b_1$  si ricavano a seconda della percentuale di COD rapidamente biodegradabile, rispetto al totale biodegradabile contenuto nel refluo. Poiché dalle analisi chimiche non era a disposizione la quantità di rbCOD presente, per le caratteristiche prettamente industriali del refluo in ingresso, si è ipotizzato un contenuto pari al 10% rispetto al COD totalmente biodegradabile. Come si può vedere in **Tabella 42** alla percentuale ipotizzata di rbCOD corrispondono i coefficienti  $b_0=0,186$  e  $b_1=0,078$ .

**Tabella 42** Percentuali di rbCOD e coefficienti per il calcolo di SDNR

SDNR coefficienti secondo Metcalf & Eddy (2014)		
% rb COD	$b_0$	$b_1$
10	0,186	0,078
20	0,213	0,118
30	0,235	0,141
40	0,242	0,152
50	0,27	0,162

Calcolata la velocità specifica di denitrificazione, la si è riferita, tramite opportuni fattori di conversione, dapprima alla temperatura di dimensionamento, successivamente al sistema di ricircolo applicato. Abbiamo così ottenuto una velocità di denitrificazione, riferita alla biomassa (SDNR<sub>b</sub>) pari a 0,15 g N-NO<sub>3</sub> g<sup>-1</sup><sub>biomassa</sub> d<sup>-1</sup>. Infine si è calcolato la velocità specifica di denitrificazione in funzione dei batteri presenti nel reattore (ovvero i solidi sospesi volatili presenti nel mixed liquor): la velocità di denitrificazione così ottenuta è pari a 0,10 g N-NO<sub>3</sub> g SSV<sub>ML</sub><sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Definiti tutti questi parametri si è calcolata la quantità di NO<sub>x</sub> rimossi attraverso la formula:

$$NO_{x,rimossi} = V_{denitro} * SDNR * SSV_{ML}$$

Come si può vedere in **Tabella 43** la quantità di NO<sub>x</sub> rimossi, ipotizzando un volume di denitrificazione pari al 30% di quello di nitrificazione è pari a 2312,66 g d<sup>-1</sup>. Il carico di NO<sub>x</sub> alimentato nel reattore attraverso il ricircolo è pari a 2145,87 g d<sup>-1</sup>. Con la configurazione ipotizzata riesco a rimuovere tutti i nitrati in ingresso alla fase biologica, rimuovendo in condizioni di normale funzionamento fino all'8% in più di nitrati in eccesso. Il volume di denitrificazione assunto nel dimensionamento dell'impianto sarà quindi pari a 12,87 m<sup>3</sup>.

**Tabella 43** Dimensionamento della fase di pre-denitrificazione

Parametro	1 tentativo	2 tentativo	Unità di misura
$\tau_{\text{aer}}$	11,5	11,5	ore
coeff	0,20	0,30	-
$\tau_{\text{nox}}$	2,3	3,5	ore
$\tau_{\text{nox}}$	0,10	0,14	d
$V_{\text{nox}}$	8,58	12,87	m <sup>3</sup>
Q	89,41	89,41	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
$S_0$	115	115	g BOD m <sup>-3</sup>
$V_{\text{nox}}$	8,58	12,87	m <sup>3</sup>
$X_b$	790	790	g m <sup>-3</sup>
F/M <sub>b</sub>	1,51	1,0079	
rbCOD/COD	10%	10%	%
$b_0$	0,19	0,19	-
$b_1$	0,08	0,08	-
SDNR <sub>b</sub>	0,22	0,19	g NO <sub>3</sub> -N g biomassa <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
T	12	12	°C
$\Theta_{\text{correttivo}}$	1,03	1,03	-
SDNR <sub>12</sub>	0,18	0,15	g NO <sub>3</sub> -N g biomassa <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
SDNR <sub>IR1</sub>	0,18	0,15	g NO <sub>3</sub> -N g biomassa <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
SDNR <sub>adj</sub>	0,18	0,15	g NO <sub>3</sub> -N g biomassa <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
SDNR <sub>b</sub>	0,18	0,15	g NO <sub>3</sub> -N g biomassa <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
$X_b$	790	790	g m <sup>-3</sup>
MLVSS	1183	1183	g m <sup>-3</sup>
SDNR	0,12	0,10	g NO <sub>3</sub> -N g SSV <sub>ML</sub> <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
NO <sub>r</sub>	1803,07	2312,66	g d <sup>-1</sup>
Eccesso nitrati rimosso	-16%	8%	%

### 3.3.5 Sistema di aerazione

Il dimensionamento del sistema di aerazione permette la definizione della quantità di aria da insufflare nel reattore affinché avvengano le reazioni di ossidazione. Viene scelto un sistema di aerazione a bolle fini. Questi sistemi sono ad oggi i più utilizzati rispetto gli aeratori meccanici superficiali, questo è dovuto agli elevati rendimenti associati ai sistemi di diffusione, sia in termini di ossigeno solubilizzato rispetto quello insufflato, che rispetto ai corrispondenti consumi energetici. Risulta inoltre più contenuto l'impatto rispetto alle condizioni ambientali esterne, sia con riferimento alla rumorosità che alla formazione di

aerosol. Tale sistema è costituito da piastre, poste sul fondo della vasca che tramite un sistema di compressori insufflano aria sotto forma di piccole bolle. La necessità di disporre di compressori e di un sistema di convogliamento e distribuzione dell'aria ne rende per contro più complessa e costosa la realizzazione, oltre che più impegnativa la gestione. L'aria viene alimentata nel reattore ad adeguata pressione (che verrà definita in funzione del battente idrostatico e delle perdite di carico nel sistema). Le prestazioni dipenderanno sia dalla dimensione delle bolle che dalla profondità di insufflazione, cui sono rispettivamente collegati la superficie di scambio e il tempo di contatto aria-liquido. Ad ogni bolla di aria insufflata corrisponde un contenuto di ossigeno. Il dimensionamento prevede il calcolo del volume totale di ossigeno richiesto dalle reazioni che avvengono in vasca, successivamente verrà scelto un idoneo sistema di aerazione in grado di fornire tale quantità di ossigeno. Il fabbisogno è funzione delle diverse reazioni che avvengono nel reattore: ossidazione della sostanza organica, respirazione endogena ed ossidazione dell'azoto ammoniacale. Inoltre va tenuto conto del parziale recupero dell'ossigeno consumato per via dell'ossidazione del TKN in nitrificazione; infatti i nitrati riciccolati nella fase anossica sostituiscono in parte l'ossigeno libero come accettori di elettroni nelle reazioni di rimozione della sostanza organica biodegradabile.

#### Dimensionamento

Inizialmente si calcola la domanda di ossigeno richiesta,  $R_o$ . Essa, come abbiamo visto, è funzione della quantità di substrato da degradare, della respirazione endogena e della quantità di nitrati da ossidare. Sono richiesti 1,24 kg di ossigeno all'ora. Inoltre si calcola anche la quantità di  $O_2$  recuperata attraverso la fase di ricircolo dei nitrati, avremo un credito di ossigeno pari a 0,40 kg  $O_2$   $h^{-1}$ . Si ricava così la quantità di ossigeno da trasferire in corrispondenza delle condizioni di lavoro dell'impianto: tale quantità, definita come  $OTR_f$  (actual oxygen transfer rate) sarà pari a 0,84 kg  $O_2$   $h^{-1}$ . Il trasferimento di ossigeno nelle condizioni in cui lavora la vasca di aerazione è legato alla velocità di trasferimento dell'ossigeno in condizioni standard (SOTR). Questa quantità è a sua volta funzione di alcuni parametri che dipendono dalla qualità del refluo, da fattori di sporcamento, dalla quantità di ossigeno disciolto in vasca, dalla quota sul livello del mare a cui l'impianto è collocato e dall'altezza del bacino di aerazione. I parametri considerati ed i valori dei fattori di correzione fissati sono riassunti in

**Tabella 44.**

**Tabella 44** Progetto del sistema di aerazione a bolle fini - Parametri di processo

Parametro	Valore	Unità di misura	Parametro	Valore	Unità di misura
$\alpha$	0,5	-	$d_e$	0,4	-
$\beta$	0,98	-	$h_{\text{bacino aerazione}}$	2,2	m
F	0,9	-	$D_f$	1,7	m
C = O.D.	2	mg L <sup>-1</sup>	$P_a$	10,33	m
T	12	°C	$C^*_{s20}$	9,092	mg L <sup>-1</sup>
$\Theta$	1,024	-	CST	10,521	mg L <sup>-1</sup>
g	9,81	m s <sup>-2</sup>	$C^*_{20}$	9,6905	mg L <sup>-1</sup>
M	28,97	g mol <sub>air</sub> <sup>-1</sup>	$P_b/P_a$	0,9742	-
$z_b$	217,7	m	E	0,35	-
$z_a$	0	m	$\rho_{\text{air}} (12^\circ\text{C})$	1,1633	kg m <sup>-3</sup>
R	8314	N m mol <sub>air</sub> <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	%O <sub>2</sub> in peso	23%	%
T	285,15	K	kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> air	0,2697	kg O <sub>2</sub> m <sup>3</sup> air <sup>-1</sup>

Come si può vedere in **Tabella 45**, si è passati dalla velocità di trasferimento dell'ossigeno alle condizioni di lavoro dell'impianto al calcolo del SOTR riferito alle stesse condizioni. Tale quantità è risultata essere pari a 2,5 O<sub>2</sub> h<sup>-1</sup>. Passaggio successivo è stato il calcolo del flusso di aria corrispondente alla detta quantità di ossigeno. Il flusso di aria da insufflare attraverso il sistema di aerazione a bolle fini sarà pari a 27 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> che coincidono con una quantità giornaliera di 636 m<sup>3</sup> di aria da insufflare in vasca.

**Tabella 45** Calcolo del fabbisogno di ossigeno e della quantità di aria

Parametro	Valore	Unità di misura
Q	89,4	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
NO <sub>x</sub>	49,4	g m <sup>-3</sup>
$P_{x,\text{BIO,SSV,viva}}$	4,8	kg SSV d <sup>-1</sup>
$N_e$	12,0	g m <sup>-3</sup>
$S_o$	183,3	g bCOD m <sup>-3</sup>
S	0,53	g bCOD m <sup>-3</sup>
O.D.	2,00	g m <sup>-3</sup>
$R_o$	1,24	kg O <sub>2</sub> h <sup>-1</sup>
Oxigen Credit	0,40	kg O <sub>2</sub> h <sup>-1</sup>
OTR <sub>f</sub>	0,84	kg O <sub>2</sub> h <sup>-1</sup>
SOTR	2,5	kg O <sub>2</sub> h <sup>-1</sup>
Portata d'aria	27	m <sup>3</sup> air h <sup>-1</sup>
	636	m <sup>3</sup> air d <sup>-1</sup>

### 3.3.6 Dosaggio di Carbone Attivo in Polvere

Il dosaggio di carbone attivo in polvere fa riferimento ad un importantissimo processo chimico-fisico, l'adsorbimento. L'adsorbimento consiste in un trasferimento di massa con cui atomi o molecole di composti, presenti in fase liquida o gassosa, si fissano su una superficie solida porosa, concentrandosi all'interfaccia di separazione, per effetto di legami sia di natura fisica che chimica tra l'adsorbato ed il solido adsorbente. Nel nostro caso, il solido adsorbente sarà carbone attivo in polvere-PAC. Il processo trova infatti applicazione nei confronti di inquinanti disciolti, sia organici che inorganici, rimossi in maniera insufficiente nelle precedenti fasi biologiche, o a valle di trattamenti di ossidazione chimica, per rimuovere intermedi di reazione incompatibili con lo scarico delle acque in un corpo idrico. Nel dimensionamento del nostro impianto è stato previsto il dosaggio di PAC proprio nella vasca di ossidazione per far fronte alle elevate quantità di COD non biodegradabile presenti nel refluo. Il carbone attivo in polvere viene direttamente immesso in sospensione nel refluo e successivamente verrà rimosso nella fase di sedimentazione secondaria. Poiché quest'ultima non garantisce una separazione totale dal refluo verrà prevista anche una filtrazione terziaria. Lo scopo del PAC è quello di essere un coadiuvante alla biodegradazione ed allo stesso tempo ottenere un appesantimento del fiocco, agendo quindi da flocculante in caso di scarsa sedimentabilità del fango. La tipologia di PAC è stata scelta tra quelle proposte dall'azienda che già fornisce ad A2A Ambiente i carboni attivi in polvere per il trattamento dei fumi in uscita dal termovalorizzatore. Oltre ai vantaggi già descritti, questo tipo di carbone attivo garantisce anche altri benefici nella vasca di ossidazione, tra i quali l'aumento del 20% della resa di rimozione rispetto al COD, aumento dell'abbattimento del BOD, miglioramento della fase di nitrificazione e dell'efficienza di aerazione, e ulteriore abbattimento di tensioattivi. Il carbone attivo verrà dosato, tramite apposito sistema nel reattore biologico a biomassa sospesa, con un dosaggio pari a  $100 \text{ mg m}^{-3}$ . Quando l'operatore inizia a dosare PAC, deve tenere conto del volume della vasca unitamente al tempo di ritenzione idrica, di conseguenza, come descritto in **Tabella 46** si doserà una quantità iniziale di carbone attivo ( $\text{PAC}_0$ ) cui seguirà la dose in funzione della portata dell'impianto e pari a  $8,9 \text{ g d}^{-1}$ .

**Tabella 46** Dosaggio di carbone attivo in polvere

Parametro	Valore	Unità di misura
Dose	100	$\text{mg m}^{-3}$
Volume Vasca	42,9	$\text{m}^3$
Portata	89,4	$\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$
$\text{PAC}_0$	4,3	g
$\text{PAC}_1$	8,9	$\text{g d}^{-1}$

Utilizzando la configurazione “base” dell’impianto ipotizzato, il dosaggio di PAC permette di ottenere in uscita con l’effluente una concentrazione di COD effluente idonea per lo scarico del refluo in un corpo idrico superficiale. Tale concentrazione non dipende solo dal COD solubile non biodegradabile che si ha in ingresso in impianto: a questa quantità dovremo aggiungere l’apporto di COD legato alla concentrazione di solidi sospesi totali ( $12 \text{ g m}^{-3}$ ) ed alla concentrazione del substrato S ( $0,53 \text{ g m}^{-3}$ ). La quantità totale di COD in uscita dal reattore biologico sarà quindi pari a  $146,9 \text{ g m}^{-3}$ . La concentrazione di COD in ingresso con il refluo abbiamo visto essere pari a  $353,3 \text{ g m}^{-3}$ . Il rendimento di rimozione risulta essere uguale al 58%. L’incremento ipotizzato grazie al dosaggio di PAC comporterà una resa di rimozione pari al 78%, con una concentrazione di COD totale in uscita pari a  $76,3 \text{ g m}^{-3}$  (**Tabella 47**). Tale valore andrà però verificato una volta che l’impianto verrà realizzato: data la tipologia del refluo non si può escludere il fatto che il dosaggio di PAC non sia sufficiente al rispetto dei limiti imposti dalla legge sul COD effluente. Per questo motivo bisogna prevedere, in uscita dal sedimentatore secondario un’area con una superficie tale da permettere un upgrade dell’impianto attraverso l’installazione di un sistema a letto filtrante di carbone attivo granulare: questo sistema, sicuramente più efficiente del dosaggio di PAC, permetterà ulteriore miglior controllo delle concentrazioni di COD in uscita dall’impianto.

**Tabella 47** Benefici sulla rimozione del COD dal dosaggio di PAC

Parametro	Valore	Unità di misura
nbsCOD <sub>e</sub>	134,4	$\text{g m}^{-3}$
SSV/SST	0,5	-
COD/SSV	2	$\text{g COD g SSV}^{-1}$
SST <sub>e</sub>	12	$\text{g m}^{-3}$
S	0,53	$\text{g m}^{-3}$
COD <sub>OUT</sub> BIOLOGICO	149,6	$\text{g m}^{-3}$
COD <sub>OUT</sub>	76,3	$\text{g m}^{-3}$

### 3.3.7 Dosaggio di bicarbonato di sodio

Poiché nella fase di nitrificazione, l’ossidazione dell’azoto è condotta attraverso dei batteri autotrofi, vi è un contemporaneo consumo di anidride carbonica e una modifica dell’equilibrio carbonati-bicarbonati presenti nel refluo. Ciò comporta quindi un abbassamento dell’alcalinità e una modifica del pH del refluo. Per contrastare questo problema, in fase di dimensionamento si è previsto il dosaggio, tramite un opportuno sistema, di bicarbonato di sodio. Il pH medio del refluo in ingresso, secondo i bilanci di massa condotti è pari a 7,7 unità

di pH. Affinché le reazioni di biodegradazione avvengano correttamente è necessario che nel refluo vi sia un pH neutro, (6,8-7). Abbiamo quindi già presente disponibilità di alcalinità sotto forma di carbonato di calcio con una concentrazione pari a  $7 \text{ gCaCO}_3 \text{ m}^{-3}$  (**Tabella 48**).

**Tabella 48** Alcalinità presente nell'influente

Parametro	Valore	Unità di misura
pH	7,7	Unità di pH
$\text{g CaCO}_3/\text{g N-NH}_4$	7,14	-
pH'=6,8-7	70	$\text{gCaCO}_3 \text{ m}^{-3}$
Peso equivalente $\text{NaHCO}_3$	84	g/eq
Peso equivalente $\text{CaCO}_3$	50	g/eq
Alk già esistente	7	$\text{gCaCO}_3 \text{ m}^{-3}$

Durante le fasi di dimensionamento dell'impianto si sono valutate diverse configurazioni, fino ad ottenere quella che meglio si adattava alla tipologia di refluo presa in esame. Avendo esaminato situazioni sia riferite al tempo di pioggia, che al tempo secco, abbiamo analizzato come a seconda del tipo di refluo in ingresso all'impianto fosse necessario o meno dosare bicarbonato di sodio per andare a controllare l'alcalinità del liquame. Come si può vedere in **Tabella 49** il refluo in ingresso all'impianto in tempo di pioggia, presenta un'alcalinità sufficientemente adeguata affinché abbiano origine le reazioni di biodegradazione. In tempo secco, in ingresso all'impianto si avrà un refluo derivante esclusivamente dalla lavorazione dei rifiuti. Questo presenterà un'alcalinità non sufficiente per il trattamento biologico, e così dovrà essere dosato bicarbonato di sodio ( $8,46 \text{ kg d}^{-1}$ ). Questa operazione verrà condotta mediante l'utilizzo di una pompa dosatrice: essa si attiverà in caso di abbassamento del pH sotto una determinata soglia.

**Tabella 49** Differenti configurazioni di dosaggio di bicarbonato di sodio

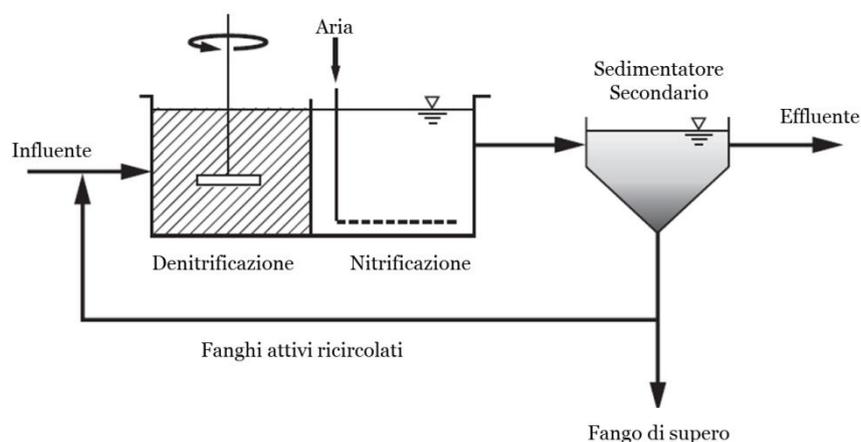
Parametro	Tempo secco	Tempo di pioggia	Unità di misura
$Q_c$	2,42	3,73	$\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$
$\text{CaCO}_3$	478,72	476,11	$\text{mg L}^{-1}$
$\text{NO}_x$	69,41	49,35	$\text{g m}^{-3}$
$\text{ALK}_{\text{usata}}$	495,55	352,38	$\text{gCaCO}_3 \text{ m}^{-3}$
$\text{ALK}_{\text{influente}}$	478,72	476,11	$\text{gCaCO}_3 \text{ m}^{-3}$
$\text{ALK}_{\text{aggiunta}}$	5,03	-	$\text{kg CaCO}_3 \text{ d}^{-1}$
$\text{NaHCO}_3$	8,46	-	$\text{kg NaHCO}_3 \text{ d}^{-1}$
Verifica	E' necessario dosare bicarbonato	L'alcalinità nell'influente è sufficiente	-

## 3.4 Sedimentatore secondario

Nei processi a fanghi attivi, come abbiamo già anticipato, è necessario far ricircolare una parte di fango in testa al reattore per conseguire gli obiettivi di depurazione. Tale quantità viene raccolta e ricircolata tramite il sedimentatore a valle del reattore biologico di ossidazione. Con il ricircolo del fango si ha una notevole quantità di solidi sospesi che si muovono all'interno del reattore. Obiettivo del sedimentatore, è quello di rimuovere, tramite una sedimentazione di massa le particelle solide dall'effluente. Il sedimentatore avrà quindi una duplice funzione: chiarificare il refluo e garantire il recupero della biomassa. Si è scelto di mantenere a fini precauzionali una biomassa nel reattore pari a  $2000 \text{ g SST m}^{-3}$ . Tale valore è inferiore rispetto i valori presenti in letteratura: questa scelta è stata fatta a scopo precauzionale, infatti la variabilità del refluo, le sue caratteristiche industriali e il suo contenuto instabile non permettono di ipotizzare valori maggiori.

### 3.4.1 Portate di ricircolo

Nel dimensionamento dell'impianto si è scelto di utilizzare, per quanto riguarda i ricircoli, una configurazione più semplice rispetto quella suggerita dal manuale. Infatti convenzionalmente all'interno del sistema biologico a fanghi attivi esistono due ricircoli: un primo ricircolo detto "interno" che porta i nitrati dal reattore di nitrificazione a quello di pre-denitrificazione ed un secondo, detto "totale" che porta i fanghi attivi estratti dal sedimentatore secondario in ingresso al reattore di ossidazione biologica. Nel nostro caso, rispettando gli obiettivi progettuali (ovvero rendere l'impianto il più semplice ed essenziale possibile unito ad una semplicità gestionale), abbiamo scelto di applicare un unico ricircolo totale dal sedimentatore all'ingresso del reattore (**Figura 9**).



**Figura 9** Rappresentazione del sistema ipotizzato per il ricircolo dei fanghi attivi

Tale ricircolo, pari al doppio della portata giornaliera in ingresso all'impianto ( $178,8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ), porterà i fanghi attivi necessari alla biodegradazione dal sedimentatore secondario al reattore di pre-denitrificazione. Con tale configurazione inoltre, come si può verificare nei Paragrafi 3.3.3 e 3.3.4 vengono soddisfatti tutti gli obiettivi per quanto riguarda la rimozione delle sostanze inquinanti.

#### Dimensionamento del sedimentatore

Dopo aver fissato la concentrazione nel reattore ed il fattore di ricircolo, si va a stabilire la concentrazione di SST nel flusso di ricircolo. Per le stesse ipotesi cautelative fatte in precedenza si ricava una concentrazione di solidi sospesi totali pari a  $3000 \text{ g m}^{-3}$ . Per garantire un'adeguata sedimentazione di massa il dimensionamento è stato condotto fissando il carico idraulico da mantenere sul sedimentatore ed andando a calcolare a cascata i parametri necessari. Come descritto in

**Tabella 50** il carico idraulico da mantenere sarà pari a  $16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Tale valore, suggerito dall'esperienza, eviterà il trascinamento nel flusso in uscita di fiocchi isolati sfuggiti dalla sedimentazione di massa che rimangono in sospensione al di sopra dell'interfaccia e che sono quindi soggette ad una sedimentazione di tipo discreto. Il carico idraulico applicato permetterà di controllare la velocità di sedimentazione discreta: la velocità ascensionale con cui il refluo risale verso la superficie, per il richiamo dei dispositivi di scarico, sarà inferiore alla velocità di sedimentazione discreta delle particelle isolate soggette ad un moto discendente. Sapendo che in ingresso si ha una portata pari a  $89,4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  l'area del sedimentatore sarà pari a  $5,6 \text{ m}^2$ . Si sceglie come possibile configurazione un sedimentatore a pianta rettangolare. La larghezza del bacino di sedimentazione sarà pari a 1,5 metri, la lunghezza 3,7 e l'altezza 3 metri. Il volume totale risulterà essere pari a  $16,8 \text{ m}^3$ . Tale configurazione permetterà di ottenere in uscita un flusso solido (quantità di solidi sedimentabili che attraversa una superficie orizzontale unitaria nell'unità di tempo) pari a  $4 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Tali valori permetteranno di avere una stabilità dell'interfaccia torbida/liquame chiarificato (entro l'intervallo di oscillazione prodotto da un'eventuale variazione di portata) ed il voluto ispessimento del fango estratto dal fondo.

**Tabella 50** Dimensionamento del sedimentatore secondario

Parametro	Valore	Unità di misura
R	2	-
X	2000	g SST m <sup>-3</sup>
X <sub>r</sub>	3000	g SST m <sup>-3</sup>
C.I.	16,00	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
Q	89,4	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>
Area	5,6	m <sup>2</sup>
l	1,5	m
L	3,7	m
h	3,0	m
V <sub>sedII</sub>	16,8	m <sup>3</sup>
Flusso Solido	4,00	kg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>

### 3.4.2 Linea Fanghi

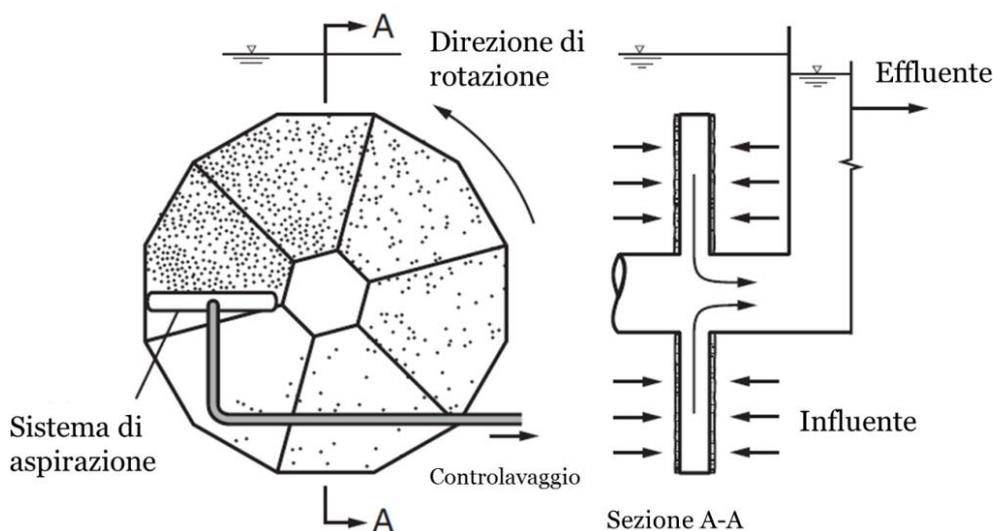
La quantità totale di fanghi di supero è stata stimata nella precedente **Tabella 40** in 11,15 kg SST d<sup>-1</sup>. Per cautela, ai fini della stima del fango da trattare nella linea fanghi, si trascura la massa di fango uscente con l'effluente. Assunta una concentrazione nel fango di supero di 3 kg m<sup>-3</sup>, pari a 1,5 volte quella presente nella vasca di aerazione, la portata di fanghi di supero allo stato liquido risulta di  $11,15 : 3 = 3,71$  m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>.

Generalmente per un grande impianto, il dimensionamento di un impianto per il trattamento dei reflui prevede anche la definizione della linea fanghi e delle sue componenti.

Nel nostro caso, vedendo la moderata quantità di fanghi estratta dal sedimentatore secondario, si è scelto, per una semplicità gestionale e una minore spesa economica, di accumulare il fango di supero in una vasca già esistente in impianto (denominata "vasca FORSU") della capacità di 56 m<sup>3</sup>. Il ruolo primario di questa vasca sarà quello di accogliere i fanghi estratti ed in secondo luogo sarà anche in grado di fornire un primo ispessimento degli stessi. La vasca dovrà essere dotata di un sistema di aerazione per evitare che i fanghi possano andare in anaerobiosi. Inoltre dovrà essere mantenuta coperta, ed in tal caso, occorrerà aspirare l'aria ed inviarla ai biofiltri già installati in impianto per eliminare dal flusso le componenti odorigene. Ogni 10-15 giorni i fanghi verranno estratti dalla vasca tramite un sistema di spurgo mobile, dopodiché verranno trasportati presso altri impianti del Gruppo A2A dove verranno opportunamente smaltiti.

## 3.5 Filtrazione

La filtrazione prevista nell'impianto fa parte delle varie metodologie previste per i trattamenti di affinamento del refluo. In generale i trattamenti secondari sono in grado di garantire ai reflui caratteristiche chimico-fisiche a norma di legge per la loro restituzione all'ambiente naturale. Per fornire all'effluente una qualità più elevata, volta al riutilizzo delle acque in ambito agricolo o industriale si procede con l'aggiunta, a valle della sedimentazione secondaria di un trattamento fisico di filtrazione. Per quanto riguarda i trattamenti terziari esistono due tipologie di filtrazione, di volume e di superficie. Per quanto riguarda il nostro impianto si è scelto di installare un sistema di filtrazione di superficie. Quest'alternativa è data dai sistemi di microstacciatura, con impiego di elementi filtranti di piccolo spessore con passaggi da 10-30 micron. La gran parte del PAC si raccoglie nei fiocchi di fango e viene estratto con il fango di supero. Il filtro consente la cattura delle particelle più fini di PAC e dei solidi sospesi sfuggiti dal sedimentatore secondario (intorno ai 20-30 mg L<sup>-1</sup>). Il materiale sospeso viene trattenuto dalla maglia del filtro. Sono disponibili apparecchiature di varia conformazione, spesso derivate dagli stacci in uso per i trattamenti primari, costituiti da tamburi rotanti ad asse orizzontale. Nel dimensionamento del nostro impianto si è scelto di utilizzare la tecnologia dei "dischi rotanti" costituiti da materiale filtrante: tali dischi, calettati su un albero centrale, rendono queste configurazioni modulari e quindi facilmente adeguabili alle esigenze di affinamento. Tale caratteristica è di fondamentale importanza, poiché nella nostra situazione la variabilità del refluo è tale da chiedere un'elevata capacità di adattamento e una facile gestione. I dischi verranno tenuti immersi in un'apposita vasca a valle della sedimentazione secondaria, e verranno mantenuti in rotazione continua con velocità di qualche giro al minuto. La velocità di filtrazione, riferita alla superficie totale delle tele installate, dipende dalla concentrazione dei solidi sospesi nel refluo. Per il dimensionamento dell'impianto si può prevedere l'installazione di un filtro a tessuto medio (Cloth Media Filter – CMF). Il sistema di funzionamento del CMF è rappresentato in **Figura 10**.



**Figura 10** Filtro a tela (Cloth Media Filter – CMF)

Ogni disco è costituito da sei segmenti uguali. L'acqua fluisce per gravità dall'esterno del filtro al suo interno, ed il flusso chiarificato fuoriesce da una tubazione posta nel centro del filtro. Tipicamente esistono due tipologie di tessuto, una costituita da poliestere ed un'altra costituita da una fibra sintetica. Per motivi economici verrà scelta la prima descritta. Sul disco è posizionato un sistema di aspirazione. Questo viene utilizzato per eliminare i solidi che si accumulano durante la filtrazione. Il sistema si attiva una volta che si è raggiunta una perdita di carico massima sulla superficie del filtro, tra il refluo in ingresso e l'effluente. L'acqua di contro lavaggio richiesta sarà pari al 2% di quella filtrata. Poiché le portate di refluo, come abbiamo visto, non sono elevate, si sceglie di tenere in funzione un unico sistema a dischi. Il sistema sarà così in grado di funzionare secondo i parametri descritti in **Tabella 51**.

**Tabella 51** Possibile configurazione di filtrazione di superficie terziaria

Parametro	Valore	Unità di misura
Carico idraulico	0,08	$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{min}^{-1}$
Dimensione dei pori	20	$\mu\text{m}$
Direzione del flusso	out-in	-
Immersione dei dischi	100	%
Perdite di carico	50-300	mm
Diametro dei dischi	0,9	m
SST influenti	25	$\text{g m}^{-3}$
SST in uscita	12	$\text{g m}^{-3}$

Grazie all'installazione del sistema di filtrazione terziaria, oltre alla completa rimozione del carbone attivo in polvere sfuggito alla sedimentazione si potrà mantenere in uscita una concentrazione di solidi sospesi totali pari a  $12 \text{ mg L}^{-1}$ . Nelle fasi iniziali del progetto è stata fissata la concentrazione di BOD solubile (sBOD) da ottenere nell'effluente, questa, assunta come obiettivo di dimensionamento è pari a  $3 \text{ mg L}^{-1}$ . Avendo definito la quantità di solidi sospesi totali in uscita, si può ora calcolare la quantità complessiva di BOD nell'effluente: questa è data dalla somma tra il BOD solubile ed il BOD legato ai solidi sospesi. Come descritto in

**Tabella 52**, passando attraverso opportuni fattori di equivalenza (rapporto SSV/SST e BOD/SSV) troviamo la concentrazione di BOD scaricato con l'effluente, essa sarà pari a  $11,7 \text{ mg L}^{-1}$ .

**Tabella 52** Parametri in uscita dalla filtrazione terziaria

Parametro	Valore	Unità di misura
sBOD <sub>e</sub>	3	$\text{g m}^{-3}$
SST <sub>e</sub>	12	$\text{g m}^{-3}$
SSV/SST	0,85	$\text{g SSV g SST}^{-1}$
BOD/SSV	0,85	$\text{g BOD g SSV}^{-1}$
BOD <sub>e</sub>	11,7	$\text{g m}^{-3}$

Le acque di lavaggio dei filtri saranno ricircolate in testa al processo biologico a fanghi attivi.

### 3.6 Scarico nel corpo idrico ricettore

Dopo aver dimensionato le diverse fasi di pre-denitrificazione, nitrificazione, sedimentazione secondaria e filtrazione terziaria si sono verificati i parametri caratterizzanti il refluo in uscita e il conseguente rispetto dei limiti di legge imposti dal D.L.G.S. 152/06, Allegato V, Tabella 3. L'attuale gestione dei reflui nell'impianto A2A di Bergamo prevede lo smaltimento degli stessi nella rete fognaria interna all'area industriale (con deroghe per quanto riguarda il contenuto di COD e di sostanze organiche). Con la nuova configurazione impiantistica verrà invece garantito il rispetto dei limiti per lo scarico dei reflui in un corpo idrico recettore. Il corpo idrico recettore è stato individuato nel Canale Scolmatore in uscita dall'adiacente impianto di depurazione acque cittadino, che confluisce nel Fiume Brembo circa 5 km più ad ovest rispetto l'area impianti gestita da A2A Ambiente.

Come si può vedere in **Tabella 53**, nell'effluente, saranno rispettati tutti i limiti di legge sui parametri di maggior interesse:

- La concentrazione di solidi sospesi totali (SST) sarà pari a 12 mg L<sup>-1</sup>, 6 volte al di sotto del limite di legge (80 mg L<sup>-1</sup>);
- La concentrazione di BOD (11,7 mg L<sup>-1</sup>) nell'effluente sarà 4 volte inferiore al limite di legge (40 mg L<sup>-1</sup>);
- Le concentrazioni dell'azoto ammoniacale e dell'azoto totale in uscita con l'effluente, imposte come obiettivo di dimensionamento saranno rispettivamente pari a 2 mg L<sup>-1</sup> e 15 mg L<sup>-1</sup>.
- La concentrazione di COD totale nell'effluente, grazie al trattamento biologico ed al dosaggio di carbone attivo in polvere sarà pari a 76,3 mg L<sup>-1</sup>, ben al di sotto del limite imposto dalla legge (160 mg L<sup>-1</sup>).

**Tabella 53** Concentrazione degli inquinanti in uscita dal nuovo impianto di depurazione

Parametro	Concentrazione (mg L <sup>-1</sup> )	
	Effluente	D.L.G.S 152/06, All. V, Tab. 3
SST <sub>e</sub>	12,0	80
BOD <sub>e</sub>	11,7	40
COD <sub>e</sub>	76,3	160
N <sub>e</sub>	12	20
NH <sub>4,e</sub>	2,0	15

## 3.7 Schema dell'impianto

In definitiva lo schema impiantistico ipotizzato, con i rispettivi parametri di interesse è rappresentato in **Figura 11**. I due flussi provenienti dagli scarichi Sn2 ed Sn4 si miscelano nel bacino di equalizzazione, identificato nella vasca "Vezzani" (98m<sup>3</sup>). L'unione dei due flussi andrà a costituire un reflujo della portata di 89 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>. Tale flusso verrà inviato tramite un sistema di pompe già esistente nella vasca al trattamento biologico a fanghi attivi. Il reflujo passerà dapprima attraverso la fase anossica di pre-denitrificazione e successivamente nella fase di ossidazione biologica e di nitrificazione. Durante questa fase nel reattore verranno dosati carbone attivo in polvere (PAC) per il controllo del COD, ed al bisogno bicarbonato di sodio per il controllo dell'alcalinità. Il reflujo affronterà poi la fase di sedimentazione secondaria, dove i fanghi attivi verranno ricircolati (R=2) mentre il fango di supero verrà accumulato nella vasca "FORSU" anch'essa già esistente e successivamente smaltito in altri impianti del gruppo A2A. Infine è previsto un trattamento terziario di affinamento (filtro a tessuto – CMF) per il controllo dei solidi sospesi in uscita e per rimuovere le particelle di carbone attivo sfuggite alla sedimentazione. Il contenuto di inquinanti nel reflujo depurato sarà tale da permettere lo smaltimento dello stesso in un corpo idrico ricettore, individuato nel canale scolmatore in uscita dall'impianto di depurazione acque cittadino ed immissario del Fiume Brembo.



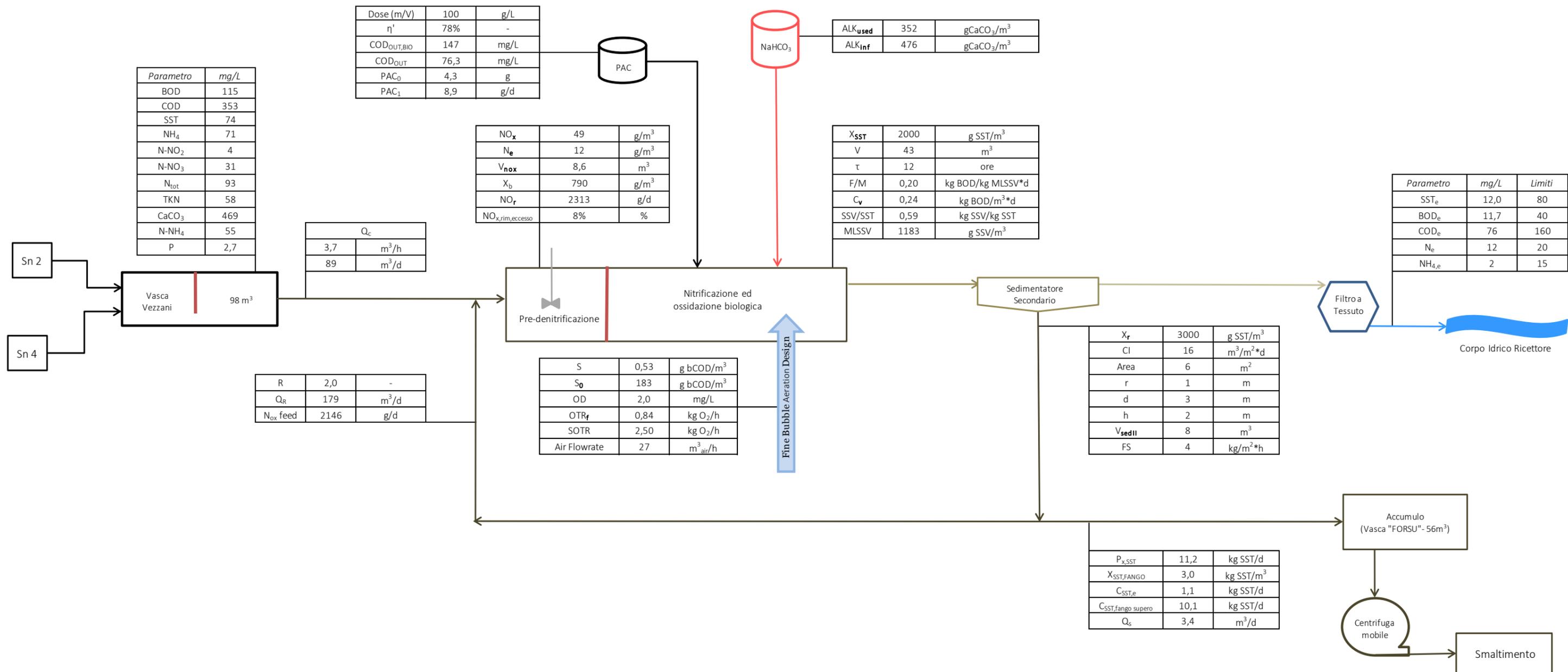


Figura 11 Schema dell'impianto



---

# **CAPITOLO 4**

## **SCELTA**

### **IMPIANTISTICA**

Dopo che nel Capitolo 2 abbiamo ricostruito, analizzato e caratterizzato le diverse tipologie di refluo raccolte nell'Area Impianti di A2A Ambiente di Bergamo, nel Capitolo 3 si è ipotizzata una possibile configurazione impiantistica in grado di soddisfare le esigenze depurative e rendere il refluo idoneo per lo smaltimento in un corpo idrico superficiale. La configurazione ipotizzata è stata quella classica di un trattamento biologico a fanghi attivi. Tale soluzione è tra le più comuni ed economiche e garantisce una semplicità gestionale oltre che una forte elasticità operativa: queste sono caratteristiche fondamentali in quanto il refluo, derivando da attività di gestione e trattamento dei rifiuti, presenta una forte variabilità, e per questo motivo il nuovo impianto dovrà essere in grado di soddisfare in ogni condizione le rese di rimozione richieste. Un secondo obiettivo della Tesi è quello di presentare una soluzione per l'installazione di un impianto che, oltre a quanto appena descritto, rappresenti una soluzione vantaggiosa dal punto di vista economico per l'azienda: per questo motivo, oltre a utilizzare per quanto possibile vasche già esistenti in impianto (abbiamo visto la vasca Vezzani per l'equalizzazione e la stabilizzazione del refluo e la vasca FORSU per raccolta dei fanghi di supero), la scelta dell'impianto si è orientata verso un'opera compatta, realizzata in cemento armato prefabbricato. In quest'ultimo Capitolo verrà quindi presentata la possibile installazione di un impianto di depurazione prefabbricato, in grado di ottenere le rese di rimozione ipotizzate. Verranno infine presentate alcune considerazioni sul progetto, sul metodo utilizzato e sui possibili sviluppi futuri che potranno verificarsi dopo questa fase preliminare di analisi dei reflui ed individuazione della tecnologia per la loro depurazione.

## 4.1 Ipotesi per l'installazione di un impianto di depurazione prefabbricato

Come abbiamo già descritto, viste le non elevate portate trattate, ed il fatto che siamo in presenza di un impianto che dovrebbe trattare carichi di inquinanti corrispondenti a quelli generati da 171 abitanti equivalenti, si è scelto di orientarsi verso l'installazione di un sistema di depurazione a fanghi attivi prefabbricato. Tale soluzione garantirà di raggiungere i rendimenti di rimozione desiderati, ed allo stesso tempo sarà un'opera non del tutto invasiva (essendo prodotta da un'altra azienda, e successivamente trasportata ed installata in loco) e sicuramente meno dispendiosa dal punto di vista economico rispetto all'installazione di un impianto "su misura" attraverso l'attivazione di un cantiere nell'Area Impianti.

### 4.1.1 Possibile configurazione dell'impianto prefabbricato

Per la progettazione dell'impianto si è fatto riferimento a diversi modelli di impianti di depurazione prefabbricati presenti sul mercato internazionale. Tali modelli sono stati poi rivisti ed adattati secondo le nostre esigenze per andare a produrre il risultato finale rappresentato in **Figura 12**. L'impianto prefabbricato che potrà essere installato presso l'area impianti di A2A Ambiente verrà costruito secondo le tecniche già diffuse nel mercato della depurazione dei reflui: pre-assemblato e prefabbricato con due vasche monoblocco a tenuta stagna in C.A.V., realizzate con calcestruzzo. Per massimizzare gli spazi inoltre una vasca verrà divisa in due da un setto: da un lato troveremo il bacino dedicato alla pre-denitrificazione, dall'altro verrà invece collocato il sedimentatore secondario per la sedimentazione ed il ricircolo dei fanghi. Visti gli spazi ristretti si è deciso di installare un sedimentatore secondario di tipo Dortmund, in grado di garantire i parametri previsti in fase di progettazione. L'impianto è fornito anche di un locale tecnico, all'interno di questo sono installati oltre al pannello di controllo anche i serbatoi e le rispettive pompe dosatrici di bicarbonato di sodio e carbone attivo in polvere, necessari per il raggiungimento degli obiettivi di depurazione.

Dalla vasca Vezzani, dove i reflui verranno accumulati, tramite il sistema di pompaggio verranno scaricati nella prima vasca di pre - denitrificazione e successivamente verranno inviati alla fase di ossidazione biologica. Il refluo passerà per gravità al sedimentatore secondario ed infine, dopo esser passato nel sistema di filtrazione terziaria verrà scaricato nel Canale Scolmatore.

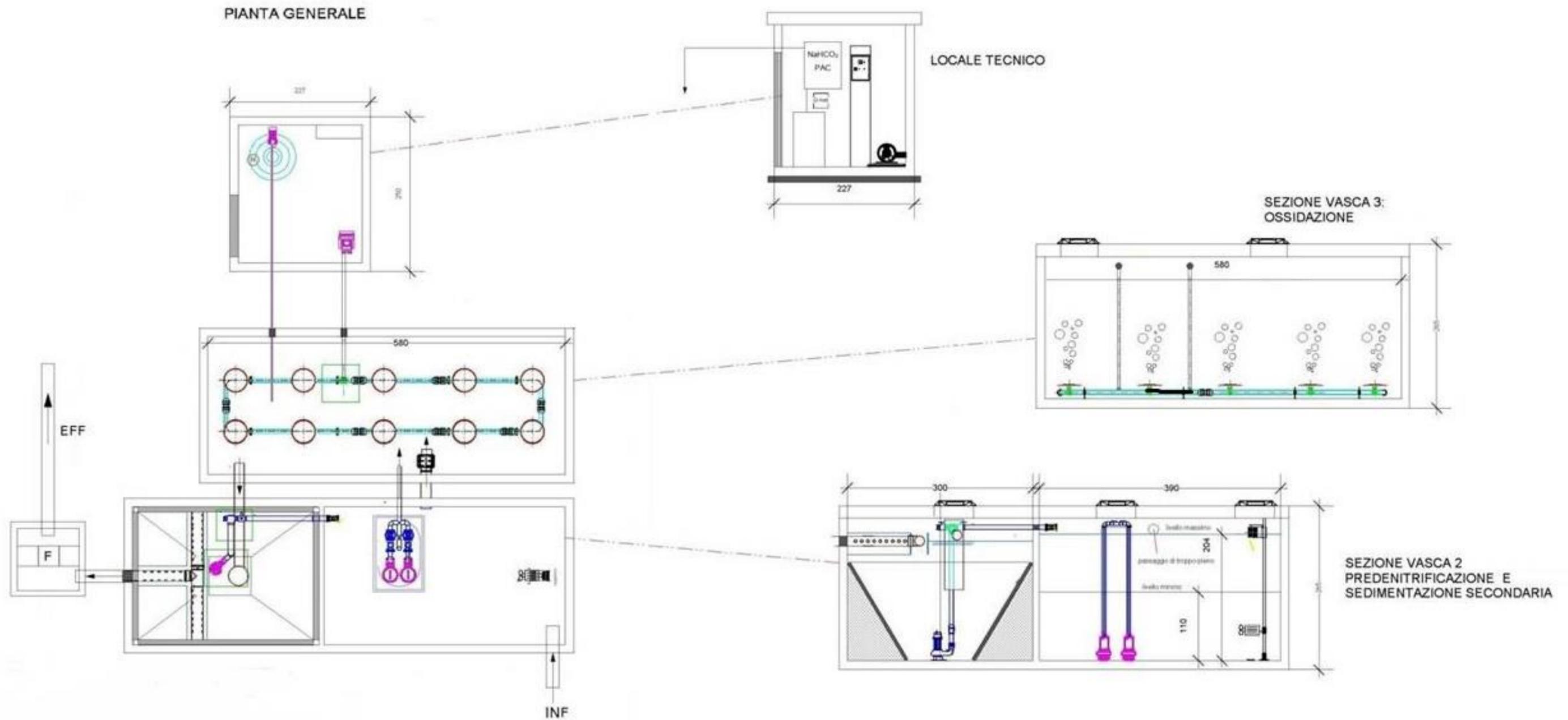
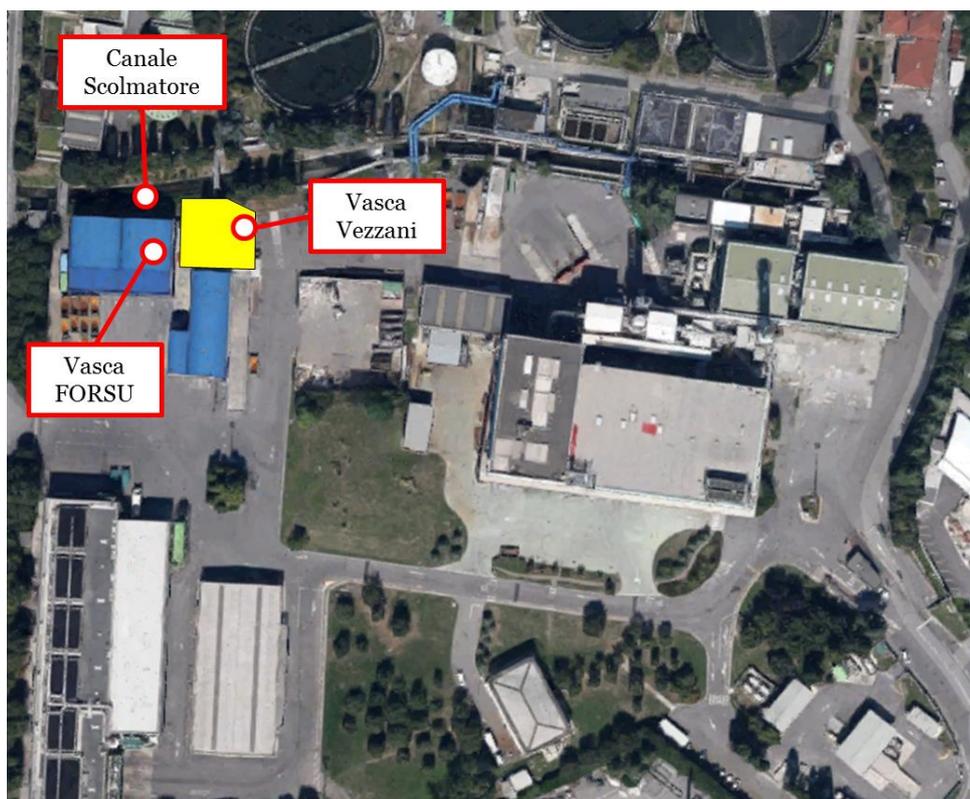


Figura 12 Possibile configurazione dell'impianto prefabbricato



### 4.1.2 Localizzazione dell'impianto

Dopo aver dimensionato una possibile configurazione impiantistica per lo smaltimento dei reflui raccolti nell'area impianti di Bergamo, si è ipotizzato un luogo, all'interno dell'area stessa dove posizionare il nuovo impianto di depurazione. Tale sistema potrebbe essere collocato nella zona evidenziata in giallo **Figura 13**, accanto alle aree di stoccaggio A-B. L'impianto sorgerebbe in una zona dell'area impianti già in parte utilizzata per la gestione dei reflui. Infatti in corrispondenza dell'area in giallo è collocata la vasca "Vezzani" che in fase di progetto è stata scelta come vasca di equalizzazione per la raccolta di tutti i reflui presenti in impianto. Inoltre immediatamente a Nord troviamo il Canale Scolmatore in uscita dall'impianto di depurazione acque cittadino, in cui, il refluo depurato, verrebbe scaricato per gravità una volta terminato il trattamento. Sempre in prossimità dell'area, all'interno del capannone di stoccaggio B è presente la vasca "FORSU" in cui verrebbero, nella configurazione ipotizzata, raccolti i fanghi di supero in uscita dal pozzetto fanghi dell'impianto prefabbricato.



**Figura 13** Possibile localizzazione dell'impianto prefabbricato nell'area in corrispondenza alla attuale vasca "Vezzani"



## 4.2 Conclusioni

In questo elaborato di Tesi si sono svolte due attività principali: dapprima si sono ricostruite le portate di reflui generate dalle diverse attività di lavorazione dei rifiuti all'interno dell'area impianti A2A Ambiente di Bergamo e in secondo luogo, dopo la caratterizzazione degli stessi si è individuata una possibile soluzione per l'abbattimento dei carichi inquinanti ed una possibile configurazione impiantistica.

Data la variabilità dei reflui raccolti, si è scelto di adottare uno schema impiantistico classico a fanghi attivi, che è il più flessibile ed al contempo di più semplice gestione. Il dimensionamento è stato condotto prendendo come riferimento le portate ed i carichi del tempo di pioggia, che si sono rivelati i più gravosi per il dilavamento delle superfici e dei piazzali di lavoro. La portata di calcolo, per il dimensionamento è stata ipotizzata il 95% della portata massima del tempo di pioggia. Di norma, per il dimensionamento non si sceglie come  $Q_c$  il 95% della portata massima riscontrata, ma il 95° percentile della distribuzione rilevata. Nel nostro caso, non essendo stato possibile ricostruire la distribuzione statistica delle portate, si è adottata come portata di calcolo il 95% del valore massimo assoluto misurato. Una volta definita la portata si è passati a definirne le caratteristiche chimico – fisiche per poi definire il processo depurativo. In assenza di analisi chimiche dettagliate e ad hoc per quanto riguarda il contenuto specifico di COD e di BOD, si sono adottate delle ipotesi che hanno permesso di definire le diverse componenti di COD solubile e particolato, biodegradabile e non. Individuati i parametri chimici del refluo, per effettuare il dimensionamento si sono adottati i criteri forniti da Tchobanoglous et al. (2014). Considerate le modeste portate e carichi inquinanti (171 abitanti equivalenti, portata media giornaliera di circa  $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), la progettazione è stata condotta con criteri di massima economicità e semplicità realizzativa e gestionale.

Si è così definita una soluzione impiantistica che garantirà per l'effluente finale il rispetto dei limiti dei parametri stabiliti dalla Tabella 3, Allegato V, del D.Lgs. 152/06, per lo scarico del refluo in un corpo idrico superficiale. Nel nostro caso il corpo idrico ricettore sarà il canale scolmatore in uscita dall'attiguo impianto di depurazione acque cittadino che confluisce circa 5km più ad ovest nel Fiume Brembo.

In primo luogo i reflui vengono raccolti in un'unica vasca di equalizzazione, per tale funzione è stata scelta una vasca, denominata "Vezzani" con un volume di  $98 \text{ m}^3$ , che al momento svolge già il ruolo di vasca di accumulo per una parte dei reflui prodotti in impianto. Da questa vasca i reflui sono rilanciati al trattamento biologico che si compone di una vasca di pre-denitrificazione dotata di miscelatore, seguita dall'ossidazione biologica per la rimozione del COD biodegradabile e la nitrificazione, e, infine, dal sedimentatore secondario completo di ricircolo dei fanghi. Si è previsto di dosare carbone attivo in polvere nella vasca di ossidazione

biologica per favorire la rimozione del COD non biodegradabile e di bicarbonato di sodio per il controllo del pH. Il dosaggio di bicarbonato di sodio, avverrà in funzione dei livelli di pH misurati in vasca. Il pH dovrà essere mantenuto a valori idonei per la crescita ed il metabolismo batterico. Se il dosaggio di bicarbonato ci fornisce una certa tranquillità, lo stesso non possiamo dire del PAC. Al momento infatti si è scelto di dosare carbone attivo in polvere per intervenire nel modo più economico per far fronte all'elevato contenuto di COD. tuttavia il dosaggio di carbone attivo in polvere non garantisce a priori il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Infatti si potrà verificarne l'efficacia solo una volta installato l'impianto. Data la tipologia di refluo trattato, variabile in funzione dei rifiuti lavorati, potrebbe accadere che il solo PAC non sia sufficiente a garantire i valori di rimozione ipotizzati. Per questo motivo una volta che l'impianto entrerà in funzione dovranno essere effettuate analisi chimiche approfondite circa il dosaggio di carbone attivo in polvere. Se tale soluzione non portasse ai risultati auspicati, si consiglia un potenziamento costituito da un'ulteriore fase di filtrazione su letti di carbone attivo granulare (GAC). Per questo motivo, se verrà installato l'impianto prefabbricato, dovrà essere prevista una zona libera per eventuali potenziamenti dell'impianto.

Secondo la configurazione ipotizzata, il fango di supero prodotto dai processi biologici, insieme al carbone attivo esausto, viene raccolto in una vasca già esistente. Tale vasca, denominata "FORSU" e dotata di volume pari a 58 m<sup>3</sup>, servirà da vasca di accumulo e pre – ispessimento dei fanghi. Allo stato attuale, la vasca, che si trova all'interno dell'area di stoccaggio B, è vuota. Una volta che entrerà in funzione questa dovrà essere dotata di un sistema di aerazione per evitare che nei fanghi si sviluppino processi anaerobici. La vasca dovrà comunque essere coperta e dotata di sistema di aspirazione dell'aria che sarà inviata ai biofiltri, già installati all'interno dell'area impianti, per consentirne la deodorizzazione.

Come abbiamo visto, oltre ad utilizzare per quanto possibile vasche già esistenti, la scelta dell'impianto si è orientata verso un'opera compatta, preassemblata e prefabbricata, realizzata in calcestruzzo ed in grado di soddisfare i requisiti previsti per il conseguimento degli obiettivi di depurazione.

Prima dell'installazione dell'impianto prefabbricato andranno valutati accuratamente tutti i costi che ne seguiranno, dai consumi energetici ed elettrici, ai costi di smaltimento dei fanghi e a quelli conseguenti al dosaggio dei prodotti chimici in vasca. Questi dovranno essere confrontati con i costi dell'attuale gestione dei reflui e solo una volta accertati i reali benefici economici e tecnici derivanti dal nuovo sistema si potrà procedere con la realizzazione dell'impianto.



---

## Riferimenti bibliografici consultati

A2A Ambiente, “Dichiarazione ambientale, Area Impianti di Bergamo”, 2013.

A2A Ambiente, “Dichiarazione ambientale, Area Impianti di Bergamo”, 2014.

Bonomo L., “Trattamenti delle acque reflue”, McGraw-Hill, ISBN: 9788838673085  
Milano, 2014.

Fenaroli P.G., “Stato di fatto della rete di raccolta delle acque meteoriche con analisi di  
possibili soluzioni migliorative e progetto delle conseguenti modifiche”, 2013.

Fenaroli P.G., “Ricostruzione dello stato di fatto delle reti di raccolta delle acque nere e  
delle acque meteoriche dell’insediamento A2A Ambiente di Via Goltara 23 – Bergamo”,  
2014.

Provincia di Bergamo, “Incorporazione AIA 3155 del 21/11/2012 nel decreto 9177 del  
19/08/2008”, 2012.

Provincia di Bergamo, “Impianto A2A Ambiente S.p.A – Via Goltara,23 – Bergamo”,  
2014.

Sanin F., Clarkson W., Vesilind P.A., “Sludge Engineering”, DEStech Publications, Inc.,  
2010.

Tchobanoglous G., Crittenden J.C., Howe K.J., Hand D.W., Rhodes Trussell R.,  
Borchardt J.H., “MWH’s Water Treatment” Third Edition, Wiley , ISBN: 97804700539,  
2012.

Tchobanoglous G., Stensel H.D., Tsuchihashi R., Burton B.; Abu-Orf M., Bowden G.,  
Pfrang W., “Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery” Fifth Edition,  
McGraw Hill, ISBN: 0073401188, 2014.

---