

Capitolo III  
Inceneritori

Figura 3.1: Impianto di incenerimento sito nell'area di Forlì, capace di trattare 18 t/h di rifiuti domestici



Figura 3.2: Inceneritore di Vienna, decorato da Friedensreich Hundertwasser, collegato ad una rete di distribuzione di calore.

Figura 3.3: Inceneritore di Thun situato nei pressi dell'omonimo lago nel cantone di Berna.

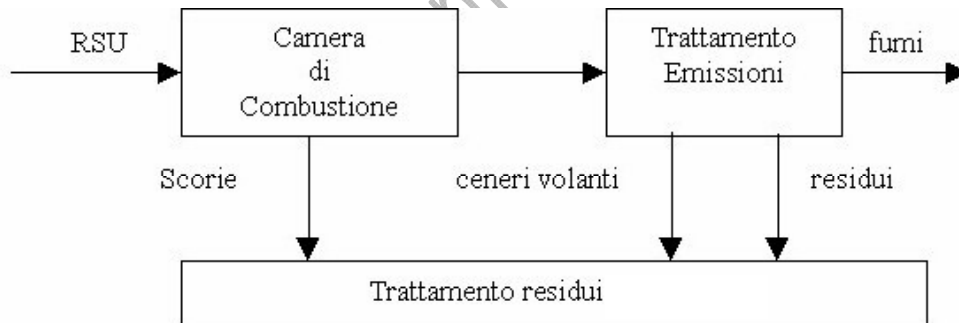


Gli inceneritori sono impianti principalmente utilizzati per lo smaltimento dei rifiuti mediante un processo di combustione ad alta temperatura (incenerimento) che dà come prodotti finali un effluente gassoso, ceneri e polveri. Negli impianti più moderni, il calore sviluppato durante la combustione dei rifiuti viene recuperato e utilizzato per produrre vapore, poi utilizzato per la produzione di energia elettrica o come vettore di calore (ad esempio per il teleriscaldamento). Questi impianti con tecnologie per il recupero vengono indicati col nome di inceneritori con recupero energetico, o più comunemente **termovalorizzatori**.

Il processo d'incenerimento dei rifiuti urbani, oggi chiamato preferibilmente termo-valorizzazione e/o termo utilizzazione dei rifiuti, è un processo di combustione controllata, che deve assicurare una sufficiente degradazione della sostanza organica presente nei rifiuti e, se possibile di tutti i sottoprodotti di combustione più dannosi per la salute umana.

All'interno del forno si generano tre flussi di materia, un flusso gassoso, un flusso di particolato e di sostanze condensabili, chiamato "ceneri volanti", pari al 2-3% del RSU in ingresso e un flusso di scorie pesanti pari al 15 - 25% del RSU in ingresso.

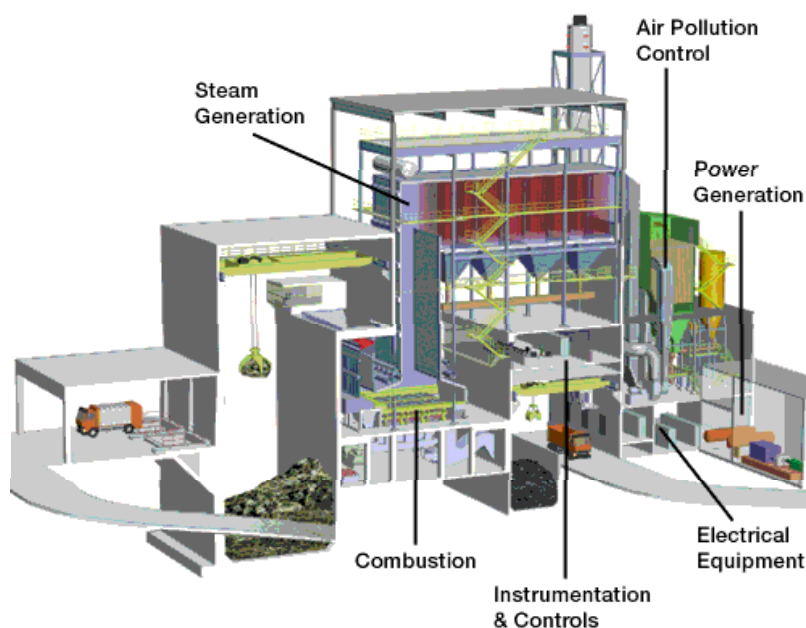
Figura 3.4: Schema dei flussi principali all'interno dell'inceneritore



Nel flusso gassoso sono presenti gli inquinanti gassosi prodotti dalla combustione che sono ossidi di zolfo, ossidi di azoto, monossido di carbonio, composti inorganici del cloro e del fluoro, composti organici volatili, PCDD e PCDF, metalli pesanti. Le ceneri volanti, che costituiscono la componente più leggera delle scorie, vengono trasportate eolicamente dai fumi di combustione, per cui fino alle sezioni di **abbattimento delle polveri, questo flusso** è unito a quello gassoso. Bisogna infine menzionare che alcune delle sostanze emesse, anche se non espressamente normate, quando si diffondono in atmosfera al di là di certe concentrazioni, risultano particolarmente sgradite in quanto possono provocare odori molesti, accentuando l'impatto ambientale dell'insediamento. La quantità d'inquinanti che complessivamente

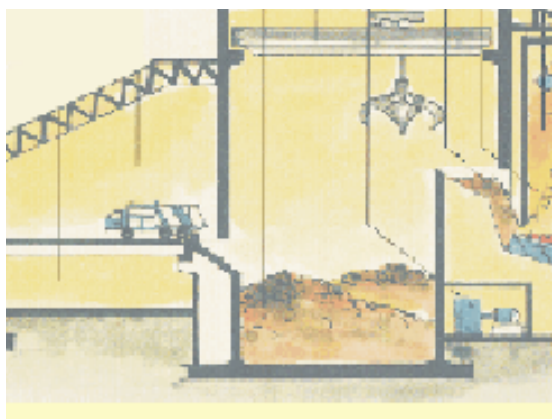
fuggono dagli impianti di abbattimento sono un aspetto fondamentale dell'impatto ambientale determinato da un termo distruttore. Da questa considerazione nasce l'utilità, attraverso un modello di simulazione, di ottenere anche solo in termini di stima di alcuni inquinanti, il carico emissivo ed il *trend* di quest'ultimo, al variare del tipo di rifiuti alimentati nel forno.

Figura 3.5: Vista di un impianto d'incenerimento nel suo insieme



Gli impianti d'incenerimento si differenziano tra loro per i seguenti aspetti: la matrice e/o matrici combustibili, la tipologia del forno, i processi adottati nella depurazione dei fumi e con quale ordine vengono eseguiti. **Lo stoccaggio** dei rifiuti avviene in enormi vasconi coperti di cemento armato, dove il rifiuto è direttamente scaricato dai mezzi di raccolta attraverso apposite bocche di scarico.

Figura 3.6: Modalità di scarico dell'RSU e bacino di stoccaggio



Per ridurre l'emanazione di odori all'esterno tutta l'area è in depressione, in quanto le bocche di scarico, che costituiscono l'unico collegamento con l'esterno sono proprio le prese d'aria comburente necessaria alla combustione dei rifiuti. Il materiale stoccato, tramite opportuni mezzi di sollevamento viene miscelato, nel tentativo di omogeneizzare, per quanto possibile le diverse componenti del rifiuto e successivamente inviato alla combustione attraverso apposite tramogge. Spesso alcune tipologie di rifiuto, normalmente provenienti da scarti di rifiuti selezionati e con alto potere calorifico, vengono stoccate in aree separate per poter incrementare il potere calorico della miscela di rifiuti in particolari condizioni, ad esempio quando le precipitazioni **atmosferiche determinano, una raccolta di RSU molto umidi.**

La **preparazione dei materiali** da incenerire comporta principalmente due trattamenti, non sempre vincolanti, in quanto le caratteristiche di inceneribilità di un rifiuto dipendono dalle tecnologie adottate e dal dimensionamento del forno. I trattamenti che possono subire i rifiuti prima dell'invio in camera di combustione sono:

- **l'essiccamento**, che determina un incremento del potere calorifico del rifiuto, una più veloce combustione, una minore quota di umidità nei fumi. L'essiccamento dei rifiuti viene però raramente adottato presso l'impianto d'incenerimento per le difficoltà tecniche/economiche che insorgono, nonostante la disponibilità del calore di scarto dell'inceneritore, non utilizzabile ai fini del recupero energetico. Tra le difficoltà sopra menzionate possiamo citare, come esempio, l'impianto aggiuntivo di trattamento delle emissioni dei vapori e gas prodotti dall'essiccazione. L'essiccamento trova invece impiego su alcune tipologie di rifiuti come le biomasse, dove sono possibili processi di bioessiccazione sul luogo di produzione del rifiuto. In questo processo lo sviluppo di calore è intrinseco ai materiali stessi per cui le quantità d'aria da trattare sono minime. In assenza del trattamento preliminare di essiccamento, quest'ultimo si svolge nella prima sezione del forno d'incenerimento, che dovrà pertanto essere dimensionato opportunamente, per incrementare il tempo di permanenza dei rifiuti all'interno della camera di combustione.
- **Frantumazione**, eseguita in mulini a martelli o a lame, permette la riduzione della pezzatura ed una migliore miscelazione del rifiuto, con conseguente maggior omogeneità della combustione. La riduzione della pezzatura del rifiuto comporta tempi d'incenerimento minori dei "monoliti", per l'incrementato rapporto superficie/volume. Inoltre la riduzione volumetrica complessiva permette una più facile gestibilità del rifiuto durante le operazioni di carico al forno.

- **Alimentazione del forno.** L'alimentazione dei rifiuti avviene tramite tramogge che convogliano il rifiuto o direttamente nella camera di combustione o in camere di carico a servizio di spintori che introducono il rifiuto in testa al forno. Con l'uso di spintori si limita l'afflusso d'aria dalle bocche d'ingresso del rifiuto, permettendo una più corretta distribuzione dell'aria comburente sul rifiuto stesso. Questa tipologia di alimentazione, comune a molti forni per RSU, presenta altresì lo svantaggio di una alimentazione discontinua, con conseguente oscillazione dei parametri ottimali dell'incenerimento. Nei moderni forni d'incenerimento RSU si è ovviato al problema della discontinuità di carico, aumentando il numero di spintori in modo di rendere il caricamento più costante. Questa tecnologia migliora notevolmente l'omogeneità delle caratteristiche dei fumi nella camera di post combustione, permettendo una più facile impostazione dei parametri d'incenerimento ottimali.

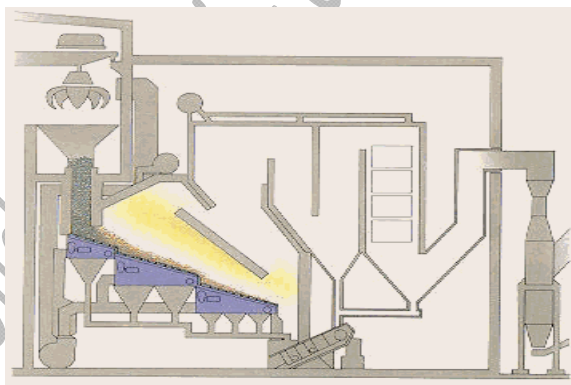
**Camera di combustione.** Le camere di combustione primarie sono di diverso tipo, le più comuni sono con griglia a gradini e a tamburo rotante: oltre il 70% degli impianti di termo distruzione funzionanti in Italia. Nella prima zona del forno avviene la fase di essiccamento del rifiuto, segue la fase di combustione e per ultimo il completamento della combustione delle scorie. Le camere di combustione moderne, grazie alle migliorate prestazioni, hanno permesso di superare l'imposizione di una successiva camera, detta di post combustione, prevista espressamente nella passata normativa. L'aria comburente viene introdotta nella camera attraverso diverse modalità che variano in base alla tipologia di forno primario adottato, alla presenza o meno di una camera di post combustione, al tipo di rifiuto incenerito.

**Griglia a gradini.** E' il tipo più diffuso negli impianti d'incenerimento degli RSU, grazie soprattutto alla sua elasticità gestionale. La griglia di combustione è generalmente concepita modularmente. Negli impianti più moderni, ogni modulo è dotato di un proprio sistema indipendente che provvede al movimento dell'elemento stesso ed al fabbisogno di aria comburente, grazie ad un sistema di telecamere a infrarossi che rilevano la temperatura sulla superficie nelle varie zone della griglia ed interviene sulle regolazioni di aria comburente e velocità di trasporto. La caratteristica fondamentale della griglia consiste nell'avere una superficie di combustione orizzontale ed un movimento controllato che favorisce il mescolamento del materiale combustibile. Questo permette di ottenere dei rendimenti elevati con una minore lunghezza. Nella prima zona della griglia avviene l'essiccamento del materiale, successivamente si ha la zona di combustione primaria dove si raggiungono le temperature più elevate, valori di 1100-1200°C. La griglia in questa zona è provvista di un

sistema di raffreddamento, o con la stessa aria comburente o con raffreddamento a liquido che non permette temperatura di esercizio superiore. Grazie ad una miglior distribuzione dell'aria comburente si ottiene una riduzione del flusso totale limitando la formazione termica di NOx.

L'aria di combustione primaria viene insufflata a diverse velocità in zone diverse all'interno dello strato di materiale combustibile. Il flusso di attraversamento medio è nell'ordine dei  $0.3 \text{ Nm}^3/\text{s}$  per  $\text{m}^2$ . Questi valori sono stati successivamente presi come riferimento per le prove di trasporto eolico effettuate sulle ceneri. Successivamente, nel forno a griglia, l'aria di combustione secondaria è insufflata frontalmente e posteriormente alla camera di combustione, in modo di ottenere una forte turbolenza nei gas sovrastanti lo strato di combustione. Nella parte terminale della griglia si ha il completamento della combustione delle scorie, che al termine del loro percorso vengono estratte per caduta all'interno di una guardia idraulica che, oltre a provvedere al loro rapido raffreddamento impedisce ingressi d'aria incontrollati. Le scorie raffreddate sono trasportate per mezzo di coclee e nastri trasportatori nella zona di stoccaggio prevista, previo un trattamento di deferrizzazione finale tramite separatori magnetici.

Figura 3.7: Schema del forno a griglia



**Il Forno Rotativo.** E' costituito da un tamburo rotante con un asse d'inclinazione tra i  $5^\circ$  e  $15^\circ$ . La rotazione del tamburo garantisce il continuo rimescolamento delle scorie ed al loro avanzamento. La durata del processo è strettamente legata alla velocità di rotazione impostata. E' un prodotto tipicamente rivolto ai rifiuti industriali, tossico nocivi ed ospedalieri con alto potere calorifico. E' comunque predisposto per trattare anche contemporaneamente rifiuti solidi, liquidi ad alto e basso PCI, fanghi palabili e pompabili. L'aria comburente è inviata in testa assieme al rifiuto in ingresso e la sua regolazione è, per questi aspetti, più semplice.

**Camera di post combustione.** La camera di post combustione può essere descritta come una zona di completamento della combustione dei fumi prodotti dalla camera di combustione primaria. Nella recente normativa la camera di post combustione non è espressamente imposta, ma viene spesso ancora adottata in quanto permette di controllare con maggior garanzia il rispetto delle condizioni imposte dalla norma. L'impianto d'incenerimento deve infatti possedere una "zona" di combustione in cui la massa dei fumi che giungono al suo interno siano in una condizione di forte turbolenza, vi debbono rimanere per un tempo superiore ai due secondi, ad una temperatura superiore di 850°C, in presenza di una quota di ossigeno superiore al 6% v/v. Per rispettare queste condizioni la camera di post combustione possiede due parametri dimensionali fondamentali, la sezione d'ingresso e la sua geometria, non sempre individuabili con certezza in una unica camera primaria. La sezione d'ingresso doveva, ai sensi del DPR 915/82, determinare una velocità d'ingresso dei fumi minima di 10 m/s, questo valore non è così espressamente richiamato dalla recente normativa DM 503/97, anche se nello stesso decreto viene ribadita la necessità di turbolenza nei fumi. Il volume della camera di post combustione viene determinato dal tempo di residenza dei fumi, minimo 2 s, e dalla portata dei fumi alla temperatura di esercizio del forno.

Nel dimensionare la camera di post combustione deve essere ricordato che il tempo medio di permanenza dei fumi non è un parametro completamente esaustivo al fine di ottenere l'efficienza del trattamento, infatti è pure importante la distribuzione dei tempi di permanenza dei fumi attorno al proprio valore medio. La deviazione standard dei tempi di ritenzione medi della massa dei fumi può essere valutata con alcune tecniche basate su parametri dimensionali della camera, ma essendo al di là dello scopo di questo lavoro, non si applica al modello in oggetto. La camera di post combustione è inoltre dotata di bruciatori ausiliari in grado di innalzare la temperatura al suo interno ogni qualvolta si renda necessario e della possibilità di introdurre aria comburente, detta secondaria, qualora la concentrazione dell'ossigeno sia inferiore ai limiti imposti. Nel dimensionare la camera di combustione si deve anche considerare il volume di fumi apportati dall'uso dei bruciatori ausiliari.

**Recupero energetico.** Il recupero energetico è un fattore fortemente caratterizzante dei moderni impianti di smaltimento per incenerimento. Nei moderni impianti di incenerimento degli RSU sia con la produzione di energia elettrica, avviene attraverso la produzione di vapore surriscaldato ad alta pressione e turbine, sia con l'utilizzo diretto del calore non utilizzabile in questa via, ad esempio il teleriscaldamento. L'accoppiamento di queste modalità di recupero dell'energia termica dei rifiuti rende questo processo di smaltimento economicamente più favorevole rispetto al passato, tanto che oggi si preferisce utilizzare per

questa tipologia d'impianti il termine "termovalorizzazione". La sezione di recupero energetico svolge anche un'importante funzione nella depurazione dei fumi.

Infatti con il rapido raffreddamento dei fumi si riduce la possibilità di reazioni secondarie di formazione d'inquinanti, ad esempio la formazione di diossine "ex novo", inoltre l'abbassamento di temperatura determina una contrazione delle portate dei fumi negli impianti di depurazione. I vantaggi di un efficiente raffreddamento dei fumi a monte dei sistemi di abbattimento sono molteplici e vanno oltre al semplice dimensionamento degli impianti. Ad esempio nel caso di trattamento ad umido si ottiene una notevole riduzione della quantità di acqua evaporata dai sistemi di abbattimenti con riduzione della percentuale di vapore nei fumi emessi e conseguente abbassamento del punto di rugiada nei fumi.

**Sistemi di abbattimento degli inquinanti.** La scelta degli strumenti più adatti per abbattere le emissioni di inquinanti in atmosfera, dipende dal tipo di rifiuto bruciato e dalla tecnologia disponibile al momento della stesura del progetto dell'impianto abbattente. Un impianto di abbattimento che forniva prestazioni accettabili per le normative passate oggi non è più sufficiente. Lo sviluppo tecnologico dei processi d'incenerimento non si è solo concentrato sulle tecnologie di depurazione vere e proprie, ma proprio per i costi d'investimento e gestionali di questi ultimi, si è concentrato sullo sviluppo delle camere di combustione. Si sono prodotti forni che utilizzano quantitativi di aria comburente minori, proprio per ridurre sia la formazione d'inquinanti come gli ossidi di azoto, sia per ridurre i volumi dei fumi da trattare. In conclusione si è introdotta la filosofia che la camera di combustione è il primo sistema di abbattimento degli inquinanti. L'emanazione di normative sempre più severe hanno comunque indirizzato i progettisti ad utilizzare soluzioni tecnologiche relativamente nuove. Ad esempio per ridurre l'emissione di particolato, si sono resi necessari l'adozione di abbattimenti a secco o semi secco seguiti da filtri a maniche.

Si può trarre la conclusione che la "tecnologia appropriata" richiamata dalla normativa è sempre in via di evoluzione ed è stabilita dalla combinazione delle leggi nazionali con quelle sovranazionali (nel nostro caso, europee). Anche se da un punto di vista ambientale l'ideale è poter sempre adottare la migliore tecnologia applicabile, considerazioni principalmente economiche, non sempre consentono tale scelta. Vale inoltre il principio che, al di là dell'abbattimento degli inquinanti, tutti gli sforzi vanno fatti "a monte", cioè nella scelta della tecnologia del processo primario, per tendere a diminuire il più possibile le emissioni. Tecnicamente **gli impianti di abbattimento** si possono dividere in "**impianti a umido**" e "**impianti a secco**".



Gli **impianti a umido** svolgono la loro azione di abbattimento degli inquinanti attraverso l'impatto tra le particelle del liquido di abbattimento e le particelle liquide e/o solide degli inquinanti, con conseguente cattura nella massa liquida del particolato e nell'azione di assorbimento sulla superficie del liquido di abbattimento dei gas acidi presenti, agevolata dalla alcalinità del liquido stesso, che viene generata con aggiunta di reattivi basici.

Gli **impianti a secco** svolgono la loro azione attraverso un dosaggio in linea di un reattivo basico, calce o bicarbonato finemente polverizzato, per assorbire gli inquinanti acidi e di un reattivo adsorbitore quale il carbone attivo per le sostanze organiche ed il mercurio. Le polveri vengono successivamente estratte dal flusso gassoso utilizzando opportuni sistemi filtranti. Nel dettaglio le apparecchiature più frequentemente usate sono i **cycloni**, le apparecchiature più comuni e sono utilizzati per abbattere il particolato presente nei fumi, sfruttano la forza centrifuga generata da un percorso curvilineo obbligato del flusso gassoso. È un sistema economico ed idoneo ad eliminare il particolato di pezzatura maggiore. È generalmente considerato un trattamento preliminare.

**Precipitatori elettrostatici.** Il precipitatore elettrostatico (ESP) utilizza un campo elettrico per separare il particolato e indirizzarlo verso la superficie di raccolta. Le particelle vengono caricate elettricamente facendole passare attraverso una zona detta corona, che è uno spazio interno del precipitatore elettrostatico nel quale è presente un gas altamente ionizzato. La corona è normalmente costituita da ioni negativi. L'effetto di carica è più sentito dalle particelle più grandi poiché presentano una maggior sezione al loro ingresso nella corona. Le particelle così caricate vengono attratte da piastre metalliche caricate con carica opposta, dove si scaricano e si aggregano in particelle di maggiori dimensioni che precipitano in una tramoggia sottostante.

**Filtri a maniche.** Il filtraggio delle polveri è un mezzo molto efficace per la rimozione del particolato da un gas. L'efficienza di rimozione è superiore a quella della maggior parte degli altri sistemi per il controllo delle emissioni di particelle microscopiche. Questa è quella frazione di particolato che ha speciale importanza per valutazione della emissione di polveri respirabili e per alcuni altri aerosol di composti organici cancerogeni e tossici. Il filtraggio è essenzialmente costituito da gruppi di sacche cilindriche piuttosto lunghe e montate su una incastellatura, i parametri che determinano il rendimento nell'abbattimento del particolato sono: la superficie filtrante in rapporto alla massa di fumi da trattare, la porosità del tessuto, la temperatura di esercizio, la quantità di particolato e la distribuzione come pezzatura.

**Depuratori a umido.** Come già accennato, i depuratori a umido comprendono un'ampia gamma di sistemi, aventi spesso doppia funzione, rimozione del particolato e adsorbimento di uno o più inquinanti gassosi. Il raffreddamento e l'umidificazione dei gas che si verificano in un depuratore a umido possono creare effetti collaterali. L'utilizzo di questi sistemi infatti introduce il problema degli effluenti liquidi che necessitano di ulteriori processi di trattamento o particolari zone di stoccaggio. Questi svantaggi spesso fanno sì che ci si indirizzi verso sistemi di depurazione a secco. I depuratori a umido usano tutti gli stessi principi base, cioè dispongono di una superficie umida che agisce come bersaglio per le particelle, che vengono precedentemente accelerate, creando dei gradienti di velocità.

Il **particolato** viene catturato mediante tre meccanismi fondamentali: **impatto**, quando le particelle colpiscono direttamente la superficie umida; **intercettazione**, quando le particelle vengono a trovarsi tanto vicino alla superficie umida da venir catturate; **diffusione**, quando le particelle, sospinte dal moto browniano, colpiscono la superficie umida e vengono catturate. Il **rendimento** di tutti e tre i meccanismi cresce all'aumento del numero delle gocce bersaglio, alla differenza di velocità tra particelle e gocce ed alle caratteristiche inerziali delle particelle.

I **depuratori a umido** indirizzati alla separazione di particolato sono detti Venturi (dall'omonima geometria), meccanismo di abbattimento privilegiato nelle applicazioni ad impianti di incenerimento. La sua posizione dominante nasce dall'elevato rendimento raggiungibile, dall'efficacia del contatto gas-liquido per l'adsorbimento dei gas e dalla sua semplicità meccanica. Inoltre, da quando è tecnicamente possibile realizzare "Venturi" a geometria variabile, è possibile mantenere un ampio rendimento per diversi valori della portata dei gas. Il depuratore di tipo Venturi è diviso in tre zone: **la zona convergente**, dove il gas viene accelerato alla massima velocità da un condotto; **la zona di gola**, dove viene introdotto il liquido utilizzando uno spruzzatore o più semplicemente, introducendolo nel flusso dei gas; **la zona divergente**, dove il flusso viene decelerato fino alla sua velocità iniziale. L'ampia differenza di velocità tra il liquido e il gas nella zona della gola, fa sì che questo venga nebulizzato. Poiché in questa zona i gradienti di velocità sono i maggiori, è qui che si verifica la maggior parte degli urti goccia/particella solida. Lo scarico di un "Venturi" spesso viene sagomato ad angolo retto, in modo che l'acqua rallenti e si depositi fungendo da riserva di fluido.

**Torri di lavaggio.** Si tratta in genere di serbatoi cilindrici in cui ci sono degli ugelli che spruzzano in controcorrente o in equicorrente il

liquido di lavaggio. La torre può essere vuota o riempita con corpi inerti, che hanno lo scopo di incrementare la superficie di cattura del particolato, grazie al film liquido che li ricopre. I sistemi più semplici contengono al loro interno dei dischi rotanti che generano e proiettano delle goccioline sulle pareti interne della torre. Queste goccioline, attraversando la sezione della colonna, incrociano ed inglobano il particolato trascinato dal flusso gassoso. La nebulizzazione del liquido è in questi impianti indipendente dal flusso dei gas, ragione per cui sono adatti per trattare flussi gassosi particolarmente variabili.

**Camino di emissione.** Il camino dell'emissione deve garantire che il flusso d'inquinanti residui sia rapidamente disperso in atmosfera. La velocità con cui gli inquinanti si disperdono in atmosfera dipende dall'altezza del camino e dal contenuto entalpico dei fumi. I gas infatti si innalzano oltre il punto di emissione grazie alla quantità di moto posseduta allo sbocco ed all'effetto di galleggiamento che è determinato dalla differenza di temperatura con l'aria circostante. L'altezza a cui il pennacchio di fumi s'innalza oltre il punto di sbocco è definita "innalzamento del pennacchio". Comunemente si ritiene che un'altezza del camino di circa 60 m sia generalmente sufficiente. Si può verificare all'immissione dei fumi in atmosfera, la formazione di un pennacchio molto visibile, dovuto alla condensazione. Questo inconveniente, anche se ha un aspetto puramente psicologico, può causare diversi problemi con le popolazioni abitanti la zona in cui sorge il sito, in quanto la presenza del fumo bianco viene collegata a fenomeni d'inquinamento. Per eliminarlo si ricorre ad un impianto, chiamato di antipennacchio, costituito da un ventilatore supplementare e da uno scambiatore termico. Parte dell'energia prodotta dall'incenerimento viene utilizzata per produrre una certa quota di aria calda. Quest'aria viene pre-miscelata con i fumi umidi provenienti dall'incenerimento, in modo di abbassare la temperatura di rugiada ed evitare fenomeni di condensazioni in prossimità dello sbocco del camino.

**Parametri operativi.** Le difficoltà maggiori che insorgono nella gestione di un impianto d'incenerimento sono strettamente correlate alla variabilità dei rifiuti da incenerire. Il gestore dell'impianto controlla l'efficienza del processo attraverso una corretta gestione dell'alimentazione del rifiuto e mantenendo alcuni parametri fisici entro certi set ritenuti ottimali. La corretta gestione del rifiuto è finalizzata a mantenere per quanto possibile costante il carico termico introdotto nel forno ed il carico di inquinanti che si possono sviluppare durante la combustione. Questa condizione si ottiene pre-miscelando opportunamente i rifiuti nel bacino di stoccaggio e mantenendo a disposizione una certa quantità di rifiuto ad alto potere calorifico, generalmente costituito da materiale plastico, per correggere il carico

termico in ingresso al forno. L'ottimizzazione del processo avviene in seguito attraverso il controllo di parametri fisici e chimici quali temperature, depressioni, flussi di aria comburente, dosaggi di reagenti, ecc.

Come si può desumere dai processi di formazione degli inquinanti, le diverse condizioni di esercizio hanno un immediato impatto sulla qualità dell'incenerimento e sulle emissioni gassose di inquinanti. Questi parametri vanno a determinare delle condizioni diverse e specifiche di lavoro che possiamo definire genericamente "carico d'impianto". La definizione del massimo carico d'impianto è fondamentale in una corretta gestione del processo. Generalmente si correla il carico semplicemente alla quantità di rifiuti alimentata, ma ciò è troppo semplicistico e non sufficiente. Uno degli obiettivi del modello di simulazione è di definire in maniera più corretta le condizioni di massimo carico dell'impianto. Il massimo carico di un impianto ai fini emissivi è una valutazione complessa e non univoca ed è funzione, oltre che della quantità di rifiuti alimentata, anche delle condizioni operative (flessibilità gestionale), delle modalità di alimentazione, della qualità del rifiuto combusto (flessibilità nell'alimentazione) e degli analiti ricercati (scelta del controllo).

#### **Composizione e struttura del rifiuto.**

- La presenza di cloro, azoto o di zolfo organico determina la formazione di HCl, NO<sub>x</sub> ed SO<sub>x</sub>.
- La presenza di cloro contemporaneamente a precursori ed in condizioni ambientali favorevoli determina una maggiore formazione di PCDD e PCDF.
- La presenza di inerti polverizzabili alle condizioni operative comporta un aumento del carico di polveri.
- Una sostanza molto combustibile richiede una maggior quantità di aria comburente. Le conseguenze sono una possibile riduzione temporanea del tenore d'ossigeno con riduzione della resa di combustione ed un incremento delle portate dei fumi.
- Le variazioni di portata dei fumi causate dalla diversa composizione determinano oscillazioni nei rendimenti dei sistemi di abbattimento.

**Modalità di alimentazione del rifiuto.** Come già accennato nella descrizione del processo d'incenerimento e più nel dettaglio delle modalità descritte nel capitolo di "alimentazione del forno", le diverse modalità operative hanno i seguenti effetti:

- alimentazione a pistone: rispetto ad un'azione continua determinano maggiori oscillazioni dei parametri di conduzione, con conseguente difficoltà nella gestione dei parametri ottimali di conduzione, quindi peggiore qualità del processo.

- riturazione: essa influisce sul processo in quanto un corpo monolita richiede molto più tempo per terminare il processo d'incenerimento, quindi la distribuzione della pezzatura dei corpi inceneriti incide nella possibilità di innalzare la quota di residuo incombusto.

**Temperatura.** Una elevata temperatura incrementa le velocità di combustione delle sostanze organiche migliorando per questi parametri la qualità delle emissioni, così come riduce il tenore d'incombusti nelle scorie. Nel contempo però l'elevata temperatura facilita la formazione di altre specie inquinanti, quali gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio o l'incremento della concentrazione di elementi volatili come alcuni metalli pesanti.

**Ossigeno residuo.** Come per la temperatura una elevata concentrazione di ossigeno nei fumi comporta una migliore combustione delle sostanze organiche, compreso il monossido di carbonio, ma comporta un incremento di NO<sub>x</sub> termici. Inoltre un aumento della concentrazione dell'ossigeno residuo comporta indirettamente un incremento della portata dei fumi con maggior fabbisogno termico per mantenere la temperatura d'incenerimento. Se il potere calorifico dei rifiuti non è sufficiente si ha l'abbassamento della temperatura dei fumi od un maggiore consumo di combustibile ausiliario.

**Tempo di transito delle scorie nel forno.** Il tempo di transito delle scorie all'interno delle camere di combustione dipende dalla velocità della griglia o del forno rotativo. Un incremento della velocità di trasporto delle scorie riduce il loro tempo di permanenza nella camera di combustione e comporta un incremento della percentuale dell'incombusto nel residuo, nello stesso tempo una velocità ridotta migliora la qualità delle scorie ma incrementa la quota di metalli pesanti che possono passare nei fumi per evaporazione.

**Dosaggio dei reagenti.** Anche il dosaggio dei reagenti comporta una variazione del carico emissivo. Vediamo alcuni casi in cui i dosaggi di reagenti possono causare effetti inaspettati. **Abbattimento a umido.** Un sistema di abbattimento ad umido, che utilizza una soluzione di lavaggio molto alcalina e/o con alto contenuto di solidi, migliora la resa di abbattimento sulle componenti acide dei fumi ma se consideriamo il particolato in emissione, si può verificare, specie a contatto con fumi molto caldi e/o con portata eccessiva, una produzione di polveri derivante dall'evaporazione del liquido di abbattimento. **Abbattimento a secco.** Nel sistema di abbattimento a secco un eccessivo dosaggio di reattivo, quale bicarbonato o polvere di carbone attivo, migliora l'abbattimento di alcuni inquinanti, però può causare un sovraccarico dei sistemi filtranti con riduzione della loro efficienza e conseguente aumento delle emissioni

di polveri. La stessa umidità dei fumi può in alcune condizioni generare un impaccamento dei sistemi filtranti pregiudicandone l'efficienza.

**Recupero termico.** La caldaia di recupero termico svolge un ruolo importante nella riduzione del carico agli impianti di abbattimenti. Un raffreddamento dei fumi ottimale comporta una cospicua riduzione delle velocità dei flussi gassosi permettendo al particolato più pesante di separarsi dal flusso gassoso prima dei sistemi di abbattimento. Al contrario un recupero termico di ridotta efficienza riduce questa deposizione preliminare delle polveri e nello stesso tempo determina un incremento delle velocità dei fumi nei sistemi di abbattimento, con conseguente maggior carico e minore efficienza. Se il processo prevede inoltre un lavaggio ad umido, i fumi caldi causano una maggiore evaporazione del liquido con conseguente trascinamento di polveri provenienti dai solidi disciolti in esso.

Rifiuti Solidi Urbani - di Giancarlo Cristoforo