



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**Università degli studi di Padova**  
**Facoltà di Ingegneria**  
**Dipartimento di Principi e Impianti di Ingegneria Chimica**  
**“I. Sorgato”**

Corso di laurea triennale in Ingegneria Chimica

Tesi di Laurea

*Bilancio energetico e idroesigenza del  
termovalorizzatore di Padova*

RELATORE:  
CORRELATORE

Prof. Ing. Gabriele Scaltriti  
Ing. Giuseppe Sergio Trapanotto

Laureando  
Mauro Parisotto  
matricola 562268 IH

Anno Accademico 2010 / 2011



# Riassunto

In questo elaborato vengono presentati gli studi effettuati presso la terza linea del termovalorizzatore San Lazzaro di Padova.

Innanzitutto si riporta una dettagliata descrizione del processo che avviene nell'impianto mettendo in evidenza le tecnologie più avanzate e innovative utilizzate al suo interno.

Successivamente alla descrizione si riportano i bilanci massivi ed energetici del processo effettuati allo scopo di individuare il rendimento termico dell'intero ciclo di incenerimento dei rifiuti.

Il bilancio energetico riportato è stato poi utilizzato per stimare l'impatto ambientale dovuto allo scarico delle acque di raffreddamento.

Infine si riporta lo studio di idroesigenza dell'intero processo con la determinazione qualitativa e quantitativa del consumo d'acqua necessario alla termovalorizzazione.



## INDICE

|  |       |
|--|-------|
| 0. Introduzione  | p. 1  |
| 1. <u>L'impianto è il processo di termovalorizzazione</u>                            |       |
| 1.1 La terza linea dell'impianto San Lazzaro   | p. 3  |
| 1.1.1 Ricevimento rifiuti e stoccaggio   | p. 5  |
| 1.1.2 Il forno e la camera di combustione  | p. 5  |
| 1.1.3 Il generatore di vapore  | p. 7  |
| 1.1.4 Il ciclo termico e la generazione di energia elettrica                         | p. 8  |
| 1.1.5 La linea trattamento fumi  | p. 10 |
| 2. <u>Bilancio termico dell'impianto e calcolo dell'energia dispersa nel Piovego</u> |       |
| 2.1 Caratterizzazione del rifiuto in ingresso  | p. 11 |
| 2.2 Bilancio alla camera di combustione  | p. 13 |
| 2.3 Bilancio all'evaporatore   | p. 18 |
| 2.4 Bilancio alla turbina  | p. 21 |
| 2.5 Bilancio al condensatore   | p. 25 |
| 2.5.1 Perdite dovute al sottoraffreddamento del condensato                           | p. 27 |
| 2.6 Quadro normativo riguardante lo scarico delle acque di condensazione             | p. 29 |
| 2.6.1 Verifica del rispetto dei limiti di scarico                                    | p. 30 |

### 3. Studio di idroesigenza del processo di termovalorizzazione

|        |   |       |
|--------|---|-------|
| 3.1    | Analisi dei flussi in ingresso e in uscita        | p. 31 |
| 3.2    | Consumo di acqua potabile                         | p. 32 |
| 3.3    | Acque meteoriche                                  | p. 34 |
| 3.4    | Acqua proveniente dal bacino idrico Piovego       | p. 35 |
| 3.5    | Impianto di depurazione chimico-fisico            | p. 36 |
| 3.5.1  | Schema a blocchi dell'impianto di depurazione     | p. 36 |
| 3.5.2  | Dissabbiatura e grigliatura                       | p. 39 |
| 3.5.3  | Equalizzazione                                    | p. 40 |
| 3.5.4  | Trattamento nitriti e nitrati con acido sulfamico | p. 41 |
| 3.5.5  | Coagulazione                                      | p. 42 |
| 3.5.6  | Flocculazione                                     | p. 43 |
| 3.5.7  | Sedimentazione                                    | p. 43 |
| 3.5.8  | Affinaggio e filtrazione dell'acqua               | p. 45 |
| 3.5.9  | Disidratazione dei fanghi                         | p. 46 |
| 3.5.10 | Seconda linea di trattamento                      | p. 47 |
| 3.6    | Bilancio massivo di acqua e stima dei consumi     | p. 48 |

### 4. Conclusioni p. 50

## Riferimenti Bibliografici

# Introduzione

L' incenerimento è una tecnica che permette il trattamento di un'ampia tipologia di rifiuti, la tecnologia in questo campo ha fatto dei grandi passi avanti nell'ultimo decennio.

I cambiamenti tecnologici sono stati dettati dalla necessità di seguire normative sempre più ferree, soprattutto nel controllo delle emissioni atmosferiche e degli inquinanti liquidi prodotti dalle installazioni.

E' sorta quindi l'esigenza di trovare nuove soluzioni tecnologiche per rientrare nei parametri imposti dalle normative, senza trascurare però l'aspetto economico, di costruzione e di gestione dell'impianto.

L'obbiettivo dell'incenerimento è quello di trattare i rifiuti, ottenendo una drastica riduzione del volume, e catturare o distruggere le sostanze pericolose contenute nel rifiuto stesso, rendendo quest'ultimo inerte e innocuo per l'ambiente e per la salute umana[1].

A differenza di altri trattamenti la convenienza economica dell' incenerimento è dovuta al fatto che è possibile effettuare il recupero dell'energia termica ottenuta dalla combustione dei rifiuti e consecutivamente trasformarla in energia elettrica, questa può essere poi riutilizzata per alimentare l'impianto o essere venduta ad enti che ne effettuano l'erogazione, da ciò nasce la definizione di termovalorizzatore.

Il rifiuto urbano viene quindi pensato come una risorsa per la produzione di energia elettrica.

Il principio alla base del processo è l' ossidazione delle frazioni combustibili contenute nel rifiuto.

Il rifiuto entrante è molto eterogeneo e contiene diverse tipologie di materiali che vanno da sostanze organiche, minerali, metalli e acqua. Durante il processo d'incenerimento si creano dei flussi gassosi che contengono la maggior parte dell'energia termica; essi, raggiunta la temperatura d'infiammabilità o *flash point* ed entrati in contatto con la giusta frazione d'ossigeno, innescano la combustione che rilascia energia[2].

Il lavoro condotto ha consentito un'ampia dati riguardanti la linea 3 dell'inceneritore con recupero energetico San Lazzaro, l'installazione impiantistica è sita a Padova nella zona industriale adiacente al centro città.

L' impianto riceve rifiuti solidi urbani (RSU) e rifiuti ospedalieri ( CER 18\*\*\*\*).

In una prima analisi si effettuerà una valutazione del rendimento energetico dell'impianto e successivamente si studierà l'impatto ambientale dovuto all'utilizzo dell'acqua di raffreddamento per la condensazione del vapore scaricato dalla turbina.

Il servizio d'acqua viene fornito dal canale Piovego sulle quali sponde sorge l'impianto.

L'acqua viene prelevata dal canale e dopo esser stata riscaldata, a scopo di condensazione vapore, viene riimmessa nel corso d'acqua ad una temperatura maggiore.

Lo scarico se non controllato può essere dannoso per l'ecosistema del canale ricettore il quale subisce un aumento di temperatura dovuto alla potenza termica dispersa dall' impianto.

La variazione di temperatura se troppo elevata può alterare le condizioni naturali del corso d'acqua con la possibile scomparsa di flora e fauna autoctona, sia al suo interno che nelle zone limitrofe alle sponde.

Per eseguire un corretto studio si deve partire dalla radice del problema rappresentata dalla caratterizzazione del rifiuto e attraverso lo sviluppo di bilanci massivi ed energetici alle varie sezioni di impianto si risale alla potenza termica dispersa nel canale recettore e il suo conseguente aumento di temperatura.

Infine si verificherà che i valori ottenuti rientrino nei parametri imposti dalla vigente normativa riguardante gli scarichi industriali in acque superficiali .

In una seconda fase si analizzeranno i consumi idrici riguardanti la linea 3 mediante uno studio di idroesigenza.

Con tale studio si sono individuate le correnti d'acqua che partecipano al processo e mediante raccolta dati e rielaborazione di tali si è eseguita una stima sui consumi annui dell'installazione

Si può così successivamente valutare l'impatto dell'impianto sul bacino idrico territoriale, stimando la quantità di acqua richiesta per il trattamento di una tonnellata di RSU, tale risultato verrà successivamente comparato a quello ottenuto in altre installazioni impiantistiche di tale tipologia.

# Capitolo 1

## L' impianto e il processo d'incenerimento con recupero di energia

In questo capitolo si descriveranno le principali caratteristiche costruttive e di processo, della terza linea d'incenerimento. Saranno presentate le singole sezioni che lo compongono, il loro funzionamento e il loro scopo all'interno del ciclo, mettendo in risalto le caratteristiche più notevoli dal punto di vista tecnologico.

### 1.1 La Terza Linea dell'Impianto San Lazzaro

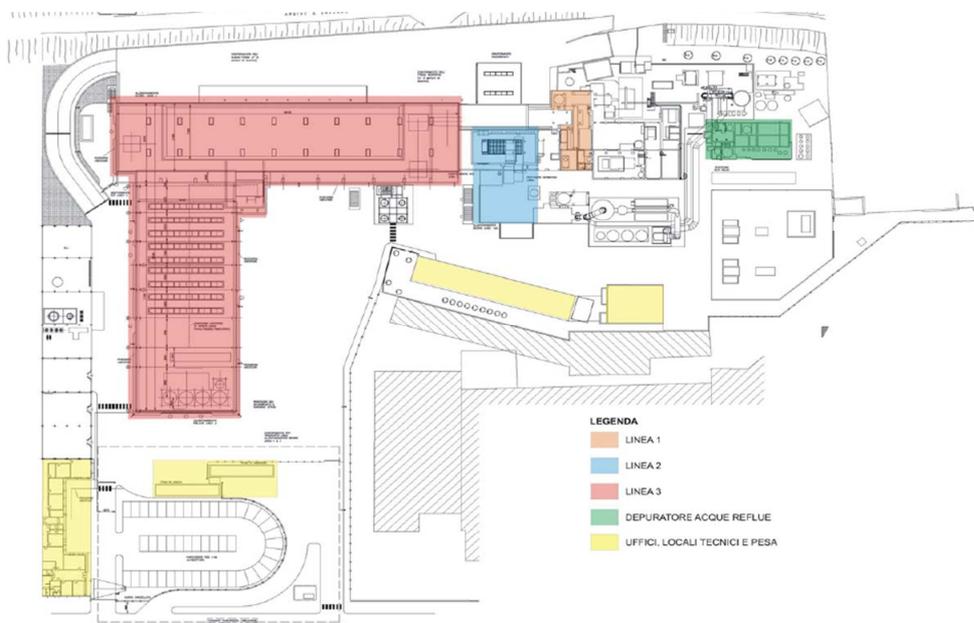


Fig. 1.1.1: Planimetria complesso di termovalorizzazione San Lazzaro

La linea 3 dell'impianto San Lazzaro di Padova di recente costruzione (2010) affianca altre 2 linee già esistenti costituendo un complesso di incenerimento da 512 t/g di RSU con potere calorifico inferiore di 2900 kcal/kg.

L'impianto sito nella zona industriale adiacente alla cinta muraria della città di Padova si affaccia sulle sponde del Piovego, bacino da cui si attinge l'acqua di raffreddamento utilizzata dall'impianto.

L'impianto riceve i rifiuti solidi urbani e ospedalieri di tutta la provincia di Padova.

La terza linea si distingue dalle altre 2 sia per tecnologie utilizzate sia per dimensione, infatti, presa separatamente può far fronte ad una portata giornaliera di 300 t.

Il processo può essere brevemente descritto dal diagramma di flusso in Figura 1.1.

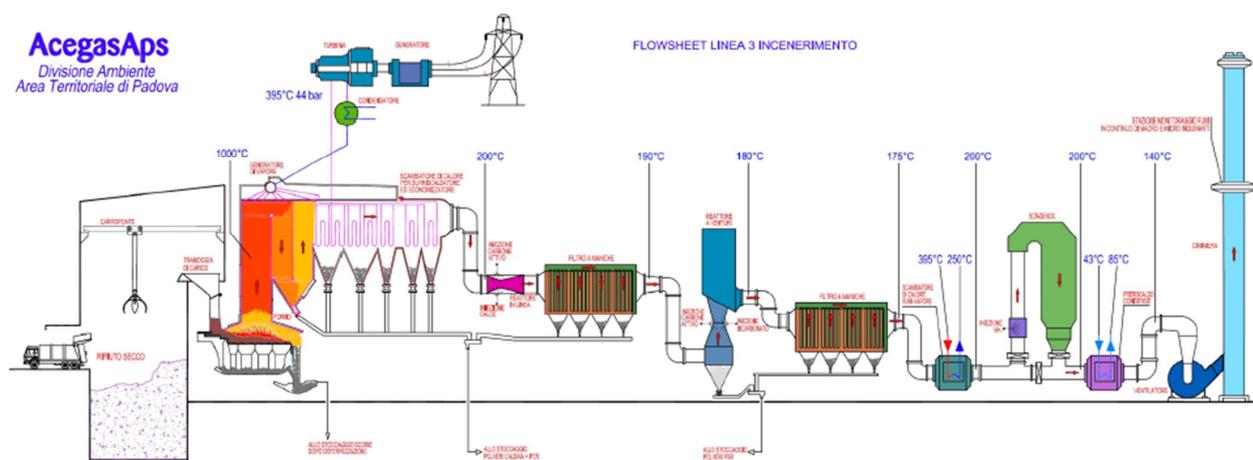


Fig.1.1.2: Schema d'impianto linea 3

Il calore generato nella camera di combustione mediante l'incenerimento del RSU viene utilizzato per produrre un vapore surriscaldato che alimenta una turbina di espansione che è collegata ad un generatore sincrono trifase.

I fumi uscenti dal generatore di vapore subiscono un trattamento dove le sostanze inquinanti vengono abbattute attraverso trattamenti chimici, meccanici e termici e immessi consecutivamente in atmosfera.

### *1.1.1 Ricevimento rifiuti e stoccaggio*

I rifiuti vengono recapitati all'impianto di incenerimento con mezzi su gomma.

Innanzitutto i camion in ingresso vengono sottoposti ad un controllo della radioattività mediante un dispositivo di controllo posto in ingresso all'impianto, in caso di carico radioattivo il rifiuto non può essere trattato e deve subire un trattamento di individuazione e bonifica della fonte di radioattività.

Passato questo controllo il mezzo viene pesato a carico e inviato sul retro della struttura dove sono presenti 8 portali scorrevoli attraverso i quali i camion scaricano a caduta i rifiuti in fossa.

I rifiuti vengono quindi stoccati all'interno di una fossa che può contenere fino a 13000 m<sup>3</sup> di RSU. Qui una benna manovrata da un operatore provvede alla continua movimentazione del RSU in modo da uniformarlo nel limite delle possibilità, questa operazione è atta a fornire un rifiuto avente un potere calorifico abbastanza costante nel tempo.

Altro percorso subiscono invece i rifiuti ospedalieri, questi sono imballati in specifici contenitori e vengono scaricati manualmente su nastro trasportatore, successivamente mediante elevatore recapitati direttamente nella tramoggia di carico dei rifiuti tramite chiamata del bennista dalla sala controllo. L'incenerimento di questa tipologia di rifiuto avviene in quantità modeste a causa del possibile tasso elevato di mercurio presente, che si riscontrerebbe successivamente nei fumi rilasciati in atmosfera.

I camion in uscita vengono ripesati a vuoto per risalire al peso dei rifiuti scaricati.

### *1.1.2 Il Forno e la camera di combustione*

Il forno e la camera di combustione sono il cuore dell'impianto e nel caso della linea 3 rappresentano anche la zona tecnologicamente più avanzata, gli RSU vengono recapitati all'interno mediante un condotto dove vengono caricati dalla fossa rifiuti attraverso benna, la tramoggia di carico deve essere sempre piena, questo fatto è dovuto al leggero grado di vuoto presente nella camera di combustione.

Si lavora leggermente in depressione per evitare che il fuoco si propaghi alla fossa di stoccaggio dei rifiuti, in questo modo si ottiene anche l'ingresso automatico dei rifiuti una volta inseriti nella tramoggia di carico.

Oltre ai rifiuti (combustibile) vengono inviate al forno due flussi d'aria con la funzione di comburente e controllo di processo.

L'incenerimento avviene su una griglia mobile di tipo MARTIN che assicura la massima resa di combustione.

La griglia è formata da una serie di barre metalliche (Figura 1.2) che attraverso un sistema meccanico di biellismi scorrono l'una sull'altra imponendo l'avanzamento del rifiuto nel forno.

Per ottimizzare le condizioni di combustione è presente un sistema di controllo su vari parametri quali il vapore prodotto (sbalzi di produzione creano problemi in turbina) la temperatura e l'ossigeno che attraverso impulsi automatizzati eseguono la regolazione della velocità di avanzamento del combustibile e il dosaggio dell'aria in base al singolo parametro su cui si preferisce eseguire il controllo.

A causa dell'alto potere calorifero le prime 2 zone della griglia sono raffreddate con un ciclo ad acqua, il calore da essa assorbito viene recuperato e sfruttato per scaldare la corrente d'aria primaria in ingresso a 140°C diminuendo così le perdite termiche.

L'aria secondaria non subisce alcun riscaldamento ed entra ad una temperatura di 25 °C, essa viene prelevata dalla parte alta del locale dove è posto il forno in cui la temperatura è maggiore rispetto alle altre zone d'impianto.

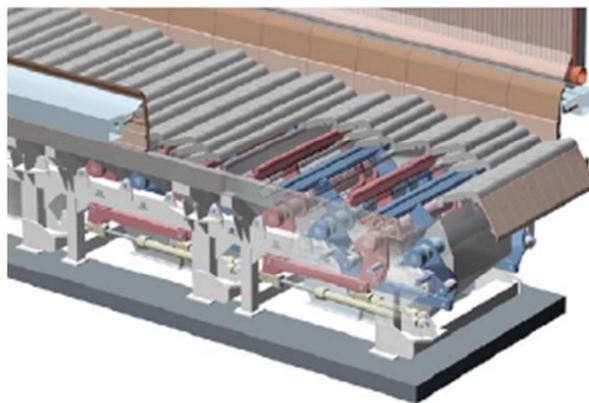


Figura 1.1.2.1: Vista delle barre componenti della griglia

L'aria secondaria ha la funzione di completare l'ossidazione degli incombusti e fornire il giusto eccesso d'aria (non deve essere troppo elevato, poiché causerebbe perdite termiche e la formazione di  $\text{NO}_x$ ).

Il flusso viene immesso ad alta pressione nella zona di divisione tra camera di combustione e postcombustione, l'elevata velocità d'ingresso determina la formazione di una lama d'aria che agisce da divisorio fra le camere.

Con i valori di set up con cui l'impianto funziona la temperatura in camera di combustione supera facilmente i 1000°C, temperatura ben al di sopra di quella imposta dalla legge per impedire la formazione di diossine (850 °C). Se a causa di un brusco calo di potere calorifico del rifiuto trattato tale temperatura non dovesse essere raggiunta, l'impianto provvede a fornire calore mediante bruciatori ausiliari alimentati a metano.



Figura 1.1.2.2: Vista del forno in funzionamento

Le scorie derivanti dalla combustione (inerti e incombusti) vengono fatte precipitare mediante sistema automatico nella sezione sottostante alla griglia e vengono successivamente immesse in una gondola colma d'acqua dove vengono raffreddate. La gondola è progettata in modo che l'acqua di raffreddamento eserciti la funzione di tappo idraulico impedendo l'entrata indesiderata di aria nel forno. Data l'elevata temperatura delle scorie si rende necessario un reintegro continuo di acqua.

### *1.1.3 Il Generatore di vapore*

I fumi in uscita dalla zona combustione entrano in una caldaia a recupero energetico dove si genera vapore sfruttando la loro potenza termica. La caldaia è di tipo a tubi d'acqua, la scelta di un comparto di questa tipologia è stata dettata dal fatto che i fumi in ingresso sono estremamente sporcanti e ricchi di ceneri grossolane che se passassero interno tubi ne causerebbero l'ostruzione.

La caldaia è provvista di un sistema di pulizia meccanico che consiste in una serie di martelli caricati a molla che colpiscono i tubi ad intervalli di tempo regolari, facendo così cadere le

ceneri depositate all' esterno dei tubi. Le ceneri sono evacuate dalla caldaia mediante valvole a doppio *clapet*, che impediscono l'ingresso di aria, e recapitate all'interno di sacchi *big-bag* attraverso trasporto su *raddler* pneumatici, stoccati e successivamente smaltiti secondo vigente normativa da ditte che effettuano il servizio conto terzi.

La caldaia è composta di varie sezioni, in ordine di ingresso fumi si incontrano tre evaporatori, due surriscaldatori e infine 2 economizzatori.

Gli economizzatori provvedono al preriscaldamento dell'acqua proveniente da un ciclo chiuso d'acqua demineralizzata prodotta in loco e degasata. Il degasamento è un trattamento obbligato alla salvaguardia delle tubazioni della caldaia e al rendimento nei successivi trattamenti (eliminazione incondensabili) che consiste nel rimuovere l'ossigeno nella corrente attraverso un frazionamento meccanico ottenuto mediante iniezione di vapore in pressione. Gli evaporatori causano il passaggio di stato vaporizzando completamente il flusso d' acqua, il vapore così generato entra nei surriscaldatori dove si produce vapore surriscaldato ad una pressione di 44 bar e alla temperatura di 400° C.

### *1.1.4 Ciclo termico e generazione di energia elettrica*

Il flusso di vapore surriscaldato in uscita dalla caldaia va ad alimentare una turbina di espansione dove subisce un' espansione fino a pressione di 0,074 bar raggiungendo una temperatura di 40° C, una parte di vapore entrante in turbina viene derivata a una pressione di circa 6 bar.

La frazione spillata viene utilizzata come mezzo di degasamento dell' acqua demineralizzata e allo stesso tempo come mezzo riscaldante di quest'ultima attraverso miscelazione, effettuando così un recupero termico.

L'asse della turbina è accoppiato con un generatore di corrente di potenza attiva nominale di 11,4 MW, la produzione di energia è però limitata a 11,3 MW. Tale vincolo è imposto dal limite tecnologico che presenta il riduttore di giri con cui è stato effettuato l' accoppiamento assi turbina-generatore.

In caso di improvviso aumento di vapore prodotto superato lo sviluppo 11,3 MW di energia il flusso viene deviato da una valvola a cascata ad un bypass che porta il vapore in eccesso al condensatore.

Il 15% dell'energia prodotta viene utilizzata per l'alimentazione dell'impianto e la frazione rimanente viene venduta all' ENEL come energia di rete.

La portata di vapore spillato può essere variata fino ad una portata massima di 41 t/h (dato costruttivo della turbina), condizione che consentirebbe in futuro di sfruttare il vapore spillato in un circuito di teleriscaldamento, processo in cui si sfrutta il vapore prodotto per il riscaldamento di acqua che andrà a scaldare locali pubblici e privati, per cui l'impianto è già predisposto.

Il vapore in uscita dalla valvola di bassa pressione della turbina subisce un raffreddamento che causa la completa condensa del flusso. Come mezzo refrigerante per eseguire questo trattamento è utilizzata acqua prelevata direttamente dal canale Piovego .



Figura 1.1.4.1: Turbina e condensatore

L'acqua di raffreddamento viene servita al circuito con una portata media di 2000 m<sup>3</sup>/h mediante l'utilizzo di 3 pompe centrifughe ( 2 funzionanti e 1 di riserva ) con portata nominale di 1300 m<sup>3</sup>/h

L'acqua di raffreddamento ricca di potenza termica viene scaricata nel canale di presa dove viene dispersa una notevole quantità di calore.

### *1.1.5 Linea trattamento fumi*

I fumi prodotti dalla combustione del RSU dopo aver ceduto una parte di calore in caldaia, atta alla produzione del vapore, escono ad una temperatura di circa 210° C. Questi fumi derivando dalla combustione sporca di materiale grezzo, sono cariche di sostanze inquinanti che non possono essere immesse in atmosfera.

Le correnti in uscita devono quindi subire un trattamento che deve assicurare l'abbattimento delle sostanze dannose e successivo abbattimento termico per riuscire ad effettuare l'emissione in atmosfera con parametri entro i limiti stabiliti dalle norme vigenti in materia.

La sezione trattamento fumi della linea 3 presenta tecnologie avanzate che secondo dati di esercizio sugli scarichi consentono un'emissione atmosferica di inquinanti molto più bassa rispetto al limite di legge.

Il controllo dei fumi viene effettuato in una stazione adiacente all'uscita del camino dove in automatico si monitorizza in continuo l'emissione degli specifici inquinanti.

Il trattamento avviene in un filone composto da vari step di abbattimento specifici.

Inizialmente i fumi uscenti dalla caldaia vengono fatti passare per un venturi dove sono dosati calce e carbone attivo. Il primo reagente neutralizza gli agenti acidi mentre i carboni incorporano al loro interno i metalli pesanti.

Subiti questi trattamenti chimici i fumi passano per una prima batteria di filtri a maniche dove vengono trattenute le sostanze reagite nella precedente stazione.

I fumi filtrati entrano in un secondo stadio di trattamento chimico dove vengono messi a contatto in un reattore venturi con bicarbonato di sodio che reagisce con le sostanze acide rimaste.

A valle di questo reattore è posta un'altra batteria di filtri a maniche con luce minore che oltre ad abbattere le sostanze acide trattiene anche le polveri sottili create nella combustione.

La corrente aeriforme viene poi preriscaldata (mediante una porzione di vapore spillato) e inviata a un reattore DeNoox dove ad essere abbattuti sono gli ossidi di azoto. L'abbattimento avviene mediante una reazione a secco con gas ammoniacale, su letto catalitico di ossidi di vanadio, con formazione di O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>.

I fumi vengono infine raffreddati e inviati al camino dove poi vengono immessi nell'atmosfera.

Peculiarità della linea trattamento fumi è l'assenza di trattamenti ad umido, infatti, tutti i reagenti chimici sono dosati in polvere, ciò dà un vantaggio dal punto di vista ambientale eliminando reflui liquidi altamente inquinanti contenenti sostanze chimiche pericolose.

# Capitolo 2

## Bilancio termico dell'impianto e calcolo del energia dispersa nel Piovego

Nella seguente sezione sarà analizzato il ciclo termico nella sua interezza, partendo dalla caratterizzazione del RSU e sviluppando i bilanci di massa ed energia alle singole stazioni si arriverà alla determinazione della potenza termica assorbita dall'acqua di raffreddamento e di conseguenza dispersa nel canale recettore Piovego.

I calcoli verranno sviluppati facendo riferimento alle condizioni normali ( $P=P_{atm}, T=0^{\circ}C$ ) i dati utilizzati rappresentano valori di set point operativi derivanti da un lavoro di raccolta ed elaborazione dati svolto nei 3 mesi di studio dell'impianto e non da stime progettuali.

### 2.1. Caratterizzazione del Rifiuto in Ingresso

I rifiuti in ingresso sono definiti come rifiuti solidi urbani (RSU), la determinazione delle caratteristiche di tali rifiuti è molto complessa visto le variazioni che possono avere a seconda di vari fattori.

Gli RSU sono una tipologia di rifiuto derivante dall'attività umana e le loro caratteristiche dipendono come sopradetto da vari fattori che possono influenzare queste attività, per esempio dal luogo in cui si producono, dalla stagione e da molti altri, ciò implica un impossibilità di reperire dati certi riguardanti queste tipologie di residui.

La caratterizzazione del rifiuto sta però alla base dello studio effettuato, questo perché la sua composizione da informazioni sul potere calorifico che incide in modo importante sui bilanci.

Per potere calorifico si intende la *quantità di calore estraibile dai prodotti di una combustione completa con deflusso, derivanti dall'unità di massa combustibile, quando sono raffreddati fino alla temperatura iniziale dei reagenti* [3].

Nello studio è stato necessario quindi fare riferimento ad un certo dato di potere calorifico inferiore, il dato utilizzato è di 2900 Kcal/Kg è stato ricavato da analisi merceologica effettuata da AcegasAPS . Le analisi hanno permesso l'individuazione della composizione grossolana del rifiuto (carta,plastica,metallo...) e attraverso la conoscenza del potere calorifico inferiore delle varie frazioni di risalire al valore finale riguardante il rifiuto totale. Si riportano in tabella sottostante i dati ottenuti dalla suddetta analisi sul campione prelevato in fossa rifiuti. I campionamenti sono stati eseguiti secondo metodologia standard

| Frazione                 | Peso (Kg) | % Tal Quale | % Secco | PCI frazione (KJ/Kg) | PCI (KJ/Kg)  |
|--------------------------|-----------|-------------|---------|----------------------|--------------|
| Materiale Org.(tessuti)  | 7,24      | 4,26        | 3,56    | 21350                | 759          |
| Carta (imballi)          | 6,26      | 3,69        | 3,08    | 17998                | 554          |
| Carta (giornali)         | 22,82     | 13,43       | 11,21   | 12140                | 1361         |
| Materiale Org.(verde)    | 12,66     | 7,45        | 6,22    | 4770                 | 297          |
| Mateiale Org. (cucina)   | 35,82     | 21,09       | 17,6    | 3980                 | 700          |
| Metalli (ferrosi)        | 9,12      | 5,37        | 4,48    |                      |              |
| Metalli ( non ferrosi)   | 0,7       | 0,41        | 0,34    |                      |              |
| Materie Plast. (imballi) | 37,14     | 21,87       | 18,25   | 36585                | 6676         |
| Materie Plast (film)     | 8,26      | 4,86        | 4,06    | 36585                | 1485         |
| Materiali Accop.         | 0,94      | 0,55        | 0,46    | 26290                | 121          |
| Materiali Compositi      | 1,24      | 0,73        | 0,61    | 26290                | 160          |
| Materiali Inerti         | 0,92      | 0,54        | 0,45    |                      |              |
| Vetro (imballi)          | 8,9       | 5,24        | 4,37    |                      |              |
| Sottovaglio 20mm         | 17,84     | 10,5        | 8,87    | 5020                 | 440          |
| Umidità                  |           |             | 16,54   | 2152                 | -356         |
| TOT                      | 169,68    | 100         | 100     |                      | <b>12197</b> |

Tabella2. 1 Analisi Merceologica Rsu Padova, da Acegas-APS

Il dato ottenuto da questa analisi non può essere rappresentativo di ogni scarico in fossa, data la presenza di benna guidata da un operatore che nell'arco della giornata provvede a miscelare in continuazione i rifiuti entranti, si può considerare il valore relativamente rappresentativo.

La miscelazione del rifiuto non assicura però l'assenza di picchi positivi o negativi di potere calorifico in ingresso, per tale motivo in fase di combustione non si hanno dei parametri funzionali fissi di set-up ma vengono variati per mantenere le condizioni ideali in camera di combustione.

## **2.2 Bilanci alla Camera di Combustione**

Conoscendo le caratteristiche del rifiuto si può eseguire un bilancio di massa e di energia applicato al sistema forno combustore.

La formula generale per qualsiasi bilancio è data dall'equazione di continuità che può essere scritta come:

$$\text{ACCUMULO} = \text{ENTRATA} - \text{USCITA} + \text{PRODUZIONE} - \text{CONSUMO}$$

Il sistema preso in analisi lavora in condizioni pressoché inalterate nel tempo e può quindi essere assunto come sistema stazionario (come tutti gli altri comparti dell'impianto), tali sistemi sono caratterizzati da accumulo nullo. Il forno e i vari flussi possono essere schematizzati come nella figura sottostante.

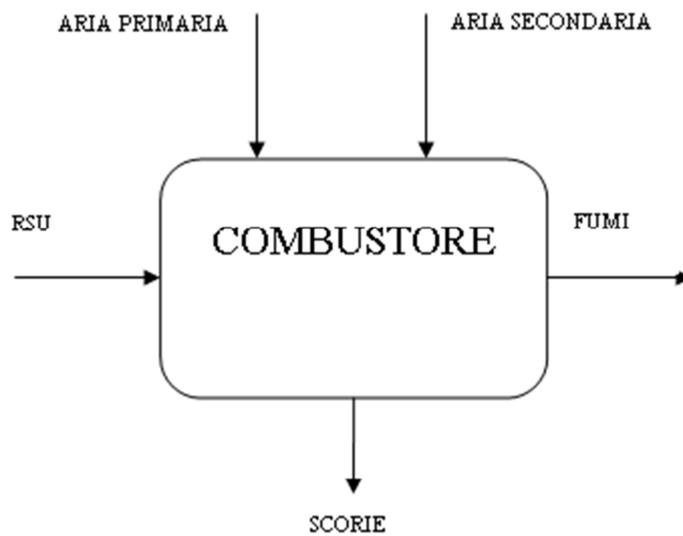


Figura 2.2.1 Flussi al combustore

Per il bilancio di massa si ha quindi che:

$$\text{ENTRATA} = \text{USCITA}$$

Attraverso il registro di benna si risale alle quantità di RSU trattati giornalmente e consecutivamente alla portata oraria (il dato è stato ottenuto su una media di 3 mesi di esercizio a regime).

$$M_{rsu} = 13000 \text{ kg/h}$$

Le quantità di aria primaria e secondaria sono rilevate da un sistema di controllo volumetrico da cui si può risalire alla portata massiva attraverso la densità in condizioni normali.

$$M_{aria.prim} = V_{aria.prim} \cdot \rho_{aria} = 42800 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3 = 55212 \text{ kg/h}$$

$$M_{aria.sec} = V_{aria.sec} \cdot \rho_{aria} = 17000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3 = 21930 \text{ kg/h}$$

Le scorie uscenti si sono ipotizzate essere il 20% in peso del rifiuto entrante, si è utilizzato questo dato causa l'impossibilità di calcolare il peso delle scorie uscite giornalmente dal forno dovuta allo stoccaggio per tempo indeterminato e scarico all'occorrenza.

$$M_{scorie} = M_{rsu} \cdot 0,20 = 13000 \text{ kg/h} \cdot 0,2 = 2600 \text{ kg/h}$$

Tutte le masse sono note si risale quindi facilmente alla portata massiva dei fumi.

$$M_{fumi} = M_{aria.prim} + M_{aria.sec} + M_{rsu} - M_{scorie}$$

$$M_{fumi} = 55212 + 21930 + 1300 - 2600 = 87542 \text{ Kg/h}$$

Per determinare il calore trasportato da questi fumi in uscita si deve effettuare il bilancio di energia:

$$Q_{fumi} = Q_{aria.prim} + Q_{aria.sec} + Q_{sen.rsu} + Q_{rsu} - Q_{scorie} - Q_{disp}$$

I rifiuti in ingresso forniscono al sistema un calore composto dal calore sensibile (dovuto alla temperatura del rifiuto tal quale) e da quello dovuto alla combustione e al PCI

$$Q_{sens} = M \cdot cp_{rsu} \cdot T_{rsu} = 13000 \text{ kg/h} \cdot 0,45 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \cdot 25^\circ\text{C} = 146250 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{rsu} = M \cdot PCI = 13000 \text{ kg/h} \cdot 2900 \text{ kcal/kg} = 37700000 \text{ kcal/h}$$

I flussi energetici entranti con le portate di aria sono ottenuti mediante la conoscenza del calore specifico dell'aria alle differenti temperature [2].(kcal/Nm<sup>3</sup>\*°C)

$$Q_{aria.prim} = V_{aria.prim} \cdot cp_{aria} \cdot T_{aria} = 42800 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,312 \text{ kcal}/\text{m}^3\text{°C} \cdot 139\text{°C}$$

$$= \mathbf{1856150 \text{ kcal/h}}$$

$$Q_{aria.sec} = V_{aria.sec} \cdot cp_{aria} \cdot T_{aria} = 17000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,311 \text{ kcal}/\text{m}^3\text{°C} \cdot 25\text{°C}$$

$$= 132175 \text{ kcal/h}$$

Per ricavare la potenza termica dei fumi, il sistema richiede la conoscenza del calore perso attraverso l'eliminazione delle scorie di combustione, per risalire a questo dato si effettuano dei bilanci alla gondola di raffreddamento tenendo conto delle portate di reintegro d'acqua di raffreddamento, si quantifica così la potenza persa per unità di massa di scorie.

Da studi precedenti risulta che il calore specifico perso per unità di massa di scoria è pari a 190 kcal/kg, tale dato ha trovato riscontro in una seconda fase di calcolo svolta a ritroso a partire da dati di esercizio.

Si riesce così ad individuare la potenza termica uscente attraverso la portata di fumi prodotti dalla combustione.

$$Q_{scorie} = M_{scorie} \cdot 190 \text{ kcal} / \text{kg} = 494000 \text{ kcal} / \text{h}$$

Le dispersioni di calore dovute alla non idealità dell'isolamento termico del forno si attestano sul 5%.

$$Q_{fumi} = (146250 + 37700000 + 1856150 + 132175 - 494000) \text{ kcal/h} \cdot 0,95$$

$$= 37373546 \text{ kcal/h}$$

Complessivamente il reparto di combustione eroga una potenza di 43,4 MW termici.

Tale dato trova riscontro anche sul grafico fornito dal produttore della griglia .

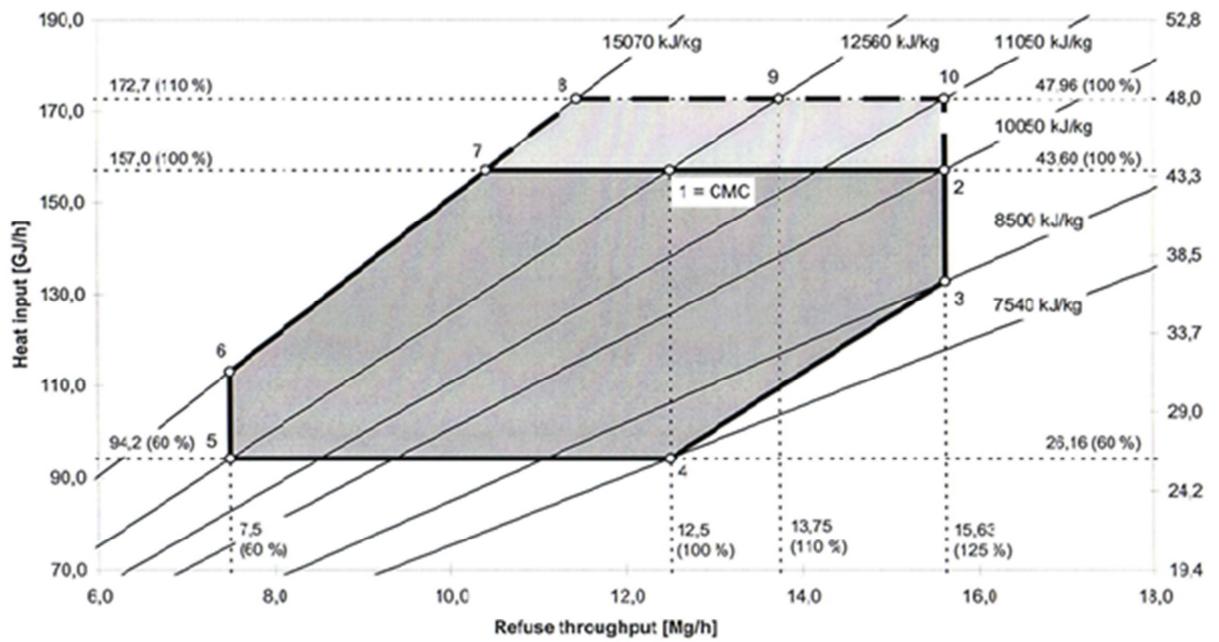


Figura 2.2.2 : Diagramma potenza griglia Martin

## 2.3 Bilancio all' Evaporatore

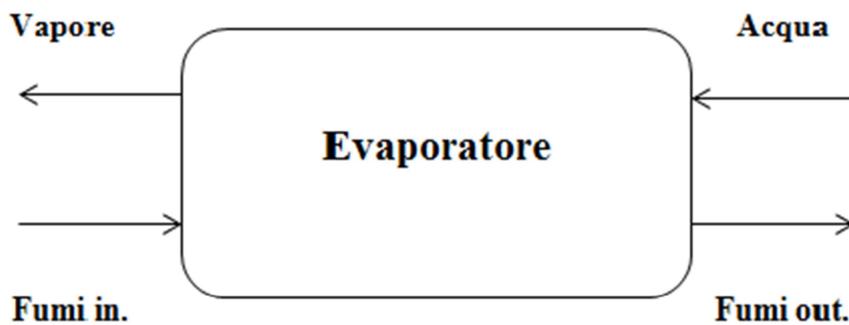


Fig.2.3.1: Flowsheet evaporatore

I fumi in uscita dalla sezione di combustione passano poi in una caldaia esterno tubi, dove viene sfruttata la potenza termica trasportata dal flusso per la produzione di un vapore saturo surriscaldato alla pressione di 43 bar e 392°C. Nel lato tubi viene fatta scorrere acqua alla temperatura di 119°C. Un controllo di temperatura posto all'uscita dalla caldaia lato fumi misura le condizioni termiche a cui i fumi abbandonano la caldaia.

Il cp di questo flusso viene ottenuto attraverso una stima della composizione e successivo uso di valori di dati tabulati per i vari elementi che compongono la miscela gassosa.

|                    |       |
|--------------------|-------|
| ossigeno           | 8,45  |
| Anidride carbonica | 8,30  |
| Vapor d'acqua      | 13,61 |
| Azoto              | 69,64 |

Tabella 2.3.1: Composizione fumi

Si risale così ad un calore specifico pari a 0,329 kcal/kg°C.

Per determinare la quantità di vapore prodotta si esegue il seguente bilancio di calore:

$$Q_{fumi.in} - Q_{fumi.out} = \Delta H_{vap} \cdot M_{vap}$$

La potenza termica in ingresso corrisponde a quella già individuata e riportata come risultato del paragrafo precedente,

$$Q_{fumi.in} = 37373546 \text{ kcal/h}$$

I fumi in uscita trasportano una potenza termica pari a :

$$\begin{aligned} Q_{fumi.out} &= M_{fumi} \cdot cp_{fumi} \cdot T = 87542 \text{ kg/h} \cdot 0,329 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \cdot 197^\circ\text{C} = \\ &= 5673859 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

La temperatura dei fumi in uscita è stata ricavata dal sistema di controllo.

Le entalpie del vapore uscente vengono estratte dal grafico di Mollier, conoscendo le condizioni di temperatura e pressione ricavabili attraverso il sistema di controllo

$$P = 43 \text{ bar}$$

$$T = 392^\circ\text{C}$$

$$H = 760 \text{ kcal/kg}$$

Per l'entalpia dell'acqua in ingresso lato tubi si ricava il calore specifico alla temperatura di entrata [4] risalendo successivamente alla sua entalpia.

$$P = 0,06 \text{ bar}$$

$$T = 119^\circ\text{C}$$

$$cp_{acqua} = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$H_{acqua\ in} = cp_{acqua} \cdot T = 119\ kcal/kg$$

Nella valutazione della potenza termica si dovrebbe considerare la perdita causata dall'estrazione delle ceneri depositate sui tubi in caldaia.

Attraverso utilizzo dei registri di carico e scarico rifiuti, giornalmente redatti da operatori interni alla società AcegasAPS, si risale alla produzione di ceneri che si attesta attorno al 5 % del rifiuto bruciato.

La massa di ceneri risulta quindi trascurabile rispetto all'intera portata massiva dei fumi e si può ritenere trascurabile anche la potenza termica da esse dispersa.

Risolvendo il bilancio si risale alla portata oraria di vapore generata.

$$M_{vap} = \frac{Q_{fumi.in} - Q_{fumi.out}}{\Delta H} = \frac{31699678\ kcal/h}{641\ kcal//kg} = 49454\ kg/h$$

## 2.4 Bilancio alla Turbina

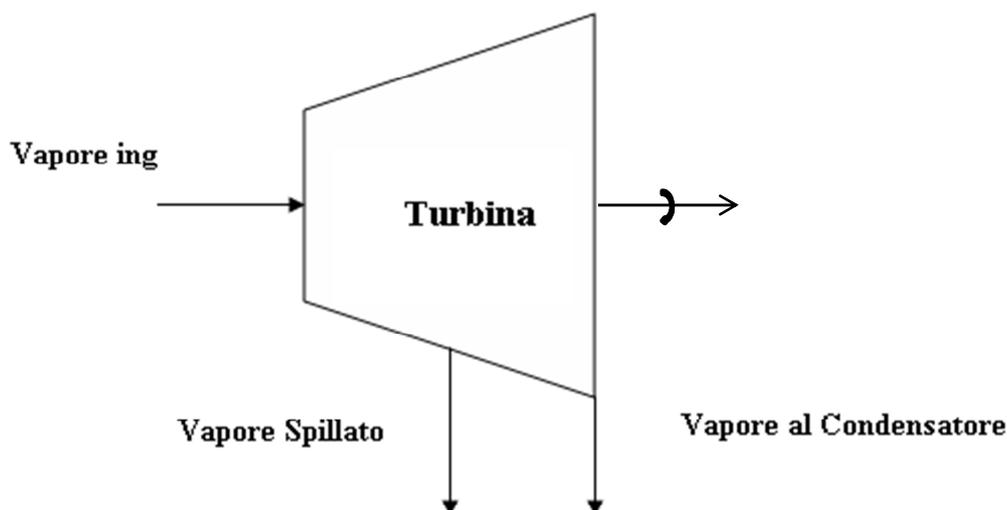


Figura 2.4.1 : Flowsheet Turbina

Il vapore surriscaldato in arrivo dal generatore viene inviato ad una turbina, dove si genera lavoro meccanico mediante espansione, il vapore viene espanso fino ad una pressione di 0,05 bar alla temperatura di 35°C.

La turbina presenta una valvola di alta pressione dalla quale si spilla una portata di vapore alla pressione di 5 bar e 210°C, destinata al preriscaldamento dell'acqua in ingresso in caldaia in un degasatore ove il flusso, oltre ad essere portato alle condizioni di ingresso all'evaporatore, subisce un processo in cui vengono eliminati i gas presenti nell'acqua, ciò avviene attraverso frazionamento meccanico ottenuto immettendo nell'acqua derivante del condensatore il vapore in pressione mediante ugelli.

Per il calcolo delle entalpie in entrata e in uscita si utilizza il grafico di Mollier, nonostante si conoscano le condizioni del vapore alla valvola di bassa pressione non si è in grado di identificarne direttamente l'entalpia specifica poiché il punto cercato è situato all'interno della campana di equilibrio liquido-vapore.

Pressione e temperatura non sono quindi sufficienti all'individuazione del punto poiché isoterma e isobara coincidono, la costruzione richiederebbe la conoscenza del titolo di vapore o di dati costruttivi riguardanti il rendimento isoentropico della turbina.

Nessuno di questi dati è ricavabile dal sistema di controllo (il titolo di vapore è difficile da controllare) o reperibile nei dati di progetto, si utilizzano quindi i dati riguardanti lo spillamento (fuori campana) per individuare le condizioni del vapore in uscita mediante costruzione grafica.

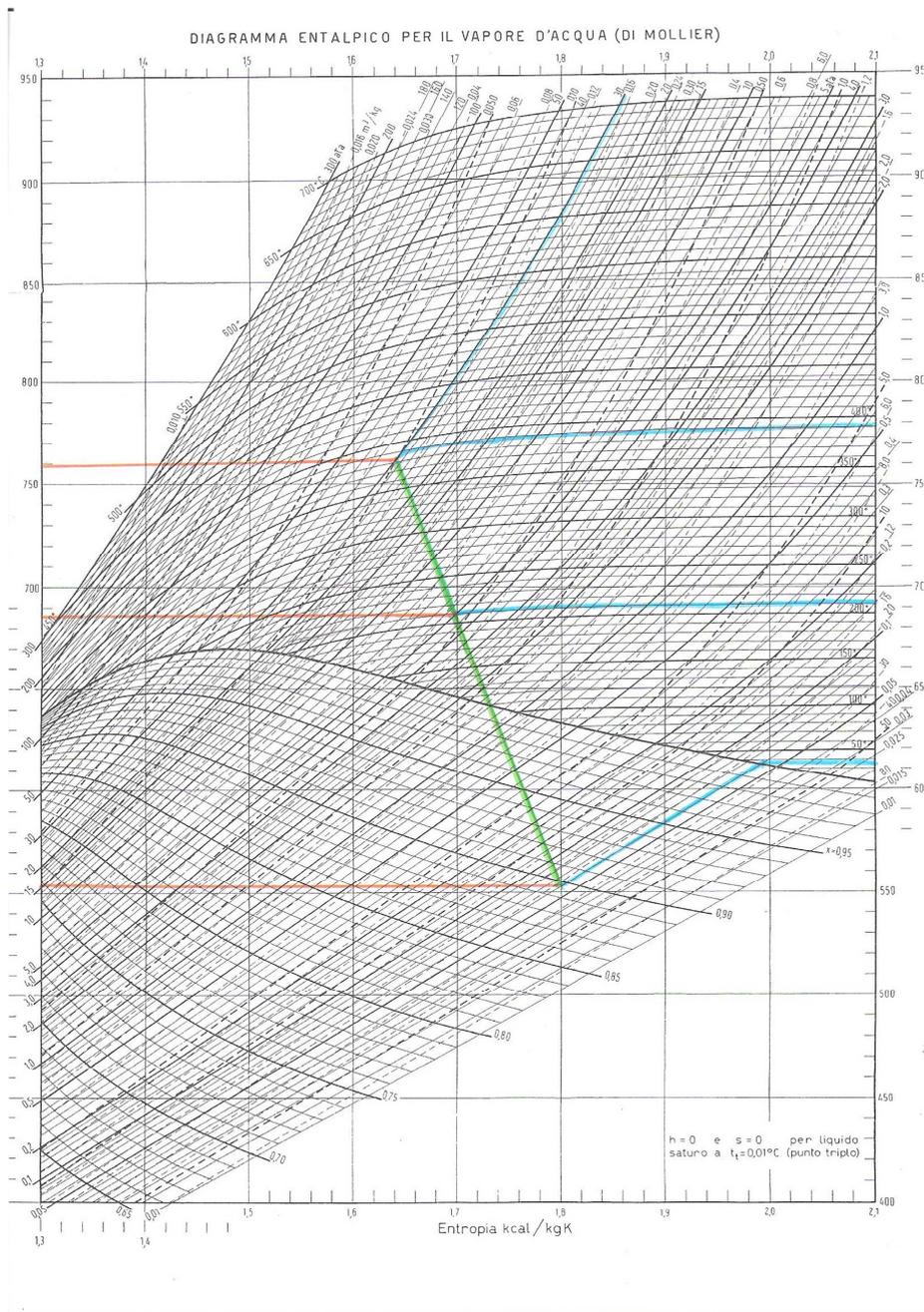


Fig. 2.4.2. Costruzione grafica per il calcolo delle entalpie

Si individuano così le entalpie specifiche dei vapori uscenti.

$$T = 210^{\circ}C \qquad P = 5 \text{ bar} \qquad H = 680 \text{ kcal/kg}$$

$$T = 35^{\circ}C \qquad P = 0,05 \text{ bar} \qquad H = 555 \text{ kcal/kg}$$

Del flusso in ingresso si conoscono quindi portata e condizioni, per i flussi in uscita invece solo le condizioni che possono successivamente essere utilizzate per la determinazione delle portate di vapore alla valvola di alta e di bassa pressione.

La portata di spillato è ricavabile mediante stesura di un bilancio entalpico al degasatore, utilizzando la definizione della frazione di spillamento ( $y$ ) che rappresenta la percentuale di vapore derivato necessaria a portare il condensato alle condizioni di entrata al generatore di vapore.

$$H_{in.gen} = (1 - y) \cdot H_{cond} + H_{vap(AP)} \cdot y$$

$$y = \frac{H_{in.gen} - H_{cond}}{H_{vap(AP)} - H_{cond}}$$

$H_{cond}$  è l'entalpia relativa al liquido in uscita dal condensatore e viene ricavata dalle tabelle del vapore saturo considerando la portata in uscita come liquido saturo alle condizioni del vapore entrante ( la condensazione avviene a T e P costanti).

$$T = 35^{\circ}C \qquad H = 35 \text{ kcal/h}$$

Esplicitando i termini dell' equazione precedentemente scritta si calcola la frazione di spillamento.

$$y = \frac{119 \text{ kcal/kg} - 36 \text{ kcal/kg}}{680 \text{ kcal/kg} - 36 \text{ kcal/kg}} = 0,13$$

Avvalendosi di questo dato si risale alla portata di vapore spillato dalla valvola di alta pressione (AP) e quindi quella del vapore scaricato dalla valvola di bassa pressione (BP) .

$$M_{vap(AP)} = y \cdot M_{vap} = 0,13 \cdot 49454 \text{ kg/h} = 6429 \text{ kg/h}$$

$$M_{vap(BP)} = M_{vap} - M_{vap(AP)} = 49454 \text{ kg/h} - 6429 \text{ kg/h} = 43025 \text{ kg/h}$$

Con le portate di vapore disponibili si calcola il lavoro ottenuto dal ciclo termico.

$$\begin{aligned} L &= M_{vap(AP)} \cdot (H_{vap} - H_{vap(BP)}) + M_{vap(BP)} \cdot (H_{vap} - H_{vap(BP)}) \\ &= 6429 \text{ kg/h} \cdot (760 \text{ kcal/kg} - 680 \text{ kcal/kg}) + 43025 \text{ kg/h} \cdot (760 \text{ kcal/h} - 555 \text{ kcal/kg}) \\ &= 9334443 \text{ kcal/h} = 10,85 \text{ Mw} \end{aligned}$$

Si calcola inoltre il rendimento termico dell'intero ciclo, tale risultato si ottiene come rapporto tra il lavoro sviluppato alla turbina e il calore fornito in fase di combustione.

Per il calore fornito si utilizza il dato derivante dal bilancio al combustore includendo il calore perso nel comparto di combustione dovuto alla non perfetta coibentazione e le consecutive perdite per irraggiamento e dispersione.

$$\eta = \frac{L_{ottenuto}}{Q_{fornito}} = \frac{10,85 \text{ Mw}}{45,6 \text{ Mw}} = 0,238$$

## 2.5 Bilanci al condensatore

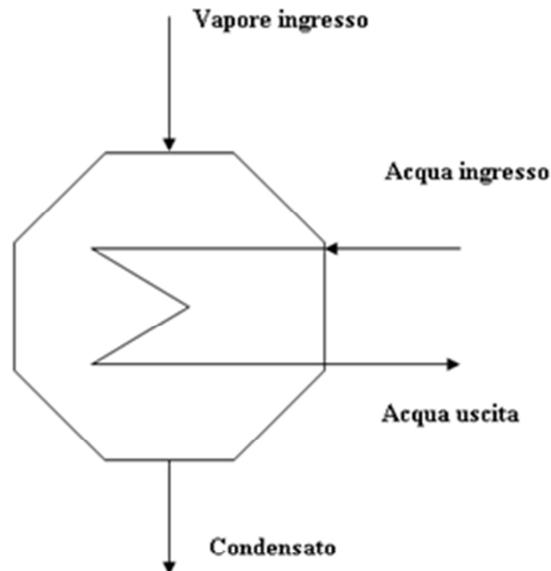


Fig. 2.5.1:Flowsheet condensatore

Il vapore in uscita dalla valvola di bassa pressione della turbina viene condensato per raffreddamento, successivamente rilanciato alla caldaia dopo esser stato preriscaldato e degasato.

Il passaggio di stato è ottenuto in uno scambiatore a superficie dove le calorie del vapore entrante vengono assorbite da una corrente d'acqua prelevata dal Piovego che viene successivamente riimmessa nel canale di presa arricchita di potenza termica.

La stesura del bilancio energetico consente di calcolare la potenza assorbita dall'acqua di raffreddamento.

$$Q_{vap.in} - Q_{cond} = Q_{acqua.out} - Q_{acqua.in}$$

La portata termica in entrata è quella derivante dalla valvola di bassa della turbina:

$$Q_{vap.in} = M_{vap(BP)} \cdot H_{vap(BP)} = 43025 \text{ kg/h} \cdot 555 \text{ kcal/kg} = 23878875 \text{ kcal/h}$$

Conoscendo l'entalpia del condensato si ricava il carico entalpico contenuto nel flusso totale.

$$H = 35 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{cond} = M_{cond} \cdot H_{cond} = 43025 \text{ kg/h} \cdot 35 \text{ kcal/kg} = 1505875 \text{ kcal/h}$$

La potenza termica dispersa quindi nel canale Piovego risulta pari al calore da smaltire per portare a condensazione l'intera massa di vapore:

$$\Delta Q = Q_{vap.in} - Q_{cond} = 23878875 \text{ kcal/h} - 1505875 \text{ kcal/h} = 22373000 \text{ kcal/h} = 26 \text{ Mw}$$

Per smaltire tale calore si utilizza un flusso di acqua di raffreddamento che entra al condensatore con una portata variabile che in media si attesta sui 2000 m<sup>3</sup>/h, tale quantità di acqua assorbe una potenza termica che causa un aumento di temperatura pari a:

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{M_{acqua.raff} \cdot cp_{acqua.raff}} = \frac{22373000}{2000 \cdot 10^3 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}} = 11,2^\circ\text{C}$$

### 2.5.1 Perdite dovute al sottoraffreddamento del condensato

Durante il periodo di studio si è verificato un problema dovuto ad un brusco abbassamento della temperatura dell'acqua del Piovego causato dal cambio stagionale di temperature.

Infatti in breve tempo la temperatura di presa dell'acqua è passata da 20 °C a 12°C.

In tali condizioni, a parità di portata d'acqua di raffreddamento, si ha il sottoraffreddamento del condensato con conseguente abbassamento di alcuni gradi di temperatura. Tale fenomeno causa un incremento della temperatura media logaritmica che a parità di condizioni di scambio termico (coefficiente di scambio termico, superficie di scambio) comporta un raffreddamento più spinto.

$$Q = Ut \cdot S \cdot \Delta T_{ml}$$

Il sottoraffreddamento è legato al dimensionamento del condensatore in base alle condizioni condizioni medie annue dell' acqua del Piovego.

In questo scenario il ciclo termico perde d'efficienza, si verifica infatti una perdita di calore che deve essere rifornito nella successiva fase di preriscaldamento aumentando così le portate di vapore di derivazione.

Per ogni grado centigrado di sottoraffreddamento, il calore perso è:

$$Q_{perso} = M_{cond} \cdot cp_{acqua} \cdot \Delta T = 43025 \text{ kg/h} \cdot 1 \text{ kcal/(kg}^\circ\text{C)} \cdot 1^\circ\text{C} = 43025 \text{ kcal/h}$$

Si ricava che l'entalpia specifica si abbassa di 1 kcal/h, il condensato non avrà quindi più entalpia pari a 35kcal/kg ma 34 kcal/kg.

Si ha in queste condizioni una frazione di spillamento pari a:

$$y = \frac{H_{in.gen} - H_{cond}}{H_{vap(AP)} - H_{cond}} = \frac{119 \text{ kcal/h} - 34 \text{ kcal/h}}{680 \text{ kcal/h} - 34 \text{ kcal/h}} = 0,132$$

Sarà quindi necessario nella successiva fase di preriscaldamento spillare dalla valvola di alta pressione una portata di vapore pari a:

$$M_{vap(AP)} = M_{vap} \cdot y = 49454 \text{ kg/h} \cdot 0,132 = 6528 \text{ kg/h}$$

L'energia prodotta dal ciclo termico sarà minore poiché la portata di vapore che subisce espansione completa è inferiore, perciò il lavoro prodotto diminuisce con conseguente abbassamento del rendimento termico di ciclo.

$$L' = 6528 \text{ kg/h} \cdot (760 \text{ kcal/kg} - 680 \text{ kcal/h}) + 42926 \cdot (760 \text{ kcal/kg} - 555 \text{ kcal/kg})$$

$$L' = 10,84 \text{ MW}$$

Si ottiene quindi che per 1°C di sottoraffreddamento del condensato diminuisce la produzione di energia elettrica di 0,01 MW.

Durante il periodo di tirocinio si è verificato un picco di sottoraffreddamento di 5°C che comporta una produzione di energia pari a 10,80 MW con una perdita di energia di 0,05 MW

## 2.6. Quadro normativo riguardante lo scarico delle acque di condensazione.

Per quanto riguarda l'utilizzo e lo scarico delle acque di raffreddamento la normativa che regola lo scarico è il D. Lgs 152/06 parte III, il quale reca: "Norme in materia della difesa del suolo, lotta alla desertificazione, di tutela dalle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche[4].

L'articolo 73 di tale decreto individua gli strumenti necessari per il conseguimento degli obiettivi per la tutela delle acque fissando i parametri di controllo e i limiti entro i quali devono essere effettuati gli scarichi.

L'articolo 74 riporta alcune utili definizioni facendo la distinzione tra acque reflue domestiche, industriali ed urbane. Alla parte terza di tale articolo vengono inoltre presentati degli allegati rappresentanti le tabelle con i limiti di scarico per i vari parametri a seconda che lo scarico avvenga in rete fognaria o in acque superficiali.

Per la verifica del rispetto delle normative per lo scarico dell'acqua di condensazione del vapore si deve fare riferimento all'allegato 5 che stabilisce i limiti per lo scarico delle acque industriali.

L'acqua prelevata dal canale non subisce alcun trattamento chimico e l'unico parametro che si modifica durante la condensazione è la temperatura.

Poiché lo scarico avviene in un canale è riconducibile alla tipologia di scarico in acque superficiali..

In tal caso i limiti di legge vengono riportati nella tabella sottostante[5]:

|             |    |  |
|-------------|----|--|
| Temperatura | C° | <u>Corsi d'acqua</u> : variazione max tra T medie a monte e a valle dell'immissione non > 3°C; su almeno ½ delle sezioni a valle variazione non > 1°C<br><u>Canali artificiali</u> : max valore medio della T in qualsiasi sezione non > 35 °C |
|-------------|----|--|

Tabella 2.6.1: Parametri limite di scarico

### *2.6.1 Verifica del rispetto dei parametri di scarico*

Attraverso la stesura dei bilanci si sono ottenuti dati medi riguardanti le condizioni di scarico dell'acqua di condensazione.

Si può quindi fornire una stima teorica dell'effetto di tale scarico sul bacino ricevente verificando il rispetto dei parametri di scarico imposti dal decreto legislativo.

Per calcolare l'aumento di temperatura tra monte e valle dell'immissione bisogna conoscere alcuni dati riguardanti il bacino idrico Piovego, quali la velocità di scorrimento dell'acqua e la sezione nel quale scorre.

Tale dati sono influenzati in modo significativo da fattori climatici, quali piovosità e scioglimento delle nevi, che fanno variare la portata idrica del canale.

Considerando la velocità di scorrimento dell'acqua e la sezione alla quale avviene l'immissione si ricava che la portata è di  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  su base media annua.

Con tali portate di acqua si esegue il bilancio entalpico stimando l'aumento di temperatura provocato nel corso d'acqua.

Si ottiene un aumento di temperatura di  $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , dato che rientra nei parametri imposti dalla legge.

# Capitolo 3

## Studio di idroesigenza del processo di termovalorizzazione

Si presenta nel seguente capitolo lo studio di idroesigenza del processo di termovalorizzazione, iniziando da una analisi preliminare delle correnti acquose in entrata e in uscita dalla linea 3, fino ad individuare per ciascuna portata origine, utilizzo e destinazione.

Si riportano i dati relativi ai consumi per individuare e dare una stima degli effetti dell'impianto sul bacino idrico.

### 3.1 Analisi dei flussi in ingresso e in uscita

Attraverso lo studio del processo subito dal RSU e mediante analisi degli schemi d'impianto (P&Id) si individuano i diversi flussi in ingresso e in uscita dalla linea 3 di termovalorizzazione.

Tali flussi sono rappresentati nella figura 3.1.1.

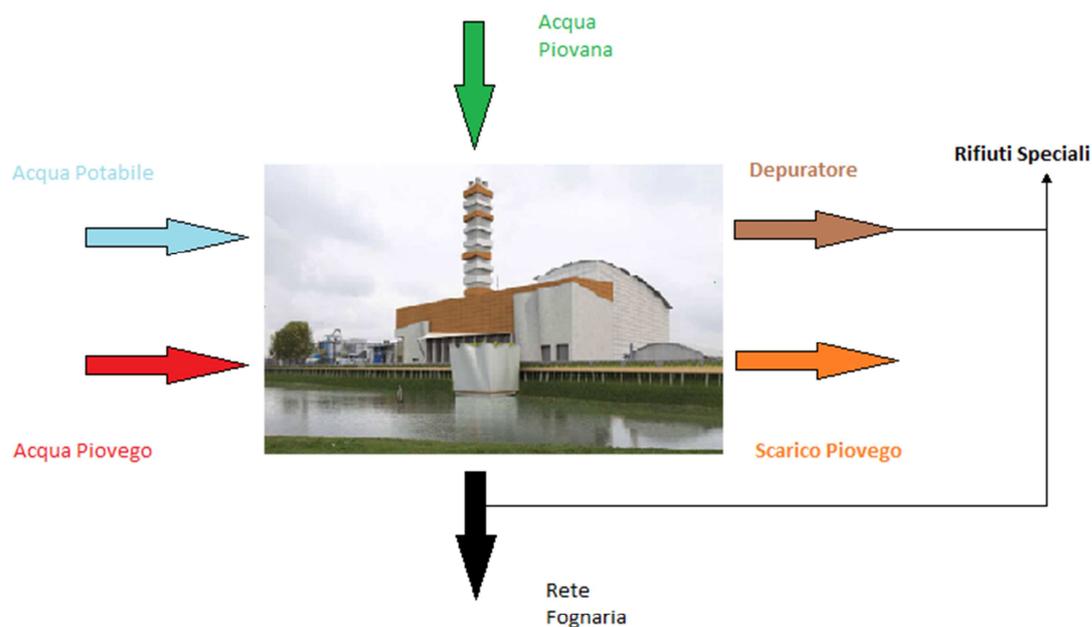


Figura 3.1.1: Flussi in ingresso e uscita all'impianto

In ingresso si individuano 3 flussi di diverso tipo:

- Acqua potabile
- Acqua meteorica
- Acqua del Canale Piovego

In ugual modo l'acqua utilizzata nei processi e destinata in 3 diversi scarichi:

- Scarico rete fognaria
- Scarico in depuratore ( e successivo convogliamento in rete fognaria post-trattamento )
- Scarico nel Canale Piovego

Si nota dalla precedente immagine come una parte di acqua in uscita dal depuratore chimico fisico non venga scaricata normalmente nella rete fognaria. Questa parte a causa del suo alto potere inquinante e del suo contenuto di sostanze pericolose deve essere trattata come rifiuto pericoloso e destinato quindi ad un trattamento specifico di smaltimento. Tale smaltimento viene effettuato da ditte terziste.

## 3.2 Consumo di acqua potabile

L' impianto è regolarmente collegato alla rete di distribuzione consortile di acqua potabile che viene utilizzata nelle varie sezioni dell' impianto per molteplici applicazioni.

L'applicazione principale è individuata come l'alimentazione della produzione di acqua demineralizzata, che avviene mediante trattamento spinto con filtri riempiti con resine a scambio ionico e successiva osmosi inversa.

L'acqua ottenuta da tale trattamento viene fatta circolare in un circuito chiuso che ha come funzione principale l'alimentazione del generatore di vapore.

In caldaia deve infatti circolare una corrente acquosa priva di sali, la cui presenza in fase di evaporazione comporterebbe incrostazioni sulle tubature e un conseguente brusco calo del coefficiente di trasmissione termica e quindi del rendimento della caldaia.

L'utilizzo di un circuito chiuso in cui scorre l'acqua demi ne determina un basso consumo, risulta infatti sufficiente eseguire un make up dell'acqua dispersa nel ciclo..

Le perdite di acqua demineralizzata sono dovute a vari fattori alcuni casuali e incidentali, per esempio guasti e rotture in caldaia, altri dovuti a processi obbligati quali gli spurghi della caldaia, campionamenti del vapore e l' estrazione degli incondensabili dal condensatore primario.

Nel processo di produzione dell' acqua demineralizzata si tiene conto anche dell' acqua utilizzata per il controlavaggio dei filtri a resine e osmosi inversa.

Oltre alla produzione di acqua demineralizzata l'acqua potabile trova all'interno del processo altre applicazioni, innanzi tutto viene posta a servizio dei locali abitativi dell'impianto quali servizi igienici e uffici, altro utilizzo lo trova nell'alimentazione di manicotti antiincendio, nel raffreddamento del canale di carico rifiuti che collega la tramoggia di carico e l'ingresso della camera di combustione e per il trasporto pneumatico delle scorie e delle ceneri.

I consumi più elevati sono rappresentati dal quantitativo dovuto al raffreddamento delle scorie di combustione.

Il raffreddamento avviene in una gondola posta sotto la camera di combustione, visto l'elevata quantità di calore da smaltire si necessita di reintegro continuo di acqua.

Dopo l'utilizzo nelle varie sezioni d'impianto l'acqua viene recapitata in due diverse destinazioni, la parte derivante dai servizi igienici e dai locali abitativi, quella in uscita dalla pompa di estrazione incondensabili e quella di controlavaggio dei filtri viene inviata direttamente allo scarico in fognatura.

Le altre applicazioni causano un'alterazione dello stato iniziale dell'acqua attraverso il contatto con sostanze inquinanti, tali correnti vengono quindi inviate all'impianto di depurazione.

### **3.3 Acque Meteoriche**

La superficie su cui si estende l'impianto di termovalorizzazione San Lazzaro è provvista di un sistema di raccolta e di convogliamento delle acque meteoriche.

L'acqua meteorica precipitata nella zona adiacente all'impianto di termovalorizzazione viene convogliata a un pozzetto di scarico e successivamente rilanciata all'impianto di depurazione.

Le acque meteoriche necessitano di un trattamento prima dello scarico in fognatura poiché presentano un inquinamento dovuto innanzi tutto al fatto che le precipitazioni riportano a terra delle particelle inquinanti derivanti dallo scarico dei fumi di combustione, ma soprattutto alla presenza di scorie derivanti dalla linea di combustione 1 e 2; le scorie delle vecchie linee, infatti, vengono scaricate in una sezione aperta del piazzale, comportando così una cessione di sostanze pericolose in caso di pioggia dalle scorie all'acqua meteorica, nonché il trascinarsi delle stesse.

L'acqua meteorica quindi non trova nessuna applicazione all'interno del processo di termovalorizzazione.

### **3.4 Acqua proveniente dal bacino idrico Piovego.**

Altro flusso d'acqua in ingresso all'impianto è rappresentato da acque prelevate dal canale Piovego.

L'utilizzo di questa tipologia di acqua può avvenire solo a seguito di una concessione d'utilizzo da parte della regione.

Tale concessione viene rilasciata da dalla Regione Veneto e la si ottiene mediante richiesta e presentazione di un piano d'utilizzo per le risorse e valutazione dell'impatto sul bacino idrico comportato da tale prelievo.

Per la linea 3 la Regione Veneto ha concesso l'utilizzo delle acque superficiali del Piovego per un totale di 2400 m<sup>3</sup>/h.

Nel processo di incenerimento tale tipologia d'acqua trova prevalentemente utilizzo nella condensazione del vapore scaricato dalla valvola di bassa pressione della turbina.

Tale utilizzo non altera le condizioni chimiche dell'acqua prelevata ma la condensazione causa l'assorbimento di una potenza termica inducendo il consecutivo aumento di temperatura, in alcune situazioni particolari alla portata viene addizionata una piccola quantità di NaClO (ipoclorito di sodio) per evitare la formazione di alghe lungo le tubature in cui scorre l'acqua.

Una parte dell'acqua prelevata viene utilizzata per il raffreddamento di altri comparti impiantistici, che a differenza della condensazione non avvengono in modo diretto.

Infatti per il raffreddamento del gruppo del vuoto e di quello oleodinamico della turbina si utilizza una parte di acqua demineralizzata che dopo avere assorbito la calorie passa in un ulteriore scambiatore a superficie dove scarica la potenza termica sull'acqua del Piovego.

Tale raffreddamento avviene in questo modo per salvaguardare i flussi delicati come quello rappresentato dall'olio della turbina da un'acqua altamente sporcante come quella prelevata dal canale in caso di rottura allo scambiatore.

Questa corrente acquosa non essendo inquinata dal punto di vista chimico viene scaricata direttamente nel canale di presa senza subire alcun trattamento.

### 3.5 Impianto di depurazione chimico-fisico

I flussi acquosi in uscita dall'intero processo di termovalorizzazione (escludendo i servizi abitativi-igienici e le acque del Piovego) vengono inviate ad un impianto di depurazione.

L'impianto di depurazione a servizio dell'inceneritore esegue un trattamento di tipo chimico fisico.

Tale trattamento è atto a produrre acque prive di inquinanti chimici che possono essere normalmente scaricate in fognatura e quindi adatte ad un successivo trattamento biologico.

#### 3.5.1 Schema a blocchi dell'processo di depurazione

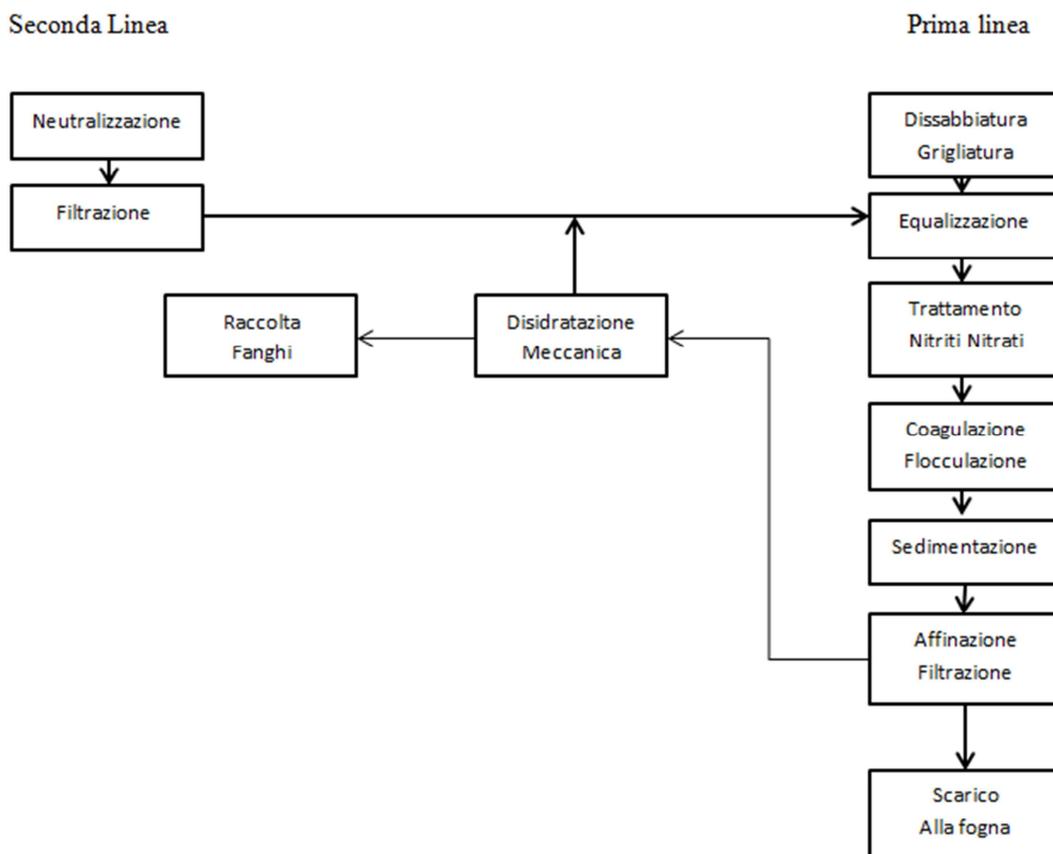


Figura 3.51.1: Schema a blocchi impianto di depurazione

Come si evince dallo schema a blocchi l'impianto di depurazione presenta 2 linee di trattamento.

La prima linea dell'impianto riceve reflui derivanti da:

- Campionamenti e spurghi della caldaia linea 3, linea 2 e linea 1
- Acque meteoriche e dilavamento dei piazzali
- Acqua spegnimento scorie linea 1 e linea 2

Questi reflui dopo classico pretrattamento meccanico subiscono un trattamento con acido sulfammico per eliminare nitriti e nitrati e successivamente un processo di chiariflocculazione attraverso il quale si eliminano le sostanze colloidali presenti in sospensione.

Alla seconda linea di trattamento arrivano:

- Acque trattamento fumi linea 2 e linea 1

Tali acque venendo a contatto con i fumi e con i reagenti presentano contaminazione da agenti chimici altamente inquinanti e quindi richiedono un trattamento più spinto.

Per la rimozione di queste sostanze si utilizza una filtrazione su quarzite e successivo trattamento con resine selettive.

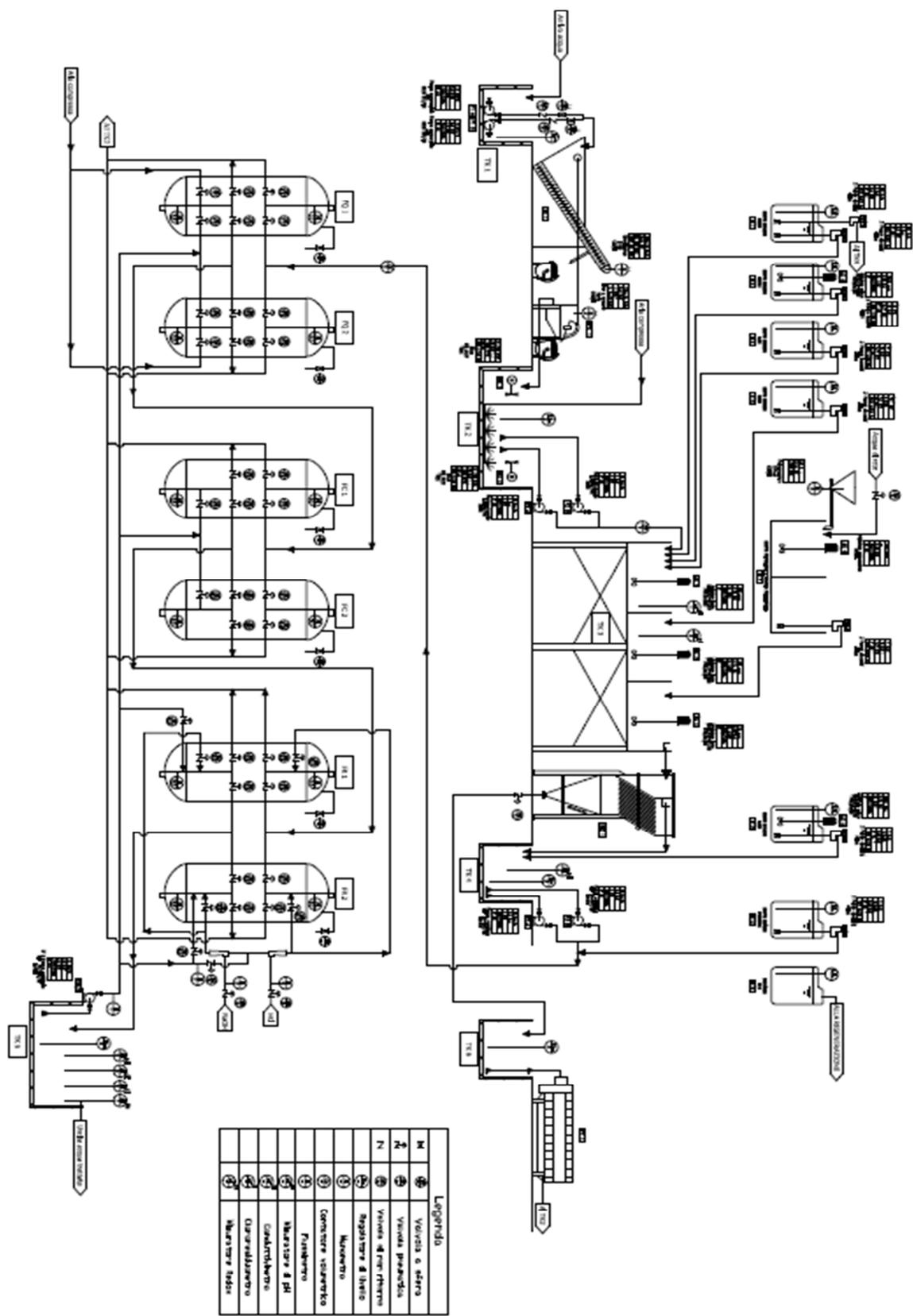
In particolare si utilizza una resina selettiva per il mercurio, sostanza molto inquinante derivante dalla combustione dei rifiuti ospedalieri.

Le acque in uscita da questa linea subiscono una raffinazione con carboni attivi e vengono in fine convogliate nella vasca di equalizzazione della prima linea di depurazione.

Si può notare che le acque di rigenerazione delle resine per la rimozione del mercurio non possono essere inviate a normale trattamento ma devono essere stoccate separatamente e smaltite da ditte terziste che ne effettuano il ritiro.

Si riporta in seguito anche lo schema d'impianto(P&Id).

In tale schema si possono individuare i percorsi effettuati dai vari flussi dell'impianto di depurazione, i reagenti dosati, le apparecchiature e i sistemi di controllo presenti.



**Legenda**

|   |                       |
|---|-----------------------|
| M | Vasca a sferra        |
| N | Vasca piramidale      |
| P | Vasca a tre ribetti   |
| Q | Regolatore di livello |
| R | Miscelatore           |
| S | Compressore vortice   |
| T | Frangitoro            |
| U | Valvola a 3 vie       |
| V | Calcolatore           |
| W | Caricatore            |
| X | Reattore              |
| Y | Reattore              |
| Z | Reattore              |

|                   |                   |                   |                     |                     |                   |                     |                   |                   |                   |                     |                     |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| TR.1              | TR.1              | FR.1              | TR.2                | TR.3                | FR.1              | TR.4                | FR.1/2            | FR.1/2            | FR.1/2            | TR.5                | TR.6                | FR.1              |
| Reattore a sferra | Reattore a sferra | Reattore a sferra | Vasca a tre ribetti | Vasca a tre ribetti | Reattore a sferra | Vasca a tre ribetti | Reattore a sferra | Reattore a sferra | Reattore a sferra | Vasca a tre ribetti | Vasca a tre ribetti | Reattore a sferra |

Fig.3.5.1.2: Schema d'impianto

### *3.5.2 Dissabbiatura e grigliatura*

La prima stazione che si incontra nell'impianto è un comparto di dissabbiatura, le sabbie presenti nel refluo rappresentano la parte pesante e facilmente sedimentabile degli inquinanti. E' importante rimuovere queste particelle dal refluo per la salvaguardia delle parti successive dell' impianto, mediante la loro azione abrasiva, infatti, le sabbie, se inviate, con velocità elevate, all'interno delle condutture possono causarne l'usura precoce.

Altro problema che può presentarsi è causato dalla facilità con cui le sabbie sedimentano nelle zone calme dell'impianto andando così ad occupare così volumi utili. Ciò è dannoso soprattutto se avviene nelle vasche di reazione dove alla lunga il depositarsi di sabbie può andare a variare in modo importante il volume attivo della vasche incidendo così sui tempi di permanenza.

Il dissabbiatore sfrutta la facilità di sedimentazione delle sabbie per la loro rimozione, nell'impianto è installato un dissabbiatore a tramoggia, il refluo entra nella tramoggia dove le sabbie sedimentano sul fondo.

Le sabbie vengono estratte attraverso il servizio fornito da una coclea con ridotta velocità di rotazione e inviate allo scarico. La velocità di rotazione ridotta permette la disidratazione del sedimentato durante il sollevamento.

Successivamente alla rimozione delle sabbie si effettua una grigliatura fine attraverso la quale si rimuovono dal flusso i solidi sospesi più leggeri che non riescono a sedimentare nel comparto di dissabbiatura.

Questo processo avviene in una griglia a pettine, il liquame passa attraverso la griglia curvata ad arco ed esce dalla parte opposta privo di solidi, continuando poi il ciclo di depurazione. I solidi restano nella parte anteriore della griglia e vengono poi eliminati mediante dei pettini rotanti in PVC attivati da un temporizzatore. I pettini hanno la funzione di tenere pulita la parte filtrante permettendo così una maggior resa del filtro.

Il materiale eliminato dalle spazzole viene depositato in una vaschetta estraibile posta nella parte anteriore del filtro e asportato successivamente.

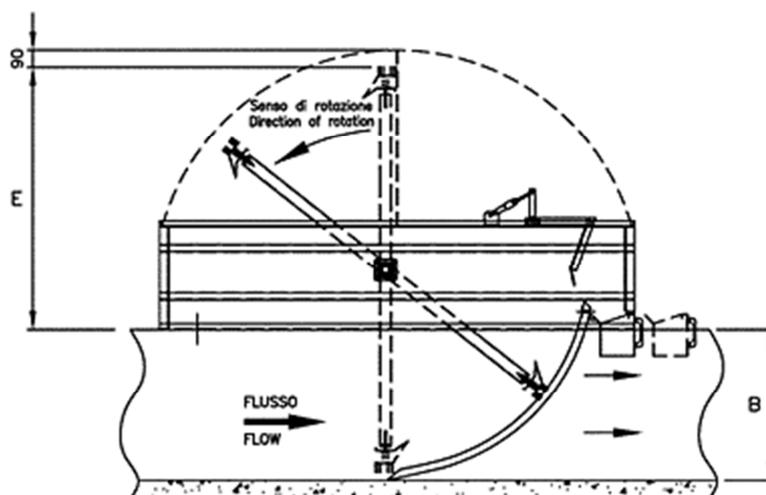


Fig. 3.5.2.1: Griglia a pettine

### 3.5.3 Equalizzazione

In questa zona dell'impianto non si effettua realmente una fase depurativa del refluo, nonostante ciò essa rappresenta una sezione obbligata e molto importante per assicurare un trattamento successivo efficiente.

All'interno della vasca di equalizzazione si raccolgono i flussi di refluo, qui vengono stoccati e agitati in continuo per assicurare che la portata rilanciata alle stazioni successive sia caratterizzata da un carico inquinante relativamente costante nel tempo in modo da non dover variare i dosaggi di reagenti nelle sezioni successive.

Nella vasca di equalizzazione sono presenti due mixer sommersi che mantengono il refluo in continua movimentazione in modo da ottenere una migliore miscelazione evitando così il formarsi di sedimenti nella sezione.

Oltre ai mixer sono allocati anche dei diffusori d'aria del tipo a piattello che producono bolle di media dimensione provvedendo a distribuire in modo uniforme l'aria all'interno del refluo.

Il flusso d'aria gorgogliato nel refluo, aiutato dal pH alcalino del mix di reflui, provvede ad un parziale strippaggio dell'ammoniaca.

### 3.5.4 *Trattamento nitriti e nitrati con acido sulfamico*

Il refluo viene rilanciato dalla vasca di equalizzazione ad una vasca di reazione mediante pompe a monovite, la vasca di reazione in acciaio inox è divisa in tre sezioni.

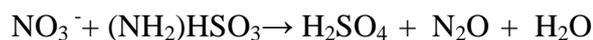
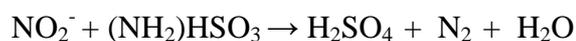
Nella prima sezione si esegue il trattamento dei nitriti e dei nitrati, mediante l'utilizzo di acido sulfamico in ambiente acido, tale trattamento è obbligato per l'elevata presenza di ossidi di azoto che si formano durante la combustione e che vengono trattati successivamente ed estratti nel reattore catalitico.

I reflui di questa tipologia sono dovuti alla linea 1 e 2 dove il trattamento non avviene a secco. L'ambiente ideale per effettuare il trattamento è a pH acido (3,5-4) che viene ottenuto mediante dosaggio di acido solforico.

Il dosaggio viene controllato mediante pHmetro collegato con segnale analogico al variatore di portata della pompa dosatrice dell'acido.

Oltre a creare l'ambiente ideale per il trattamento dei nitriti e dei nitrati l'aggiunta di acido serve anche a rompere eventuali emulsioni oleose derivanti dall'acqua di lavaggio dei piazzali causando la separazione tra fase pesante e fase leggera.

I nitrati vengono eliminati mediante le seguenti reazioni chimiche:



Con il consecutivo sviluppo di azoto molecolare.

La reazione avviene in una vasca d'acciaio inox del volume di 4,5 m<sup>3</sup>, il tempo di ritenzione previsto in vasca è di 18 minuti. Il refluo viene mantenuto in movimento attraverso l'utilizzo di un elettroagitatore impostato sui 140 giri al minuto.

### 3.5.5 Coagulazione

La coagulazione è il primo dei due trattamenti che complessivamente compongono la chiariflocculazione, lo scopo di tale trattamento è causare la formazione di coaguli di sostanze colloidali altrimenti non sedimentabili.

Le particelle colloidali sono praticamente impossibili da far sedimentare senza trattamenti chimici,

ciò è dovuto al fatto che esse vengono mantenute in sospensione dall'azione della forza repulsiva generata dalle cariche elettriche uguali che possiedono e allo stesso tempo dalla forza attrattiva debole derivante dalla loro massa (forze di Van Der Waals).

Per causarne la destabilizzazione e la consecutiva sedimentazione si deve aggiungere al refluo un agente coagulante.

Il coagulante ha lo scopo di diminuire la carica residua dei colloidali e restringere lo strato diffusivo in soluzione nel quale le particelle possono muoversi causandone quindi l'avvicinamento e la formazione di coaguli.

Il reagente coagulante aggiunto è il cloruro ferrico ( $\text{FeCl}_3$ ), appena esso viene immesso in soluzione si ha l'idrolisi del sale.



In seguito a tale reazione il pH viene alzato con l'aggiunta di soda in una vasca successiva.

L'innalzamento del pH (9-9,5) ha come effetto la formazione e la precipitazione di un fango lattiginoso di idrossido di ferro  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

Il dosaggio di cloruro ferrico avviene a spot temporali e consiste circa in 50-100 ppm a rilascio, mediante l'utilizzo di pompa volumetrica quindi con portata costante. Per il dosaggio di soda si utilizza un ulteriore controllo pHmetrico che agisce su una pompa dosatrice.

Il tempo di ritenzione nella vasca di coagulazione è di circa 18 minuti e la miscelazione avviene mediante elettroagitatore.

### *3.5.6 Flocculazione*

Nella terza vasca di reazione avviene il processo di flocculazione.

Tale processo va a completare il trattamento precedentemente iniziato nella sezione di coagulazione, esso consiste nel favorire l'aggregazione dei fiocchi fangosi di idrossido di ferro formati attraverso l'idrolisi del ferro cloruro e successiva alcalinizzazione, tale aggregazione avviene mediante l'aggiunta di un reagente polielettrolita che ne facilita l'ingrossamento.

Mediante agitazione lenta questi fanghi vengono messi a contatto con le particelle colloidali e con gli altri idrossidi di metallo precipitati in seguito all'alcalinizzazione del refluo.

La consistenza lattiginosa dell'idrossido di ferro consente a quest'ultimo di inglobare all'interno di esso le particelle con le quali viene a contatto causando un ingrossamento del fiocco fangoso.

Si ottiene così un fango facilmente sedimentabile in sospensione su acqua chiarificata.

Nell'impianto studiato si utilizza un polielettrolita anionico.

Il tempo di ritenzione all'interno della vasca è di circa 18 minuti.

Il polielettrolita viene dosato in spot temporali con 3 ppm a rilascio, il comparto è provvisto di un elettroagitatore che effettua un'agitazione più lenta di quella subita in fase di coagulazione, ciò è dovuto alla fragilità del fiocco che sottoposto ad agitazione violenta può rompersi comportando in fase di sedimentazione tempi maggiori del previsto.

### *3.5.7 Sedimentazione*

L'acqua in uscita dalla vasca di reazione viene inviata ad una sezione di sedimentazione. Lo scopo di tale parte d'impianto è quello di dividere il fango formatosi in vasca di reazione dall'acqua chiarificata.

Il processo avviene mediante un sedimentatore lamellare, poiché la capacità di sedimentazione è fortemente determinata dal parametro superficie della vasca, tale tipologia di compartimento mette a disposizione una superficie elevata in rapporto al volume occupato. Sfruttando le caratteristiche di questi sedimentatori si riesce a realizzare una buona divisione fango-acqua in tempi relativamente brevi e volumi ridotti.

Il refluo entra dal fondo del compartimento passa quindi nel pacco lamellare dove i fanghi sedimentano tra le lamelle e cadono per effetto gravità sul fondo del sedimentatore.

L'utilizzo di tale metodologia non è esente da problemi di gestione, infatti i fanghi tendono a depositarsi e ad aderire alle lamelle tale fatto può essere ovviato mediante un semplice lavaggio periodico del pacco lamellare.

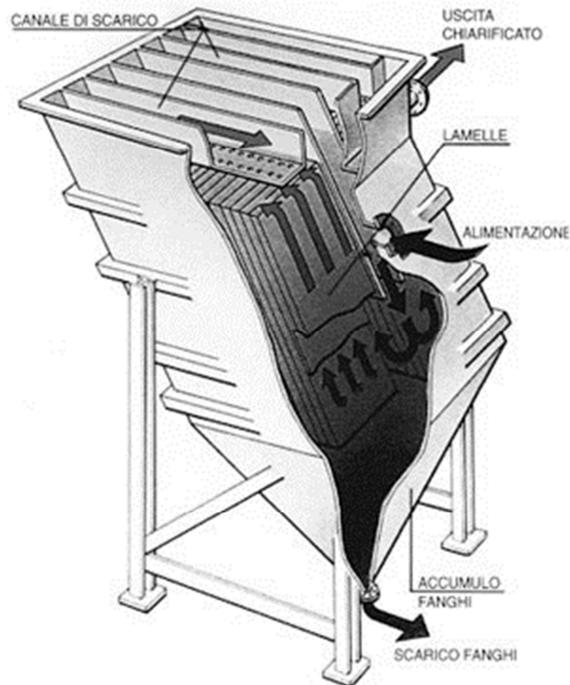


Fig. 3.5.7.1 : Decantatore lamellare

Nell'impianto è installato un decantatore lamellare con superficie di sedimentazione dichiarata dal produttore di  $27 \text{ m}^2$  che implica una velocità ascensionale di  $0,57 \text{ m/s}$ , per questa tipologia di fango la velocità ideale va da  $0,5$  a  $1 \text{ m/s}$ [6] .

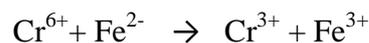
L'acqua priva di solidi sospesi in uscita dalla sezione superiore del decantatore viene inviata ad un'ulteriore fase di trattamento di affinaggio, mentre i fanghi estratti dal fondo del sedimentatore vengono inviati alla linea fanghi.

### 3.5.8 Affinaggio e filtrazione finale dell'acqua

L'acqua chiarificata viene inviata ad un pozzetto dove staziona in attesa di subire trattamenti di filtrazione spinta, all'interno di questo pozzetto si eseguono dei trattamenti di affinaggio attraverso l'aggiunta di reagenti chimici.

Per prima cosa si andrà ad ottenere una neutralizzazione dell'acqua originariamente ad un pH alcalino (9-9,5) attraverso l'aggiunta proporzionale di acido solforico controllata da un pHmetro fino ad ottenere un pH vicino alla neutralità (7-8).

Successivamente avviene l'aggiunta di 20 ppm di solfato ferroso, tale reagente va ad eseguire la riduzione di eventuali tracce di cromo esavalente secondo la reazione[6]:



Si ottiene così la trasformazione del cromo VI in cromo III innocuo per la salute umana e per l'ambiente.

Il pozzetto di raccolta è di 3 m<sup>3</sup> circa e il tempo di ritenzione dell'acqua al suo interno è di circa 10 minuti.

L'acqua viene infine rilanciata alla sezione di filtrazione finale, nella tubazione in mandata ai filtri viene immessa mediante pompa dosatrice una soluzione di ipoclorito di sodio (NaClO). L'addizione dell'ipoclorito viene effettuata per ridurre il solfato ferroso residuo e per eseguire una sterilizzazione in modo da evitare l'insorgere di proliferazione batterica sui letti a carboni attivi.

La prima serie di filtri è costituita da filtri in sabbia quarzatica funzionanti in parallelo con controlavaggi automatici.

La seconda filtrazione avviene in 2 filtri in parallelo riempiti di carboni attivi, qui la velocità di filtrazione è più bassa rispetto agli altri filtri per assicurare che il tempo di contatto acqua-carbone attivo permetta l'adsorbimento delle sostanze organiche (velocità massima 7 m/h).

In uscita dai letti a carboni attivi l'acqua subisce un finale trattamento passando attraverso filtri dal diametro di 1 m riempiti con 1500 litri di resina a scambio ionico selettiva per i metalli pesanti, qui l'acqua viene alimentata con una portata indicata dai produttori della resina (10 l/h per litro di resina).

I controlavaggi dei filtri vengono effettuati in automatico, le acque utilizzate per i lavaggi vengono inviate alla vasca di equalizzazione dove subiscono un ulteriore ciclo di trattamento.

### 3.5.9 *Disidratazione dei fanghi*

Il fango pompabile estratto da una valvola pneumatica a ghigliottina viene inviato alla disidratazione.

Tale disidratazione avviene mediante una filtropressa a pannelli dove si divide in modo efficiente il fango chimico ottenuto dal trattamento e l'acqua.

Dalla disidratazione si ottengono dei fanghi con una bassa percentuale di acqua che vengono stoccati in un cassone dove vengono recapitati tramite una coclea.

L'acqua ottenuta dalla divisione viene inviata nuovamente in vasca di equalizzazione.

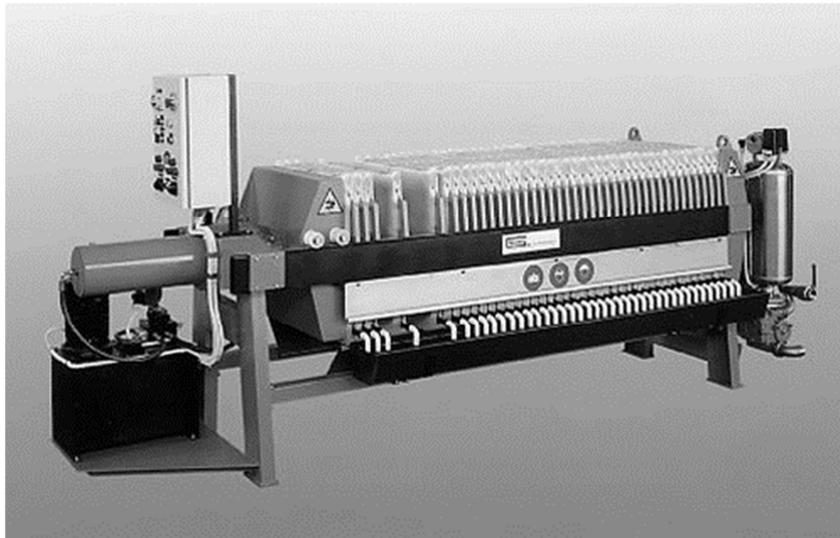


Fig. 3.5.9.1 Filtropressa a piastre

### *3.5.10 Seconda linea di trattamento*

Nella seconda linea di trattamento dei reflui che affianca la linea principale vengono recapitati gli effluenti liquidi derivanti dalla linea trattamento fumi delle linee di incenerimento 1 e 2.

Il trattamento riservato a queste tipologie di reflui è imposto dal diverso tipo di inquinamento che esse presentano.

I reflui in entrata vengono per prima cosa neutralizzati attraverso l'aggiunta di soda caustica, infatti, i reflui derivanti dalle torri di trattamento dei fumi presentano un pH basso a causa delle sostanze acide assorbite dalla corrente acquosa quali HCl, HF, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

In seguito alla neutralizzazione la corrente di refluo viene trattata mediante filtrazione.

Tale filtrazione si compone di diversi stadi, il primo stadio è una filtrazione attraverso filtri su quarzite a controlavaggio automatico.

Successivamente il refluo passa attraverso filtro a resine selettive specifiche dove viene rimosso il mercurio che si sviluppa in fase di combustione, tale inquinante è dovuto principalmente alla combustione di rifiuti ospedalieri.

Tale processo è obbligato a causa dell'alta tossicità del mercurio sia per la salute umana che per l'ambiente[7].

Subito il trattamento per la rimozione del mercurio le acque passano per una sezione di adsorbimento su carbone attivo e successivamente vengono inviate alla vasca di equalizzazione della linea principale di trattamento.

I controlavaggi avvengono in automatico e le acque vengono anch'esse inviate a equalizzazione.

Destinazione diversa però attende le acque di controlavaggio della resina a scambio ionico selettiva per il mercurio, esse vengono infatti stoccate in separata sede e inviate a smaltimento specifico come rifiuto pericoloso presso altre aziende che effettuano il trattamento conto terzi.

Tale procedura si effettua per non avere presenza di mercurio nei fanghi in uscita dal depuratore.

### 3.7. Bilancio massivo di acqua e stima dei consumi

Per quanto riguarda la stima dei consumi d'acqua della linea 3, poiché non sono presenti dati storici a fronte del recente avviamento, si è eseguito un indicativo bilancio di massa per andare a individuare l'effettivo consumo in ambiente idrico.

Attraverso la lettura dei contattori si risale al consumo di acqua, per i 6 mesi di funzionamento dell'inceneritore si sono consumati circa 55.000 m<sup>3</sup> di acqua potabile.

In uscita attraverso i controlli posti in camera di controllo si è stimato uno scarico medio di 1,3 m<sup>3</sup>/h nei quali non sono comprese le acque meteoriche.

Tale dato è stato rilevato in un periodo di bassa piovosità durante il quale si può considerare che tutte le acque inviate all'impianto di depurazione rappresentino quelle realmente derivanti dal processo di termovalorizzazione.

Si può quindi stendere un bilancio massivo di acqua applicato alla linea 3 sui dati semestrali e proiettarli successivamente su una stima annuale.

$$Q_{aq.depuratore} = 1,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/d} \cdot 162 \text{ d/semestre} = 5054 \text{ m}^3/\text{semestre}$$

$$Q_{aq.linea\ 3} = 55.000 \text{ m}^3/\text{semestre}$$

Estendendo il bilancio si risale alle correnti acquose derivate dal processo che vengono inviate in fognatura.

$$Q_{aq.fogna} = 110000 \text{ m}^3/\text{y} - 10100 \text{ m}^3/\text{y} = 99900 \text{ m}^3/\text{y}$$

Si ottiene che durante un anno di esercizio a pieno carico l'acqua consumata si attesta approssimativamente in 110000 metri cubi, di cui solo il 10% viene inviato al depuratore, mentre il resto viene inviato alla fognatura. Nel bilancio non figura la portata di acqua prelevata dal Piovego, questo perché essa non rappresenta alcun tipo di consumo visto che le portate rimangono inalterate.

Il fatto che solo una bassa percentuale dell'acqua utilizzata venga inviata al depuratore è giustificabile dalla presenza del circuito chiuso che riutilizza le acque inquinate chimicamente dagli inibitori di corrosione inseriti per la salvaguardia delle tubature e dal fatto che l'acqua

dei controlavaggi dei filtri di demineralizzazione venga scaricata direttamente alla rete fognaria.

Durante un anno di esercizio, considerando l'impianto funzionante a pieno carico (si considerano 325 giorni di funzionamento), si provvede all'incenerimento di circa 93600 tonnellate di rifiuti solidi urbani.

Si può quindi risalire al fattore di consumo d'acqua per la terza linea d'incenerimento, tale dato si attesta su  $1,2 \text{ m}^3_{\text{acqua}}/\text{ton}_{\text{rsu}}$ .

Da dati presentati nella dichiarazione ambientale presentata da AcegasAPS per l'anno 2009 risulta che le altre linee di incenerimento richiedevano  $2,1 \text{ m}^3_{\text{acqua}}/\text{ton}_{\text{rsu}}$ .

È evidente dal confronto dei consumi che le tecnologie sviluppate ed adottate nella terza linea determinano un consumo molto minore di acqua.

Tale risparmio può essere individuato nella scelta di effettuare un trattamento a secco dei fumi e ad una progettazione più accurata che prevede l'utilizzo di maggiori circuiti chiusi e recuperi.

# Conclusioni

Durante i tre mesi di tirocinio svolto presso la linea 3 si è cercato innanzitutto di riuscire a comprendere i principi che stanno alla base del processo di termovalorizzazione sia dal punto di vista teorico che dal punto di vista processuale-impiantistico.

Attraverso le relazioni tecniche presentate in fase di autorizzazione e mediante l'utilizzo di schemi di impianto e di processo e grazie anche alle consulenze ottenute dai tecnici specializzati, si sono ottenute le conoscenze preliminari per effettuare lo studio prestabilito.

La prima parte del tirocinio è quindi stata quasi totalmente rappresentata da ricerche di documenti e di informazioni.

Dopo aver familiarizzato con il processo e soprattutto con l'impianto, cosa non immediata visto la complessità e la grandezza, si è pianificato il lavoro riguardante i bilanci massivi ed energetici seguendo la traccia dei calcoli di progetto.

La parte che ha richiesto più tempo è stata la raccolta dati, si è deciso infatti di utilizzare dati di processo a volte difficili da reperire nonostante la presenza di una camera di controllo da dove era possibile monitorare il funzionamento di tutto l'impianto.

I dati a volte non erano disponibili per mancanza di controlli su parametri molto importanti per lo sviluppo dei bilanci e quindi si è reso necessario effettuare dei bilanci aggiuntivi per l'ottenimento di tali informazioni, altre volte queste informazioni si sono ottenute mediante sopralluogo in impianto e misurazione diretta.

I bilanci sono stati stesi e risolti mediante l'utilizzo di dati mediati nelle tempistiche di studio dell'impianto.

I risultati ottenuti quali l'energia prodotta e l'aumento di temperatura dell'acqua di raffreddamento sono stati confrontati con quelli realmente ottenuti nel processo di incenerimento e si è riscontrata un'ottima compatibilità, le differenze riscontrate possono trovare spiegazione nella non idealità di tutti i processi e nelle imprecisioni statistiche delle medie dei dati.

Il bilancio energetico oltre che per la stima dell'energia prodotta è stato utilizzato per verificare la compatibilità della terza linea con le normative ambientali vigenti per lo scarico.

Si è valutato l'impatto ambientale del processo sull'ambiente idrico Piovego, verificando che le acque di raffreddamento utilizzate in fase di condensazione non inducano all'interno del corso d'acqua un innalzamento di temperatura troppo elevato.

Mediante ulteriori bilanci si è quindi stimato l'aumento di temperatura del corso d'acqua dovuto allo scarico delle acque di condensazione e successivamente si sono confrontati i dati ottenuti con i limiti normativi.

Tale verifica è stata difficoltosa in quanto la normativa che regola lo scarico di acque di raffreddamento non è molto chiara, sarebbe molto più applicativo e concreto se essa stabilisse una quantità massima di potenza termica da disperdere e non una variazione massima di temperatura nelle sezioni a valle dello scarico, difficile da valutare in fase di progetto e da misurare in fase di esercizio.

La parte finale del lavoro ha preso in analisi tutti i flussi in ingresso e in uscita nella linea 3 di incenerimento, di tali flussi si sono analizzati origine, uso, inquinamento presentato allo scarico e infine la destinazione di scarico.

Lo studio è avvenuto in un primo momento dal punto di vista qualitativo, andando ad analizzare anche l'impianto di depurazione chimico-fisico a servizio dell'inceneritore, e in seguito quantitativamente analizzando i consumi d'acqua in dettaglio.

Quest'ultima fase ha presentato dei problemi dovuti soprattutto alla difficile reperibilità dei dati sul campo.

Una volta raccolti i dati si è steso il bilancio e stimato il consumo di acqua annuale, il dato ottenuto si è rapportato alle quantità di rifiuti trattati andando a stimare la richiesta d'acqua di cui necessita il processo per la termovalorizzazione di una tonnellata di rifiuto.

Durante il tirocinio si è acquisita una conoscenza globale del processo di produzione energetica a partire da un rifiuto urbano, capendo le difficoltà di gestione che può avere un impianto di tale tipologia per mantenere un rendimento elevato ed essere sostenibile sia dal punto di vista ambientale che economico.

Altro concetto assimilato è stato quanto influiscono le scelte di processo effettuate in fase di progettazione sulla successiva conduzione, avendo a disposizione in loco dei termini di confronto realistici quali le altre 2 linee di incenerimento, in tal senso l'esempio lampante che si riporta è il miglioramento ottenuto nei consumi idrici e di conseguenza economici attraverso la scelta di utilizzare un trattamento a secco per gli inquinanti gassosi.

Concludendo si può affermare che un impianto d'incenerimento progettato e condotto in modo virtuoso, come quello della terza linea, non solo rappresenta un'ottima soluzione per il trattamento dei rifiuti affiancata da una raccolta differenziata spinta, ma permette anche di pensare il rifiuto urbano come una risorsa per la produzione energetica a basso costo con un impatto ambientale accettabile.

## Riferimenti bibliografici

- 1 Harvey Alter, *Material recovery from municipal waste*, Dekker, 1983
- 2 Tillman,Rossi,Vick, *Incineration of municipal and hazardous solid waste*, Accademic Press inc. 1989
- 3 Alberto Cavallini, Lino Mattarolo, *Termodinamica applicata*, Cleup Editore 1972
- 4 Stefano Maglia, *La gestione dei rifiuti dalla A alla Z*, Irnerio Edizioni
- 5 Stefano Maglia, Paolo Pipere, *Rifiuti le norme e gli adempimenti*, Ars Edizioni
- 6 Roberto Passino, *Manuale di conduzione degli impianti di depurazione delle acque*, Zanichelli/Esac 1999
- 7 Luigi Masotti, *Depurazione delle acque, tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*,2002

### Siti web:

<http://www.gruppo.acegas-aps.it/cms.php?sz=257>

<http://www.termovalorizzatore.it/thermo/.../europa.htm>

<http://www.termotrezzo.it>

Si ringrazia la società AcegasAPS spa per aver dato la possibilità di eseguire tali studi presso i propri impianti.

Si ringraziano in modo particolare l'Ingegnere Giuseppe Sergio Trapanotto e il Geometra Rodolfo Rossi per il tempo dedicatomi e le preziose conoscenze che hanno messo a mia disposizione.

