

Committente:



Progetto:

Polo tecnologico di Sesto S.G. BIOPIATTAFORMA INTEGRATA CAP

PROGETTO PRELIMINARE

Progettisti:

tbfpartner

Ingegneri e Consulenti

Strada Regina 70

T +41 91 610 26 26

Postfach

F +41 91 610 26 29

6982 Agno

E-Mail tbfti@tbf.ch

Committente:

Progettista:

Titolo:

RELAZIONE TECNICA

Rev.	Data	Descrizione	Disegnato	Controllato
0	26.03.2018	Prima emissione	TOM	AC
1	11.04.2018	Eliminato trattamento RSU	TOM	AC
2	07.05.2018	Verifica progetto	TOM	AC
3				
4				
5				
Scala:		Formato:	Data:	Documento no.:
-		A4	07.05.2018	R-10-102
				Rev.: 2

Revisioni

Revisione	Data	Indicazione delle modifiche	Copia a
0	26.03.2018	Prima emissione	CAP
1	11.04.2018	Eliminato trattamento RSU	CAP
2	07.05.2018	Verifica progetto	CAP
3			

Indice

1.	Dati di base del progetto	1
2.	Descrizione nuovi impianti	2
2.1	Valorizzazione termica dei fanghi	2
2.1.1	Descrizione d'insieme del futuro impianto	2
2.1.2	Conferimento e stoccaggio	2
2.1.3	Sistema di alimentazione fanghi disidratati	3
2.1.4	Sistema di pre-essiccamento	4
2.1.5	Sistema di combustione	5
2.1.6	Sistema di trattamento dei fumi di combustione	7
2.1.7	Sistema di recupero energetico	12
2.1.8	Cessione di calore al teleriscaldamento	13
2.2	Digestione anaerobica della FORSU	14
2.2.1	Descrizione del processo	14
2.2.2	Descrizione della linea di digestione anaerobica della FORSU	15
2.2.3	Purificazione del biogas per la produzione di biometano	19
2.2.4	Utilizzo del biometano	22
2.2.5	Trattamento delle acque reflue dalla disidratazione del digestato (OPZIONALE)	26
2.3	ANNULLATO	32
2.4	Sistema di depolverazione e deodorizzazione	32
2.5	Adeguamento fossa rifiuti	38
2.5.1	Carriponte	38
2.5.2	Portoni fossa rifiuti	38
2.5.3	Avanfossa	39
2.6	Impianti elettrostrumentali ed automazione	39
2.7	Impianti ausiliari ed utilities	41
2.7.1	Aria compressa e aria strumenti	41
2.7.2	Acqua industriale	41
2.7.3	Acqua demineralizzata	41
2.7.4	Acqua antincendio	42
2.7.5	Stoccaggio soluzione ammoniacale	42
2.7.6	Serbatoi di stoccaggio dei reagenti e dei prodotti di reazione degli scrubber	42
3.	Opere civili e strutturali	43
3.1	Descrizione delle tipologie edilizie di intervento.	43

3.2	Fondazioni	46
3.3	Vespai e sottofondi	46
3.4	Pavimentazione industriale	46
3.5	Strutture portanti	47
3.6	Coperture	47
3.7	Pannelli di tamponamento	47
3.8	Pavimentazioni esterne	47
4.	Dimensionamento degli impianti	49
4.1	Valorizzazione termica dei fanghi	49
4.1.1	Architettura complessiva del processo di trattamento	49
4.1.2	Dimensionamento dell'impianto	52
4.1.3	Bilancio di massa	53
4.1.4	Bilancio di energia	55
4.1.5	Schemi a blocchi quantificati	56
4.1.6	Planimetria di dettaglio del nuovo impianto	56
4.2	Impianto di digestione anaerobica della FORSU	57
4.2.1	Architettura complessiva del processo di trattamento	57
4.2.2	Dimensionamento dell'impianto	59
4.2.3	Bilancio di massa	60
4.2.4	Bilancio di energia	61
4.2.5	Schemi a blocchi quantificati	61
4.2.6	Planimetria di dettaglio dei nuovi impianti	61
4.3	ANNULLATO	62
4.4	Sistema di depolverazione e deodorizzazione	62
4.4.1	Architettura complessiva del processo di trattamento	62
4.4.2	Schemi a blocchi quantificati	64
4.4.3	Planimetria di dettaglio dei nuovi impianti	64
	Indice tabelle	65
	Indice figure	66

Allegati:

Allegato 1: Valorizzazione termica dei fanghi
Verifica combustione forno per smaltimento annuo minimo (52'000 t/a)

Allegato 2: Valorizzazione termica dei fanghi
Verifica combustione forno per smaltimento annuo nominale (65'000 t/a)

1. Dati di base del progetto

Per quanto riguarda i dati di base del progetto si fa integrale riferimento all'omologo documento elaborato in fase di studio di fattibilità (doc. n. 25080-120-001, Dati di base del progetto, Rev. 4, del 26.01.2018).

In estrema sintesi i dati di dimensionamento considerati per la progettazione delle tre linee di trattamento sono:

- Valorizzazione termica dei fanghi, non recuperabili come prodotto fertilizzante, nei seguenti sottocasi:
 - Capacità: 65'000 t su base annua, di cui 62'000 disidratati e 3'000 essiccati, per un totale di circa 16'400 t/a di sostanza secca;
- Digestione anaerobica della FORSU: 30'000 t/a.

Per quanto riguarda la digestione anaerobica della FORSU la quantità considerata è dettata dai volumi dei due digestori esistenti presso il depuratore, che non si intendono modificare.

2. Descrizione nuovi impianti

Si descrivono nel seguito i singoli nuovi impianti previsti nell'ambito della riconversione industriale del sito che attualmente ospita il depuratore di acque reflue ed il termovalorizzatore di rifiuti e che darà origine alla futura biopiattaforma integrata.

2.1 Valorizzazione termica dei fanghi

2.1.1 Descrizione d'insieme del futuro impianto

Il futuro impianto di valorizzazione termica sarà composto dai seguenti sottosistemi:

- Conferimento e stoccaggio;
- Alimentazione;
- Pre-essiccamento dei fanghi disidratati;
- Combustione;
- Trattamento fumi;
- Recupero energetico.

Nei paragrafi successivi si riporta una breve descrizione dei sottosistemi sopra elencati.

2.1.2 Conferimento e stoccaggio

Presso il sito di Sesto S.G. è previsto il conferimento sia di fanghi disidratati, provenienti direttamente dai diversi depuratori gestiti da CAP, che di fanghi essiccati, provenienti dall'impianto di essiccamento di S. Giuliano Milanese.

Fanghi disidratati

Per il conferimento e lo stoccaggio dei fanghi disidratati verrà utilizzata una porzione di una delle due fosse rifiuti esistenti. In particolare, si immagina di poter dedicare allo stoccaggio dei fanghi disidratati una parte dell'attuale fossa rifiuti, posta alla sinistra dell'edificio Sala Comandi esistente. Questa fossa dispone attualmente di 5 portoni di scarico e di un volume di accumulo complessivo pari a circa 1'000 m³.

Questo volume di accumulo potrebbe garantire un'autonomia di funzionamento del futuro forno pari a circa 6 giorni di funzionamento in continuo, anche in assenza di conferimenti dall'esterno di fanghi da valorizzare, e tale dunque da essere sufficiente per far fronte a periodi di interruzione del conferimento dei fanghi, quali ad esempio un lungo ponte festivo.

Il volume della fossa di accumulo disponibile e sopra individuato appare dunque adeguato anche per garantire la continuità dei conferimenti di fango presso il sito di Sesto S.G. nel

caso di brevi interruzioni di esercizio del futuro impianto di valorizzazione termica (es. breve interruzione di un paio di giorni per guasto).

Per le interruzioni di esercizio di più lunga durata (es. revisione annuale) si dovrà prevedere un'adeguata pianificazione della logistica rispetto a tutti gli impianti di depurazione che conferiranno qui i loro fanghi di depurazione. In quest'ottica sarà importante programmare le operazioni di manutenzione periodica del futuro impianto di valorizzazione termica in corrispondenza di quei periodi dell'anno dove il carico di depurazione è tipicamente basso (es. il mese di agosto).

Fanghi essiccati

Per il conferimento dei fanghi essiccati provenienti dall'essiccatore di S. Giuliano Milanese sarà previsto un sistema di stoccaggio con due silos dedicati della capienza di circa 120 m³ ciascuno, per un volume utile complessivo di circa 240 m³.

Questo sistema di stoccaggio dei fanghi essiccati sarà in grado di garantire un'elevata autonomia di stoccaggio. La produzione annua di fanghi essiccati dell'impianto di San Giuliano Milanese è pari a circa 3'000 t per una densità dei fanghi essiccati pari a circa 0.55 t/m³ (valore di densità valido per fanghi essiccati al 90%). Sulla base delle ipotesi di cui sopra si calcola un volume complessivo di fanghi essiccati pari a circa 5'450 m³/a. Ipotizzando che l'essiccatore lavori per circa 7'500 ore anno si ottiene un volume giornaliero di fanghi essiccati prodotto pari a circa 17,5 m³.

A fronte del volume utile di accumulo previsto, i due silos permetterebbero dunque una capacità di accumulo pari a circa 14 giorni di produzione dell'essiccatore.

Il sistema di accumulo sopra descritto si configura pertanto come un sistema di accumulo strategico, collocato presso il futuro impianto di smaltimento termico, che permette di eseguire operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria della durata massima di 14 giorni, senza che vi siano ripercussioni sul mix di fanghi in ingresso al forno di valorizzazione.

I fanghi essiccati verranno trasportati pneumaticamente fino alla bocca del forno, dove saranno miscelati con i fanghi disidratati e pre-essiccati prima di essere introdotti nel forno stesso.

2.1.3 Sistema di alimentazione fanghi disidratati

Il fango disidratato, contenuto nella fossa di accumulo di sua pertinenza, verrà prelevato da un carro ponte dedicato e dotato di benna bivalve. La benna scaricherà il fango all'interno di un silo di ricezione, che sarà installato in corrispondenza di una delle attuali tramogge di alimentazione rifiuti.

Il silo di ricezione avrà una elevata capacità di accumulo, tale da garantire una sensibile autonomia rispetto ai caricamenti di fango eseguiti con il carro ponte. In questo modo sarà possibile mantenere l'impianto di valorizzazione termica in funzione anche in caso di piccole avarie al carro ponte, che potranno essere sistemate rapidamente (entro qualche ora) senza compromettere il buon funzionamento del forno.

Sul fondo del silo di ricezione è previsto un telaio mobile, che, muovendosi in maniera alternata sul fondo piatto del silo stesso, convoglierà il fango disidratato verso una coclea di trasporto, disposta centralmente sotto il silo di ricezione dei fanghi disidratati. L'azionamento del telaio mobile sarà di tipo idraulico.

La suddetta coclea trasporterà il fango disidratato verso la pompa di alimentazione dei fanghi disidratati verso il pre-essiccatore. Prima di arrivare alla pompa è stato previsto un sistema di rimozione di eventuali materiali estranei ai fanghi (es. pezzi di ferro, pietre), che, una volta raggiunta la pompa, potrebbero compromettere il buon funzionamento della pompa stessa, bloccandola.

Dopo aver superato il separatore di oggetti estranei i fanghi disidratati raggiungono la pompa di alimentazione, che sarà del tipo a pistoncini con moto alternato. La scelta di questa tipologia di pompa deriva dal fatto che sono pompe molto robuste ed affidabili, necessitano di una bassa manutenzione e sono in grado di pompare solidi aventi un tenore di secco anche molto elevato (fino al 35%). L'azionamento della suddetta pompa a pistoncini sarà di tipo idraulico. I fanghi disidratati vengono inviati in questo modo al sistema di pre-essiccamento.

2.1.4 Sistema di pre-essiccamento

Per assicurare una combustione di tipo autotermico, ovvero affinché la combustione dei fanghi si sostenga da sola senza l'apporto di ulteriore calore da una fonte esterna (es. bruciatore a metano), è necessario pre-essicare i fanghi disidratati, che hanno un tenore di sostanza secca normalmente compreso tra il 22% ed il 27% fino ad un tenore di secco compreso tra il 35% ed il 40%, a seconda delle caratteristiche chimiche del fango da valorizzare termicamente.

Per questo processo di pre-essiccamento si utilizzano normalmente degli essiccatori del tipo a film sottile oppure a dischi. In accordo a questa tecnologia un sottile strato di fango disidratato viene a contatto con una parete metallica molto calda (es. riscaldata sull'altro lato da vapore oppure olio diatermico). In questo modo una quota parte di acqua ancora contenuta nei fanghi disidratati evapora molto rapidamente ed il tempo di contatto del fango con la parete calda determina la percentuale di acqua evaporata.

Come sorgente di calore per l'essiccatore potrà essere utilizzata tutta o parte del vapore di contropressione scaricato dalla turbina a vapore. L'essiccatore, del tipo a film sottile oppure a dischi, pur dovendo pretrattare tutto il fango disidratato avviato verso la successiva combustione nel forno, risulta essere comunque un'apparecchiatura abbastanza compatta.

Una parte del calore utilizzato per il pre-essiccamento dei fanghi potrà essere recuperato in fase di condensazione dei vapori generati dal processo di essiccamento dei fanghi stessi. In questo caso il raffreddamento dei vapori generati dal processo di essiccamento dei fanghi, avverrà attraverso due scambiatori di calore:

- il primo sarà di tipo recuperativo: in questo scambiatore il calore latente proveniente dalla condensazione dei vapori di processo permetterà di produrre acqua calda (fino ad una temperatura indicativa di circa 70 °C); quest'acqua calda potrà essere destinata ad alimentare alcune utenze termiche a bassa entalpia (es. riscaldamento dei digestori della FORSU);
- il secondo sarà di tipo dissipativo: in questo scambiatore verrà fatto condensare tutto il vapore di processo proveniente dall'essiccamento dei fanghi ed il calore di condensazione verrà smaltito attraverso un circuito di raffreddamento ad acqua con degli aerotermini installati sopra la fossa rifiuti.

I vapori di processo derivanti dal pre-essiccamento del fango, dopo aver attraversato i condensatori, vengono avviati verso un trattamento di deodorizzazione (es. biofiltro), ovvero verso un processo di abbattimento di tutte le sostanze incondensabili ancora presenti fatti passare attraverso una torre di lavaggio, che ha il compito di abbattere tutte le sostanze incondensabili ancora presenti nei vapori stessi e responsabili dei cattivi odori. A valle del processo di deodorizzazione sopra descritto avviene il definitivo rilascio in atmosfera.

2.1.5 Sistema di combustione

Per il sistema di combustione del futuro impianto di valorizzazione termica dei fanghi è stato scelto un forno a letto fluido.

Si tratta di forni verticali in acciaio, a sezione tipicamente circolare e, di regola, rivestiti internamente da materiale refrattario.

All'interno del forno è presente uno strato di sabbia minerale che, grazie all'insufflazione di aria di fluidizzazione forma un letto fluido ad elevata temperatura (750°C – 850°C). Mediante un ventilatore la sabbia viene infatti mantenuta in sospensione attraverso l'insufflazione di aria a partire dalla base del forno.

Il letto di sabbia, che assume la temperatura di combustione nel forno, funge da polmone termico, livellando in tal modo le eventuali tendenze di fluttuazione della temperatura derivanti da variazioni nell'alimentazione al forno dei fanghi stessi. Questa capacità di fungere da volano termico consente anche rapidi avviamenti dopo periodi di arresto relativamente brevi.

L'apporto di aria deve essere sufficiente a mantenere il letto sabbioso in sospensione e contemporaneamente apportare il quantitativo di ossigeno necessario alla combustione dei fanghi. Questi ultimi sono introdotti nel forno mediante dei sistemi di dosaggio posti normalmente in corrispondenza del letto sabbioso oppure nella parte superiore del forno.

La parte superiore del forno costituisce la camera di post-combustione, nella quale, in condizioni altamente turbolente, ha luogo la completa ossidazione delle componenti organiche.

La temperatura nel forno è uniforme ed è controllata sulla base della temperatura dei fumi, che abbandonano la camera di post-combustione. Nel caso in cui la temperatura non dovesse essere sufficientemente elevata, vengono azionati i bruciatori ausiliari alimentati con combustibile (gas naturale o olio combustibile), che si trovano generalmente nella parte inferiore del forno. Il sostegno alla combustione da parte dei suddetti bruciatori è necessario in maniera continuativa nel caso di combustione di fanghi a basso contenuto di sostanza secca ($SS < \sim 30-35\%$).

Una volta abbandonata la camera di post-combustione, i fumi vengono raffreddati in una prima sezione di recupero energetico, destinata al preriscaldamento dell'aria di combustione. Dopo questa prima sezione di recupero energetico, intimamente connessa con il funzionamento del forno stesso, il calore sensibile ancora contenuto nei fumi di combustione viene recuperato in una seconda sezione di recupero termico, dove il suddetto calore viene utilizzato per produrre vapore surriscaldato.

Dopo la sezione di recupero termico i fumi di combustione vengono avviati al sistema di depurazione.

Per il progetto in questione, vista anche la taglia relativamente piccola dell'impianto di smaltimento termico, il forno a letto fluido sarà del tipo bollente. Nel seguito si riporta una breve descrizione di questa tecnologia.

In questo tipo di forno, il letto sabbioso si produce nella parte inferiore del forno, ovvero alla base della camera di combustione. Il letto sabbioso è sostenuto dall'insufflazione di aria di fluidizzazione/combustione ad una velocità limitata e compresa fra 1 e 3 m/s.

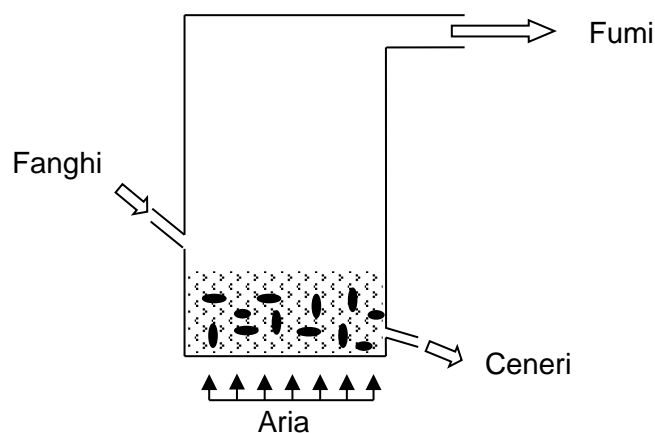


Figura 1 Schema di principio di un letto fluido bollente

I fanghi vengono alimentati lateralmente al di sopra del letto sabbioso, mentre le ceneri pesanti e i residui di combustione vengono estratti dalla parte inferiore. I fumi abbandonano il forno per raggiungere le sezioni di recupero termico ed i successivi stadi di depurazione. L'esperienza indica inoltre che una ridotta frazione di sabbia viene trascinata coi fumi all'esterno del forno e deve quindi essere periodicamente reintegrata.

L'intensa miscelazione di sabbia, aria e combustibile (fango) determina buone ed uniformi condizioni di scambio termico e di combustione. Per tale ragione, l'eccesso di aria viene generalmente mantenuto nell'ambito di valori compresi tra il 30 ed il 45%, valori apprezzabilmente inferiori a quelli tipici di altre tecnologie (es. forni a griglia o a tamburo rotante).

Tipicamente il letto di sabbia è alto circa 0.8 m, mentre il fondo del forno è rivestito in materiale refrattario. Attraverso gli ugelli di insufflazione viene immessa aria a 0.20-0.35 bar con una portata tale da determinare l'espansione e la fluidizzazione del letto fino al 100% circa del volume iniziale a riposo.

La seguente Figura 2 rappresenta uno schema tipico di un forno a letto fluido bollente applicato a fanghi di depurazione.

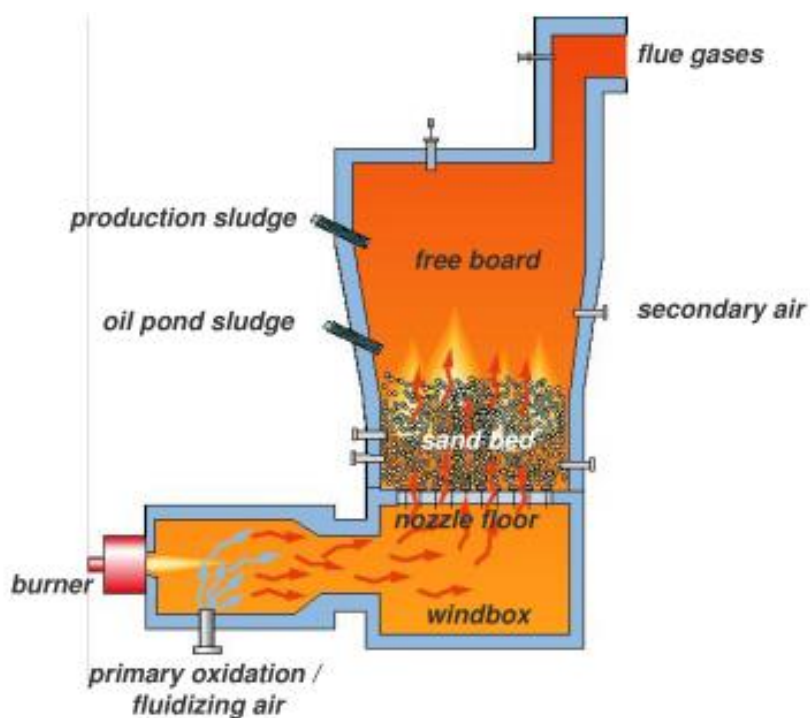


Figura 2 Schema di un forno a letto fluido bollente per fanghi di depurazione

2.1.6 Sistema di trattamento dei fumi di combustione

Per il sistema di trattamento dei fumi di combustione si è scelto un sistema articolato nei seguenti componenti:

- Ciclone o multiclone;

- Reattore per il dosaggio del bicarbonato di sodio e dei carboni attivi;
- Secondo filtro a maniche;
- SCR DeNOx con dosaggio di soluzione ammoniacale;
- Scambiatore di recupero fumi-acqua (ECO esterno);
- Ventilatore;
- Camino;
- Stoccaggio e dosaggio dei reagenti;
- Trasporto e stoccaggio dei residui solidi di depurazione;
- Cabina analisi fumi.

Di seguito si riporta una descrizione più di dettaglio dei componenti sopra elencati.

Ciclone (o multiciclone)

Il ciclone è un'apparecchiatura statica che separa il particolato contenuto nei fumi di combustione per l'effetto combinato della gravità e della forza centrifuga.

L'ingresso dei fumi nel ciclone avviene secondo un percorso tangenziale, che costringe la corrente dei fumi ad effettuare un brusco avvitalamento circolare lungo la parete del ciclone in senso discendente. Lungo questo percorso, il particolato più grossolano viene sostanzialmente separato dalla corrente dei fumi per centrifugazione e ricade per gravità fin sul fondo del ciclone, da dove viene estratto tramite una rotocella.

Attraverso il ciclone è dunque possibile realizzare un primo trattamento di depolverazione grossolana, caratterizzato da una resa di abbattimento pari a circa l'80% del totale delle polveri in ingresso.

Tendenzialmente il ciclone sarà in grado di estrarre quelle polveri e ceneri derivanti dal processo di combustione, che hanno una granulometria maggiore, mentre le particelle più fini saranno comunque intercettate dal successivo stadio di filtrazione a maniche. Questo permette comunque un'efficace estrazione di tutti i sottoprodotti più grossolani e della eventuale sabbia del letto trascinata dalla corrente dei fumi di combustione.

In questo caso specifico l'utilizzo di più cicloni o di un multiciclone permettere di aumentare l'efficienza complessiva di abbattimento delle polveri contenute nei fumi di combustione.

Reattore

A valle del ciclone (o multiciclone) vengono immessi nel flusso dei fumi di combustione i reagenti chimici (bicarbonato di sodio e carboni attivi) necessari per l'abbattimento delle sostanze inquinanti contenute nei fumi stessi.

Il reattore è costituito da un volume chiuso, all'interno del quale i reagenti hanno il tempo per miscelarsi ed omogeneizzarsi con i fumi e che garantisce un sufficiente tempo di contatto fra le sostanze inquinanti contenute nei fumi ed i reagenti, in modo che il bicarbonato di sodio si possa dapprima attivare e successivamente combinare con gli inquinanti (HCl, HF, SO₂, SO₃), mentre le particelle di carbone attivo adsorbono i microinquinanti, quali metalli pesanti, furani e diossine.

Filtro a maniche

Dopo l'uscita dal reattore i fumi proseguono verso il filtro a maniche. Anche in questo caso il filtro disporrà di maniche di tessuto realizzate in materiale filtrante, resistente alle alte temperature ed agli agenti aggressivi contenuti nei fumi stessi e capaci di trattenere le particelle solide. I reagenti precedentemente immessi vi si accumulano fino a formare uno strato sulla superficie esterna delle maniche. I fumi attraversano questo strato, e le molecole di sostanze inquinanti ed i microinquinanti liberi, entrano in contatto con i reagenti ancora attivi e sono così trattenuti.

Quando lo strato sulle maniche raggiunge un determinato spessore, misurato indirettamente con la perdita di pressione dei fumi, un dispositivo fisso scarica un colpo di aria compressa all'interno di ogni manica; l'onda d'urto così creata provoca la rimozione di parte del materiale accumulatosi sulla superficie. Quest'ultimo cade per gravità nelle sottostanti tramogge di estrazione, e viene estratto tramite rotocelle e trasportato al silo di accumulo dei residui solidi provenienti dai filtri a maniche (PSR).

Per quanto riguarda l'aspetto costruttivo, il filtro è suddiviso in comparti separati, che si possono rendere stagni singolarmente, in modo da impedire al flusso dei fumi il loro attraversamento. La manutenzione viene in questo modo facilitata, permettendo la sostituzione di maniche danneggiate senza interrompere l'esercizio dell'impianto. Il flusso dei fumi viene in questo caso temporaneamente deviato attraverso gli altri comparti.

SCR DeNOx

Come ultimo stadio di depurazione dei fumi sarà previsto un catalizzatore per l'abbattimento degli ossidi di azoto (NO_x). Il sistema di denitrificazione catalitica consente di ottenere valori d'emissione degli ossidi di azoto molto inferiori rispetto ai limiti normativi vigenti.

I fumi provenienti dal filtro a maniche mantengono una temperatura sufficientemente elevata (circa 180 °C), al fine di rendere possibile l'attivazione delle reazioni di denitrificazione sulla superficie attiva del catalizzatore.

Prima dell'ingresso dei fumi nel catalizzatore viene iniettata all'interno dei condotti una portata controllata di soluzione ammoniacale, il cui dosaggio avviene in funzione del valore degli NO_x misurati a monte ed a valle del catalizzatore.

Dopo aver attraversato un miscelatore statico all'interno del quale l'ammoniaca è ben omogeneizzata nei fumi, quest'ultimi entrano nel catalizzatore. Esso è costituito da pacchi di moduli costruiti a nido d'ape o a piastre corrugate. I moduli sono in materiale ceramico poroso la cui superficie è arricchita da elementi catalizzanti (es. TiO_2 , V_2O_5).

All'interno del catalizzatore ha luogo la reazione riducente fra ammoniaca (NH_3) e ossidi di azoto (NO , NO_2), la quale ha come sottoprodotti azoto (N_2) e acqua (H_2O). Non vi sono dunque prodotti residui inquinanti.

Scambiatore-recuperatore fumi-acqua (ECO esterno)

A valle del catalizzatore DENO_x sarà installato uno scambiatore di calore, che ha il compito di recuperare una parte del calore sensibile ancora contenuto nei fumi depurati, prima del loro definitivo rilascio in atmosfera attraverso il camino.

I fumi depurati in uscita dal catalizzatore hanno ancora una elevata temperatura residua (circa 170°C). Attraverso questo scambiatore di calore, l'energia termica ancora contenuta nei fumi potrà essere recuperata ed essere utilizzata per preriscaldare l'acqua di alimento caldaia.

Indicativamente si può ipotizzare un raffreddamento dei fumi da circa 170°C fino a circa 150°C , che potrebbe permettere di recuperare una potenza termica pari a circa 140 kW , che viene ceduta all'acqua di alimento caldaia e che quindi permetterà di aumentare l'efficienza complessiva del generatore di vapore.

Dato l'elevato contenuto di umidità nei fumi di combustione, che tipicamente caratterizza un impianto di valorizzazione termica dei fanghi di depurazione, non si ritiene consigliabile scendere al di sotto dei 140°C con le temperature dei fumi immessi in atmosfera, anche per non aumentare il rischio di rendere visibile il pennacchio di vapore in corrispondenza del camino stesso.

Ventilatore

Il ventilatore fumi collocato in coda alla linea di trattamento si occupa di generare la necessaria depressione su tutta la linea, ovvero dalla camera di combustione sino al ventilatore stesso, in modo che i fumi vengano convogliati al camino senza perdite o fuoriuscite all'interno dell'edificio.

Camino

La dismissione dell'attuale impianto di termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani a favore della realizzazione di un impianto di valorizzazione termica dei fanghi renderebbe di fatto esuberante l'attuale camino in muratura, che contiene tre canne fumarie (una per ciascuna linea di incenerimento).

Per questo motivo si prevede la demolizione dell'attuale camino e la costruzione di un nuovo camino in acciaio, dedicato esclusivamente alla futura linea di valorizzazione termica dei fanghi.

Stoccaggio e dosaggio dei reagenti

Lo stoccaggio dei reagenti solidi (bicarbonato di sodio e carboni attivi) avverrà in appositi silos installati all'interno dell'attuale Fabbricato Forni. Il caricamento tramite automezzi sarà reso possibile tramite opportune tubazioni di collegamento, che arriveranno fino alla postazione di caricamento, posta esternamente. Al di sotto dei silos di stoccaggio del bicarbonato e dei carboni attivi verrà previsto un locale chiuso in cui verranno installati i mulini, necessari alla macinazione del bicarbonato, e le soffianti, necessarie al trasporto pneumatico dei reagenti solidi verso la linea di depurazione fumi.

La soluzione ammoniacale verrà invece stoccata in un apposito serbatoio, installato all'esterno. Esso sarà posto a quota zero, al fine di essere facilmente accessibile da parte degli automezzi che, effettueranno la consegna in impianto della soluzione ammoniacale.

Il serbatoio di stoccaggio della soluzione ammoniacale sarà dotato di una vasca impermeabile di contenimento di emergenza, in grado di trattenere tutto il contenuto del serbatoio, in caso di rotture del serbatoio stesso. A servizio di questo serbatoio sarà inoltre previsto un impianto di abbattimento a pioggia dei vapori di ammoniaca, attivato da un dispositivo rilevatore (naso elettronico).

Dal serbatoio di stoccaggio la soluzione ammoniacale verrà dosata, attraverso un opportuno sistema di pompe dosatrici, direttamente a monte del catalizzatore DeNOx.

Trasporto e stoccaggio dei residui solidi di depurazione

Le ceneri volanti estratte dal ciclone verranno trasportate pneumaticamente verso due silos di stoccaggio dedicati, collocati in fondo all'attuale Fabbricato Forni, da cui poi verranno successivamente caricate su autocisterna per l'allontanamento definitivo dall'impianto, possibilmente verso il riutilizzo di questo materiale in altri processi produttivi oppure verso il recupero di materia (es. recupero del fosforo), altrimenti verso lo smaltimento finale in discarica.

Anche i residui solidi provenienti dai filtri a maniche (Prodotti Sodici Residui) verranno trasportati pneumaticamente dalle tramogge di scarico dei filtri verso un silo di stoccaggio dedicato, collocato anch'esso sul fondo dell'attuale Fabbricato Forni. Da questo silo di stoccaggio i residui della filtrazione verranno successivamente caricati su autocisterna per essere avviati allo smaltimento finale, oppure al recupero del bicarbonato non reagito ancora contenuto nei PSR (processo Neutrec della Solvay).

Cabina analisi fumi

Nella cabina analisi fumi verranno installate tutte le apparecchiature necessarie al monitoraggio in continuo delle emissioni e che costituiscono il Sistema di Monitoraggio delle Emissioni (di seguito SME).

Dato che presso il sito è attualmente in esercizio un impianto di termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani, articolato su 3 linee di incenerimento, risulterebbero essere già disponibili 4 set completi di apparecchiature di analisi, che attualmente svolgono le seguenti funzioni:

- n. 3 set di apparecchiature per la misura in continuo delle linee di combustione (un set di apparecchiature per ogni linea);
- n. 1 set di apparecchiature disponibile come riserva per tutte e 3 linee di incenerimento.

Vista l'elevata ed inusuale disponibilità di apparecchiature per la misura in continuo delle emissioni, si prevede di:

- installare due set completi di apparecchiature di analisi in continuo al camino, dove verrà fatta la misura "fiscale" delle concentrazioni di inquinanti; dei due set di apparecchiature uno sarà normalmente in esercizio, mentre l'altro sarà in stand-by, garantendo la possibilità di perfetta ridondanza dei sistemi di misura e fungere da "riserva calda", in caso di anomalia di uno degli strumenti inclusi nel set principale;
- installare un set completo di apparecchiature di analisi dopo il ciclone, al fine di misurare la concentrazione degli inquinanti presenti nei fumi di combustione grezzi, avendo quindi la possibilità di dosare i reagenti non solo sulla base delle analisi dei fumi depurati (logica di tipo "feed-back"), ma anche sulla base delle concentrazioni di inquinanti da abbattere (logica di tipo "feed-forward");
- mantenere a magazzino il quarto set di apparecchiature di analisi, che svolgerà il ruolo di "riserva fredda", rispetto agli altri 3 set di analisi sopra descritti.

2.1.7 Sistema di recupero energetico

Per il sistema di recupero energetico si prevede un generatore di vapore, che recupererà l'energia termica ancora contenuta nei fumi, dopo che questi ultimi hanno preriscaldato l'aria di combustione, convertendo l'energia termica in energia elettrica attraverso un classico ciclo acqua/vapore dotato di turboalternatore.

L'acqua di alimento sarà prelevata da un serbatoio apposito (degassatore) e pompata nella caldaia. Qui, grazie al calore residuo proveniente dalla combustione dei fanghi, l'acqua si riscalda, evapora ed il vapore così prodotto viene surriscaldato. Il vapore surriscaldato è immesso in una turbina a contropressione, nella quale si espande fino alla pressione di scarico pari a circa 6 bar(a). L'energia meccanica così ottenuta è trasferita ad un generatore che produce energia elettrica, che verrà assorbita dalle utenze dell'impianto stesso, evitando di acquistare l'equivalente quota parte di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale.

Il vapore esausto in uscita dalla turbina sarà principalmente utilizzato per alimentare il sistema di pre-essiccamento dei fanghi disidratati, mentre le eccedenze verranno inviate ad uno scambiatore di calore, attraverso il quale il calore residuo ancora contenuto nel vapore a bassa pressione viene trasferito alla rete di teleriscaldamento della città di Sesto S.G. In questo modo si potrà realizzare un funzionamento di tipo cogenerativo, dove sarà possibile utilizzare sia l'energia elettrica che il calore recuperati dalla valorizzazione termica dei fanghi di depurazione.

Pur a fronte di un funzionamento normalmente di tipo cogenerativo, a servizio del ciclo termico sinteticamente sopra descritto dovrà comunque essere previsto un condensatore di emergenza, che sia in grado di condensare tutto il vapore prodotto dalla caldaia, dissipandone il relativo calore in atmosfera, nel caso in cui, per qualunque motivo, una o più dei seguenti sottosistemi non dovesse essere in funzione:

- turbina a vapore;
- pre-essiccatore dei fanghi disidratati;
- scambiatore del teleriscaldamento.

Il condensato, sarà raccolto in recipienti chiusi (hot well) e rispettivamente posti al di sotto dello scambiatore del teleriscaldamento e del sistema di pre-essiccamento dei fanghi disidratati. Esso sarà successivamente pompato nel degasatore, posto alla sommità del circuito termico. Il degasatore, a sua volta alimentato con lo stesso vapore a media pressione proveniente dallo scarico della turbina, ha la funzione di rimuovere dall'acqua di caldaia eventuali gas introdottisi, i quali avrebbero effetti corrosivi nei tubi della caldaia stessa.

Nel degasatore è immessa anche l'acqua di reintegro prodotta da un impianto di demineralizzazione. Il reintegro va a compensare l'acqua persa attraverso gli spurghi della caldaia e le altre perdite del ciclo termico.

2.1.8 Cessione di calore al teleriscaldamento

Analogamente a quanto avviene per l'attuale impianto di termovalorizzazione, anche per la nuova linea di valorizzazione termica dei fanghi sarà prevista la cessione di una parte del calore residuo scaricato dalla turbina a vapore alla rete di teleriscaldamento municipale del comune di Sesto S.G.

Per fare questo verrà prevista una turbina a vapore del tipo a contropressione, che scaricherà il vapore ad una pressione adeguata a permettere un efficiente scambio termico tra il vapore residuo e l'acqua circolante nella rete di teleriscaldamento.

Dato che la rete di teleriscaldamento di Sesto S.G. viene esercita con acqua surriscaldata (temperatura massima di esercizio 129 °C in condizioni invernali), la contropressione di scarico del vapore dalla turbina è stata fissata a 6 bar(a), che corrisponde ad una temperatura di condensazione di circa 160 °C, offrendo così un ΔT minimo di 30°C per il corrispondente scambio termico.

Dato che l'attuale scambiatore di calore è dimensionato per una portata di vapore decisamente più elevata rispetto a quella prevista per la futura linea di valorizzazione termica dei fanghi, si prevede la sua sostituzione, insieme a tutte le apparecchiature connesse (es. pompe di rilancio condense).

Contestualmente allo scambiatore di calore principale, è molto probabile che dovranno essere sostituite anche le pompe di circolazione dell'acqua della rete di teleriscaldamento.

Il sistema di cessione del calore alla rete di teleriscaldamento è completato da un condensatore ausiliario raffreddato ad aria (aerocondensatore), il quale, posto sulla copertura dell'attuale fabbricato Sala Controllo, avrà il compito di dissipare il calore non ceduto alla rete di teleriscaldamento per eventuali guasti o anomalie della rete stessa.

Dato che dovrà condensare vapore a pressione ancora relativamente alte (circa 6 bar), le sue dimensioni saranno molto più compatte rispetto ad un aerocondensatore, di tipo tradizionale, che condensa il vapore a pressioni inferiori a quelle atmosferiche.

Da evidenziare come parte consistente della diminuzione di produzione di calore a seguito della dismissione delle attuali linee di trattamento termico di rifiuti indifferenziati potrà essere recuperata anche attraverso l'installazione di pompe di calore per il recupero di energia dai reflui depurati. La relativa fattibilità è in corso di analisi da parte dell'attuale concessionario del servizio di teleriscaldamento.

2.2 Digestione anaerobica della FORSU

2.2.1 Descrizione del processo

La digestione anaerobica è un processo microbiologico attuato da numerose specie batteriche, che consente di "digerire" vari tipi di rifiuti organici con produzione di biometano (eliminando pertanto la fase di combustione di biogas in processi cogenerativi), ottenendo un residuo chiamato digestato, che verrà ulteriormente trattato e valorizzato in siti di compostaggio posti in prossimità dell'impianto (a titolo esemplificativo il sito localizzato a Cologno Monzese), per ottenere un fertilizzante/ammendante.

Un processo di digestione anaerobica si può distinguere per le seguenti caratteristiche:

- Numero di fasi del processo: monostadio o bistadio;
- Regime termico del reattore: processo mesofilo (34-37 °C) o termofilo (55-60 °C);
- Tipo di miscelazione: meccanica, iniezione di gas, ricircolo, nessuna miscelazione;
- Tipologia di flusso di caricamento: continuo o discontinuo;
- Tipo di reattore: orizzontale o verticale;
- Tenore di solidi nel rifiuto caricato.

Quest'ultima caratteristica determina la prima importante classificazione dei processi di digestione anaerobica; si possono distinguere infatti i seguenti processi in base al tenore di solidi del rifiuto in ingresso:

- Processi a umido (wet): concentrazione di solidi sino al 10%;
- Processo a semi-secco (semi-dry): concentrazione di solidi compresa tra il 10 e il 20%;
- Processo a secco (dry): concentrazione di solidi superiori al 20% fino al 40%.

Dato che nell'attuale progetto si intende perseguire il recupero degli attuali digestori, già in fase di studio di fattibilità furono scartati i processi a secco e semi-secco, che richiedono una tipologia di reattore ben definita e realizzata ad hoc.

La tipologia di trattamento umida è stata pertanto ritenuta la più idonea per i seguenti aspetti favorevoli:

- Disponibilità di spazio: la volumetria e la tipologia dei reattori esistenti è compatibile con il processo di digestione;
- Ridotta necessità di acqua per controllare il tenore di secco in ingresso al reattore, a partire da FORSU priva di componente verde;
- Produzione acque reflue: i reflui prodotti possono essere trattati presso il depuratore di Sesto San Giovanni adiacente;
- Maturità impiantistica: i processi a umido per il trattamento della FORSU all'interno di digestori esistenti sono sufficientemente diffusi e quindi affidabili.

2.2.2 Descrizione della linea di digestione anaerobica della FORSU

L'impianto è composto da cinque sezioni descritte nei paragrafi successivi:

- ricezione e pretrattamento ad umido;
- digestione anaerobica;
- separazione solido/liquido (disidratazione) e trattamento acqua di processo;
- sistemi abbattimento odori;
- raffinazione del biogas con produzione di biometano.

Ricezione e pretrattamento ad umido

I rifiuti organici verranno scaricati dai mezzi di raccolta direttamente in una porzione dell'attuale fossa di stoccaggio rifiuti, ad essi dedicati. Una benna bivalve avrà il compito di prelevare i rifiuti organici dalla fossa ed alimentare una tramoggia di carico posta in quota. Alla base della suddetta tramoggia sarà posizionato un nastro trasportatore, che trasporterà il rifiuto all'interno del locale di pretrattamento con selezione ad umido.

L'obiettivo dei pretrattamenti e della selezione ad umido è quello di rimuovere il contenuto di materiali inorganici presenti all'interno del rifiuto (plastiche, sabbie, vetri, ossa, legni, metalli etc.) e di produrre una polpa organica pura ed omogenea, tale da ottimizzare a livello qualitativo e quantitativo la produzione di biogas e del successivo digestato, preservando contestualmente le apparecchiature e le diverse parti di impianto da possibili fenomeni di abrasione e di intasamento.

Il ciclo di sezione ad umido è composto da un sistema di preparazione della polpa (c.d. "polpatore") e da un sistema di ciclonatura, posti insieme ai serbatoi ed alle macchine accessorie all'interno di un locale dedicato, mantenuto in continua depressione. Tutte le operazioni del pulper e del sistema di ciclonatura si svolgono all'interno di macchine e di tubazioni chiuse, garantendo il mantenimento di condizioni ottimali nell'ambiente di lavoro (sulle macchine principali sono previsti punti di captazione dell'aria per mantenere le macchine in depressione).

Il rifiuto è alimentato al pulper tramite un nastro trasportatore. Il pulper sfibra e spolpa il rifiuto organico, separando ed allontanando i contaminanti inorganici presenti nel rifiuto e producendo infine una frazione pesante (metalli, vetri, ossa etc.) ed una frazione leggera (plastiche, legni, tessili etc.).

Il pulper lavora in cicli di tipo "batch":

- il rifiuto viene alimentato all'inizio del ciclo all'interno della macchina, dove è già presente acqua di processo;
- terminata la fase di alimentazione, il miscelatore posto all'interno del pulper genera una forte turbolenza, tale da favorire forze di taglio idrauliche, che sfibrano la sola componente organica presente nel rifiuto;
- al termine della fase di spulpamento, la polpa organica prodotta è estratta dal fondo, dove è collocato un vaglio, che permette il passaggio del solo materiale con diametro pari a 10 mm;
- ultimata la prima estrazione, all'interno del pulper viene pompata ulteriore acqua di processo, in maniera tale da creare un ambiente a bassa viscosità, così da favorire la sedimentazione della frazione pesante e la flottazione della frazione leggera che, dopo essere state lavate con acqua di processo e disidratate, vengono allontanate.

La frazione pesante (vetri, ossa, metalli etc.) è raccolta da una trappola posta nella parte inferiore del pulper, che ha anche la funzione di lavare la frazione raccolta con acqua di processo. La frazione pesante è poi scaricata all'interno di una coclea che la trasporta, disidratandola, ad un container dove viene temporaneamente stoccata per poi essere allontanata dall'impianto.

La frazione leggera (plastiche, verde da sfalci, tessili etc.) è rimossa per mezzo di un sistema a coclea. La frazione leggera è quindi disidratata all'interno di una pressa e smaltita.

L'acqua ricavata dalla disidratazione delle frazioni di scarto è recuperata ed inviata all'interno del pulper per il ciclo successivo.

La polpa organica grezza ottenuta è inviata al sistema di ciclonatura per un'ulteriore raffinazione. La polpa in uscita dal pulper contiene ancora del materiale inorganico fine, che passa attraverso il vaglio posto nel fondo della macchina. La rimozione di questo materiale inerte fine risulta essere cruciale per prevenire abrasioni delle pompe e degli strumenti posti a valle ed anche possibili fenomeni di sedimentazione all'interno dei serbatoi.

La sospensione organica ottenuta dal pulper viene quindi inviata, tramite pompe centrifughe speciali ad alta resistenza all'usura, alle stazioni di classifica, dove viene sottoposta al trattamento di separazione degli inerti.

La polpa organica priva di inerti è quindi trasferita nel serbatoio polmone, mentre gli inerti separati sono scaricati dal fondo dopo un lavaggio per allontanare le fibre organiche.

A fronte dei quantitativi di FORSU trattati annualmente (30'000 t/a), si stimano le seguenti produzioni di sovvalli:

Sovvalli	U.M.	Valore
Frazione leggera	t/a	3'346
Frazione pesante	t/a	412
Inerti	t/a	229

Tabella 1 Produzione di scarti da pre-trattamento FORSU

Digestione anaerobica

La sospensione ottenuta dalla sezione di pre-trattamento è stoccata all'interno di un serbatoio polmone. Il serbatoio polmone ha lo scopo di permettere un'alimentazione continua ai digestori anche durante il fine settimana, quando non viene prodotta sospensione organica, con l'obiettivo di ottimizzare la produzione di biogas. Il serbatoio polmone è mantenuto in costante miscelazione tramite un sistema di lance con iniezione di aria per prevenire produzione di biogas.

Due pompe monovite alimenteranno i due digestori esistenti da 2.400 m³ cadauno (V tot = 4.800 m³). Tale volumetria garantisce un tempo di residenza (HRT) all'interno dei digestori di circa 20 giorni ed un carico specifico pari a 3.6 kgSV/m³d. I digestori sono miscelati tramite un sistema di lance, che iniettano biogas compresso da due compressori. All'interno dei digestori sono garantite condizioni di mesofilia (temperatura 35 – 38 °C) tramite uno scambiatore di calore di tipo tubo in tubo che conferisce alla sospensione il calore necessario utilizzando come vettore acqua calda.

Il calore per riscaldare la sospensione contenuta nel digestore è fornito da un circuito di acqua calda (circa 70 °C), ottenuta dal recupero dell'energia termica contenuta nei vapori di

processo provenienti dal sistema di essiccamento fanghi (rif. par 2.1.4). Le attuali caldaie, utilizzate per il riscaldamento della sospensione verranno mantenute solo come riserva, nel caso in cui il circuito di acqua calda recuperata non dovesse essere disponibile.

Tutte le apparecchiature necessarie al processo di digestione (es. compressori, pompe, scambiatori di calore) saranno installate all'interno del locale tecnico posto nelle vicinanze dei digestori (Centrale Termica).

Il biogas prodotto viene inviato al sistema di purificazione, mentre il digestato è inviato tramite pompe a due centrifughe dedicate per la separazione solido/liquido.

Valori di dimensionamento	U.M.	Valore
Carico specifico	kgSV/m ³ -d	3.6
Digestori	m ³	4'800
Tempo di residenza (HRT)	g	20
Temperatura di processo	°C	35-38
Produzione specifica biogas	Nm ³ /t	120
Biogas prodotto	t/a	4'400
	MNm ³ /a	3.6
	Nm ³ /h	510

Tabella 2 Valori di dimensionamento digestori

Separazione solido liquido e trattamento acqua di processo

Il digestato in uscita dal digestore viene alimentato a due centrifughe (di cui una operativa ed una di riserva), che separeranno il digestato in due fasi: una liquida (centrato) con SS pari a 2 – 2.5% ed una solida (digestato disidratato), con SS pari al 28% circa.

Il concentrato viene filtrato per rimuovere eventuali fibre. L'acqua di risulta così ottenuta viene per la gran parte riutilizzata come acqua di processo all'interno del polpatore. Quest'acqua viene dapprima inviata ad un serbatoio di stoccaggio, in modo da garantire un accumulo sufficiente per il funzionamento del polpatore stesso.

L'acqua non necessaria ai fini del processo viene allontanata come acqua in eccesso verso il sistema pretrattamento delle acque reflue (rif. Par. 2.2.5).

Il digestato solido viene accumulato in container ed allontanato dall'impianto. La produzione stimata di digestato disidratato sarà di circa 6'680 t/a, mentre l'acqua inviata al trattamento di depurazione risulta pari a circa 18'300 m³/a.

Sistemi abbattimento odori

All'interno del locale di pretrattamento sono previsti diversi punti di captazione aria, sia localizzati (ad esempio all'altezza dello scarico dal nastro della FORSU, dello scarico dei sovvalli, dai bocchelli dei serbatoi) che distribuiti all'interno del locale, tali da garantire condizioni di depressione all'interno del locale ed impedire la fuoriuscita di odori molesti. L'aria prelevata sarà trattata da un sistema di deodorizzazione basato su biofiltro (vedi par. n. 2.4). Il sistema di deodorizzazione sarà comune a quello dei locali limitrofi (fossa rifiuti ed avanfossa).

Sistema di controllo ed automazione

Tutto l'impianto è controllato da un sistema di controllo e monitoraggio che permette di supervisionare ed ottimizzare le varie fasi di processo e garantire un elevato grado di sicurezza, minimizzando la necessità di presenza di personale presso le varie macchine per la conduzione dell'impianto (vedi relativo paragrafo per maggiori dettagli).

2.2.3 Purificazione del biogas per la produzione di biometano

Il biogas prodotto non verrà trattato in sistemi termici, ma purificato e trasformato in biometano attraverso processi di upgrading.

Per l'upgrading del biogas a biometano è prevista l'installazione di un impianto basato sul processo di adsorbimento fisico dell'anidride carbonica CO_2 e dell' H_2S presente nel biogas tramite la tecnologia dei setacci molecolari o PSA (Pressure Swing Adsorption).

Il principio di upgrading usato da questa tecnologia è essenzialmente il setacciamento molecolare a pressioni elevate, che sfrutta il diverso grado di adsorbimento dei diversi gas per purificare il biometano. Per ottimizzare il consumo di energia e rendere continua la produzione di biometano, il PSA è generalmente fornito di 4, 6 o 9 unità di adsorbimento, che lavorano in ciclo, secondo le seguenti tre fasi di purificazione:

1. Adsorbimento

Il biogas pressurizzato a 4-7 bar viene introdotto in una unità di adsorbimento dove il setaccio molecolare, generalmente costituito da carbonio o zeolite, adsorbe i gas di scarico. Avendo il biometano un grado di adsorbimento inferiore agli altri gas contenuti nel biogas, la maggior parte di quest'ultimo supera il setaccio molecolare e viene convogliato oltre l'unità di adsorbimento.

2. Rigenerazione

Per mezzo di un primo abbassamento della pressione all'interno dell'unità di adsorbimento (fino al raggiungimento della pressione di equilibrio con un'unità già rigenerata), una prima parte dei gas imprigionati nel setaccio molecolare viene rilasciata. Dato il basso grado di adsorbimento del biometano, questa prima parte di gas è ancora relativamente ricca di CH_4 e viene quindi ricircolata in testa al processo di purificazione. In seguito, la pressione viene ulteriormente abbassata con una pompa del vuoto, così da rilasciare tutti i gas ancora imprigionati, che vengono definitivamente espulsi dall'impianto come off-gas.

3. Ripressurizzazione

L'unità di adsorbimento viene infine ripressurizzata, dapprima fino a pressione di equilibrio con un'unità in fase di rigenerazione ed in seguito fino a pressione massima tramite l'iniezione di biogas proveniente dal compressore.

Tra i vantaggi della tecnologia di upgrading PSA troviamo sicuramente il fatto che il setacciamento molecolare elimina non solo la CO_2 , ma anche una vasta gamma di altri gas e componenti organici, tra i quali N_2 , O_2 e ammoniaca. Inoltre, il processo è da considerarsi flessibile dato che il suo intervallo di carico parziale spazia dall'85% al 115%.

Per il buon funzionamento del PSA occorre necessariamente prevedere alcuni accorgimenti particolari:

- per evitare la formazione di condense a valle del compressore di processo, è indispensabile un essiccamento spinto del biogas;
- per preservare la durata di vita dei setacci, è fortemente consigliabile effettuare un trattamento di rimozione dell' H_2S .

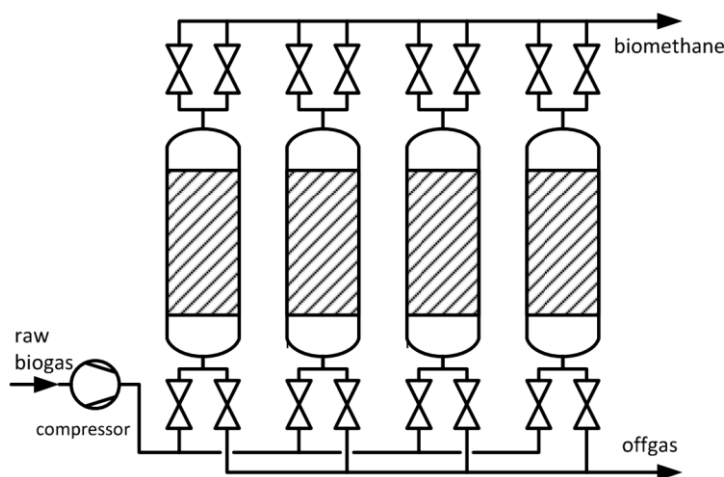


Figura 3 Schema di principio semplificato del sistema di upgrading a PSA con 4 unità di adsorbimento

L'impianto di purificazione sarà costituito da un container, che ospita tutte le apparecchiature che necessitano di stare al coperto, mentre esternamente saranno installati i setacci molecolari, il serbatoio di accumulo del biometano e tutti gli impianti ausiliari, che necessitano di essere raffreddati con l'aria (es. aerotermi, chiller).

Prima di essere inviato al sistema di purificazione, il biogas verrà sottoposto ad un trattamento di pre-abbattimento dell'acido solfidrico (H_2S) contenuto nel biogas grezzo. L' H_2S contenuto nel biogas grezzo può raggiungere concentrazioni anche relativamente elevate e dell'ordine di 2'000-3'000 ppm. Rimuoverlo attraverso l'uso di filtri a carboni attivi risulterebbe antieconomico per via dell'elevato consumo di carboni attivi. Per questo motivo è stata individuata una tecnologia di abbattimento di tipo chimico-fisico, in grado di rimuovere la gran

parte dell'acido solfidrico contenuto nel biogas grezzo, portando la concentrazione dello stesso fino a valori di circa 200 ppm. A questo punto il secondo e definitivo passaggio di rimozione dell'H₂S potrà essere realizzato con filtri a carboni attivi, comunque previsti a monte del sistema di purificazione a setacci molecolari.

La tecnologia individuata si basa su di una colonna di lavaggio (scrubber) del biogas, dove si procede al lavaggio del biogas con acqua ed opportuni additivi chimici (es. soda caustica e molecola AD13). Una volta estratta dalla torre di lavaggio, l'acqua attraversa una vasca di ossidazione ed un sedimentatore statico. Più nel dettaglio lo scrubber è composto da una colonna con un letto di corpi di riempimento, che favoriscono un intimo contatto tra il liquido di lavaggio ed il biogas, da cui viene assorbito l'acido solfidrico. Dopo che il liquido di lavaggio ha attraversato il letto di contatto, assorbendo l'acido solfidrico, questo viene inviato alla vasca di rigenerazione, nella quale subisce un'ossidazione per mezzo di aria insufflata nella vasca stessa tramite una soffiante. Nella vasca di ossidazione avviene il recupero della soda consumata nella colonna di lavaggio ed il recupero dello zolfo nella sua forma elementare. Dalla vasca di ossidazione il liquido viene pompato al sedimentatore, affinché possa decantare e far depositare lo zolfo elementare. A questo punto la soluzione di lavaggio viene corretta con i reagenti chimici ed inviata nuovamente alla colonna di lavaggio per mezzo di una pompa di ricircolo. Dal lato del biogas, il gas in uscita dalla torre di lavaggio attraversa un separatore di gocce, che provvederà a rimuovere la maggior parte delle micro gocce di acqua, che vengono trascinate assieme al gas.

Una volta uscito dal sistema di pre-abbattimento dell'acido solfidrico il biogas viene compresso fino alla pressione di lavoro dei setacci molecolari (normalmente compresa tra 4 e 6 bar) e subisce un processo di deumidificazione piuttosto spinta, tramite una serie di scambiatori di calore, che raffreddano il biogas, al fine rimuovere per condensazione la gran parte del vapore acqueo ancora contenuto nel biogas stesso.

Le fasi di raffreddamento del biogas sono le seguenti:

- il biogas caldo in uscita dal compressore viene raffreddato attraverso un primo scambiatore a flussi incrociati per mezzo del biogas freddo e deumidificato in uscita dal chiller;
- successivamente il biogas entra in un secondo scambiatore di calore, dove viene fatta circolare acqua raffreddata con aerotermi; qui avviene il secondo step di raffreddamento del biogas con una prima parte di vapore acqueo, che condensa, si raccoglie sul fondo dello scambiatore e viene scaricato tramite uno scaricatore automatico;
- da ultimo il biogas entra in un ulteriore scambiatore di calore, dove viene fatta circolare acqua refrigerata con una macchina frigorifera (chiller); qui avviene il terzo e definitivo step di raffreddamento del biogas con la rimanente parte di vapore acqueo, che condensa, si raccoglie sul fondo dello scambiatore e viene scaricato tramite uno scaricatore automatico;

Una volta raffreddato e deumidificato il biogas viene post-riscaldato, attraversando lo scambiatore di calore a flussi incrociati posto subito dopo il compressore.

Prima di entrare nella sezione dei setacci molecolari, il biogas attraversa dei filtri a carboni attivi, dove viene rimosso tutto il contenuto residuo di H₂S, ancora presente nel biogas stesso.

Da ultimo il biogas entra nella sezione di purificazione vera e propria, dove dal flusso principale vengono rimosse la maggior parte delle molecole, che non sono metano.

In questo modo il flusso di biogas in ingresso verrà suddiviso in due flussi di gas distinti:

- un flusso di biometano, con percentuale di metano superiore al 97% e dunque idoneo per la successiva immissione nella rete di distribuzione del gas;
- un flusso di gas di scarto (off-gas), povero di metano e ricco dei tanti elementi estranei di cui è composto il biogas (essenzialmente CO₂); il flusso di off-gas viene rilasciato in atmosfera per mezzo di un piccolo camino, localizzato nelle immediate vicinanze del sistema di purificazione.

Nella tabella sottostante si riportano i dati salienti relativi ai flussi di gas in ingresso ed in uscita al futuro sistema di purificazione.

Produzione di biometano	U.M.	Valore
Biogas grezzo prodotto	Nm ³ /h	510
Biogas essiccato	Nm ³ /h	390
Upgrading biometano	Nm ³ /h	242
% metano	%	>97
Offgas	Nm ³ /h	148

Tabella 3 Valori stimati di produzione di biometano ed off-gas.

2.2.4 Utilizzo del biometano

Una parte del biometano prodotto verrà immesso nella rete di distribuzione locale, mentre la rimanente parte verrà compressa ed utilizzata per il rifornimento degli automezzi di servizio CAP, la cui alimentazione verrà progressivamente convertita a metano, al fine di abbattere le emissioni di CO₂ di origine fossile prodotte dagli automezzi alimentati con combustibili tradizionali.

Per fare questo il biometano prodotto dovrà subire un processo di odorizzazione, che è passaggio necessario prima di poter avviare il gas al successivo utilizzo. L'odorizzazione si rende necessaria, perché il metano è un gas inodore ed incolore e quindi, se non opportunamente odorizzato, gli utilizzatori non avrebbero la possibilità di accorgersi di eventuali fughe del suddetto gas.

2.2.4.1 Immissione in rete

A valle del processo di odorizzazione la parte di biometano che verrà immesso in rete, verrà avviato verso la cabina di Regolazione e Misura (di seguito RE.MI) e qui subirà i seguenti processi:

- una riduzione di pressione (se necessaria) per essere immesso nella rete, a pressione di poco superiore a quella della rete stessa;
- un'analisi di qualità, effettuata dal gestore della rete, a garanzia che il biometano immesso in rete rispetti tutti i parametri qualitativi previsti;
- la misura fiscale di portata tramite un opportuno contatore, a cui si farà riferimento per la remunerazione economica del biometano immesso in rete;
- la regolazione di portata vera e propria, che sarà controllata dal gestore della rete di distribuzione del metano, sulla base delle effettive richieste di gas da parte degli utilizzatori.

Per l'immissione del biometano prodotto nelle tubazioni di distribuzione, durante la fase di progettazione preliminare, sono state contattate due società:

- SNAM, che è il gestore nazionale della rete di trasporto del metano a media ed alta pressione;
- Unareti, che è il gestore locale della rete di distribuzione del metano nell'area della città di Milano.

Ad entrambe le suddette società è stato richiesto un preventivo per il collegamento alle rispettive reti di trasporto e distribuzione. Le risposte ottenute sono state molto diverse:

- SNAM ha proposto un collegamento ad un proprio metanodotto a media pressione, esercito ad una pressione massima di 12 bar, distante circa 1.5 km dal futuro impianto di produzione di biometano;
- Unareti ha proposto un collegamento alla propria rete di distribuzione, esercita alla pressione di 1,5 bar, che passa nelle immediate vicinanze degli attuali impianti (depuratore e termovalorizzatore), che costituiranno la futura biopiattaforma integrata.

Le caratteristiche delle due ipotesi di collegamento sopra elencate sono molto diverse tra loro e le rispettive caratteristiche vengono sinteticamente illustrate qui di seguito.

SNAM è l'unica delle due società in grado di garantire la certezza del ritiro di tutto il biometano, prodotto dal futuro impianto di digestione anaerobica della FORSU. Per contro la distanza tra il punto di produzione del biometano ed il punto ipotizzato come futuro collegamento alla sua rete di metanodotti è molto elevata (circa 1.5 km) ed il futuro collegamento dovrebbe attraversare un'area fortemente urbanizzata come quella dell'hinterland milanese. Per questo motivo è stato stimato un costo di collegamento di circa 1'000 EURO/m, che per la lunghezza ipotizzata porterebbe ad un costo di collegamento pari a circa 1'500'000 EURO.

Unareti gestisce la rete di distribuzione di metano della città di Milano e del suo hinterland, che comprende anche il Comune di Sesto S.G. La suddetta rete di distribuzione ha uno sviluppo estremamente capillare, dovendo servire tutte le utenze residenziali ed industriali presenti nella zona di competenza (città di Milano ed hinterland), e quindi non si pone il problema della distanza di collegamento, che anzi sarà molto breve, dato che esiste già una "antenna", che dalla rete di distribuzione Unareti serve l'attuale termovalorizzatore di CORE. La rete di condotte del gas gestita da Unareti è esercita a bassa pressione (circa 1.5 bar) e questo rende superfluo un'ulteriore compressione del gas, a valle del sistema di purificazione. Quello che però Unareti non riesce a garantire è la certezza del ritiro, ovvero Unareti potrà ritirare il biometano prodotto dal futuro impianto di digestione della FORSU, solo se dalla sua rete ci saranno degli adeguati prelievi di gas. Unareti stessa, durante i contatti informali tenuti in occasione della definizione del collegamento alla propria rete, ha precisato che esistono dei periodi di tempo statisticamente ben definibili, dove prevedibilmente non riuscirà a garantire il pieno ritiro del biometano; questi periodi di mancato ritiro saranno presumibilmente la notte oppure i lunghi ponti festivi ed i tradizionali giorni di vacanze estive (es. settimane centrali di agosto).

Quest'ultimo aspetto non costituisce motivo di preoccupazione per il Committente, perché, in parallelo con l'immissione di biometano in rete, è comunque prevista la realizzazione di una stazione di rifornimento di autoveicoli con il biometano prodotto dal futuro impianto. Il sistema sarà descritto più nel dettaglio nel paragrafo successivo.

Come ultimo passaggio il biometano transiterà attraverso la cabina di regolazione e misura (nel seguito cabina RE.MI.), che sarà collocata sul confine di proprietà e nelle vicinanze dell'attuale ingresso del depuratore. In questo modo la cabina RE.MI. sarà accessibile sia dal lato dell'impianto (internamente all'area di proprietà), che dal lato strada (esternamente all'area di proprietà). Nella cabina RE.MI. saranno installate tutte quelle apparecchiature e dispositivi, che sono necessari al gestore della rete per effettuare l'analisi della qualità del biometano immesso in rete e per regolarne il flusso, in funzione delle condizioni di esercizio della rete stessa.

In generale l'opzione di immissione in rete verrà meglio definita in sede di progettazione definitiva, una volta che gli oneri di allaccio alla rete saranno formalizzati.

2.2.4.2 Stazione di rifornimento per autoveicoli

Il Committente prevede di realizzare una stazione di rifornimento dei propri automezzi con il biometano prodotto dal futuro impianto di digestione della FORSU. La costruzione di questa stazione di rifornimento rientra in una più generale strategia del gruppo CAP di convertire tutti i propri mezzi all'alimentazione a metano.

Nel caso in questione il sistema di rifornimento sarà essenzialmente composto dai seguenti componenti:

- un compressore ad alta pressione (220-250 bar)

- un accumulo ad alta pressione del gas compresso;
- un sistema di erogazione, che garantirà il riempimento dei serbatoi di metano compresso (Compressed Natural Gas, di seguito CNG) con il biometano compresso e disponibile nel sistema di accumulo ad alta pressione.

I suddetti sistemi saranno installati in corrispondenza degli attuali edifici magazzini e sala controllo del depuratore. Il distributore vero e proprio di biometano verrà collocato in prossimità dell'attuale ingresso carrabile del depuratore, in modo da facilitare le operazioni di ingresso ed uscita degli automezzi, che accedono eventualmente all'impianto solo per fare rifornimento di biometano.

Il compressore ad alta pressione sarà di tipo alternativo a più stadi. Il compressore sarà in grado di comprimere il biometano fino ad una pressione elevata e compresa tra i 220 ed i 250 bar. Questa macchina sarà installata in corrispondenza dell'attuale fabbricato che ospita il magazzino del depuratore. La macchina sarà fornita in configurazione package ed avrà degli opportuni aerotermini di raffreddamento, che saranno installati sul tetto dell'edificio e smaltiranno sia il calore generato dalla compressione del gas che il calore generato dal funzionamento del compressore stesso.

Una volta compresso il biometano verrà immagazzinato in un sistema di accumulo ad alta pressione, costituito da una serie di pacchi bombole collegati in parallelo ed installati in un apposito locale, costruito fuori terra e dotato di opportune caratteristiche di resistenza, tali da renderlo idoneo ad un livello di sicurezza di primo grado in accordo al D.M. 3 febbraio 2016 (muri perimetrali in c.a. spessi almeno 15 cm, copertura in calcestruzzo in c.a.). All'interno di questo locale verranno realizzati quattro box di accumulo, aventi la massima capacità di stoccaggio consentita dal suddetto D.M. e pari a 3'000 m³.

In base a quanto sopra si realizzerà un sistema di accumulo ad alta pressione, avente una capacità di accumulo complessiva pari a 12'000 m³, che equivale a due giorni di produzione di biometano dell'impianto di digestione della FORSU. In questo modo si ritiene, che con un volume di accumulo pari a due di giorni di esercizio dell'impianto, si potrà far fronte in maniera adeguata anche ai momenti in cui il distributore di gas (Unareti) non potrà ritirare il biogas prodotto.

Il distributore di biometano sarà essenzialmente composto da un dispositivo erogatore (c.d. "dispenser"), che sarà dotato di due manichette di collegamento, al fine di rendere possibile il rifornimento contemporaneo di due automezzi. Dal punto di vista operativo, avendo a disposizione un volume di accumulo ad alta pressione così elevato, il riempimento dei serbatoi di metano dei singoli automezzi avverrà in tempi relativamente rapidi. Nelle successive fasi di progettazione si potrà eventualmente valutare, se installare anche un ulteriore piccolo compressore, c.d. "booster", per accelerare ulteriormente per le operazioni di riempimento del serbatoio degli automezzi, soprattutto durante la fase terminale dell'operazione, ovvero quando la pressione finale del serbatoio del veicolo (200 bar) inizia ad avvicinarsi alla pressione dello stoccaggio (220-250 bar). In queste condizioni, per via della minore differenza di

pressione tra stoccaggio e serbatoio, il deflusso del biometano avverrà più lentamente rispetto alle prime fasi di riempimento del serbatoio, dove la differenza di pressione sarà maggiore.

A servizio del distributore verrà inoltre realizzata una pensilina e la necessaria viabilità di accesso, che collegherà il distributore stesso, sia all'ingresso principale del futuro impianto (attuale ingresso del termovalorizzatore), che all'ingresso secondario (attuale ingresso del depuratore).

2.2.5 **Trattamento delle acque reflue dalla disidratazione del digestato (OPZIONALE)**

Come abbiamo già visto, la maggior parte dell'acqua di risulta proveniente dalla disidratazione del digestato viene ricircolata nel polpatore, al fine di produrre nuova polpa organica, da avviare al processo di digestione anaerobica.

Una parte di quest'acqua dovrà comunque essere scaricata ed avviata al trattamento di depurazione. Prima di raggiungere il depuratore quest'acqua dovrà subire un pretrattamento, che avrà principalmente lo scopo di ridurre il carico di azoto ammoniacale derivante dalla centrifugazione del digestato.

La caratterizzazione del refluo proveniente da questo processo è stata fatta prendendo come riferimento alcuni impianti in esercizio con un processo di digestione simile a quello proposto, ed una miscela di FORSU paragonabile. La seguente tabella riepiloga i dati di partenza adottati:

Parametro	U.M.	Valore
Quantità FORSU in ingresso	t/a	30'000
Scarti a valle del pretrattamento FORSU	t/a	3'986
Quantità FORSU netta trattata	t/a	26'014
Contenuto medio di sostanza secca	%	28
Contenuto percentuale di azoto su sostanza secca	%	3.0
Contenuto medio di sostanza organica (SO/ST)	%	85
Digestato disidratato	t/a	6'680
Contenuto medio di sostanza secca del digestato	%	28
Reflui liquidi inviati al depuratore	t/a	18'552

Tabella 4 Parametri di valutazione per il carico di azoto da digestione anaerobica

Con le ipotesi di cui sopra si otterrebbe un carico di azoto contenuto nelle acque di risulta, provenienti dalla disidratazione del digestato, pari a circa 360 kg/d

In realtà, per effetto della contestuale eliminazione della digestione anaerobica dei fanghi, sulla base delle esperienze TBF per impianti di depurazione di capacità analoga a quella di

Sesto S.G., per l'attuale carico trattato (circa 100'000 AE, in base alle ultime indicazioni di esercizio fornite da CAP) è possibile stimare una corrispondente riduzione del carico di azoto non inferiore a circa 120 kg/d.

L'incremento tra il nuovo carico di azoto in ingresso (360 kg/d, derivanti dalla digestione della FORSU) ed il carico esistente che scompare (120 kg/d, derivanti dalla digestione dei fanghi) ammonta a circa 240 kg/d, trattabile dall'impianto di depurazione esistente.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche dei reflui provenienti dalla disidratazione della FORSU.

Parametro	Unità	Valore	Note
Temperatura	°C	30	Caso peggiore (inverno). $\Delta T = 7-8$ °C (mesofilia)
Portata giornaliera	m ³ /d	56	
Materia secca	mg/l	13'000	Necessità di rimozione solidi sospesi
	kg/d	728	
COD totale	mg/l	6'000	
	kg/d	336	
COD disciolto	mg/l	4'000	
	kg/d	224	
N-NH ₄	mg/l	6'430	
	kg/d	360	
N _{TOT}	mg/l	9'375	
	kg/d	525	

Tabella 5 Caratteristiche attese acque reflue da digestione FORSU

Per maggiore prudenza rispetto alla disponibilità di capacità residua, è stata comunque ipotizzata l'installazione di una tipologia di pretrattamento dei reflui opzionale demandando alla fase di progettazione ulteriori approfondimenti da parte della committente. In questa sede abbiamo dunque fatto riferimento ad un sistema di pretrattamento, che prevede la realizzazione di un reattore con processo di tipo Anammox.

Di seguito si riporta una breve descrizione del processo di pretrattamento ipotizzato per le acque di risulta provenienti dalla disidratazione del digestato:

- il sistema di pre-abbattimento è stato dimensionato tenendo come fattore limitante lo spazio effettivamente disponibile presso il depuratore di Sesto S.G. risultando pertanto non completamente sufficiente ad abbattere l'intero carico di azoto ammoniacale;
- tenuto conto dell'elevato contenuto di solidi sospesi, tutte le acque di risulta subiranno un primo processo di rimozione dei solidi sospesi tramite un flottatore ad aria disciolta, opportunamente dimensionato, dove i solidi sospesi verranno rimossi con l'aiuto di un flocculante e di un precipitante;

- successivamente una parte delle acque di risulta verrà ricircolata direttamente in testa all'impianto di depurazione, mentre la restante parte verrà sottoposta a pre-trattamento, previa diluizione (in rapporto 1 a 1 con acqua di diluizione, prelevata a valle della decantazione finale o della disinfezione); tutto questo sarà possibile per mezzo di un volume tampone, costituito da una vasca di circa 150 m³, suddivisa in due parti uguali a servizio dei flussi sopra individuati;
- dopo il processo di diluizione, la quota parte di acque di risulta destinate al pretrattamento entra nella vasca, dove avviene la deammonificazione vera e propria, tramite processo di tipo Anammox; dato che le reazioni sono particolarmente sensibili alle basse temperature delle acque in ingresso (<25 °C), sarà previsto uno scambiatore di calore per il preriscaldamento dell'acqua in ingresso al processo Anammox; analogamente a quanto già previsto per il mantenimento in temperatura dei digestori, anche in questo caso il calore necessario al pre-riscaldamento di quest'acqua sarà prelevato dal circuito di recupero del calore di condensazione dei vapori derivanti dal processo di pre-essiccamento dei fanghi.

Di seguito si riportano le tabelle riepilogative dei principali dati di dimensionamento del sistema di pre-trattamento.

Dimensionamento flottazione

- Capacità: 5 m³/h (macchinario più piccolo)
- Ingombro: 4.5 m² (L: 3 m; b: 1.5 m)
- Resa su TS e COD particellare: 90%

Dimensionamento volume tampone

- Capacità di stoccaggio: 2 d
- Volume risultante: 148 m³ → **150 m³**
- Geometria:
 - h utile: 3 m (+ 1 m franco bordo)
 - A: 50 m² (L: 10 m, b: 5 m)

Ipotesi di ripartizione dei reflui provenienti dalla disidratazione digestato FORSU

Parametro	Unità	Valore	Note
Portata totale	m ³ /d	56	
Portata non trattata	m ³ /d	38	
Portata trattata	m ³ /d	18	Ipotesi di trattamento: 1/3 della portata totale

Tabella 6 Dati dimensionamento – Ipotesi di ripartizione delle acque di risulta proveniente dalla disidratazione del digestato FORSU

Caratteristiche dell'acqua di diluizione

Parametro	Unità	Valore	Note
Temperatura	°C	15	Caso peggiore (inverno, condizioni tipo)
Portata giornaliera	m ³ /d	18	Ipotesi diluizione 1:1
Materia secca	mg/l	15	
COD totale	mg/l	30	
N-NH ₄	mg/l	5	
N _{TOT}	mg/l	10	

Tabella 7 Dati dimensionamento – Acque di diluizione (prese a valle della decantazione finale o della disinfezione)

Caratteristiche dell'acqua da trattare

Parametro	Unità	Valore	Note
Portata giornaliera	m ³ /d	36	
Temperatura	°C	22.5	Caso peggiore (inverno). Riscaldamento necessario.
Materia secca	mg/l	1'100	
	kg/d	40	Con ipotesi di resa DAF: 83.5%
COD totale	mg/l	2'200	
	kg/d	81	Con ipotesi di resa DAF su COD particolato: 71.5%
COD disciolto	mg/l	2'000	
	kg/d	75	
N-NH ₄	mg/l	3'330	
	kg/d	120	
N _{TOT}	mg/l	4'688	
	kg/d	175	

Tabella 8 Dati dimensionamento – Acque in ingresso al processo Anammox

Nel seguito si riporta invece un sintetico pre-dimensionamento della parte di trattamento Anammox.

Dimensionamento bacino Anammox

- Resa di abbattimento ammonio: $0.5 \text{ kg}_\text{N}/\text{m}^3/\text{d}$
- Volume risultante: $240 \text{ m}^3 \rightarrow \mathbf{300 \text{ m}^3}$ ($\rightarrow 0.4 \text{ kg}_\text{N}/\text{m}^3/\text{d}$)
- Geometria:
 - h utile: 5.5 m (+ 1 m franco bordo)
 - A: $55 \text{ m}^2 \rightarrow \varnothing: 8.5 \text{ m}$

Dimensionamento edificio tecnico

- Geometria: A: 54 m^2 (L: 9 m, b: 6 m)

Nella figura sottostante si riporta invece un'ipotesi di lay-out di massima del sistema di pre-trattamento, che sarà collocato in prossimità dei trattamenti finali (disinfezione).

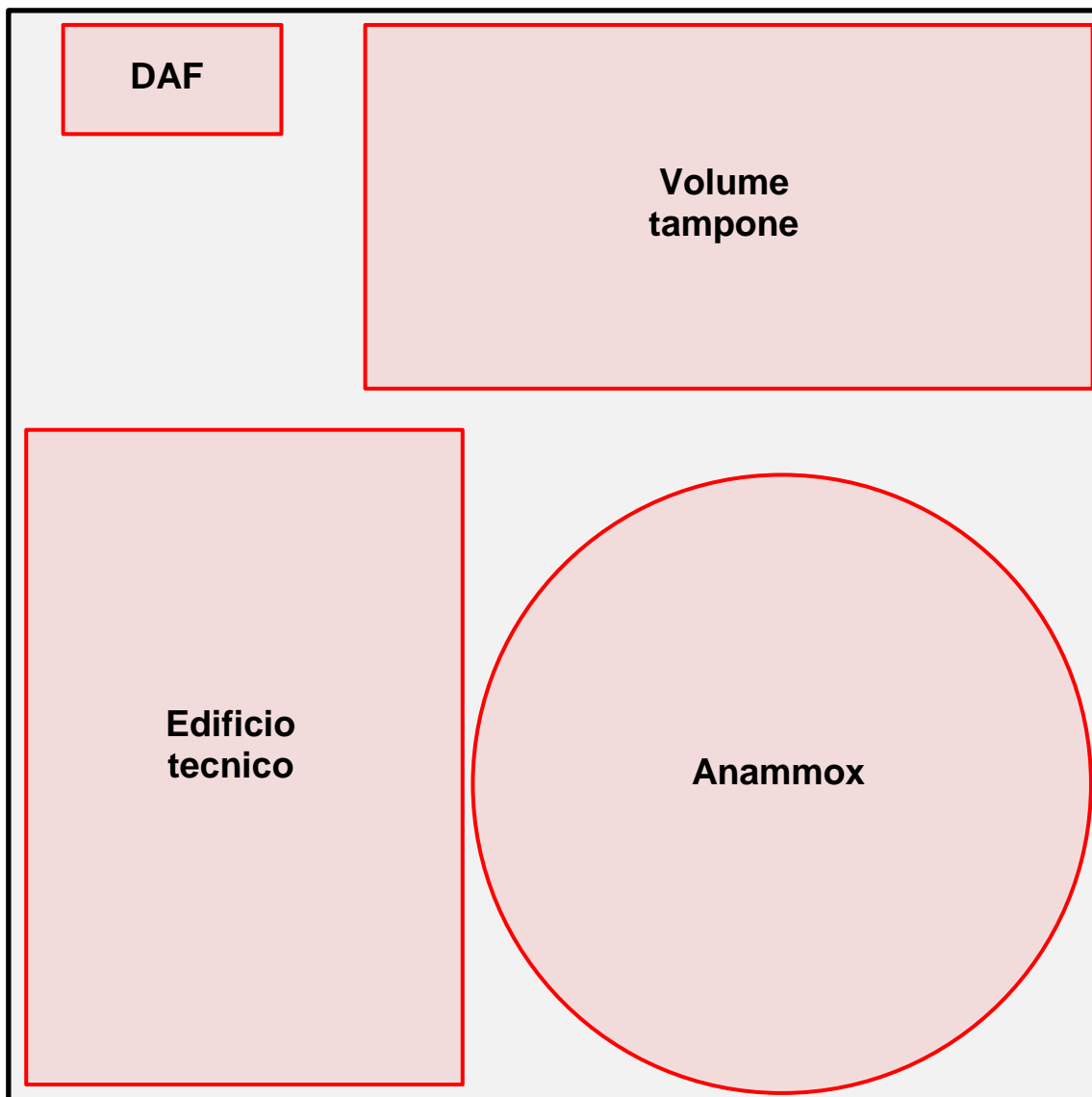


Figura 4 Ipotesi di disposizione delle apparecchiature costituenti il sistema di pretrattamento

Le caratteristiche del refluo a valle del pre-trattamento risultano pertanto ridotte delle percentuali di abbattimento esposte. Si determinano di conseguenza i carichi in uscita dal pretrattamento.

Carichi	U.M.	Prima del trattamento	Post-trattamento
Portata	m3/a	13'140	13'140
	m3/g	36	36
TS	kg/d	40	40
COD	kg/d	81	81
NH4-N*	kg/d	120	24

*resa stimata di abbattimento pari a 80%

Tabella 9 Riduzione dei carichi dopo pretrattamento dei reflui

In base ai calcoli esposti in precedenza, il carico di azoto ammoniacale in ingresso all'impianto viene complessivamente ridotto dai 360 kg/d iniziali ai 268 kg/d (240 kg/d, derivanti dal flusso non trattato, + 28 kg/d, derivanti dal flusso sottoposto ad Anammox).

In termini di abitanti equivalenti, assumendo come carico specifico per AE dell'azoto ammoniacale un valore pari a 12 g/AE d (standard Bonomo), il calcolo da fare sarebbe il seguente: $268 \cdot 1000 / 12 = 22'300$ AE.

Analogamente, il carico di azoto ammoniacale influente alla linea acque del depuratore in assenza di pretrattamenti corrisponderebbe a 30'000 AE.

Inoltre il flusso dei surnatanti della linea fanghi attuale, stimato in 120 kgN/d (e che verrà eliminato nella futura configurazione), corrisponde a 10'000 AE.

Con particolare riferimento agli AE si riepiloga nella tabella sottostante la situazione del depuratore di Sesto S.G. in termini di dimensionamento ed effettivo utilizzo, come da comunicazioni CAP:

Descrizione	U.M.	Valore
Capacità di trattamento (valore di dimensionamento)	AE	138'488
Carico agglomerato attuale	AE	97'953
Capacità residua attuale	AE	40'535
Carico surnatanti linea fanghi attuale	AE	10'000
Capacità residua senza surnatanti linea fanghi	AE	50'535

Tabella 10 Riepilogo della capacità di trattamento del depuratore di Sesto S.G. in termini di AE

Come si vede dalla tabella di cui sopra il maggior carico generato dalla digestione anaerobica della FORSU (30'000 AE) risulterebbe trattabile dalla capacità residua dell'impianto, anche senza la necessità di un pretrattamento dedicato alle acque di risulta provenienti dalla disidratazione del digestato.

Qualora però in futuro dovesse nascere l'esigenza di ulteriori potenziamenti del depuratore di Sesto S.G., una delle possibili strade da percorrere potrebbe essere quella descritta nel presente paragrafo.

2.3 ANNULLATO

2.4 Sistema di depolverazione e deodorizzazione

Attualmente sia il fabbricato forni che la fossa rifiuti sono mantenuti in depressione dell'aria di combustione delle attuali linee di incenerimento rifiuti, la quale viene aspirata in parte direttamente dalla fossa rifiuti (aria primaria) ed in parte dal fabbricato forni (aria secondaria).

A seguito della riconversione industriale dell'attuale termovalorizzatore di Sesto S.G. la portata di aria di combustione calerà drasticamente rispetto alla situazione esistente e dunque si rende necessaria l'installazione di un sistema di aspirazione, depolverazione e deodorizzazione, che sia in grado di:

- mantenere in depressione tutti gli edifici, in cui ci sia la presenza di sostanze odorigene, evitando la propagazione di queste ultime verso l'esterno in maniera incontrollata;
- captare in maniera localizzata tutte le sorgenti di particolato, che, se non immediatamente aspirato, potrebbe propagarsi all'interno dei locali/fabbricati;
- depolverare l'aria aspirata e carica di particolato, prima di sottoporre quest'aria ad ulteriori trattamenti (es. deodorizzazione);
- abbattere il contenuto di sostanze odorigene eventualmente presenti nell'aria aspirata dai suddetti edifici, prima del rilascio in atmosfera della suddetta aria.

Per quest'ultimo trattamento (deodorizzazione) verranno utilizzati due sistemi distinti ed in particolare:

- scrubber a doppio stadio per la deodorizzazione del fabbricato forni;
- biofiltri per la deodorizzazione dei restanti locali.

Scrubber a doppio stadio

Come visto nei paragrafi precedenti l'attuale fabbricato forni ospiterà la nuova linea di valorizzazione termica dei fanghi.

Data l'elevata possibilità che possano sprigionarsi dei cattivi odori il Fabbricato Forni verrà costantemente mantenuto in depressione attraverso un sistema meccanico di aspirazione di aria.

L'aria aspirata, sia in maniera localizzata (es. in corrispondenza di determinate macchine) che in maniera distribuita, verrà trattata, al fine di abbattere il contenuto di polveri raccolte dall'aria stessa e ridurre il suo contenuto odorigeno prima del suo definitivo rilascio nell'atmosfera. Per questa specifica applicazione si intende trattare l'aria aspirata attraverso l'utilizzo di opportuni:

- filtri a maniche, per la depolverazione;
- scrubber a doppio stadio, per la deodorizzazione.

I filtri a maniche utilizzati per la depolverazione dell'aria aspirata sono in tutto e per tutto analoghi a quelli utilizzati per il trattamento dei fumi di combustione dell'impianto di valorizzazione termica dei fanghi. In questo caso però, dovendo fare una semplice depolverazione, le velocità di filtrazione dell'aria attraverso le maniche potranno essere più elevate rispetto a quelle dei fumi di combustione e dunque l'apparecchiatura risulterà essere più compatta. Diversamente dall'impianto di trattamento dei fumi di combustione, il servizio di depolverazione non è critico e dunque non c'è bisogno che il filtro sia suddiviso in sezioni esercibili in maniera indipendente. Anche la grammatura delle maniche impiegato risulterà essere più leggera, perché in questo caso il tessuto filtrante dovrà fermare essenzialmente del particolato con granulometria relativamente grande.

La polvere filtrata dalle maniche viene scaricata sul fondo delle tramogge del filtro per mezzo di un sistema di pulizia ad aria compressa, che periodicamente scuote le maniche, facendo precipitare in basso tutto il particolare, che si fermato sulla superficie della manica stessa. Questa polvere viene poi estratta dal fondo della tramoggia con delle rotocelle e scaricata dentro dei big-bags, in attesa di essere inviata a smaltimento definitivo.

A valle del filtro a maniche sarà installato il ventilatore di aspirazione, che avrà il compito di aspirare tutta la portata d'aria richiesta, mantenendo in depressione il filtro, per evitare la fuoriuscita accidentale del particolato aspirato.

Sia il filtro a maniche che il ventilatore di aspirazione saranno installati a quota +0.00.

Il ventilatore scaricherà l'aria aspirata all'interno di una condotta, che provvederà a convogliare quest'aria verso la copertura della fossa rifiuti, portandola verso il successivo trattamento di deodorizzazione, realizzato per mezzo di due scrubber, che potranno funzionare in parallelo oppure uno di riserva all'altro, a seconda dell'effettivo assetto di funzionamento dei diversi impianti.

Gli scrubber sono torri di lavaggio in cui l'aria aspirata dai locali di cui sopra viene sottoposta ad un primo lavaggio acido e successivamente ad un lavaggio basico. In questo modo vengono rimossi, attraverso specifici reagenti chimici, tutti quei componenti (es. H_2S , mercaptani, ecc.) che sono all'origine di odori molesti tipici di questo genere di applicazioni.

Corrispondentemente alla riduzione delle concentrazioni dei suddetti componenti chimici, si ottiene un effetto di riduzione degli odori associati ai composti inquinanti. Gli scrubber dovranno garantire un livello odorigeno dell'aria aspirata dai locali di processo, deodorizzata e rilasciata in atmosfera, come minimo non superiore alle 300 OUE/m³, che è il limite autorizzativo fissato dalla Regione Lombardia (DGR n. 12764 del 16/04/2003) ed in ogni caso tale non essere percepito in fase di diffusione in ambiente della suddetta aria deodorizzata.

È prevista l'installazione di due scrubber, ognuno dei quali sarà in grado di trattare la metà della portata d'aria totale da deodorizzare.

Gli scrubber sopra descritti verranno installati sulla copertura dell'attuale Fossa Rifiuti.

L'aria esausta dell'edificio forni di incenerimento e dal nuovo capannone ribassato viene alimentata ad una coppia di scrubber; questi sono dimensionati su una portata media di aria aspirata, pari a circa 50'000 Nm³/h per ognuno. Inoltre, considerato che parte dell'aria di combustione dei forni viene prelevata dall'edificio corrispondente, riducendo la portata complessiva di aria da deodorizzare, sarà possibile diminuire la portata inviata agli scrubber, a seconda delle effettive necessità, agendo sulla velocità di rotazione dei ventilatori

Biofiltro

Tutti i seguenti locali:

- avanfosse;
- fosse rifiuti;
- pretrattamenti FORSU;
- locale essiccatore fanghi;

verranno mantenuti in depressione attraverso uno o più sistemi dedicati di aspirazione dell'aria, al fine di evitare la possibile propagazione incontrollata verso l'esterno di cattivi odori.

Oltre all'aria proveniente dai locali sopra elencati sarà inviata al biofiltro anche l'aria esausta aspirata dal sistema di essiccazione dei fanghi a valle della condensazione dei vapori in essa contenuti.

L'aria aspirata verrà trattata, al fine di ridurre il contenuto odorigeno prima del suo definitivo rilascio nell'atmosfera. Per questa specifica applicazione si intende trattare l'aria aspirata attraverso l'utilizzo di biofiltri.

I biofiltri sono costituiti da una struttura di contenimento modulare realizzata in lega di alluminio e magnesio o in acciaio inox o in materiale plastico (es. polipropilene), all'interno della quale si trova il materiale di riempimento. Il fondo della struttura è costituito da una griglia, anch'essa in materiale inossidabile e anticorrosivo, sulla quale poggia il materiale filtrante. Tale superficie è realizzata in modo tale da permettere un'omogenea distribuzione dell'aria su tutto il volume filtrante. Il biofiltro esplica un'azione di rimozione degli odori tramite un processo di adsorbimento e assorbimento delle sostanze inquinanti. In esso si innesca un processo di degradazione biologica per mezzo di ceppi batterici, che agiscono sull'interfaccia liquida dell'acqua che lambisce la superficie del materiale di riempimento del biofiltro. La biofiltrazione si adatta bene al trattamento di grandi portate con limitate concentrazioni di inquinanti, come nel caso delle arie esauste aspirate negli edifici in questione.

A monte dei biofiltri vi è un sistema di umidificazione costituito da una camera nella quale le arie esauste sono sottoposte a lavaggio mediante spruzzi d'acqua, portando l'umidità relativa dell'aria attorno al 80% e garantendo in tal modo condizioni ottimali per la crescita dei ceppi batterici.

L'umidità dei biofiltri può essere mantenuta anche tramite irrorazione di acqua sul letto filtrante da un'apposita batteria di tubazioni munite di sistema di distribuzione mediante sprinkler.

Anche i biofiltri, la cui installazione è prevista al di sopra degli edifici avanfossa di nuova realizzazione, dovranno garantire un livello odorigeno dell'aria aspirata dai locali di processo, deodorizzata e rilasciata in atmosfera, non superiore alle 300 OUe/m³, che è il limite autorizzativo fissato dalla Regione Lombardia (DGR n. 12764 del 16/04/2003), ed in ogni caso tale non essere percepito in fase di diffusione in ambiente della suddetta aria deodorizzata.

Predimensionamento del sistema di deodorizzazione

Di seguito vengono riportati i dati impiegati per un primo dimensionamento grossolano del sistema di trattamento e deodorizzazione dell'aria esausta dell'impianto. I principali volumi che sono stati individuati per il calcolo sono: edificio forni di incenerimento, nuovo capannone ribassato, fosse, avanfosse, piano tramogge e edificio trattamento FORSU.

Zona impianto	Volume d'aria da trattare (m3)	Ricambi orari (n/h)	Portata aspirata (m3/h)
Edificio forni di incenerimento	38'025	2	76'050
Fossa lato destro	3'108	3	9'324
Avanfossa lato destro	6'600	2	13'200
Locale essiccatore	1'728	2	3'456
Aria da sistema essiccazione	-	-	10'000
Fossa lato sinistro	2'694	5	13'468
Avanfossa lato sinistro	5'720	4	22'880
Edificio trattamenti FORSU	3'075	4	12'298
Piano tramogge	862	5	4'312

Tabella 11 Portate d'aria per il dimensionamento del sistema di deodorizzazione

È stato previsto che l'aria da trattare appartenente a:

- fossa rifiuti, lato destro;
- avanfossa, lato destro;
- locale essiccatore fanghi;
- aria di processo del sistema di essiccamento;
- edificio per i trattamenti della FORSU;

sia trattata da un biofiltro, posto sulla copertura della rispettiva avanfossa.

La superficie massima occupabile dal “letto” del biofiltro è pari all'incirca all'80% della copertura, considerando che occorre avere anche sufficiente spazio per il posizionamento dei relativi impianti (es. ventilatore, condotte, impianto di umidificazione).

In tabella 12 vengono riportati i principali parametri caratteristici del biofiltro: con i valori ipotizzati per il carico superficiale e l'altezza del letto filtrante, si ottiene un tempo di contatto di 58 secondi; valore soddisfacente per conseguire una buona efficienza di rimozione degli inquinanti.

Dato di interesse	Valore	U.M.
Portata d'aria al biofiltro	48'278	m3/h
Carico superficiale	100	m3/(m2*h)
Superficie per biofiltro	483	m2
Superficie tetto avanfossa	600	m2
Superficie disponibile per impianti	117	m2
Superficie min. disponibile per impianti	117	m2
Altezza biofiltro	1,6	m
Tempo di contatto	58	sec

Tabella 12 Ipotesi biofiltro posto su copertura avanfossa lato destro

Per quanto riguarda la deodorizzazione dell'aria aspirata da:

- fossa rifiuti, lato sinistro;
- avanfossa, lato sinistro;
- piano tramogge;

è stata prevista l'installazione di un biofiltro sulla copertura della rispettiva avanfossa.

In tabella 13 si riportano le principali ipotesi di dimensionamento del letto filtrante, a seguito delle quali, analogamente al caso precedente, si ottiene un tempo di contatto di 58 secondi.

Dato di interesse	Valore	U.M.
Portata d'aria al biofiltro	40'660	m3/h
Carico superficiale	100	m3/(m2*h)
Superficie per biofiltro	407	m2
Superficie tetto avanfossa	520	m2
Superficie disponibile per impianti	113	m2
Superficie min. disponibile per impianti	104	m2
Altezza biofiltro	1,6	m
Tempo di contatto	58	sec

Tabella 13 Ipotesi per biofiltro posto sulla copertura tetto dell'avanfossa lato sinistro

2.5 Adeguamento fossa rifiuti

2.5.1 Carriponte

Al momento l'impianto esistente dispone di due carriponte con benna a polipo, di cui uno normalmente in esercizio ed il secondo di riserva al primo. L'attuale impianto di movimentazione dei rifiuti ha una capacità adeguata, per alimentare le tre linee di incenerimento esistenti con uno solo dei due carriponte disponibili.

In base al futuro assetto impiantistico proposto, all'interno dell'attuale involucro impiantistico, ci sarà la contemporanea presenza di due linee di trattamento molto diverse tra loro:

- una linea di valorizzazione termica dei fanghi, in funzione 24 ore su 24;
- una linea di digestione della FORSU, la cui sezione di digestione sarà operativa 24 ore su 24, ma la cui sezione di alimentazione e pretrattamento potrà funzionare in maniera discontinua (tipicamente durante i periodi giornalieri di consegna).

In base alla sintetica situazione sopra descritta, nasce l'esigenza di specializzare il servizio degli attuali carriponte, incrementandone anche il numero, al fine di garantire la necessaria continuità di servizio per tutte le linee di trattamento e le opportune capacità di riserva.

In particolare si prevede di:

- sostituire le attuali benne a polipo del carriponte con benne bivalve;
- l'attuale postazione dei carriponte sarà attrezzata con 2 sedili (uno per ciascuno dei carriponte installati) e presso la postazione del gruista verranno inoltre riportati i comandi per l'azionamento dei semafori, che regolano l'accesso ai portoni, e le immagini del sistema TVCC, per la video sorveglianza da remoto delle operazioni di scarico da parte dei camion.

In caso di avaria ad uno dei due carriponte sopra descritti, sarà facile mettere in manutenzione lo specifico carriponte andato in avaria e continuare il servizio di tutte e due le linee di trattamento con il carriponte rimasto.

2.5.2 Portoni fossa rifiuti

Gli attuali portoni della fossa rifiuti sono del tipo basculante e questa tipologia di portone non è l'ideale da usare nel caso di presenza di un'avanfossa, quale quella che ci si propone di realizzare.

Per questo motivo se ne propone la sostituzione con portoni nuovi del tipo a scorrimento verticale ed a telo avvolgibile.

Tutti i nuovi portoni saranno dotati di impianti semaforici controllati dal gruista, che permetteranno di volta in volta di indirizzare il camion in fase di consegna verso il portone selezionato dalla Sala Controllo.

2.5.3 **Avanfossa**

In corrispondenza degli attuali piazzali antistanti alle due fosse rifiuti, verranno realizzati due nuovi locali coperti, che fungeranno da avanfosse, ovvero costituiranno un ambiente chiuso e costantemente mantenuto in depressione, dove i camion, che consegnano i rifiuti, potranno entrare e svolgere tutte le operazioni di scarico al coperto.

Le due avanfosse saranno ovviamente attrezzate con un adeguato impianto di illuminazione e saranno inoltre dotate di portoni di accesso, che si apriranno, per consentire l'ingresso dei camion, e si richiuderanno subito dopo l'ingresso dei camion, per evitare la dispersione verso l'esterno dei cattivi odori provenienti dalla fossa rifiuti.

Il sistema semaforico di controllo per l'accesso ai singoli portoni verrà replicato anche all'esterno dell'avanfossa, in modo che il camion possa essere indirizzato fin da subito verso il portone giusto.

Al di sopra dell'avanfossa verrà realizzato il sistema di deodorizzazione con biofiltro descritto nel precedente par. 2.4. Le caratteristiche strutturali dell'avanfossa dovranno essere pertanto adeguate a sostenere un carico, che potrà raggiungere il valore di 1'500 kg/m².

2.6 **Impianti elettrostrumentali ed automazione**

Impianti elettrici

Si prevede l'installazione di tutte le apparecchiature di alimentazione elettrica in una Sala Quadri dedicata, da ricavare nell'attuale edificio Sala Controllo, in corrispondenza dell'attuale Sala Quadri.

Al fine di ampliare l'attuale piazzale di movimentazione dei mezzi antistante all'edificio fossa rifiuti e di razionalizzare la circolazione dei mezzi all'interno dell'impianto, la cabina di consegna dell'energia elettrica esistente verrà demolita ed inglobata nel nuovo Centro Servizi Polifunzionale.

Qui sarà previsto anche il nuovo punto di collegamento con la rete elettrica nazionale, che sarà unico per l'intera biopiatteforma. Un collegamento in media tensione provvederà ad alimentare l'attuale cabina elettrica del depuratore, che verrà mantenuta nella sua attuale posizione.

Per le future utenze in bassa tensione installate in corrispondenza dell'attuale termovalorizzatore sarà previsto un cambio di tensione, effettuato da un trasformatore MT/BT posto in adiacenza alla cabina elettrica ed accessibile anche dall'esterno tramite porte grigliate per la necessaria aereazione.

La corrente in bassa tensione verrà portata da qui fino alla nuova Sala Quadri e successivamente, a partire dalla Sala Quadri verrà realizzata la distribuzione elettrica in bassa tensione, mantenendo ben distinti i quadri di distribuzione de:

- la linea fanghi;
- la linea FORSU.

Al quadro di alimentazione principale della linea fanghi verrà anche collegato il generatore di corrente del futuro turbogruppo, alimentato con il vapore prodotto dalla caldaia dell'impianto di valorizzazione termica dei fanghi.

I nuovi impianti elettrici saranno caratterizzati da:

- PCC di alimentazione generale, installati nella sala quadri dedicata;
- Quadri MCC, installati anch'essi nella sala quadri dedicata;
- Pulsantieri in campo per emergenza, avvio/fermo e regolazione per tutte le principali macchine;
- Quadri elettrici a bordo macchina nel caso di apparecchiature di tipo "package".

Impianti di automazione e controllo

A livello di strumentazione tutti gli strumenti di misura montati in campo riporteranno le misure alle varie unità di controllo e comando locali, del sistema di automazione e controllo a logica distribuita (DCS). I singoli PLC, che presiedono al buon funzionamento delle relative macchine, con il DCS, che svolgerà anche il ruolo di interfaccia tra impianto ed operatore.

I quadri elettrostrumentali del sistema di controllo e comando locali saranno ubicati in prossimità della nuova Sala Controllo.

Il nuovo sistema di automazione e controllo sarà dunque costituito da:

- Quadri di automazione generale installati in prossimità della sala comando;
- Interfaccia operatore con PC e monitor di visualizzazione paginate di comando e controllo in sala comando.

Dato che gli impianti sono ben distinti, saranno previste postazioni di controllo separate, ciascuna per ogni impianto, con la possibilità di avere una postazione di riserva. Malgrado le specificità tecniche dei futuri impianti, molto diversi tra loro, sarebbe auspicabile che a livello di sistema di supervisione e controllo tutti gli impianti condividessero la stessa architettura di sistema con hardware e software uguali o quantomeno compatibili.

Il sistema di controllo e supervisione dei nuovi impianti sarà completato da un sistema di TVCC, per la videosorveglianza dei punti più strategici.

2.7 Impianti ausiliari ed utilities

Per quanto riguarda i sistemi e le utilities necessari al buon funzionamento del nuovo impianto, occorre considerare la presenza dei sistemi ausiliari qui nel seguito elencati e descritti.

2.7.1 Aria compressa e aria strumenti

I nuovi impianti di trattamento avranno bisogno di aria compressa ed aria strumenti. Dato che gli attuali compressori installati presso il termovalorizzatore di Sesto S.G. sono macchine ormai datate, se ne prevede la loro sostituzione integrale, con macchine nuove, più efficienti ed a basso consumo, grazie alla regolazione della velocità del motore tramite inverter.

Il nuovo sistema di produzione di aria compressa ed aria strumenti verrà posizionato al piano terra dell'edificio Sala Controllo, dove attualmente è installato il trasformatore elevatore ed altre apparecchiature elettriche.

I compressori installati saranno due, che funzioneranno normalmente uno di riserva all'altro, ma potranno funzionare anche in parallelo, per soddisfare dei picchi di fabbisogno di aria compressa.

Il sistema di produzione di aria compressa sarà inoltre completato dai necessari serbatoi di accumulo e da una macchina frigorifera, necessaria alla deumidificazione dell'aria strumenti.

La distribuzione di aria compressa (non deumidificata) e aria strumenti (deumidificata) avverrà tramite due circuiti completamente indipendenti.

2.7.2 Acqua industriale

Attualmente il termovalorizzatore di Sesto S.G. utilizza acqua di pozzo come fonte principale dell'acqua industriale e così continuerà ad essere anche per i nuovi impianti.

L'acqua industriale, già disponibile, sarà pertanto distribuita a tutti gli impianti che ne avranno bisogno.

Data la futura integrazione tra termovalorizzatore e depuratore si potrà valutare in futuro una maggiore integrazione tra i due impianti nelle fonti di approvvigionamento di acqua industriale ed eventuali sinergie, al fine di ridurre il consumo complessivo di acqua.

2.7.3 Acqua demineralizzata

Oltre all'acqua industriale è già presente nell'impianto di termovalorizzazione un impianto di demineralizzazione del tipo ad osmosi inversa. Questo impianto verrà mantenuto e l'acqua demineralizzata da esso prodotta verrà utilizzata per alimentare la futura caldaia della linea di valorizzazione termica dei fanghi.

Ulteriori utilizzi dell'acqua demi potranno essere quelli legati ai circuiti di raffreddamento delle di verse utenze termiche, che sarà necessario realizzare a servizio del nuovo impianto di valorizzazione termica dei fanghi (es. raffreddamento dei vapori di processo derivanti dall'essiccamento dei fanghi, raffreddamento dei circuiti ausiliari di turbina).

2.7.4 Acqua antincendio

L'attuale vasca di accumulo dell'acqua antincendio verrà rilocata.

In occasione della ricostruzione del suddetto serbatoio verrà ripristinato lo stesso volume di accumulo, mentre la stazione di pompaggio sarà realizzata completamente "ex novo" ed adeguata alle più recenti normative.

Con la realizzazione di un'unica biopiatteforma, derivante dal collegamento impiantistico tra termovalorizzatore e depuratore, si valuteranno possibili sinergie tra i due impianti ai fini degli impianti antincendio.

2.7.5 Stoccaggio soluzione ammoniacale

Tenuto conto dell'introduzione di un DeNOx catalitico nella linea di trattamento fumi del sistema di valorizzazione termica dei fanghi, occorrerà prevedere un adeguato serbatoio di stoccaggio della soluzione ammoniacale, che verrà installato all'esterno sul lato di impianto che ospita il locale essiccatore ed i silos di stoccaggio dei fanghi essiccati.

Come già detto al precedente paragrafo 2.1.6 il suddetto serbatoio, posto a quota zero per essere facilmente accessibile da parte degli automezzi, sarà dotato di una vasca impermeabile di contenimento di emergenza, in grado di trattenere tutto il contenuto in caso di rotture del serbatoio stesso. A servizio di questo serbatoio sarà inoltre previsto un impianto di abbattimento a pioggia dei vapori di ammoniaca, attivato da un dispositivo rilevatore (naso elettronico).

Dal serbatoio di stoccaggio la soluzione ammoniacale verrà dosata, attraverso un opportuno sistema di pompe dosatrici, direttamente a monte del catalizzatore DeNOx.

2.7.6 Serbatoi di stoccaggio dei reagenti e dei prodotti di reazione degli scrubber

Per il funzionamento degli scrubber sono necessari degli specifici reagenti, quali acido solforico (H_2SO_4), soda caustica (NaOH) e ipoclorito di sodio (NaClO).

Lo stoccaggio di questi reagenti avverrà al piano terra dell'edificio Sala Controllo, dove attualmente sono presenti i serbatoi di stoccaggio dell'acqua demi. Tenendo conto che il consumo di acqua demi si riduce fortemente, si potranno eliminare buona parte degli attuali serbatoi di stoccaggio, per inserire sia i serbatoi dei reagenti sopra illustrati che i serbatoi destinati ad accumulare i prodotti reagiti (Sali di reazione in soluzione acquosa).

3. Opere civili e strutturali

3.1 Descrizione delle tipologie edilizie di intervento.

Gli interventi edilizi previsti nel progetto della Biopiatteforma CAP si riferiscono principalmente al recupero funzionale dei fabbricati esistenti e a un sostanziale rinnovamento della loro immagine esterna considerato il valore strategico sia del progetto industriale che per l'ambiente in particolare per la sua localizzazione in aree sensibili del territorio urbano.

Il recupero è inteso attraverso una serie di interventi che coprono tutta l'area nelle diverse scale e tipologie edilizie: ridefinisce i piazzali liberandoli dalle tettoie e dai depositi improvvisati; individua e delinea i percorsi di accesso e della mobilità interna; accorpa le componenti impiantistiche disperse sulle aree riunificandole in volumetrie compatte; aggiunge in modo organico e compatto, secondo un principio di crescita morfologica derivati dai processi produttivi, i fabbricati delle nuove dotazioni impiantistiche; demolisce, per liberare il più possibile le aree esterne, tutte quelle costruzioni esistenti non più necessarie al nuovo processo produttivo.

Gli interventi più rilevanti per la conversione funzionale dei fabbricati interessano l'imponente volume della attuale linea di incenerimento.

E' un fabbricato con due tipologie strutturali, in cemento armato il blocco delle fosse, sala turbina, sala controllo, spogliatoi e laboratori, mentre è in carpenteria metallica la sala dei forni e del trattamento fumi.

Particolare rilevanza, per la sostanziale riduzione dell'impatto visivo nel contesto ambientale, prende la eliminazione dell'attuale camino alto 70mt. e con un diametro di 5.5mt. in cemento armato sostituito con un nuovo camino in acciaio alto 60mt. e del diametro di 1,5mt. Il nuovo camino è fondato sulla copertura del volume principale a quota +26mt. Tale collocazione ne riduce ulteriormente la percezione dell'altezza poichè risulta inserito nell'articolazione dei registri e delle volumetrie generali. Una presenza esile, di colore grigio azzurro atmosferico e di accentuata verticalità.

I nuovi fabbricati previsti per l'avanfossa sostengono in copertura le vasche dei biofiltri che per portata di carico e luce libera da garantire per le manovre all'interno dell'avanfossa, hanno le strutture in cemento armato integrate morfologicamente, in planimetria e in alzata, con l'attuale fabbricato della sala controllo.

In questo modo si determina una nuova fronte unitaria sul piazzale principale di manovra dei mezzi.

Fronte caratterizzata da un tamponamento in pannelli di alluminio anodizzato monolitici con interposto isolamento termico e per l'abbattimento acustico, montati su sottostrutture in profili metallici e predisposti per accogliere le diverse tipologie di portoni, finestre e griglie di aerea-

zione. Pannelli monolitici in alluminio anodizzato nei due colori naturale riflettente e verde luminoso disposti secondo una sequenza alternata che varia nell'intensità nelle tre fasce orizzontali che organizzano in verticale l'intera facciata.

Un'ulteriore elemento determinante che contribuisce alla caratterizzazione della facciata è costituito dalla pensilina di copertura dei biofiltri. E' una copertura in pannelli modulari alveolari in polycarbonato coe-estruso ancorati mediante appositi ganci a profili metallici longitudinali a loro volta riferiti alla carpenteria strutturale di acciaio.

La particolare disposizione del piano inclinato determina l'altezza massima del fabbricato e la mitigazione degli impianti previsti in copertura. Piano inclinato della tettoia come nuovo orizzonte nello skyline del contesto limitrofo e che per le qualità traslucendenti del polycarbonato, se illuminato nelle ore serali, diventa una linea di luce.

Gli interventi edilizi sul fabbricato sala forni interessano le strutture in carpenteria metallica esistenti per adattarle all'inserimento dei nuovi impianti. Recupero di spazi esistenti e agguinte di nuovi spazi attraverso strutture in carpenteria metallica addossati al fabbricato esistente a formare una unica volumetria configurata sulle necessità impiantistiche e adattata alle disponibilità del sito.

Le strutture portanti sono metalliche, considerate le altezze e le luci degli impalcati, così come le carpenterie sono realizzate da assemblaggio di elementi profilati a U - I - L - IPE - HE ed equivalenti, trattati tramite sabbiatura e verniciatura antiruggine.

Le coperture di questi fabbricati sono in pannelli sandwich, grecati superiormente e costituiti da doppia lamiera in alluminio color al naturale con interposto isolante termico e acustico, lamiere disposte ove necessario per la realizzazione di lucernari, evacuatori fumo, estrattori e griglie di ventilazione.

I tamponamenti perimetrali sono in pannelli monolitici di alluminio anodizzato con interposto isolamento termico e acustico; pannelli ancorati a delle strutture metalliche e predisposti ad accogliere porte, portoni e griglie di ventilazione. I pannelli sono disposti verticalmente e riferite a dei registri orizzontali che nel disegnare le diverse altezze dei fabbricati nel loro sviluppo determinano le integrazioni e le continuità delle superfici. Superfici di alluminio anodizzato in una sequenza cromatica verde luminoso e color naturale riflettente.

L'assetto planivolumetrico del nuovo impianto è caratterizzato da una morfologia organica e unitaria grazie all'accorpamento delle componenti impiantistiche sotto un unico tetto che libera e recupera aree e restituisce una immagine ordinata all'insieme del costruito. Un'immagine uniformata nei materiali e nei colori dei tamponamenti che identifica ogni costruzione dell'impianto. La sequenza cromatica dei pannelli di alluminio riflettente diventa la cifra distintiva e caratteristica dell'insediamento.

Strade e piazzali sono riconfigurati nei tracciati e nelle delimitazioni con le aree verdi e rinnovati integralmente nei manti bituminosi d'usura.

Tutte le aree verdi vengono valorizzate attraverso nuove piantumazioni, in ottemperanza alle indicazioni sulle essenze stabilite dal Parco del Lambro, e delle sistemazione a prato delle superfici a contatto con gli impianti, in modo particolare con le vasche d'acqua del depuratore per far percepire i caratteri di un'ambiente la cui naturalità è definita dalla interazione fra elementi e forme naturali con i processi e le forme della tecnologia applicate alla rigenerazione degli elementi stessi.

L'attuale fabbricato per la distribuzione del digestato FORSU nel progetto viene riconfigurato nelle parti edilizie, per allocare nuovi impianti per un suo potenziamento. La costruzione viene innalzata parzialmente di un piano ma conserva lo stesso sedime e la localizzazione a terra dell'attuale. La struttura portante è in carpenteria metallica da assemblaggio di elementi profilati ad "U-I-L-IPE-HE" ed equivalenti; le coperture, in pannelli sandwich coibentati grecati superiormente, sono costituiti da una doppia lamiera di alluminio con interposto isolante termico e con caratteristiche per l'abbattimento acustico e sono ancorati ad arcarecci in acciaio zincato con viti autofilettanti.

I tamponamenti perimetrali sono costituiti da pannelli di alluminio monolitici con interposto isolamento termico e acustico, predisposti per accogliere finestrate, griglie, porte e portoni.

Il nuovo fabbricato per la cabina e deposito del biogas ha le strutture verticali formate da muri in cemento armato a tenuta esplosiva lasciati faccia vista da casseri metallici simili ai muri delle vicine vasche. Le coperture sono in pannelli sandwich coibentati, grecati superiormente costituiti da doppia lamiera di alluminio con interposto isolante termico; pannelli ancorati a travi e arcarecci in acciaio zincato. La tettoia del distributore del biogas ha la struttura e le carpenterie in monoprofilo di acciaio zincato; la copertura in pannelli sandwich in lamiera di alluminio.

L'edificio direzionale e dei servizi del Polo (opzionale) è attestato sulla via Manin e costituisce la fronte principale e la immagine dell'insediamento Biopiattoforma.

La sua configurazione planimetrica interiorizza le particolari condizioni del contesto in cui si colloca: accoglie con le due ali aperte del fabbricato e con il verde interno il Parco a Nord; delimita il piazzale interno di manovra dei mezzi e ne definisce il varco con i servizi di accesso; costituisce morfologicamente l'edificio di testa dell'impianto di depurazione e le strutture di accesso pedonale di rappresentanza.

L'edificio è impostato ad una quota di +1,20 m. rispetto all'attuale piano di campagna in modo che il verde del giardino interno risulti modellato e raccordato alle diverse quote e costituisce anche una continuità con i rilievi del terreno a verde del prospiciente e nuovo Parco di recente realizzazione. L'edificio ha due piani fuori terra destinati a uffici operativi, direzionali, sale riunioni, laboratori di ricerca e analisi e un'area dedicata all'accoglienza per il pubblico esterno e una sala convegni e presentazioni delle attività del Polo.

Da questa area si accede direttamente al percorso di visita che si sviluppa all'interno dell'insediamento tecnologico e che rende esplicito e tangibile il processo e le qualità della Biopiattoforma. Sempre nell'edificio è stata ricollocata la cabina elettrica, il locale quadri e il gruppo

elettrogeno, locali inseriti al piano terra, collegati al piazzale e con una altezza interna di 5mt. La superficie totale costruita è di 1800 m², avrà strutture in cemento armato, travi solette, muri e fondazioni continue mentre i pilastri sono in carpenteria metallica. Le chiusure esterne di tamponamento cieco sono in pannelli prefabbricati di calcestruzzo, quelle trasparenti sono formate da serramenti metallici modulari e a tutta altezza tra piano e piano. La struttura di copertura è anch'essa in carpenteria metallica mentre la copertura sarà costituita da una doppia lamiera di alluminio con interposto il pacchetto per la coibentazione acustica e termica. Copertura in aggetto esterno in corrispondenza delle pareti finestrate in modo da costituire anche una protezione solare.

I piani degli uffici saranno dotati, per garantire una maggiore flessibilità nei lay-out di utilizzo, di pavimenti galleggianti e di controsoffitti per la distribuzione degli impianti. Ogni specifica normativa concernente l'abitabilità dell'edificio, la sicurezza, l'igiene e le accessibilità ai disabili deve essere applicata e garantita come anche tutte le normative relative alle qualità dei materiali, alle efficienze energetiche e sulla sostenibilità dell'edificio.

La descrizione delle principali opere edilizie viene sinteticamente riportata nei paragrafi seguenti.

3.2 Fondazioni

Le fondazioni sono previste in cemento armato con dimensioni e profondità idonee alla natura del terreno ed alle sovrastanti carichi permanenti e accidentali. Saranno verificate quelle fondazioni esistenti qualora particolari e nuovi carichi, di strutture o impianti, vi gravassero direttamente.

3.3 Vespai e sottofondi

I vespai areati sono previsti solo nei fabbricati nuovi che al piano terra prevedono la permanenza continua di persone. Nei nuovi locali dove sono installati gli impianti verranno realizzati dei massetti in calcestruzzo armato adatti a garantire la portata per lo stoccaggio dei materiali e il transito di carrelli. Sul terreno precedentemente ripulito e costipato viene realizzata una massicciata costituita da idonei materiali inerti, dello spessore complessivo di 40cm. sul quale viene successivamente gettato il massetto in calcestruzzo armato.

3.4 Pavimentazione industriale

I pavimenti di tutti i locali industriali sono in calcestruzzo realizzati, mediante stesura di massetto in calcestruzzo dello spessore di almeno 20cm. armato con rete elettrosaldata.

Pavimenti finiti in superficie con una miscela antiusura composta da quarzo sferoidale applicato con idoneo legante e incorporo superficiale e lisciatura con frattazzatura meccanica a elicottero.

Taglio dei giunti in riquadri geometrici con idonea fresatrice e sigillatura con resine.

3.5 Strutture portanti

Solo dove precisamente descritto le strutture dei fabbricati, negli elementi indicati, saranno in cemento armato. Diversamente non indicato le strutture sono in carpenteria metallica composte da assemblaggio di elementi profilati ad "U-I-L-IPE-HE" ed equivalenti trafilati a caldo, con eventuale preassemblaggio in officina a formare pilastri, travi, arcarecci, tiranti e quanto altro sia necessario a formare la struttura del fabbricato. Tutte le carpenterie sono trattate con sabbiatura e zincatura.

3.6 Coperture

Le coperture dei fabbricati sono in pannelli sandwich grecati superiormente e costituiti da una doppia lamiera di alluminio colore al naturale, con interposto isolante termico e acustico. Pannelli ancorati agli arcarecci con viti autofilettanti e predisposti ad accogliere lucernari, torrini, griglie e le canale di raccolta delle acque meteoriche.

La copertura a vela dei biofiltri è composta da pannelli modulari in polycarbonato alveolare estruso ad incastro e con ancoraggio mediante appositi ganci in acciaio inox in corrispondenza degli arcarecci longitudinali.

3.7 Pannelli di tamponamento

I tamponamenti perimetrali dei fabbricati sono previsti con pannelli di alluminio anodizzato monolitici e automaschianti con interposto isolamento termico e acustico, ancorati a sottostrutture in acciaio zincato con e predisposti per accogliere porte, portoni, finestrate, griglie e quanto altro si renda necessario.

La particolare scalettatura delle facciate, definita con dei registri orizzontali, determina delle copertine di alluminio coibentate che fungono da compensazione dei piani di facciata e che si sviluppano, alle diverse quote su tutto il perimetro del fabbricato centrale. L'alluminio anodizzato in faccia esterna è previsto con due colorazioni riferite ognuna al singolo pannello monolitico. Colore alluminio naturale traslucido e verde luminoso anodizzato.

3.8 Pavimentazioni esterne

Due sono le tipologie delle pavimentazioni esterne dell'insediamento produttivo. Una in calcestruzzo, mediante stesura di massetto armato con rete elettrosaldata e trattamento della superficie con spolvero di quarzo e lisciatura con elicottero, per le aree a deposito dei materiali attrezzate con le tettoie; e l'altra tipologia di pavimentazione in conglomerato bituminoso

per tutte le superfici carrabili destinate alla circolazione e alle movimentazioni dei mezzi, strade e piazzali.

4. Dimensionamento degli impianti

Nei paragrafi successivi si descrive l'architettura degli impianti, che è stata ipotizzata.

4.1 Valorizzazione termica dei fanghi

4.1.1 Architettura complessiva del processo di trattamento

Il processo di valorizzazione termica dei fanghi prevede un trattamento di pre-essiccamento dei fanghi disidratati prima della loro introduzione nel forno.

Questo trattamento di pre-essiccamento ha lo scopo di ridurre il contenuto di acqua nei fanghi introdotti nel forno, fino al punto di garantire un'adeguata condizione di autotermia del processo di combustione dei fanghi stessi. La suddetta condizione di autotermia si raggiunge nel momento in cui il grado di siccità dei fanghi complessivamente introdotti nel forno è tale, da permettere la combustione degli stessi senza dover ricorrere all'apporto di sorgenti termiche esterne (es. bruciatore a metano).

Il trattamento di pre-essiccamento dei fanghi avverrà tramite un essiccatore installato "ad hoc", che tratterà i fanghi disidratati alla bocca del forno, ovvero prima dell'introduzione degli stessi nel forno di combustione. L'essiccatore utilizzerà come sorgente di calore il vapore a bassa pressione scaricato in contropressione dalla turbina a vapore. L'utilizzo di questo vapore per il trattamento dei fanghi disidratati andrà ovviamente a discapito della disponibilità di vapore da dedicare alla cessione di calore per il teleriscaldamento.

Il trattamento di pre-essiccamento fanghi alla bocca del forno permette di conseguire la seguente configurazione di esercizio:

- azzeramento del consumo di gas metano per il sostegno della combustione;
- riduzione dell'umidità contenuta nei fumi di combustione emessi al camino, con conseguente diminuzione del rischio di formazione del "pennacchio" di vapore;
- stabilizzazione delle condizioni di combustione dei fanghi all'interno del forno, in quanto il trattamento di pre-essiccamento dei fanghi rende più omogeneo e stabile il "combustibile" introdotto nel forno, svincolandolo per esempio dalle variazioni stagionali del tenore di secco dei fanghi disidratati provenienti dai depuratori.

L'essiccatore verrà installato in un locale tecnico ad esso dedicato e posto nelle immediate vicinanze del forno di valorizzazione termica.

Il calore utilizzato per riscaldare i digestori anaerobici della FORSU sarà recuperato dalla condensazione dei vapori derivanti dal processo di pre-essiccamento dei fanghi.

Relativamente al teleriscaldamento, per quanto una parte rilevante di vapore scaricato dalla turbina venga utilizzato per il pre-essiccamento dei fanghi, resta comunque un contributo interessante da cedere alla rete di teleriscaldamento.

Da evidenziare come parte consistente della diminuzione di produzione di calore a seguito della dismissione delle attuali linee di trattamento termico di rifiuti indifferenziati potrà essere recuperata anche attraverso l'installazione di pompe di calore per il recupero di energia dai reflui depurati. La relativa fattibilità è in corso di analisi da parte dell'attuale concessionario del servizio di teleriscaldamento .

Per l'architettura complessiva della linea di valorizzazione termica dei fanghi si faccia riferimento ai seguenti elaborati grafici:

- n. D.10.511 – Schema di principio - Linea fanghi.

Nella figura seguente si riporta invece l'architettura semplificata del processo di trattamento dei fanghi.

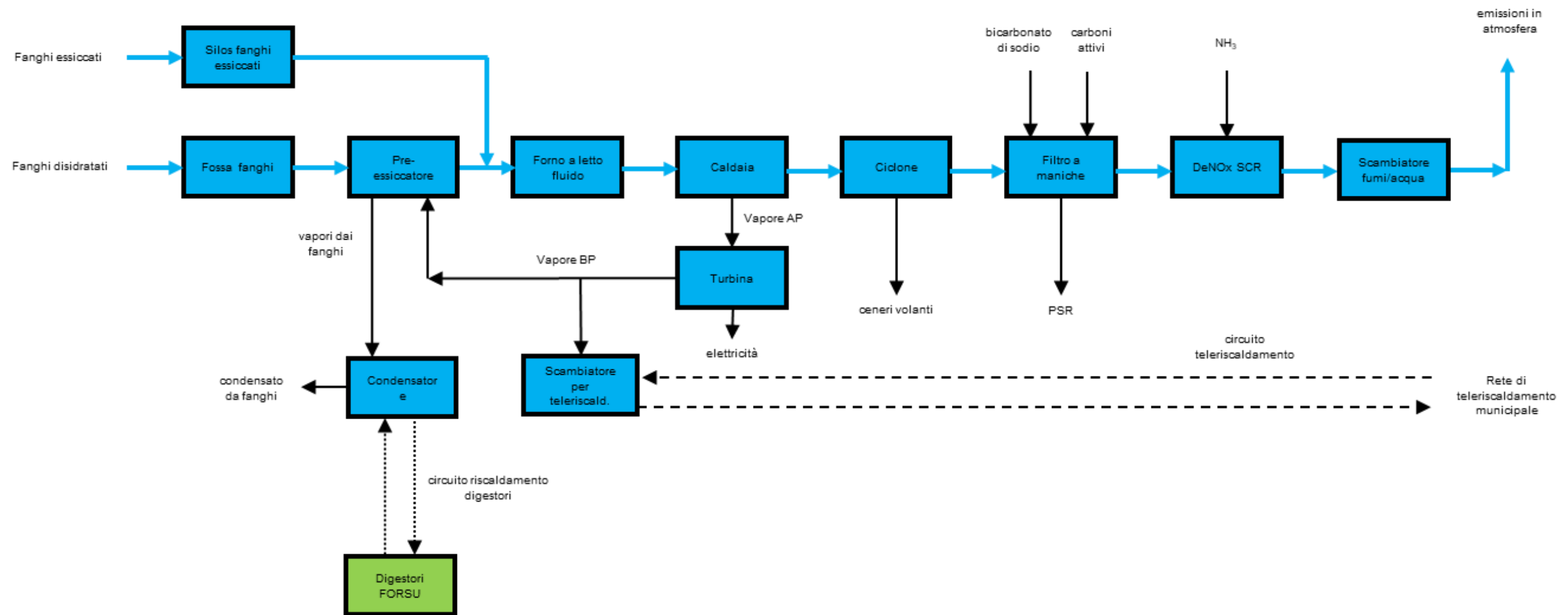


Figura 5 Architettura semplificata linea di incenerimento fanghi

4.1.2 Dimensionamento dell'impianto

Per il dimensionamento dell'impianto di valorizzazione termica dei fanghi si è utilizzato un tool di calcolo proprietario di TBF.

Per le ipotesi di calcolo si è fatto riferimento al documento "Dati di base del progetto" (doc. n. 25080-120-001, Rev. 4, del 26.01.2018), sviluppato durante la fase di studio di fattibilità.

L'impianto di valorizzazione termica dei fanghi è stato dimensionato per la capacità di trattamento richiesta, che include una proiezione sulla produzione di fanghi del Gruppo CAP.

Descrizione	U.M.	Valore
Ore di funzionamento annue	h/a	8'000
<i>Fanghi disidratati:</i>		
Quantità annua di fanghi disidratati da valorizzare	t/a	62'000
Portata oraria fanghi disidratati da valorizzare	t/h	7.75
Tenore di secco	%	22.8
PCI fanghi disidratati tal quale	kJ/kg tq	1'110
<i>Fanghi pre-essiccati:</i>		
Tenore di secco	%	34.0
Quantità annua di fanghi disidratati da valorizzare	t/a	41'510
Portata oraria fanghi disidratati da valorizzare	t/h	5.19
PCI fanghi disidratati tal quale	kJ/kg tq	2'853
<i>Fanghi essiccati:</i>		
Quantità annua di fanghi essiccati da valorizzare	t/a	3'000
Portata oraria dei fanghi disidratati da valorizzare	t/h	0.38
Tenore di secco	%	90.0
PCI fanghi essiccati tal quale	kJ/kg tq	11'580
<i>Mix di fanghi introdotto nel forno</i>		
Portata oraria fanghi da valorizzare	t/h	5.57
Tenore di secco	%	37.8
PCI mix di fanghi	kJ/kg tq	3'445

Tabella 14 Dimensionamento linea fanghi

Utilizzando lo strumento di calcolo proprietario TBF si è verificato che in entrambe i casi considerati (smaltimento annuo nominale e smaltimento annuo massimo) la combustione dei fanghi pre-essiccati si sostiene in maniera autonoma all'interno del forno e dunque non sarà necessario alcun apporto di calore esterno.

Negli Allegati 1 e 2 sono riportati i risultati dei calcoli relativi alla combustione.

In questa sede è possibile evidenziare come, a fronte di una potenza termica complessiva degli attuali forni di incenerimento rifiuti, pari a circa 31.4 MW, il nuovo impianto di valorizzazione termica dei fanghi di depurazione sarà caratterizzato da una potenza termica pari a circa 5.9 MW, corrispondente ad una riduzione di circa l'80%.

4.1.3 Bilancio di massa

Nelle seguenti figure si riportano i bilanci di massa relativi all'impianto di valorizzazione termica dei fanghi di depurazione, sia relativamente alla capacità minima di trattamento che a quella nominale, al fine di avere una sensibilità sulla variabile delle singole componenti di bilancio.

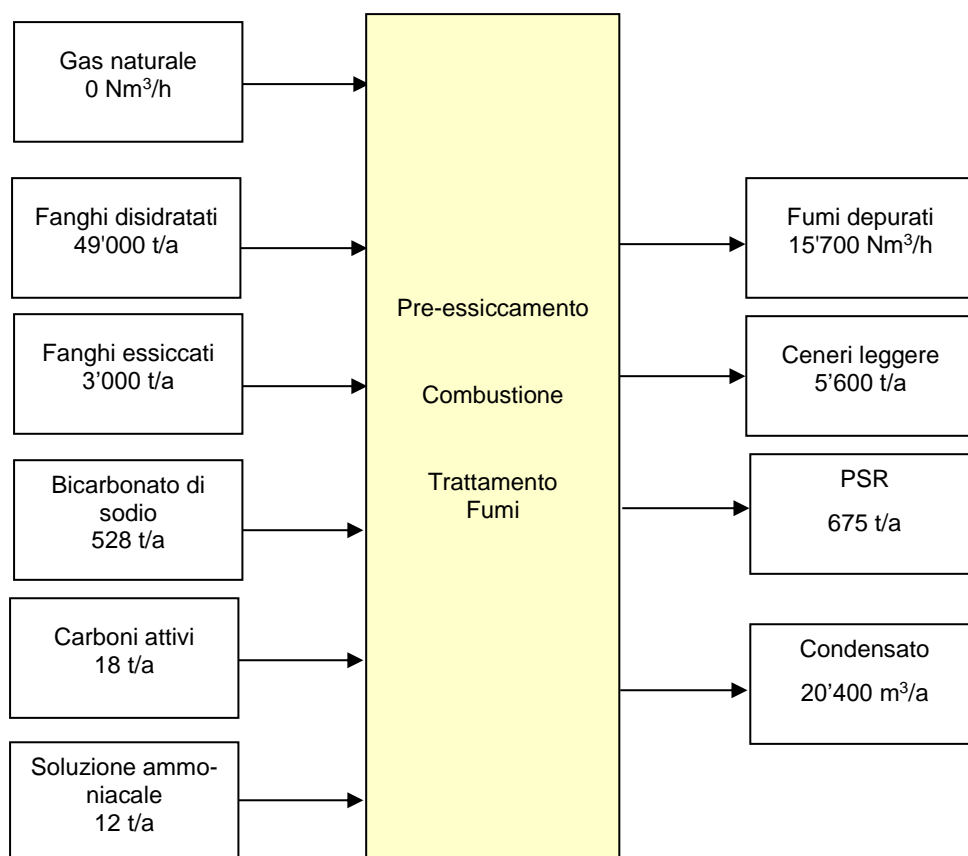


Figura 6 Bilancio di massa linea fanghi – capacità minima

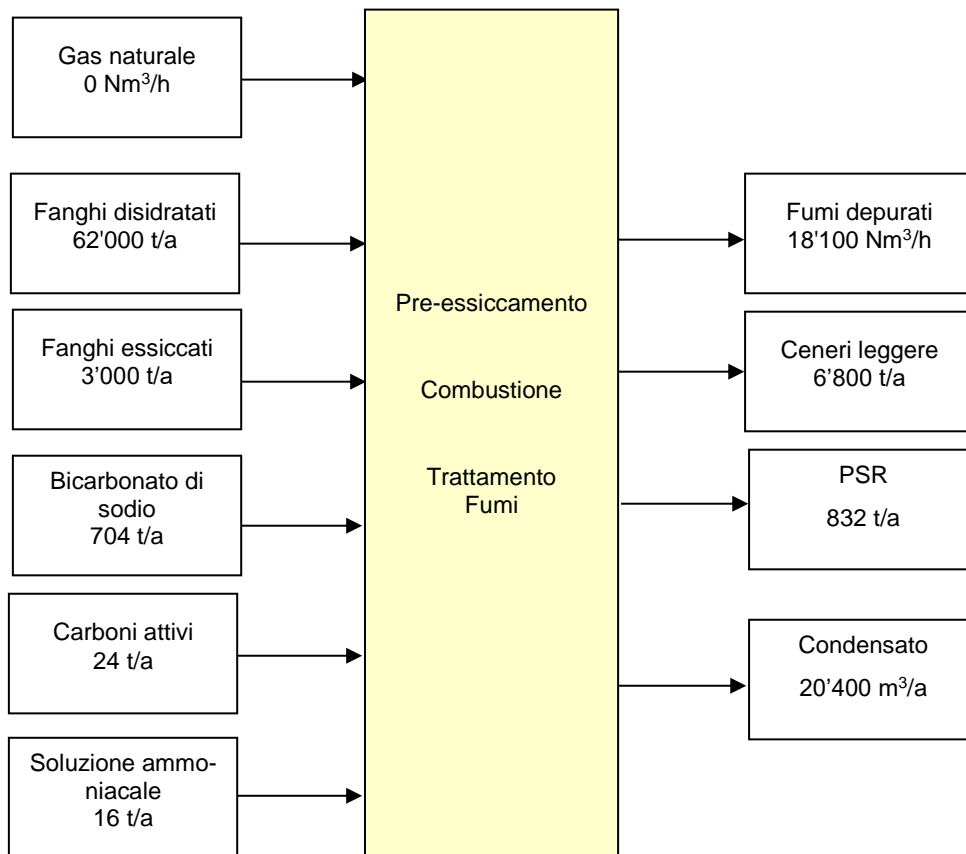


Figura 7 Bilancio di massa linea fanghi – capacità nominale

Nota 1: Il fatto che nei 2 bilanci di massa riportati in Figura 6 e Figura 7 ci sia lo stesso flusso di condensato proveniente dall'essiccatore non deve sorprendere, in quanto l'essiccatore viene dimensionato per una determinata capacità di evaporazione dell'acqua contenuta nei fanghi disidratati. A parità di acqua evaporata e conseguentemente del relativo condensato, se vengono inviati meno fanghi disidratati verso l'essiccatore (capacità minima), questi potranno essere essiccati ad un tenore di secco più elevato, mentre, se vengono inviati più fanghi disidratati verso l'essiccatore (capacità nominale), questi potranno essere essiccati fino ad un tenore di secco meno spinto.

Nota 2: Si evidenzia la necessità di provvedere al trattamento dei vapori condensati derivanti dal processo di pre-essiccamento dei fanghi. Queste condense infatti hanno un elevato contenuto di azoto e se venissero scaricate tutte direttamente in testa all'impianto di depurazione di Sesto S.G. potrebbero creare dei notevoli problemi di sovraccarico per il depuratore stesso. In questa fase di sviluppo delle attività di progettazione si ipotizza un accumulo di queste condense in serbatoi di stoccaggio di capacità adeguata (min. 60 m³).

Lo stoccaggio delle condense potrà permettere anche di rilasciare questo fluido in testa al depuratore durante i periodi di basso carico del depuratore stesso (tipicamente durante la notte).

4.1.4 Bilancio di energia

Nelle figure sottostanti si riporta il bilancio di energia relativo all'impianto di valorizzazione termica dei fanghi nei due casi di smaltimento annuo considerati, rispettivamente nominale e massimo.

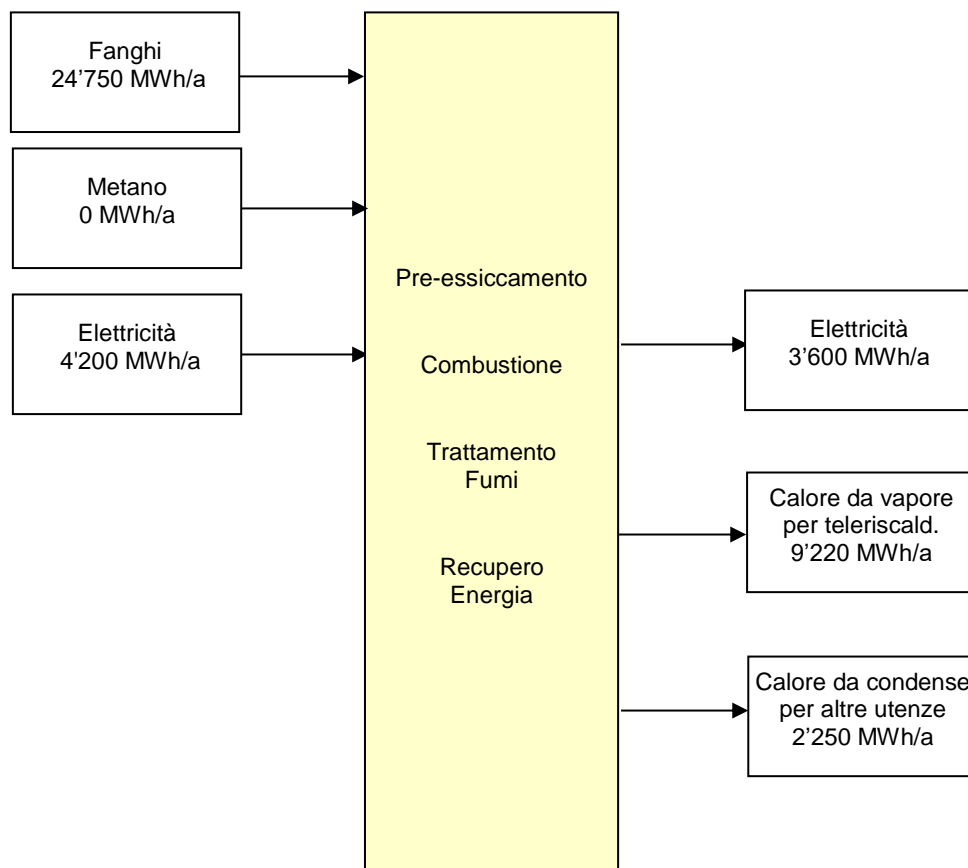


Figura 8 Bilancio energia linea fanghi – capacità minima

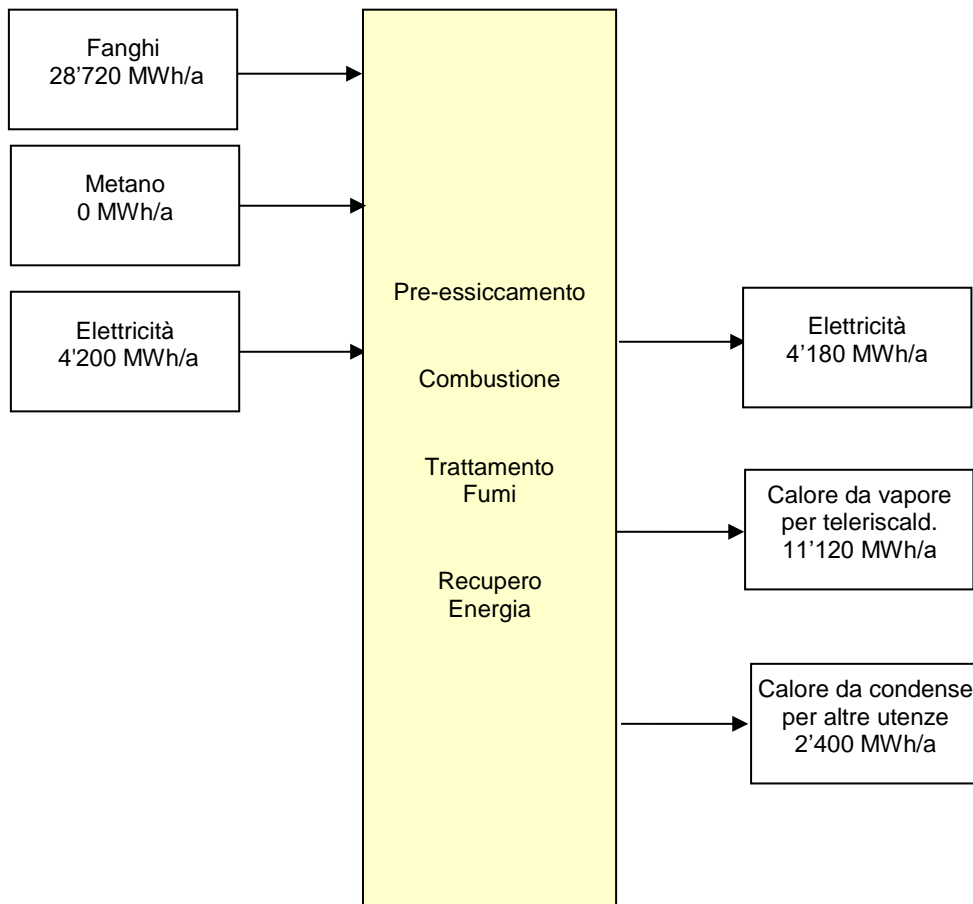


Figura 9 Bilancio energia linea fanghi – capacità nominale

4.1.5 Schemi a blocchi quantificati

Vedi elaborato grafico n. C.10.601, Linea fanghi – Bilancio di massa e di energia.

4.1.6 Planimetria di dettaglio del nuovo impianto

Si faccia riferimento ai seguenti elaborati grafici:

D.10.301, Linea fanghi – Vista in pianta – Quota +0.00;

D.10.302, Linea fanghi – Vista in pianta – Quota +4.50 / +6.00;

D.10.304, Linea fanghi – Vista in pianta – Quota +17.10 / +18.30;

D.10.305, Linea fanghi – Sezione Longitudinale.

4.2 Impianto di digestione anaerobica della FORSU

4.2.1 Architettura complessiva del processo di trattamento

L'impianto di digestione della FORSU è composto dalle seguenti sezioni:

- ricezione e pretrattamento ad umido;
- digestione anaerobica;
- separazione solido/liquido (disidratazione) con produzione di digestato disidratato;
- pretrattamento delle acque di risulta (centrato);
- raffinazione del biogas con produzione di biometano;
- immissione del biometano nella locale rete di distribuzione;
- compressione e stoccaggio del biometano per uso autotrazione.

Per l'architettura di dettaglio della linea di digestione della FORSU si faccia riferimento ai seguenti elaborati grafici:

- n. D.10.511, Schema di principio - Linea FORSU.

Nella figura seguente si riporta invece l'architettura semplificata del processo di digestione della FORSU con produzione di biometano.

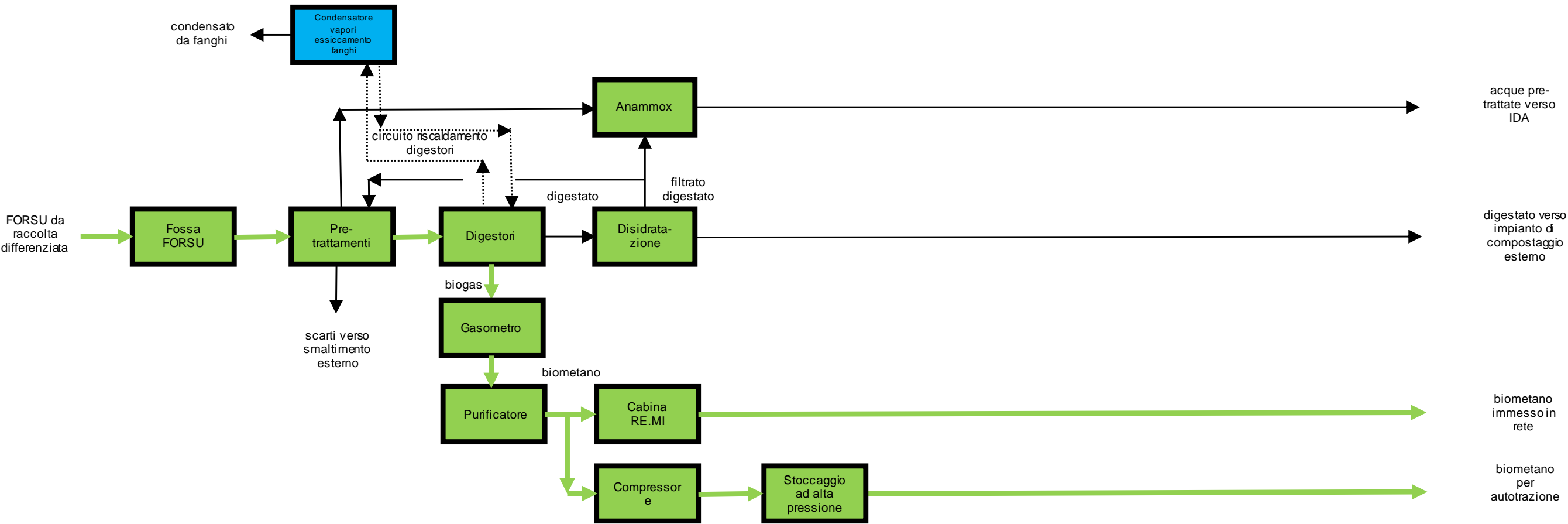


Figura 10 Architettura semplificata linea di digestione FORSU

4.2.2 Dimensionamento dell'impianto

Il dimensionamento dell'impianto di trattamento della FORSU è stato condotto a partire dai dati di caratterizzazione del rifiuto organico assunti in accordo con CAP (rif. Cap. 4 del doc. n. 25080-120-001, Dati di base del progetto, Rev. 4, del 26.01.2018).

Il quantitativo di FORSU assunto per il dimensionamento tiene conto di una "overcapacity" rispetto alle previsioni del comprensorio di CORE, pari a 5'000 t/a (circa +25%), per rispondere ad eventuali ulteriori richieste de mercato. Si assume pertanto come valore di dimensionamento 30'000 t/a di FORSU trattata.

Di seguito si riepilogano i valori adottati per il dimensionamento.

Parametro	U.M.	Valore
Quantità FORSU trattata	t/a	30'000
Quantità verde trattata	t/a	0
Contenuto medio di materiali non compostabili	%	9
Contenuto medio di sostanza secca	%	28
Contenuto medio di sostanza organica (SO/ST)	%	85
Peso specifico	t/m ³	0.4

Tabella 15 Dimensionamento linea di digestione anaerobica

La FORSU è stata ipotizzata essere caratterizzata dal 9 % di MNC (materiale non compostabile, ovvero plastica, vetro, inerti, metalli). Il solido secco della FORSU è stato ipotizzato essere pari al 28%, con un contenuto di volatile pari al 85 %.

Il conferimento del rifiuto, la presenza di personale all'interno dell'impianto e quindi il funzionamento della sezione di pretrattamento, sono previsti essere operativi per 312 giorni all'anno e per 8 ore al giorno. La sezione biologica e la produzione di biogas e biometano è prevista essere continua lungo tutto l'anno.

Quotidianamente è previsto il conferimento di circa 96 t/g di FORSU, con un peso specifico di circa 0,4 t/m³.

Partendo dalla volumetria disponibile negli attuali digestori e pari a 4'800 m³, si verifica il tempo di residenza di circa 20 giorni, cui corrisponde un carico specifico nei digestori di 3.6 kgSV/m³-d. Il processo risulta pertanto verificato.

Partendo da una produzione specifica di biogas di 120 Nm³/t FORSU, valore riscontrato in impianti simili, si ottiene una produzione attesa di biogas pari a 3.6 MNm³/a.

A conclusione del processo di digestione, il digestato liquido viene sottoposto a disidratazione, per poi essere trasportato ad impianto di compostaggio esterno.

Valori di dimensionamento	U.M.	Valore
Quantità di FORSU trattata	t/a	30'000
Volume digestori disponibile	m ³	4'800
Tempo di residenza (HRT)	g	20
Carico specifico	kgSV/m ³ -d	3.6
Temperatura di processo	°C	35-38
Produzione specifica biogas	Nm ³ /t	120
Biogas prodotto	t/a	4'500
	MNm ³ /a	3.6
	Nm ³ /h	439
Digestato liquido prodotto (2,5-3% SS)	t/a	87'000
Digestato solido prodotto (30% SS)	t/a	6'680

Tabella 16 Calcoli di dimensionamento impianto di digestione anaerobica

Per il riscaldamento dei gestori si stima un fabbisogno termico medio di 150 kWt, con un fabbisogno termico di punta fino a circa 300 kWt durante il periodo invernale più freddo. In questo scenario si ipotizza di riscaldare i digestori con il calore sensibile ricavato dalla condensazione dei vapori prodotti dal processo di pre-essiccamento dei fanghi di depurazione. Questa possibilità rappresenta una delle tante sinergie della futura biopiattaforma e permette di risparmiare un equivalente consumo di gas metano, che si può grossolanamente quantificare come segue:

(Fabbisogno termico medio * ore di esercizio) : rendimento caldaia : PCI metano, ovvero

$(150 \text{ kW} * 8200 \text{ ore/a}) : 0.95 : 10 = \text{circa } 130'000 \text{ Nm}^3/\text{a}$

La suddetta quantità di gas metano, valorizzata economicamente a 0.4 €/Nm³, rappresenta un importo di circa 51'000 €/a, che nelle successive trattazioni economiche verrà considerata come una mancata spesa, ovvero un ricavo.

4.2.3 Bilancio di massa

Nella seguente figura si riporta il bilancio di massa relativo all'impianto di digestione anaerobica della FORSU.

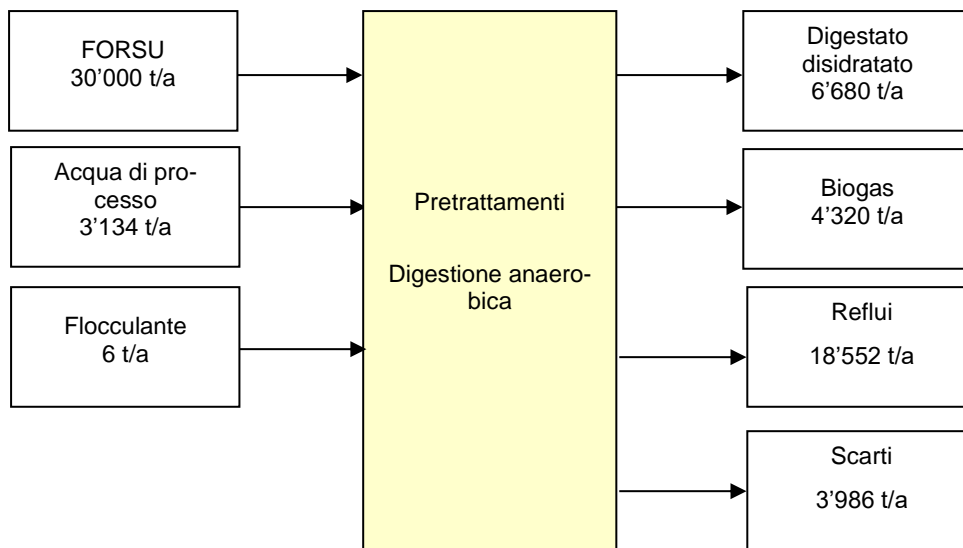


Figura 11 Bilancio di massa per digestione anaerobica della FORSU

4.2.4 Bilancio di energia

Nella figura sottostante si riporta il bilancio di energia relativo all'impianto di digestione anaerobica della FORSU.

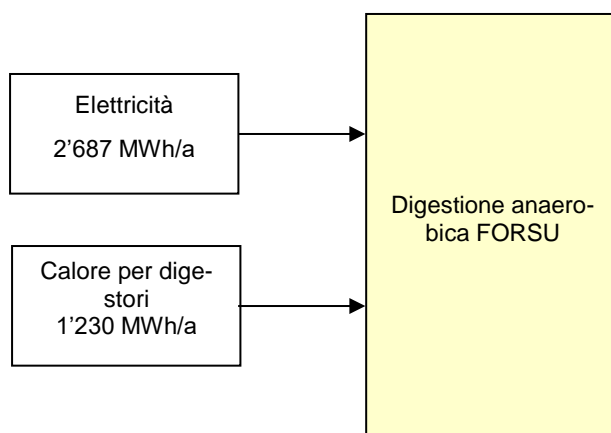


Figura 12 Bilancio di energia per digestione anaerobica della FORSU

4.2.5 Schemi a blocchi quantificati

Vedi elaborato grafico n. C.10.611, Linea FORSU – Bilancio di massa e di energia.

4.2.6 Planimetria di dettaglio dei nuovi impianti

Si faccia riferimento ai seguenti elaborati grafici:

D.10.311, Linea FORSU – Vista in pianta – Quota +0.00;

D.10.315, Linea FORSU – Sezione Longitudinale.

4.3 ANNULLATO

4.4 Sistema di depolverazione e deodorizzazione

4.4.1 Architettura complessiva del processo di trattamento

Il sistema di aspirazione e deodorizzazione dell'aria è composto dalle seguenti sezioni:

- Punti di aspirazione localizzati (es. in corrispondenza di macchine che emettono molto particolato o hanno forti emissioni odorigene);
- Punti di aspirazione distribuita all'interno dei vari locali da mantenere in depressione (es. fossa rifiuti, avanfossa, capannone ribassato);
- Eventuale trattamento di depolverazione per l'aria ambiente proveniente da ambienti o macchine particolarmente polverosi;
- Sistema di deodorizzazione che potrà essere:
 - con biofiltro;
 - con scrubber.

Per l'architettura di dettaglio della linea di digestione della FORSU si faccia riferimento ai seguenti elaborati grafici:

- n. D.10.631, Schema di principio - Deodorizzazione.

Nella figura seguente si riporta invece l'architettura semplificata del processo di depolverazione e deodorizzazione dell'aria.

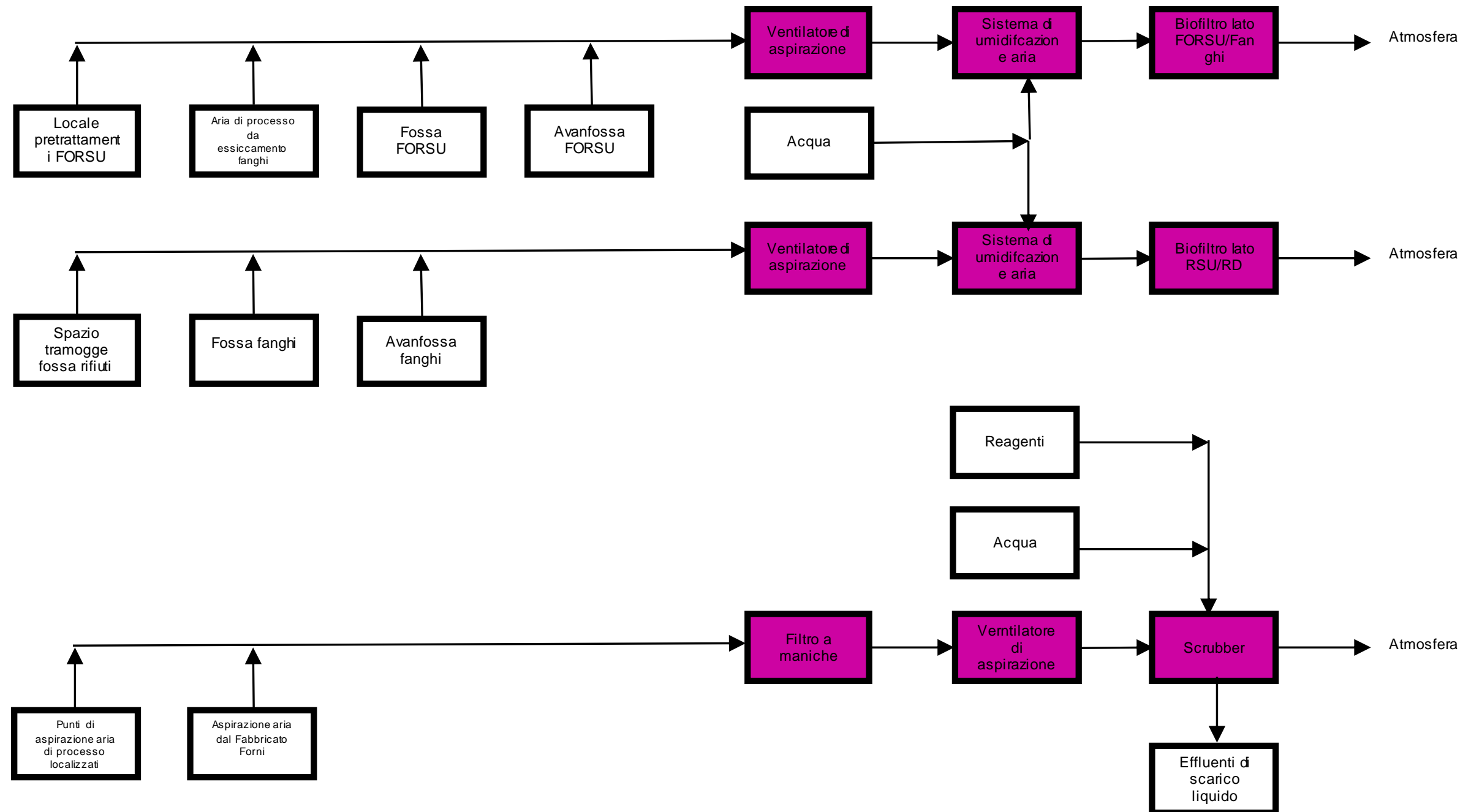


Figura 13 Architettura semplificata linea di depolverazione e deodorizzazione

4.4.2 **Schemi a blocchi quantificati**

Vedi elaborato grafico n. C.10.631, Deodorizzazione – Bilancio di massa e di energia.

4.4.3 **Planimetria di dettaglio dei nuovi impianti**

Si faccia riferimento ai seguenti elaborati grafici:

D.10.304, Linea fanghi – Vista in pianta – Quota +17.10 / +18.30;

D.10.305, Linea fanghi – Sezione Longitudinale;

D.10.315, Linea FORSU – Sezione Longitudinale.

Indice tabelle

Tabella 1	Produzione di scarti da pre-trattamento FORSU	17
Tabella 2	Valori di dimensionamento digestori	18
Tabella 3	Valori stimati di produzione di biometano ed off-gas.	22
Tabella 4	Parametri di valutazione per il carico di azoto da digestione anaerobica	26
Tabella 5	Caratteristiche attese acque reflue da digestione FORSU	27
Tabella 6	Dati dimensionamento – Ipotesi di ripartizione delle acque di risulta proveniente dalla disidratazione del digestato FORSU	28
Tabella 7	Dati dimensionamento – Acque di diluizione (prese a valle della decantazione finale o della disinfezione)	29
Tabella 8	Dati dimensionamento – Acque in ingresso al processo Anammox	29
Tabella 9	Riduzione dei carichi dopo pretrattamento dei reflui	31
Tabella 10	Riepilogo della capacità di trattamento del depuratore di Sesto S.G. in termini di AE	31
Tabella 11	Portate d'aria per il dimensionamento del sistema di deodorizzazione	36
Tabella 12	Ipotesi biofiltro posto su copertura avanfossa lato destro	37
Tabella 13	Ipotesi per biofiltro posto sulla copertura tetto dell'avanfossa lato sinistro	37
Tabella 14	Dimensionamento linea fanghi	52
Tabella 15	Dimensionamento linea di digestione anaerobica	59
Tabella 16	Calcoli di dimensionamento impianto di digestione anaerobica	60

Indice figure

Figura 1	Schema di principio di un letto fluido bollente	6
Figura 2	Schema di un forno a letto fluido bollente per fanghi di depurazione	7
Figura 3	Schema di principio semplificato del sistema di upgrading a PSA con 4 unità di adsorbimento	20
Figura 4	Ipotesi di disposizione delle apparecchiature costituenti il sistema di pretrattamento	30
Figura 5	Architettura semplificata linea di incenerimento fanghi	51
Figura 6	Bilancio di massa linea fanghi – capacità minima	53
Figura 7	Bilancio di massa linea fanghi – capacità nominale	54
Figura 8	Bilancio energia linea fanghi – capacità minima	55
Figura 9	Bilancio energia linea fanghi – capacità nominale	56
Figura 10	Architettura semplificata linea di digestione FORSU	58
Figura 11	Bilancio di massa per digestione anaerobica della FORSU	61
Figura 12	Bilancio di energia per digestione anaerobica della FORSU	61
Figura 13	Architettura semplificata linea di depolverazione e deodorizzazione	63

ALLEGATO 1

Valorizzazione termica dei fanghi

Verifica combustione forno per smaltimento annuo minimo (52'000 t/a)

ALLEGATO 1: Verifica combustione forno per smaltimento annuo minimo (52'000 t/a)

Progetto:	CAP
Scenario:	Produzione energia ottimizzata / 6 bara
Potere calorifico:	
Portata:	52000 t/a
Numero progetto:	25080
Numero documento:	
Azienda:	TBF + Partner AG
Elaborato da:	Fep
Data:	20.03.2018



Dati di input

Combustibile

Fango

Portata combustibile nel forno	\dot{m}_{BS}	4406	kg _{BS} / h	C → CO	α	0.01	Gew.% C
Temperatura combustibile	ϑ_{Br}	99.61	°C	C → C	β	2.67	Gew.% C
Potere calorifico combustibile	$H_{u,25^\circ C}$	4.10	MJ / kg _{BS}	C → CO ₂	1- α - β	97.32	Gew.% C
Potenza termica lorda	$P_{Br,Brutto}$	5.02	MW				

Fango ingresso essiccamento

Carbonio	ξ_C	8.40	% massa
Idrogeno	ξ_H	1.11	% massa
Ossigeno	ξ_O	5.06	% massa
Azoto	ξ_N	0.95	% massa
Zolfo	ξ_S	0.205	% massa
Cloro	ξ_{Cl}	0.040	% massa
Fluoro	ξ_F	0.001	% massa
Fosforo	ξ_P	0.000	% massa
Acqua	ξ_{H_2O}	73.30	% massa
Interni	ξ_{Inerti}	10.93	% massa
Totale		100.00	% massa
Quota sostanza combustibile	ξ_B	15.77	% massa
Quota sostanza secca (SS)	ξ_{TS}	26.70	% massa

Fango essiccato (combustibile)

Carbonio	ξ_C	13.22	% massa
Idrogeno	ξ_H	1.75	% massa
Ossigeno	ξ_O	7.96	% massa
Azoto	ξ_N	1.50	% massa
Zolfo	ξ_S	0.323	% massa
Cloro	ξ_{Cl}	0.062	% massa
Fluoro	ξ_F	0.002	% massa
Fosforo	ξ_P	0.002	% massa
Acqua	ξ_{H_2O}	58.00	% massa
Interni	ξ_{Inerti}	17.19	% massa
Totale		100.00	% massa
Quota sostanza combustibile	ξ_B	24.81	% massa
Quota sostanza secca (SS)	ξ_{TS}	42.00	% massa

Consumo vapore essiccamento	3.69	t/h	Ritorno condensato	3.69	t/h
Temperatura vapore	170	°C	Temperatura condensato	80.00	°C
Pressione vapore	6	bara	Pressione condensato	5	bara

Bruciatore ausiliario

Combustibile ausiliario	Erdgas H	Gas naturale H
Potere calorifico	$H_{u,ZBS,25^\circ C}$	47.32 MJ / kg _{ZBS}
Potenza bruciatore	$P_{bruciatore}$	0.00 kW
Esseso d'aria	λ_{ZBr}	1.200 [-]
Portata aria di raffreddamento	$L_{Kü,ZBr,f}$	0.000 Nm ³ L _f / h
Portata combustibile	\dot{m}_{ZBS}	0.00 kg _{ZBS} /h

Dati di input

Condizioni ambiente

Quota impianto	h	120.00	m	Aria ambiente		
Temperatura aria	ϑ_L	20.00	°C	Ossigeno	$\Phi_{L,O_{2,f}}$	20.59 Vol. % _f
Pressione aria	p_L	1.00	bara	Azoto	$\Phi_{L,N_{2,f}}$	77.77 Vol. % _f
Densità aria	ρ_L	1.18	kg aria / Nm ³ aria	Acqua	$\Phi_{L,H_2O,f}$	1.64 Vol. % _f
Umidità relativa	φ_L	70.00	%			

Scorie

Coefficiente trasferimento (CT) combustibile → fumi				Proprietà scorie	
CT zolfo	CT_S	68.65	% massa S	Contenuto carbonio residuo	$Y_{c,scorie,t}$ 2 % massa S
CT cloro	CT_{Cl}	83.75	% massa Cl		
CT fluoro	CT_F	58.75	% massa F		

Perdite

Perdite camera combustione	$P_{ver,cam\ comb}$	0	kW	← Perdite camera combustione	$\zeta_{cam\ comb}$	0 %
Perdite caldaia - radiazione	$P_{Ver,caldaia}$	75	kW	← Perdite caldaia - radiazione	$\zeta_{caldaia}$	1.5 %
Perdita scorie	$P_{Verl,scorie}$	68	kW			
Perdite incombusti	$P_{Verl,incomb}$	164	kW	Potenza teorica combustibile	$P_{GBS,ideal}$	5'016 kW

Aria di combustione

Aria primaria e secondaria

Aria primaria				Aria secondaria			
Percentuale aria primaria	$\Phi_{PL,f,rel}$	90.00	Vol. % _f	Percentuale aria secondaria	$\Phi_{SL,f,rel}$	10.00	Vol. % _f
Temperatura AP prima del forno	$\vartheta_{PL,vO}$	200.00	°C	Temperatura AS prima del forno	$\vartheta_{SL,vO}$	50.00	°C
Preriscaldamento AP condensato				Preriscaldamento AS			
Attivo		Ja	Si	Attivo		Nein	No
Temp. AP dopo il preriscaldamento	$\vartheta_{PL,nL}$	86.6	°C	Temp. AS dopo prerisc.	$\vartheta_{SL,nL}$	50	°C
Temp. AP prima del preriscaldamento	$\vartheta_{PL,vL}$	20.0	°C	Temp. AS prima prerisc.	$\vartheta_{SL,vL}$	50	°C
Preriscaldamento AP vapore				Preriscaldamento AS			
Attivo		Nein	No	Attivo		Nein	No
Temp. AP dopo il preriscaldamento	$\vartheta_{PL,nL}$	86.6	°C	Temp. AS dopo prerisc.	$\vartheta_{SL,nL}$	50	°C
Temp. AP prima del preriscaldamento	$\vartheta_{PL,vL}$	86.6	°C	Temp. AS prima prerisc.	$\vartheta_{SL,vL}$	50	°C
Preriscaldamento AP caldaia				Preriscaldamento AS			
Attivo		Ja	Si	Attivo		Nein	No
Temperatura AP dopo la caldaia	$\vartheta_{PL,nK}$	200.0	°C	Temp. AS dopo prerisc.	$\vartheta_{SL,nL}$	50	°C
Temperatura AP prima della caldaia	$\vartheta_{PL,vK}$	86.6	°C	Temp. AS prima prerisc.	$\vartheta_{SL,vL}$	50	°C
Potenza totale preriscaldamento AP	$P_{LUVO,PL}$	743	kW	Potenza tot. Prerisc. AS	$P_{LUVO,SL}$	0	kW
Quantità AP				Quantità AS			
Volume AP umida	$\dot{V}_{PL,f}$	10'072	Nm ³ / h	Volume AS umida	$\dot{V}_{SL,f}$	1'119	Nm ³ / h
Portata AP umida	$\dot{m}_{PL,f}$	12'891	kg / h	Portata AS umida	$\dot{m}_{SL,f}$	1'432	kg / h

Aria di combustione bruciatore ausiliario

Portata effettiva aria secca	$\dot{V}_{ZBrL,t}$	0	Nm ³ ZBrL/h
Portata assoluta aria secondaria	$\dot{V}_{ZBrL,f}$	0	Nm ³ ZBrL/h

Ricircolo fumi

Dati		Portata fumi ricircolo	
Temperatura fumi ricircolo	ϑ_{Rezi}	200	°C
Coefficiente miscelazione ric. fumi	ζ_{Rezi}	100	%
Portata fumi di ricircolo se	$\dot{V}_{Rezi,t}$	0	Nm ³ / h
Portata fumi di ricircolo un	$\dot{V}_{Rezi,f}$	0	Nm ³ / h

Immissione aria in caldaia

Quota assoluta AP	$\Phi_{PL,f,abs}$	90.0	Vol. % _f	Quota ass. aria terziaria	$\Phi_{TL,f,abs}$	0.0	Vol. % _f
Quota assoluta AS	$\Phi_{SL,f,abs}$	10.0	Vol. % _f	Q. ass. aria bruc. ausiliari	$\Phi_{ZBrL,f,abs}$	0.0	Vol. % _f
Quota assoluta ricircolo	$\Phi_{Rezi,f,abs}$	0.0	Vol. % _f	Q. ass. aria raffr. br. aus.	$\Phi_{KüZBr,f,abs}$	0.0	Vol. % _f

Output

Inquinanti nei fumi

Percentuali vol. umido				Inquinanti normalizzati		
				Tenore O ₂ cond. normali	$\Phi_{O_2,t,Bez}$	11 Vol. % _t
Contenuto CO ₂ nei fumi	$\Phi_{RG,CO_2,f}$	6.960	Vol. % _f	CO secco	$\varrho_{RG,CO_2,s,n}$	11 mg / Nm ³ _s
Contenuto H ₂ O nei fumi	$\Phi_{RG,H_2O,f}$	27.951	Vol. % _f	SO ₂ secco	$\varrho_{RG,SO_2,s,n}$	1'592 mg / Nm ³ _s
Contenuto N ₂ nei fumi	$\Phi_{RG,N_2,f}$	58.017	Vol. % _f	HCl secco	$\varrho_{RG,HCl,s,n}$	193 mg / Nm ³ _s
Contenuto O ₂ nei fumi	$\Phi_{RG,O_2,f}$	7.017	Vol. % _f	HF secco	$\varrho_{RG,HF,s,n}$	3 mg / Nm ³ _s

Portate fumi (senza ricircolo)

CO ₂	\dot{V}_{RG,CO_2}	1'050	Nm ³ / h	CO ₂	\dot{m}_{RG,CO_2}	2'076	kg / h
CO	$\dot{V}_{RG,CO}$	0.1	Nm ³ / h	CO	$\dot{m}_{RG,CO}$	0.1	kg / h
H ₂ O	\dot{V}_{RG,H_2O}	4'218	Nm ³ / h	H ₂ O	\dot{m}_{RG,H_2O}	3'391	kg / h
SO ₂	\dot{V}_{RG,SO_2}	6.7	Nm ³ / h	SO ₂	\dot{m}_{RG,SO_2}	19.5	kg / h
N ₂	\dot{V}_{RG,N_2}	8'756	Nm ³ / h	N ₂	\dot{m}_{RG,N_2}	10'948	kg / h
O ₂	\dot{V}_{RG,O_2}	1'059	Nm ³ / h	O ₂	\dot{m}_{RG,O_2}	1'513	kg / h
HCl	$\dot{V}_{RG,HCl}$	1.4	Nm ³ / h	HCl	$\dot{m}_{RG,HCl}$	2	kg / h
HF	$\dot{V}_{RG,HF}$	0.1	Nm ³ / h	HF	$\dot{m}_{RG,HF}$	0.0	kg / h
Volume fumi secchi	$\dot{V}_{RG,t}$	10'873	Nm ³ / h	Portata fumi secchi	$\dot{m}_{RG,t}$	14'560	kg / h
Volume fumi umidi	$\dot{V}_{RG,f}$	15'091	Nm ³ / h	Portata fumi umidi	$\dot{m}_{RG,f}$	17'950	kg / h

Portata fumi in camera di combustione (incluso ricircolo)

Volume fumi cam. comb. secco	$\dot{V}_{FRG,t}$	10'873	Nm ³ / h	Portata fumi cam. comb. secco	$\dot{m}_{FRG,s}$	14'560	kg / h
Volume fumi cam. comb. umido	$\dot{V}_{FRG,f}$	15'091	Nm ³ / h	Portata fumi cam. comb. umido	$\dot{m}_{FRG,u}$	17'950	kg / h

Temperature

Temp. adiabatica di fiamma	T_{ad}	903	°C
Temp. post prerisc. AP caldaia	$\vartheta_{RG,nLUVO,caldaia}$	844	°C
Temperatura uscita caldaia	$\vartheta_{caldaia,out}$	200	°C
Temperatura ricircolo	ϑ_{Rezi}	200	°C
Temp. ingresso eco esterno	$\vartheta_{Eco,in}$	200	°C
Temp. uscita eco esterno	$\vartheta_{Eco,out}$	180	°C

Output

Combustione

Key Points

Eccesso aria totale	λ_{total}	1.850	[-]	Eccesso AP	λ_{PL}	1.66	[-]
Temp. di combustione adiabatica	T_{ad}	903	°C	Eccesso AS	λ_{SL}	0.18	[-]
Volume O ₂ secco	$\Phi_{O_2,s}$	9.739	Vol. % _s				

Potenza in ingresso

Potenza AP	P_{PL}	644	kW	→	Potenza AP	P_{PL}	10.9	%
Potenza AS	P_{SL}	10	kW	→	Potenza AS	P_{SL}	0.2	%
Potenza aria terziaria	P_{TL}	0	kW	→	Potenza aria terziaria	P_{TL}	0.0	%
Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0	kW	→	Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0.0	%
Potenza aria. bruc. ausiliario	P_{ZBrL}	0	kW	→	Potenza aria. bruc. ausiliario	P_{ZBrL}	0.0	%
Potenza aria raffr. bruc. ausiliario	$P_{KüZBrL}$	0	kW	→	Potenza aria raffr. bruc. ausiliario	$P_{KüZBrL}$	0.0	%
Potenza combustibile	$P_{Br,oGV}$	5'016	kW	→	Potenza combustibile	$P_{Br,korr}$	85.1	%
Potenza preriscaldamento combustibile	$P_{Br,Vorwär}$	222	kW	→	Potenza preriscaldamento combustibile	$P_{Br,Vorwär}$	3.8	%
Potenza combustibile ausiliario	P_{ZBr}	0	kW	→	Potenza combustibile ausiliario	P_{ZBr}	0.0	%
Potenza totale in ingresso		5'893	kW		Totale uscita		100.000	%

Potenza in uscita

Produzione di vapore	P_{vapore}	4'256	kW	→	Produzione di vapore	P_{vapore}	72.2	%
Preriscaldamento caldaia AP	$P_{caldaia,PL}$	419	kW	→	Preriscaldamento caldaia AP	$P_{caldaia,PL}$	7.1	%
Potenza fumi	P_{RG}	912	kW	→	Potenza fumi	P_{RG}	15.5	%
Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0	kW	→	Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0.0	%
Perdite caldaia	$P_{Ver,caldaia}$	75	kW	→	Perdite caldaia	$P_{Ver,caldaia}$	1.3	%
Perdite camera combustione	$P_{Ver,Brenn}$	0	kW	→	Perdite camera combustione	$P_{Ver,Brenn}$	0.0	%
Perdite scorie	$P_{Ver,Schlack}$	68	kW	→	Perdite scorie	$P_{Ver,Schlack}$	1.2	%
Perdite incombusti nelle scorie	$P_{Ver,GV}$	164	kW	→	Perdite incombusti nelle scorie	$P_{Ver,GV}$	2.8	%
Potenza totale in uscita		5'893	kW		Totale uscita		100	%

Potenza fumi camera combustione $P_{FRG,in}$ 5'662 kW

di cui:

Produzione vapore caldaia	$P_{caldaia}$	4'136	kW	→	Produzione vapore caldaia	$P_{caldaia}$	97	%
Produzione vapore eco esterno	P_{Eco}	120	kW	→	Produzione vapore eco esterno	P_{Eco}	3	%

Rendimenti

Rendimento di combustione			Rendimento di caldaia		
Rendimento	η_F	95.383 %	Rendimento incl. preriscaldamento AP	η_K	82.571 %

Output

Produzione di vapore

Key Points

Temperatura ingresso turbina	T_{FD}	450 °C			
Pressione ingresso turbina	P_{FD}	65 bara			
Portata vapore	\dot{m}_{FD}	5.6 t/h	Potenza vap. in turbina	P_{FD}	4'256 kW
Produzione di vapore in caldaia	$P_{caldaia}$	4'136 kW	→ Prod. vapore in caldaia	$P_{caldaia}$	97 %
Produzione di vapore eco esterno	P_{Eco}	120 kW	→ Prod. vapore eco esterno	P_{Eco}	3 %
Potenza termica lorda	$P_{Br,lorda}$	5.0 MW			
Totale preriscaldamento AP	$P_{LUVO,PL}$	0.7 MW			
Potenza caldaia incl. eco esterno	P_{FD}	4.3 MW			
Temperatura adiabatica di comb.	T_{ad}	903 °C			
Quota O ₂ secco nei fumi	$\Phi_{O_2, s}$	9.7 Vol.% _s			
Portata fumi prima dei trattamenti	$\dot{V}_{RG, f}$	15'091 Nm ³ f/h			
Rendimento di caldaia	η_K	84.8 %			
Produzione di vapore	\dot{m}_{FD}	5.6 t/h			
Potenza caldaia escl. eco	$P_{caldaia}$	4.1 MW			
Potenza eco esterno	P_{Eco}	0.1 MW			

Output

Rendimento complessivo dell'impianto

Fango umido	\dot{m}_{BS}	6930 kg _{Schlamm} / h			
Potere calorifico spec. combustibile	$H_{u,25^\circ C}$	1.72 MJ / kg _{Schlamm}	Potenza termica lorda	$P_{Br,Brutto}$	3.30 MW
Grigliato	\dot{m}_{BS}	0 kg _{Schlamm} / h			
Potere calorifico spec. grigliato	$H_{u,25^\circ C}$	4.76 MJ / kg _{Schlamm}	Potenza termica lorda	$P_{Br,Brutto}$	0.00 MW
			Potenza termica totale	$P_{Br,Brutto,total}$	3.30 MW

Turbina a condensazione

Teleriscaldamento		0.00 MWh/h
Elettricità ai morsetti		0.63 MWh/h
Efficienza TLR	η_{TLR}	0.00 %
Efficienza elettrica	η_{elec}	18.92 %
Rendimento totale	η_{Tot}	18.92 %

Turbina a contropressione

Teleriscaldamento		1.23 MWh/h
Elettricità ai morsetti		0.49 MWh/h
Efficienza TLR	η_{TLR}	37.28 %
Efficienza elettrica	η_{elec}	14.68 %
Rendimento totale	η_{Tot}	51.96 %

ALLEGATO 2

Valorizzazione termica dei fanghi

Verifica combustione forno per smaltimento annuo nominale (65'000 t/a)

ALLEGATO 2: Verifica combustione forno per smaltimento annuo nominale (65'000 t/a)

Progetto:	CAP
Scenario:	Produzione energia ottimizzata / 6 bara
Potere calorifico:	
Portata:	65000 t/a
Numero progetto:	25080
Numero documento:	
Azienda:	TBF + Partner AG
Elaborato da:	Fep
Data:	20.03.2018



Dati di input

Combustibile

Fango

Portata combustibile nel forno	\dot{m}_{BS}	5564	kg _{BS} / h	C → CO	α	0.01	Gew.% C
Temperatura combustibile	ϑ_{Br}	99.61	°C	C → C	β	2.67	Gew.% C
Potere calorifico combustibile	$H_{u,25^\circ C}$	3.45	MJ / kg _{BS}	C → CO ₂	1- α - β	97.32	Gew.% C
Potenza termica lorda	$P_{Br,Brutto}$	5.32	MW				

Fango ingresso essiccamento

Carbonio	ξ_C	8.15	% massa
Idrogeno	ξ_H	1.08	% massa
Ossigeno	ξ_O	4.91	% massa
Azoto	ξ_N	0.92	% massa
Zolfo	ξ_S	0.199	% massa
Cloro	ξ_{Cl}	0.038	% massa
Fluoro	ξ_F	0.001	% massa
Fosforo	ξ_P	0.000	% massa
Acqua	ξ_{H_2O}	74.10	% massa
Interni	ξ_{Inerti}	10.60	% massa
Totale		100.00	% massa
Quota sostanza combustibile	ξ_B	15.30	% massa
Quota sostanza secca (SS)	ξ_{TS}	25.90	% massa

Fango essiccato (combustibile)

Carbonio	ξ_C	11.90	% massa
Idrogeno	ξ_H	1.58	% massa
Ossigeno	ξ_O	7.16	% massa
Azoto	ξ_N	1.35	% massa
Zolfo	ξ_S	0.291	% massa
Cloro	ξ_{Cl}	0.056	% massa
Fluoro	ξ_F	0.001	% massa
Fosforo	ξ_P	0.001	% massa
Acqua	ξ_{H_2O}	62.20	% massa
Interni	ξ_{Inerti}	15.47	% massa
Totale		100.00	% massa
Quota sostanza combustibile	ξ_B	22.33	% massa
Quota sostanza secca (SS)	ξ_{TS}	37.80	% massa

Consumo vapore essiccamento	3.89	t/h	Ritorno condensato	3.89	t/h
Temperatura vapore	170	°C	Temperatura condensato	80.00	°C
Pressione vapore	6	bara	Pressione condensato	5	bara

Bruciatore ausiliario

Combustibile ausiliario	Erdgas H	Gas naturale H
Potere calorifico	$H_{u,ZBS,25^\circ C}$	47.32 MJ / kg _{ZBS}
Potenza bruciatore	$P_{bruciatore}$	0.00 kW
Esseso d'aria	λ_{ZBr}	1.200 [-]
Portata aria di raffreddamento	$L_{Kü,ZBr,f}$	0.000 Nm ³ L _f / h
Portata combustibile	\dot{m}_{ZBS}	0.00 kg _{ZBS} /h

Dati di input

Condizioni ambiente

Quota impianto	h	120.00	m	Aria ambiente		
Temperatura aria	ϑ_L	20.00	°C	Ossigeno	$\Phi_{L,O_{2,f}}$	20.59 Vol. % _f
Pressione aria	p_L	1.00	bara	Azoto	$\Phi_{L,N_{2,f}}$	77.77 Vol. % _f
Densità aria	ρ_L	1.18	kg aria / Nm ³ aria	Acqua	$\Phi_{L,H_2O,f}$	1.64 Vol. % _f
Umidità relativa	φ_L	70.00	%			

Scorie

Coefficiente trasferimento (CT) combustibile → fumi			Proprietà scorie		
CT zolfo	CT_S	68.65 % massa S	Contenuto carbonio residuo	$Y_{c,scorie,t}$	2 % massa S
CT cloro	CT_{Cl}	83.75 % massa Cl			
CT fluoro	CT_F	58.75 % massa F			

Perdite

Perdite camera combustione	$P_{ver,cam\ comb}$	0 kW	← Perdite camera combustione	$\zeta_{cam\ comb}$	0 %
Perdite caldaia - radiazione	$P_{Ver,caldaia}$	80 kW	← Perdite caldaia - radiazione	$\zeta_{caldaia}$	1.5 %
Perdita scorie	$P_{Verl,scorie}$	77 kW			
Perdite incombusti	$P_{Verl,incomb}$	186 kW	Potenza teorica combustibile	$P_{GBS,ideal}$	5'324 kW

Aria di combustione

Aria primaria e secondaria

Aria primaria				Aria secondaria			
Percentuale aria primaria	$\Phi_{PL,f,rel}$	90.00	Vol. % _f	Percentuale aria secondaria	$\Phi_{SL,f,rel}$	10.00	Vol. % _f
Temperatura AP prima del forno	$\vartheta_{PL,vO}$	290.00	°C	Temperatura AS prima del forno	$\vartheta_{SL,vO}$	50.00	°C
Preriscaldamento AP condensato				Preriscaldamento AS			
Attivo		Ja	Si	Attivo		Nein	No
Temp. AP dopo il preriscaldamento	$\vartheta_{PL,nL}$	108.7	°C	Temp. AS dopo prerisc.	$\vartheta_{SL,nL}$	50	°C
Temp. AP prima del preriscaldamento	$\vartheta_{PL,vL}$	20.0	°C	Temp. AS prima prerisc.	$\vartheta_{SL,vL}$	50	°C
Preriscaldamento AP vapore							
Attivo		Nein	No				
Temp. AP dopo il preriscaldamento	$\vartheta_{PL,nL}$	108.7	°C				
Temp. AP prima del preriscaldamento	$\vartheta_{PL,vL}$	108.7	°C				
Preriscaldamento AP caldaia							
Attivo		Ja	Si				
Temperatura AP dopo la caldaia	$\vartheta_{PL,nK}$	290.0	°C				
Temperatura AP prima della caldaia	$\vartheta_{PL,vK}$	108.7	°C				
Potenza totale preriscaldamento AP	$P_{LUVO,PL}$	1'052	kW	Potenza tot. Prerisc. AS	$P_{LUVO,SL}$	0	kW
Quantità AP				Quantità AS			
Volume AP umida	$\dot{V}_{PL,f}$	10'582	Nm ³ / h	Volume AS umida	$\dot{V}_{SL,f}$	1'176	Nm ³ / h
Portata AP umida	$\dot{m}_{PL,f}$	13'543	kg / h	Portata AS umida	$\dot{m}_{SL,f}$	1'505	kg / h

Aria di combustione bruciatore ausiliario

Aria di combustione bruciatore ausiliario

Portata effettiva aria secca	$V_{ZBrL,t}$	0	Nm ³ ZBrL/h
Portata assoluta aria secondaria	$V_{ZBrL,f}$	0	Nm ³ ZBrL/h

Ricircolo fumi

Dati				Portata fumi ricircolo			
Temperatura fumi ricircolo	ϑ_{Rezi}	200	°C	Portata fumi di ricircolo se	$\dot{V}_{Rezi,t}$	0	Nm ³ / h
Coefficiente miscelazione ric. fumi	ζ_{Rezi}	100	%	Portata fumi di ricircolo un	$\dot{V}_{Rezi,f}$	0	Nm ³ / h

Immissione aria in caldaia

Quota assoluta AP	$\Phi_{PL,f,abs}$	90.0	Vol. % _f	Quota ass. aria terziaria	$\Phi_{TL,f,abs}$	0.0	Vol. % _f
Quota assoluta AS	$\Phi_{SL,f,abs}$	10.0	Vol. % _f	Q. ass. aria bruc. ausiliari	$\Phi_{ZBrL,f,abs}$	0.0	Vol. % _f
Quota assoluta ricircolo	$\Phi_{Rezi,f,abs}$	0.0	Vol. % _f	Q. ass. aria raffr. br. aus.	$\Phi_{KüZBr,f,abs}$	0.0	Vol. % _f

Output

Inquinanti nei fumi

Percentuali vol. umido				Inquinanti normalizzati		Tenore O ₂ cond. normali		$\Phi_{O_2,t,Bez}$ 11 Vol. % _t	
Contenuto CO ₂ nei fumi	$\Phi_{RG,CO_2,f}$	7.072	Vol. % _f	CO secco	$\varrho_{RG,CO_2,s,n}$	11	mg / Nm ³ _s		
Contenuto H ₂ O nei fumi	$\Phi_{RG,H_2O,f}$	32.404	Vol. % _f	SO ₂ secco	$\varrho_{RG,SO_2,s,n}$	1'592	mg / Nm ³ _s		
Contenuto N ₂ nei fumi	$\Phi_{RG,N_2,f}$	54.513	Vol. % _f	HCl secco	$\varrho_{RG,HCl,s,n}$	193	mg / Nm ³ _s		
Contenuto O ₂ nei fumi	$\Phi_{RG,O_2,f}$	5.955	Vol. % _f	HF secco	$\varrho_{RG,HF,s,n}$	3	mg / Nm ³ _s		

Portate fumi (senza ricircolo)

CO ₂	\dot{V}_{RG,CO_2}	1'194	Nm ³ / h	CO ₂	\dot{m}_{RG,CO_2}	2'360	kg / h
CO	$\dot{V}_{RG,CO}$	0.1	Nm ³ / h	CO	$\dot{m}_{RG,CO}$	0.2	kg / h
H ₂ O	\dot{V}_{RG,H_2O}	5'471	Nm ³ / h	H ₂ O	\dot{m}_{RG,H_2O}	4'397	kg / h
SO ₂	\dot{V}_{RG,SO_2}	7.6	Nm ³ / h	SO ₂	\dot{m}_{RG,SO_2}	22.2	kg / h
N ₂	\dot{V}_{RG,N_2}	9'203	Nm ³ / h	N ₂	\dot{m}_{RG,N_2}	11'508	kg / h
O ₂	\dot{V}_{RG,O_2}	1'005	Nm ³ / h	O ₂	\dot{m}_{RG,O_2}	1'437	kg / h
HCl	$\dot{V}_{RG,HCl}$	1.6	Nm ³ / h	HCl	$\dot{m}_{RG,HCl}$	3	kg / h
HF	$\dot{V}_{RG,HF}$	0.1	Nm ³ / h	HF	$\dot{m}_{RG,HF}$	0.0	kg / h
Volume fumi secchi	$\dot{V}_{RG,t}$	11'412	Nm ³ / h	Portata fumi secchi	$\dot{m}_{RG,t}$	15'329	kg / h
Volume fumi umidi	$\dot{V}_{RG,f}$	16'882	Nm ³ / h	Portata fumi umidi	$\dot{m}_{RG,f}$	19'727	kg / h

Portata fumi in camera di combustione (incluso ricircolo)

Volume fumi cam. comb. secco	$\dot{V}_{FRG,t}$	11'412	Nm ³ / h	Portata fumi cam. comb. secco	$\dot{m}_{FRG,s}$	15'329	kg / h
Volume fumi cam. comb. umido	$\dot{V}_{FRG,f}$	16'882	Nm ³ / h	Portata fumi cam. comb. umido	$\dot{m}_{FRG,u}$	19'727	kg / h

Temperature

Temp. adiabatica di fiamma	T_{ad}	904	°C
Temp. post prerisc. AP caldaia	$\vartheta_{RG,nLUVO,caldaia}$	816	°C
Temperatura uscita caldaia	$\vartheta_{caldaia,out}$	200	°C
Temperatura ricircolo	ϑ_{Rezi}	200	°C
Temp. ingresso eco esterno	$\vartheta_{Eco,in}$	200	°C
Temp. uscita eco esterno	$\vartheta_{Eco,out}$	180	°C

Output

Combustione

Key Points

Eccesso aria totale	λ_{total}	1.710	[-]	Eccesso AP	λ_{PL}	1.54	[-]
Temp. di combustione adiabatica	T_{ad}	904	°C	Eccesso AS	λ_{SL}	0.17	[-]
Volume O ₂ secco	$\Phi_{O_2,s}$	8.810	Vol. % _s				

Potenza in ingresso

Potenza AP	P_{PL}	1'033	kW	→	Potenza AP	P_{PL}	15.5	%
Potenza AS	P_{SL}	11	kW	→	Potenza AS	P_{SL}	0.2	%
Potenza aria terziaria	P_{TL}	0	kW	→	Potenza aria terziaria	P_{TL}	0.0	%
Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0	kW	→	Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0.0	%
Potenza aria. bruc. ausiliario	P_{ZBrL}	0	kW	→	Potenza aria. bruc. ausiliario	P_{ZBrL}	0.0	%
Potenza aria raffr. bruc. ausiliario	$P_{KüZBrL}$	0	kW	→	Potenza aria raffr. bruc. ausiliario	$P_{KüZBrL}$	0.0	%
Potenza combustibile	$P_{Br,oGV}$	5'324	kW	→	Potenza combustibile	$P_{Br,korr}$	79.8	%
Potenza preriscaldamento combustibile	$P_{Br,Vorwär}$	301	kW	→	Potenza preriscaldamento combustibile	$P_{Br,Vorwär}$	4.5	%
Potenza combustibile ausiliario	P_{ZBr}	0	kW	→	Potenza combustibile ausiliario	P_{ZBr}	0.0	%
Potenza totale in ingresso		6'668	kW		Totale uscita		100.000	%

Potenza in uscita

Produzione di vapore	P_{vapore}	4'588	kW	→	Produzione di vapore	P_{vapore}	68.8	%
Preriscaldamento caldaia AP	$P_{caldaia,PL}$	710	kW	→	Preriscaldamento caldaia AP	$P_{caldaia,PL}$	10.7	%
Potenza fumi	P_{RG}	1'027	kW	→	Potenza fumi	P_{RG}	15.4	%
Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0	kW	→	Potenza ricircolo	P_{Rezi}	0.0	%
Perdite caldaia	$P_{Ver,caldaia}$	80	kW	→	Perdite caldaia	$P_{Ver,caldaia}$	1.2	%
Perdite camera combustione	$P_{Ver,Brenn}$	0	kW	→	Perdite camera combustione	$P_{Ver,Brenn}$	0.0	%
Perdite scorie	$P_{Ver,Schlack}$	77	kW	→	Perdite scorie	$P_{Ver,Schlack}$	1.2	%
Perdite incombusti nelle scorie	$P_{Ver,GV}$	186	kW	→	Perdite incombusti nelle scorie	$P_{Ver,GV}$	2.8	%
Potenza totale in uscita		6'668	kW		Totale uscita		100	%

Potenza fumi camera combustione $P_{FRG,in}$ 6'405 kW

di cui:

Produzione vapore caldaia	$P_{caldaia}$	4'453	kW	→	Produzione vapore caldaia	$P_{caldaia}$	97	%
Produzione vapore eco esterno	P_{Eco}	135	kW	→	Produzione vapore eco esterno	P_{Eco}	3	%

Rendimenti

Rendimento di combustione			Rendimento di caldaia		
Rendimento	η_F	95.056 %	Rendimento incl. preriscaldamento AP	η_K	82.720 %

Output

Produzione di vapore

Key Points

Temperatura ingresso turbina	T_{FD}	450 °C			
Pressione ingresso turbina	P_{FD}	65 bara			
Portata vapore	\dot{m}_{FD}	6.0 t/h	Potenza vap. in turbina	P_{FD}	4'588 kW
Produzione di vapore in caldaia	$P_{caldaia}$	4'453 kW	→ Prod. vapore in caldaia	$P_{caldaia}$	97 %
Produzione di vapore eco esterno	P_{Eco}	135 kW	→ Prod. vapore eco esterno	P_{Eco}	3 %
Potenza termica lorda	$P_{Br,lorda}$	5.3 MW			
Totale preriscaldamento AP	$P_{LUVO,PL}$	1.1 MW			
Potenza caldaia incl. eco esterno	P_{FD}	4.6 MW			
Temperatura adiabatica di comb.	T_{ad}	904 °C			
Quota O ₂ secco nei fumi	$\Phi_{O_2, s}$	8.8 Vol.% _s			
Portata fumi prima dei trattamenti	$\dot{V}_{RG, f}$	16'882 Nm ³ f/h			
Rendimento di caldaia	η_K	86.2 %			
Produzione di vapore	\dot{m}_{FD}	6.0 t/h			
Potenza caldaia escl. eco	$P_{caldaia}$	4.5 MW			
Potenza eco esterno	P_{Eco}	0.1 MW			

Output

Rendimento complessivo dell'impianto

Fango umido	\dot{m}_{BS}	8120 kg _{Schlamm} / h			
Potere calorifico spec. combustibile	$H_{u,25^\circ C}$	1.59 MJ / kg _{Schlamm}	Potenza termica lorda	$P_{Br,Brutto}$	3.59 MW
Grigliato	\dot{m}_{BS}	0 kg _{Schlamm} / h			
Potere calorifico spec. grigliato	$H_{u,25^\circ C}$	4.76 MJ / kg _{Schlamm}	Potenza termica lorda	$P_{Br,Brutto}$	0.00 MW
			Potenza termica totale	$P_{Br,Brutto,total}$	3.59 MW

Turbina a condensazione

Teleriscaldamento		0.00 MWh/h
Elettricità ai morsetti		0.68 MWh/h
Efficienza TLR	η_{TLR}	0.00 %
Efficienza elettrica	η_{elec}	19.00 %
Rendimento totale	η_{Tot}	19.00 %

Turbina a contropressione

Teleriscaldamento		1.39 MWh/h
Elettricità ai morsetti		0.52 MWh/h
Efficienza TLR	η_{TLR}	38.76 %
Efficienza elettrica	η_{elec}	14.57 %
Rendimento totale	η_{Tot}	53.33 %