

LA SICUREZZA DEGLI IMPIANTI DI TERMOCOMBUSTIONE DI RDF A LETTO FLUIDIZZATO

Tinaburri, A.

Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica, Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, Ministero dell'Interno, Largo S. Barbara 1, Roma, 00178, Italia

SOMMARIO

La memoria descrive gli aspetti critici nella valutazione tecnica della sicurezza di unità di termocombustione alimentate con materiali combustibili solidi. Tali unità sono spesso utilizzate all'interno dei sistemi integrati di trattamento dei rifiuti solidi urbani, tipicamente a valle di impianti di pretrattamento in cui viene prodotta, tra le altre, una frazione solida (RDF) con caratteristiche tali da poter essere bruciata senza ulteriore apporto di combustibili di supporto. Il processo si compone tipicamente di una sezione di stoccaggio del combustibile solido, di sistemi di movimentazione del RDF, di un combustore e postcombustore, di una caldaia per la produzione di vapore eventualmente alimentato ad una turbina per la produzione di energia elettrica, di una sezione di trattamento dei fumi prima del loro rilascio al camino, di un sistema di prelievo ed analisi per il monitoraggio della concentrazione di sostanze inquinanti emesse all'atmosfera, nonché dei necessari servizi ausiliari. Le problematiche di sicurezza connesse alla valutazione di tale tipologia di impianti sono esaminate con individuazione dei principali pericoli connessi alle operazioni effettuate in ciascuna sezione di processo (conferimento RDF, stoccaggio RDF, alimentazione al combustore, sistema di controllo della combustione, turbina a vapore per la produzione di energia elettrica, sistema di controllo) ed indicazione delle misure tecnico-gestionali che è possibile intraprendere, con particolare riguardo alla sicurezza antincendi. L'analisi viene condotta avendo come riferimento quanto previsto in normative internazionali ed in standard di progettazione adottati dalle società d'ingegneria operanti nel settore. L'applicazione ad un impianto di termovalorizzazione, recentemente costruito ed avviato nella provincia di Lucca, costituisce un caso di studio per il quale vengono analizzate le soluzioni impiantistiche adottate e le misure di sicurezza attiva e passiva implementate nelle varie sezioni dell'impianto, anche in considerazione delle necessità operative delle squadre di soccorso in caso di incidente.

1.0 INTRODUZIONE

La combustione in letto fluido (FBC) fu inizialmente sviluppata in Gran Bretagna alla fine degli anni '60 per bruciare carbone in un letto di calcare per effettuare una desolfurazione "in situ". Il combustore a letto fluido è, in estrema sintesi, costituito da una camera di combustione all'interno della quale viene mantenuto un certo quantitativo di materiale inerte (il "letto"), di solito sabbia, tenuto in sospensione ("fluido") da una corrente ascendente di aria (che funge anche da comburente), immessa attraverso una griglia di distribuzione posta sul fondo. I principali vantaggi di tale tecnologia si possono così sintetizzare:

- possibilità di bruciare con notevole efficienza e flessibilità combustibili solidi di varia natura (carbone, biomasse, RDF, ecc.), anche con granulometria relativamente grossa. Il movimento del letto di sabbia garantisce infatti un buon contatto comburente-combustibile, oltre ad una notevole uniformità di temperatura e di miscelazione, che contribuiscono a garantire una combustione costante e completa.
- Controllo e minimizzazione "ab origine" della produzione di sostanze inquinanti: in particolare SO_x (con l'aggiunta diretta in caldaia di un sorbente basico, tipicamente calcare) ed NO_x (per le peculiari condizioni operative: temperature nella zona di combustione relativamente più basse che in una caldaia convenzionale e possibilità di operare con eccessi d'aria più moderati).
- Elevati coefficienti di scambio termico fra il letto ed i fasci tuberi.

Il letto può essere di tipo bollente (BAFBC) o ricircolante (CAFBC). Nel letto circolante (CAFBC), in cui vi è un trascinarsi apprezzabile di materiale solido che viene successivamente separato dai gas: ciò permette una maggiore agitazione trasversale ed una minore presenza di incombusti solidi (Fig. 1). Per queste sue caratteristiche, la tecnologia CAFBC sta prevalendo a livello internazionale rispetto alle altre tipologie convenzionali per il rendimento lievemente più alto, per la maggiore flessibilità operativa e per la necessità di rispettare i requisiti sempre più stringenti richiesti dalle normative comunitarie sulle emissioni in atmosfera e sulle ceneri residue, uniti alla pressante richiesta di ridurre i quantitativi di rifiuti da conferire a discarica.

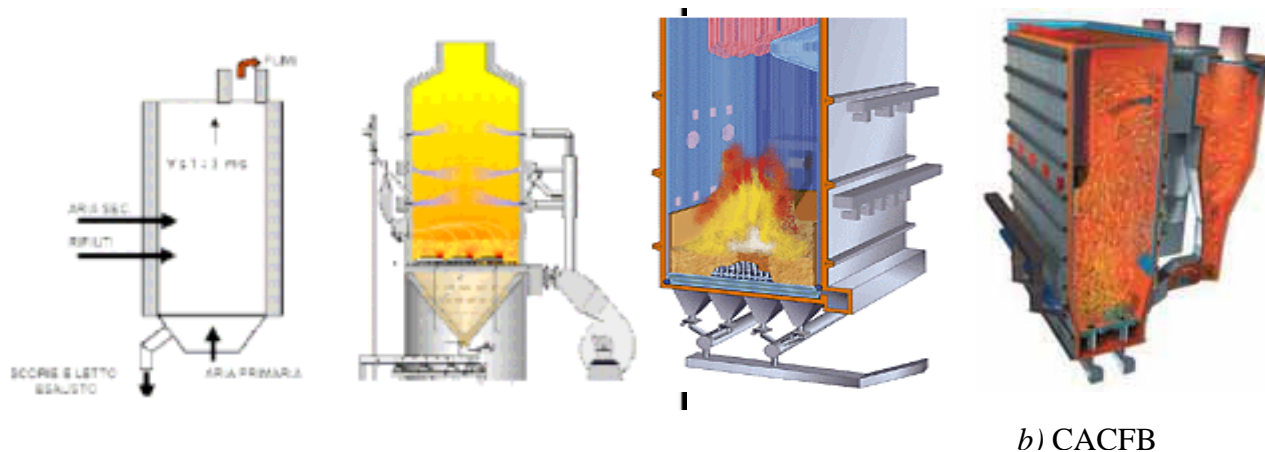


Figura 1. Schema di un combustore a letto fluidizzato (di tipo bollente *a*) e circolante *b*).

I principali impianti FBC sono destinati alla generazione termoelettrica, in concorrenza con la tecnologia delle caldaie alimentate con polverino di carbone che, per rispettare gli standard sulle emissioni debbono essere equipaggiate con unità di desolfurazione. Questo rappresenta il primo e più naturale utilizzo della tecnologia FBC. Un altro campo di applicazione è rappresentato dalla autoproduzione industriale di vapore e/o energia elettrica, particolarmente interessante per stabilimenti che dispongano di combustibili di scarto o sottoprodotti da poter utilizzare in co-combustione con il carbone.

La tecnologia del letto fluido è altresì utilizzata nei processi di “incenerimento” dei rifiuti, termine con il quale, ai sensi dell’articolo 1 del D.Lgs. 133/2005, si indica qualsiasi unità e attrezzatura tecnica, fissa o mobile, destinata al trattamento termico di rifiuti ai fini dello smaltimento, con o senza recupero del calore prodotto dalla combustione. In tale applicazione, la combustione rappresenta una tecnica di smaltimento dei rifiuti finalizzata alla distruzione della frazione organica, con conseguenti notevoli riduzioni in massa e volume. Lo scopo principale del processo in questo caso è quello di convertire sostanze comunque pericolose o perché putrescibili e potenzialmente patogene (è il caso dei rifiuti urbani, RSU) o perché presentano caratteristiche di nocività (è il caso di alcuni rifiuti di origine industriale) in composti gassosi (acqua, anidride carbonica) ed in residui solidi praticamente inerti, le ceneri. La sua efficacia è misurata in termini di distruzione e rimozione delle sostanze inquinanti anche se tale definizione andrebbe applicata, a rigore, al solo incenerimento dei rifiuti pericolosi per i quali vale appieno il termine “termodistruzione”.

Per i RSU e per alcune tipologie di rifiuti speciali, invece, l’incenerimento ha come funzione principale la drastica riduzione del volume, di norma combinata con il recupero energetico (sotto forma di energia elettrica e/o termica) del contenuto entalpico dei fumi di combustione (“termovalorizzazione”). I letti fluidi trovano la loro applicazione primaria nel caso di fanghi, catrami e solidi di piccola pezzatura, in un campo intermedio, per quanto riguarda l’alimentazione, fra i forni rotanti e le più semplici camere di combustione statiche.

2.0 SISTEMI A LETTO FLUIDO ATMOSFERICO PER LA COMBUSTIONE DI RDF

2.1 Configurazione generale e parametri di esercizio

Un combustore a letto fluido è costituito da quattro componenti fondamentali già individuati in Figura 1: la camera di combustione, il sistema di abbattimento del solido trascinato (tipicamente un ciclone), il condotto di ricircolo del solido stesso ed il dispositivo per il ricircolo nella caldaia. Nella camera di combustione si possono individuare due sezioni distinte: una inferiore, rivestita di refrattario, con in fondo il sistema di distribuzione dell’aria; l’altra superiore ove sono usualmente alloggiati le superfici di scambio destinate all’evaporazione ed al surriscaldamento del vapore. Combustibile e sorbente basico (generalmente calcare) per la desolfurazione sono alimentati nella zona di reazione. L’aria di fluidizzazione costituisce la corrente di aria primaria; quella alimentata ad un livello superiore rappresenta la corrente secondaria. Questo frazionamento della portata totale di aria contribuisce alla flessibilità fluidodinamica del sistema, con una fase più densa al fondo della caldaia ed una più diluita dopo l’immissione di aria secondaria. Le caldaie CAFBC operano con velocità superficiali nel range 4-9 m/s, tali da determinare un significativo trasporto del materiale solido, con necessità di prevedere un sistema di separazione e ricircolo prima dell’ingresso dei

fumi nella sezione convettiva a valle dei cicloni. Le esigenze di esercizio e la configurazione dell'impianto rendono necessarie l'adozione di logiche e sistemi di controllo progettati ad hoc per la specifica unità.

2.1.1 Il combustibile solido ricavato dai rifiuti (RDF)

A seconda dei casi, il combustibile solido (RDF) può rappresentare:

- il combustibile principale, con combustibili supplementari come il metano, impiegati solo in fase di avviamento o per il mantenimento della temperatura di combustione;
- un combustibile supplementare in impianti di co-combustione, con carbone o altri rifiuti;
- come combustibile principale o supplementare per scopi di processo, come nei cementifici.

La presente nota verte principalmente sull'utilizzo di RDF come combustibile primario.

Il combustibile RDF è preparato a partire dai rifiuti solidi urbani (RSU). L'uso di rifiuti tal quali come combustibile è certamente possibile, ma le sempre più stringenti normative ambientali rendono necessario pretrattare i rifiuti. Sono utilizzati a tale scopo una serie di processi di vagliatura per eliminare le frazioni organiche putrescibili ad alto tenore di umidità, e quindi di triturazione, per ottenere una granulometria più uniforme. Ulteriori processi di classificazione permettono di separare le frazioni pesanti incombustibili (quali metalli e vetri). Al termine del processo si ottiene un materiale che può essere utilizzato come combustibile (acronimo inglese RDF o in italiano CDR) e che si presenta sotto forma di "fiocchi" e che può eventualmente essere essiccato e pellettizzato per produrre un combustibile più denso, caratterizzato da una superficie esterna relativamente dura ed una parte interna fibrosa.

La composizione media tipica del RDF, su base secca, è di circa 84% di carta e legno, 11% plastica, e per la restante parte da residui tessili, metallici e vetrosi. Nel 2004 sono state emanate le norme della serie UNI 9903 che definiscono la caratterizzazione merceologica del CDR. Tali norme sono state richiamate nel Decreto del Ministero delle Attività Produttive del 2 maggio 2006, che ha esteso l'utilizzo del CDR-Q come combustibile accettabile per impianti industriali per la produzione di energia elettrica.

2.1.2 Sistema di alimentazione del combustibile solido

Il sistema di trasporto del combustibile solido gioca un ruolo fondamentale nella performance di caldaie con basse emissioni di sostanze inquinanti. Due sono i compiti fondamentali svolti da questo sistema: il trasferimento del combustibile dall'area di stoccaggio alla caldaia e la sua distribuzione nel letto in modo da promuovere la completa combustione. La preparazione del combustibile solido può richiedere il ricorso a tecniche di triturazione e sminuzzamento, specialmente necessarie nel caso di caldaie a letto fluidizzato. Il trasferimento è realizzato ricorrendo a dispositivi meccanici quali nastri trasportatori, elevatori a tazze, tramogge, ecc., selezionati in relazione alla granulometria dei solidi trasportati ed alle loro proprietà caratteristiche. La progettazione di questi sistemi consente un buona flessibilità operativa (intesa come rapporto fra massimo e minimo carico) discrete capacità trasportate.

Per il particolare caso della combustione di rifiuti, l'articolo 8 del D.Lgs. 133/05, richiede che, per ciascuna linea d'impianto, sia previsto un sistema automatico che impedisca l'alimentazione di rifiuti al combustore nei seguenti casi:

- a) all'avviamento, finché non sia raggiunta la temperatura minima stabilita;
- b) qualora la temperatura nella camera di combustione scenda al di sotto di quella minima stabilita;
- c) qualora le misurazioni continue degli inquinanti negli effluenti indichino il superamento di uno qualsiasi dei valori limite di emissione, a causa del cattivo funzionamento o di un guasto dei dispositivi di depurazione dei fumi.

2.1.3 Temperatura di esercizio e tempo di residenza nel combustore

Il processo di combustione può essere realizzato a stadi. L'aria primaria, che ha il compito di fluidizzare il letto, corrisponde all'incirca al quantitativo stechiometrico richiesto per la combustione. Una corrente di aria secondaria viene alimentata sopra il letto per assicurare il completamento della combustione delle sostanze volatili, assicurando un abbondante eccesso d'aria (concentrazione di ossigeno nei fumi tipicamente maggiore del 6% vol). L'iniezione di aria secondaria è uno dei punti critici del processo in quanto occorre garantire una rapida diffusione dell'ossigeno nei fumi e promuovere la turbolenza. La combustione a stadi consente di ottenere basse concentrazioni di NOx nei fumi.

Combustibile e sorbente sono alimentati nella parte inferiore del letto. L'elevato grado di turbolenza in questa sezione in un CAFBC assicura un'elevata miscelazione anche in direzione radiale, rendendo così

l'alimentazione particolarmente agevole ed efficace. Ciò consente di ridurre il numero di punti di alimentazione e costituisce una notevole semplificazione impiantistica rispetto ad un BAFBC.

Per il particolare caso della combustione di rifiuti, le basi di progetto e le condizioni di esercizio sono fissate dall'articolo 8 del D.Lgs. 133/05. Per quanto di interesse ai fini della presente memoria, si evidenziano i seguenti aspetti. Dopo l'ultima immissione di aria di combustione (aria secondaria), la temperatura, in modo controllato ed omogeneo, anche nelle condizioni più sfavorevoli, deve essere di almeno 850 °C per almeno due secondi. Tale temperatura va misurata in prossimità della parete interna della camera di combustione, o in un altro punto rappresentativo della camera di combustione indicato dall'autorità competente. Se vengono inceneriti rifiuti pericolosi contenenti oltre l'1 per cento di sostanze organiche alogenate, espresse in cloro, la suddetta temperatura deve essere di almeno 1100 °C.

La temperatura di 850°C consente di contenere le emissioni di ossidi di azoto e zolfo e corrisponde al massimo dell'efficienza di desolforazione dei calcari. Tuttavia in tali condizioni, l'efficienza di rimozione dell'HCl e dell'HF è bassa. Poiché la desolforazione usualmente non costituisce un problema nella combustione di rifiuti solidi urbani, si preferisce in generale usare materiale inerte per il letto (sabbia) e procedere a valle ad un lavaggio, a secco o ad umido dei fumi, operando la rimozione di HCl ed HF nell'intervallo ottimale delle temperature.

Il D.Lgs. 133/2005 richiede che ciascuna linea dell'impianto di incenerimento sia dotata di almeno un bruciatore ausiliario da utilizzare, nelle fasi di avviamento e di arresto dell'impianto, per garantire l'innalzamento ed il mantenimento della temperatura minima stabilita durante tali operazioni e fintantoché vi siano rifiuti nella camera di combustione. Tale bruciatore deve intervenire automaticamente qualora la temperatura dei gas di combustione, dopo l'ultima immissione di aria, scenda al di sotto di tale temperatura minima. Di fatto, il bruciatore ausiliario deve essere alimentato con gasolio, gas liquefatto e gas naturale.

2.1.4 Efficienza di combustione

Rispetto ad altri tipi di inceneritori, i vantaggi del letto fluido possono riassumersi in una migliore miscelazione della fase solida e gassosa, completa uniformità nei parametri chimico-fisici e di composizione ed aumento del tempo di contatto aria/rifiuto. Ciò favorisce la completa combustione dei rifiuti. Il profilo di temperature nel letto è inoltre uniforme e controllabile in modo da evitare fenomeni locali di surriscaldamento con fusione delle ceneri.

La possibilità di controllare le emissioni inquinanti fanno sì che caldaie a letto fluido possano impiegare, senza una sensibile riduzione delle prestazioni, combustibili di scarso pregio quali biomasse, RDF, fanghi, per i quali le tecnologie di combustione tradizionale sarebbero impraticabili o comunque svantaggiosi.

Per il particolare caso della combustione di rifiuti, l'efficienza di combustione è fissata dall'articolo 8, comma 2, del D.Lgs. 133/05. Gli impianti di incenerimento devono essere gestiti in modo da ottenere il più completo livello di incenerimento possibile, adottando, se necessario, adeguate tecniche di pretrattamento dei rifiuti. Le scorie e le ceneri pesanti prodotte dal processo di incenerimento non possono presentare un tenore di incombusti totali, misurato come carbonio organico totale (TOC), superiore al 3 per cento in peso, o una perdita per ignizione superiore al 5 per cento in peso sul secco.

Un indicatore spesso assunto per valutare l'efficienza di combustione è costituito dal rapporto $(CO_2 - CO)/CO_2$ nei fumi. Occorre che tale rapporto sia non solo prossimo all'unità ma che vengano evitati andamenti temporali oscillanti della concentrazione del CO. E' stato dimostrato che è molto più significativo correlare la concentrazione dei microinquinanti organo-clorurati nei fumi, anziché al valor medio del CO, al numero di picchi della concentrazione del CO superiori a circa 100 ppm, per un fissato intervallo di tempo. A tal fine occorre assicurare un'alimentazione di rifiuti il più possibile costante in portata evitando variazioni significative della composizione e realizzare un intimo contatto fra aria e combustibili, sia nella fase solida che in quella gassosa. Rispetto ai forni a griglia, il letto fluido richiede un controllo più rigoroso sulla omogeneità e costanza dell'alimentazione, essendo più sensibile alle variazioni di questa a causa del minor contenuto medio di rifiuto all'interno della camera di combustione. Al contrario, il letto è in grado di realizzare una combustione più completa rispetto ai forni a griglia, con ceneri (incombusti) di fondo letto tipicamente pari allo 0,1% in peso, contro un 2-3% caratteristico dei forni tradizionali a griglia.

2.1.5 Erosione/corrosione e sporcamento delle superfici di scambio e recuperi termici

La possibilità di disporre le superfici di scambio termico lungo le pareti laterali della camera di combustione consente di realizzare alti coefficienti di scambio termico senza rilevanti fenomeni di erosione, perché il

flusso della sospensione solido-gas è parallelo alle pareti. Più delicata è invece la gestione dei fenomeni di erosione nel sistema di separazione dei trascinamenti, usualmente di tipo ciclonico, che, operando ad alte temperature sono i componenti più sollecitati dell'impianto. Con l'emanazione del D.Lgs. 133/05, ai sensi dell'art. 4 comma 2 lett. b) e successivo art. 8 comma 9, diventa obbligatorio il recupero, per quanto possibile, del calore generato durante il processo di incenerimento, attraverso, ad esempio, la produzione combinata di calore ed energia, la produzione di vapore industriale o il teleriscaldamento.

La combustione di RDF comporta la formazione di depositi di solfati di sodio e potassio, e in minor misura, di cloruri sulle superfici di scambio. Le apparecchiature di scambio per il recupero di energia dei fumi, provenienti dalla combustione dei rifiuti, pertanto, debbono essere progettate con criteri specifici. I fumi a valle della camera di combustione, prima di entrare nei passi convettivi della caldaia, devono essere raffreddati al di sotto di 700-750°C nella sezione radiante della caldaia (pareti membranate). In questo modo si assicura che le ceneri volanti non abbiano temperature superiori al punto di fusione, con conseguente adesione alle superfici convettive della caldaia e formazione di depositi incrostanti duri ed aderenti.

L'abbassamento della temperatura dei fumi ed un controllo della temperatura di pelle dei serpentini di scambio al di sotto di 400-450°C, riduce i fenomeni di corrosione ad alta temperatura per attacco di HCl. Per questa ragione negli impianti di termodistruzione dei rifiuti non si cerca un'elevata efficienza dei recuperi energetici, ma ci si limita a produrre vapore a pressioni e temperature non superiori a 40 bar e 350-400°C. E' inoltre importante curare la pulizia periodica delle superfici di scambio.

2.1.6 Flessibilità operativa e risposta a variazioni di carico

In una unità a letto circolante le possibilità di un rapido turn-down e quella di poter alimentare combustibile con composizione variabile, richiedono che il sistema sia in grado di variare l'ammontare di energia sottratta al letto. In un CAFBC ciò può essere ottenuto, entro certi limiti, variando la portata (velocità) del gas, l'eccesso d'aria o la temperatura del letto. Queste tecniche, eccetto l'ultima, sono le principali applicabili ad sistema CAFBC. La complessità e la varietà delle tipologie esistenti, impone cautela ed attenzione nella concezione, realizzazione ed impiego dei sistemi di regolazione e di sicurezza.

La grande massa di sabbia del letto fluido fornisce un volano termico di capacità sufficiente a mantenere il letto ad una temperatura superiore al minimo per un avviamento immediato dopo una fermata notturna o di fine settimana. L'impianto può, in determinate condizioni, essere riavviato rapidamente, riattivando l'alimentazione senza la necessità di procedere al lavaggio della camera di combustione e ad operazioni di preriscaldamento del letto con combustibile ausiliario.

Tuttavia è particolarmente importante, data la natura non costante nella composizione dei rifiuti, che siano monitorati costantemente il contenuto di umidità, il potere calorifico ed il contenuto di sostanze volatili, seguendo le procedure di ricezione dei rifiuti previste dall'articolo 7 del D.Lgs. 133/05. Livelli anomali di emissione possono infatti verificarsi in occasione dei transitori legati a variazioni dell'alimentazione.

2.1.7 Tipologia delle caldaie a letto fluidizzato

Le unità offerte dai vari costruttori presentano notevoli differenze (Fig. 2). Le più significative riguardano: la velocità del gas nel riser, i sistemi di separazione e reimmissione dei solidi, il criterio di regolazione del carico termico, le portate di ricircolo dei solidi, l'adozione o meno di uno scambiatore di calore esterno, la quantità complessiva di solido nel sistema, il criterio di supporto meccanico del boiler, l'estensione della superficie di refrattario nel combustore. La velocità del gas e la portata di ricircolo, ad es., influenzano fortemente i coefficienti di scambio termico, la superficie di scambio richiesta nonché la potenziale erosione del combustore. Lo stesso sistema di supporto del boiler è un parametro progettuale significativo: i sistemi che prevedono il supporto dall'alto compensano le dilatazioni termiche minimizzando l'impiego di giunti di dilatazione. In una unità a letto circolante (CAFBC) la possibilità di un rapido turn down e quella di poter alimentare combustibili diversi, richiedono che il sistema sia in grado di variare l'ammontare di energia sottratta al letto di particelle. In un CAFBC ciò può essere ottenuto, entro certi limiti, variando la portata (velocità) del gas, l'eccesso d'aria o la temperatura del letto. Queste tecniche, eccetto l'ultima, sono le principali applicabili ad sistema CAFBC. La complessità e la varietà delle tipologie esistenti, impone cautela ed attenzione nella concezione, realizzazione ed impiego dei sistemi di regolazione e di sicurezza.

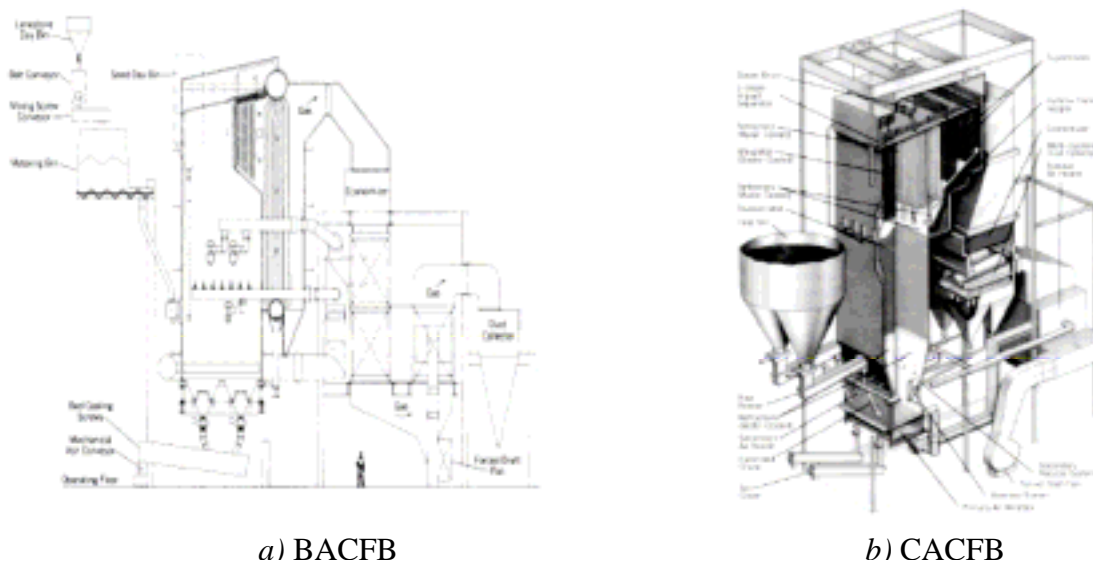


Figura 2. Configurazioni tipiche di caldaie a letto fluidizzato (di tipo bollente *a*) e circolante *b*)).

3.0 ASPETTI INERENTI LA SICUREZZA DALL'INCENDIO DEI LETTI FLUIDIZZATI

3.1 Introduzione

La massa del letto, una volta riscaldata, rappresenta una notevole sorgente di ignizione per le sostanze combustibili. In condizioni normali, tale caratteristica rende un sistema di combustione a letto fluidizzato meno suscettibile ad esplosioni ed alla propagazione di fiamme o incendi rispetto agli ordinari sistemi di combustione realizzati con l'impiego di un bruciatore. Tuttavia durante le fasi di riscaldamento o di inizio fluidizzazione, un FBC non gode di tali fattori mitiganti.

Un altro potenziale pericolo è rappresentato dall'accumulo di particelle catramose ("char"), ad alto tenore di carbonio, in corrispondenza di superfici orizzontali dei condotti percorsi dai fumi o in zone di raccolta delle ceneri trascinate, che possono essere sede di combustione covante anche dopo la fermata dell'impianto e costituire una sorgente di ignizione nel caso in cui variazioni delle condizioni di flusso ne causino la ridispersione. Sostanze incombuste possono inoltre accumularsi anche nella cassa di alimentazione dell'aria primaria di fluidizzazione ("windbox") ed essere ignite dal materiale granulare di un letto caldo che rifluisce attraverso gli ugelli della piastra di fluidizzazione quando il letto inizia ad essere fluidizzato.

Ai fini della presente trattazione, la valutazione della sicurezza di un termovalorizzatore può essere effettuata suddividendo l'impianto in sezioni omogenee, ciascuna delle quali viene caratterizzata per lo svolgimento di una specifica funzione. Per le unità FBC, è possibile fare riferimento ai seguenti sottosistemi:

- Aree destinate alla ricezione dei rifiuti in ingresso allo stabilimento ed allo stoccaggio, incluse gli eventuali pretrattamenti in loco;
- Sistemi di alimentazione dei rifiuti, del combustibile ausiliario e dell'aria di combustione in caldaia;
- Combustore ed il sistema di recupero del calore;
- Apparecchiature ausiliarie per la produzione e la trasformazione dell'energia elettrica;
- Apparecchiature di trattamento, movimentazione e stoccaggio in loco delle acque reflue e delle ceneri risultanti dal processo di incenerimento;
- Apparecchiature di trattamento degli effluenti gassosi e le relative apparecchiature per lo stoccaggio ed il trasferimento dei prodotti chimici ausiliari utilizzati nel processo (calcare, soda, ammoniaca, ecc.);
- Dispositivi ed i sistemi di controllo delle varie operazioni e di registrazione e monitoraggio delle condizioni di incenerimento.

3.1.1 Aree destinate alla ricezione dei rifiuti in ingresso allo stabilimento ed allo stoccaggio

Nella progettazione dei sistemi di ricezione e stoccaggio del combustibile solido (RDF) dovrebbero essere considerati i seguenti pericoli:

- 1) Lo stoccaggio dovrebbe essere progettato per facilitare lo scarico di materiali ad un flusso controllato;

- 2) Sia nella zona di ricezione che in quella di stoccaggio debbono essere rilevate prontamente condizioni di combustione covante o già avviata nel silos di stoccaggio del combustibile solido, prima di avviare il trasferimento alla caldaia;
- 3) Reazioni di ossidazione nella massa del combustibile solido stoccato possono innalzare localmente la temperatura sino al punto in cui possono avviarsi reazioni di autocombustione;
- 4) Sostanze volatili possono essere rilasciate dal combustibile solido, in particolare se appena sottoposti a trattamenti di triturazione, con pericolo di esplosione nel silos di stoccaggio ed in altre aree confinate.

L'analisi della composizione e delle caratteristiche del RDF conferito (in particolare del tenore di sostanze volatili e di umidità) è quindi fondamentale per limitare variazioni eccessive che possano comportare difetti nella combustione o eccessivo sviluppo di sostanze volatili che possano accumularsi nei silos di stoccaggio dell'impianto o nel sistema di alimentazione ed è obbligatoriamente richiesta dall'art. 7 del D.Lgs 133/05.

3.1.2 Sistemi di alimentazione del combustibile solido ricavato dai rifiuti (RDF)

Le attrezzature utilizzate per lo scarico, il deposito, il trasferimento e la preparazione del RDF debbono essere progettate in modo da conferire la corretta granulometria al combustibile alimentato in caldaia, rimuovendo il materiale estraneo e minimizzando le interruzioni dell'alimentazione del combustibile alla caldaia, garantendo:

- 1) Installazione di trituratori e separatori magnetici (per metalli ferrosi) ed a correnti di Foucault (per metalli non ferrosi), ove necessari in relazione alla natura del combustibile solido alimentato;
- 2) Sistemi per rilevare l'interruzione del flusso di combustibile solido nel sistema di trasporto per assicurare un flusso costante alla caldaia.

Tali pericoli derivano dalla possibilità che il combustibile RDF conferito possa contenere sostanze estranee (residui metallici, pietrisco, ecc.) che possono interrompere il flusso al combustore, danneggiando le apparecchiature o divenire sorgenti di innesco all'interno delle apparecchiature di trasporto del combustibile (ad es. per combustione covante). I sistemi di triturazione e separazione di metalli, se facenti parte del sistema di alimentazione del combustibile, debbono quindi essere progettati per minimizzare la possibilità di incendi ed essere protetti con sistemi di rilevazione di scintille e principi d'incendio con asserviti sistemi di spegnimento ad acqua.

Qualora il sistema di alimentazione di RDF sia esercito a pressioni più basse di quelle fissate nel combustore a cui è connesso, è fondamentale che sia previsto un sistema di intercettazione e tenuta ("lock hopper") per prevenire il riflusso dei fumi caldi o del materiale del letto all'interno del sistema di alimentazione dei solidi.

3.1.3 Il combustore ed il sistema di recupero del calore

Per prevenire esplosioni in combustori a letto fluidizzato dovrebbero essere evitate le seguenti condizioni:

- 1) Interruzione della portata di aria o di combustibile o di energia di ignizione ai bruciatori ausiliari sufficiente a causare una transitoria mancanza di fiamma, seguita dal ripristino del flusso e da una ignizione successiva delle sostanze combustibili accumulate;
- 2) Accumulo di una miscela esplosiva a seguito dell'alimentazione di RDF in un letto la cui temperatura sia inferiore a quella di autocombustione e successivo innesco della miscela accumulata;
- 3) Disomogenea o insufficiente alimentazione dell'aria al letto, con formazione di zone ove la combustione è incompleta e conseguente accumulo di materiale incombusto;
- 4) Accumulo di combustibile solido (RDF) in un letto defluizzato che sia ancora caldo, con conseguente distillazione e formazione di vapori infiammabili, seguita da una ignizione successiva nel momento in cui il letto viene fluidizzato;

Come già evidenziato nei precedenti paragrafi 2.1.2 3 2.1.3, l'articolo 8 del D.Lgs. 133/05 introduce l'obbligo giuridico di asservire l'alimentazione del RDF al superamento della temperatura di 850°C nel letto, raggiunta tramite riscaldamento del letto con bruciatori ausiliari. Il monitoraggio della temperatura del letto rappresenta quindi un parametro fondamentale di processo. Occorre notare preliminarmente che le misure della temperatura del letto sono attendibili (ai fini del controllo) solo quando il letto è fluidizzato. Una soluzione tecnica che si è dimostrata affidabile consiste nel prevedere un certo numero di termocoppie, all'incirca proporzionale alla capacità del FBC, posizionate a varie quote sotto e sopra il livello del letto e con pozzetti penetranti per almeno 50 mm dalle pareti interne del combustore. Con questi accorgimenti, nel momento in cui il letto viene fluidizzato, le misure di temperatura presentano un ristretto intervallo di variazione (e quindi affidabilità) senza causare eccessiva erosione del pozzetto.

Nella progettazione del combustore, le condizioni di pericolo sopra elencate possono essere evitate minimizzando la probabilità di accadimento delle seguenti eventualità:

- a) Potenziale accumulo indesiderato di combustibile solido (RDF) non bruciato nel letto;
- b) Potenziale generazione di gas esplosivi se l'alimentazione di aria al letto termina prima che il combustibile (RDF) contenuto nel letto si sia esaurito;
- c) Potenziale rischio di esplosione quando si riammette l'aria ad un letto caldo;
- d) Solidificazione del letto per fenomeni di agglomerazione;

Un pericolo di incendio e di collasso strutturale caratteristico dei combustori a letto fluidizzato è associato al fenomeno del riflusso del materiale granulare costituente il letto ("sifting"). Nelle fasi di avviamento e di fermata dell'unità, caratterizzate da condizioni di basso carico, allorché la perdita di carico attraverso gli ugelli di fluidizzazione è bassa, il materiale costituente il letto può rifluire attraverso gli ugelli alla base del letto. In queste condizioni, particelle carboniose contenute nel materiale del letto possono incendiarsi, come effettivamente accaduto in diversi impianti. Ciò richiede una corretta progettazione degli ugelli unita a procedure operative di avviamento e fermata che minimizzano il periodo di permanenza a bassi flussi d'aria ed all'utilizzo di spie visive o mezzi equivalenti che consentano di osservare il contenuto della cassa d'aria ("wind box") che alimenta gli ugelli e di mezzi che permettano di rimuovere gli accumuli.

Un secondo aspetto da valutare ai fini della sicurezza in caso d'incendio è legato alla presenza di incombusti, inevitabilmente trascinati dai fumi attraverso le sezioni di scambio termico e nelle condotte di trasferimento alle apparecchiature di separazione delle polveri. Particelle carboniose combustibili ("char") possono accumularsi e diventare una sorgente di ignizione durante uno start-up o un cambio di carico dell'unità. Poiché tale fenomeno è insito nella tecnologia FBC, la progettazione dell'unità deve minimizzare la possibilità di deposito ed accumulo nei condotti e nelle apparecchiature di raccolta delle polveri.

Per quanto concerne il sistema del recupero del calore (tipicamente utilizzato per la produzione di vapore), un combustore a letto fluidizzato pone alcuni ulteriori peculiari problematiche di sicurezza ai progettisti ed agli operatori. La prima è legata alla notevolissima capacità termica del letto caldo e del refrattario utilizzato per l'isolamento del combustore che permette l'accumulo di grandi quantità di calore che causano una produzione del vapore che continua anche dopo la fermata dell'alimentazione del combustibile (RDF) o dei bruciatori ausiliari dell'unità. Ciò comporta la necessità di garantire la continuità della fornitura di acqua alimento caldaia ("BFW") anche dopo il blocco della caldaia. E' importante notare che, in tali condizioni, il contributo allo scambio termico derivante dalla combustione di RDF contenuto nel letto è marginale rispetto a quello rappresentato dal calore accumulato nel letto e nel refrattario e che la produzione di vapore varia se, a seguito del blocco del combustibile, l'aria di fluidizzazione continua ad essere alimentata. L'esperienza dimostra infatti che, se l'aria continua ad essere alimentata al letto, la produzione di vapore può continuare al 50% per parecchi minuti dopo l'interruzione dell'alimentazione di RDF. Tuttavia, se l'alimentazione di aria è interrotta ed il letto si defluidizza, i coefficienti di scambio termico calano bruscamente e la produzione di vapore scende a circa il 10% del valore nominale in pochi secondi.

3.1.4 Il sistema di rimozione delle ceneri

Le apparecchiature per la rimozione delle ceneri di caldaia, ad alta temperatura, devono essere dotate di un sistema di raffreddamento prima che il materiale venga scaricato. I sistemi di movimentazione delle ceneri debbono essere asserviti ad un sistema di interblocco atto a garantire il flusso del mezzo di raffreddamento e la corretta temperatura del materiale scaricato, per prevenire incendi o danni alle apparecchiature.

3.1.5 I bruciatori ausiliari ed il sistema di controllo della combustione dei bruciatori

Come già evidenziato nel precedente paragrafo 2.1.3, l'articolo 8 del D.Lgs. 133/05 introduce l'obbligo giuridico di installare bruciatori ausiliari, alimentati a gas o gasolio. Tali bruciatori hanno usualmente una discreta potenzialità (intorno al MW), che rende necessaria la presenza di una fiamma pilota prima dell'accensione della fiamma principale, e sono per lo più alimentati con combustibili gassosi (metano). Con riferimento ad un'alimentazione gassosa (che rappresenta il caso di gran lunga più frequente e potenzialmente più pericoloso), per prevenire il pericolo di esplosione è opportuno che la progettazione recepisce le seguenti indicazioni. Per quanto concerne la tubazione di adduzione del gas e la localizzazione delle valvole di intercettazione, il percorso deve massimizzare la porzione di tubazione posta all'esterno dell'edificio in cui è collocata la caldaia ("boiler house"), a distanza da parti ad alta temperatura.

Deve essere sempre prevista una valvola di intercettazione manuale di emergenza in posizione accessibile.

Ciascun bruciatore deve essere dotato di un sistema di blocco automatico di emergenza costituito da due valvole di blocco con vent intermedio (“double block and vent”), munite di finecorsa per segnalare all’operatore l’effettivo raggiungimento della posizione desiderata. Le valvole di blocco automatico devono essere localizzate il più vicino possibile ai bruciatori per minimizzare il volume di gas a valle della valvola. Per unità con bruciatori multipli, deve essere prevista una valvola di blocco sul collettore ed il vent automatico del volume di linea compresso fra tale valvola generale e quelle individuali di ciascun bruciatore. Occorre inoltre prevedere la possibilità e le connessioni necessarie per effettuare la prova di tenuta della tubazione del gas prima di procedere all’accensione del bruciatore.

Ciascun bruciatore deve essere dotato di spie visive e di un sistema di rilevazione della presenza della fiamma: in caso di mancanza fiamma, le valvole di blocco di quel bruciatore devono chiudersi in modo automatico ed un allarme deve avvertire l’operatore del potenziale pericolo. A seconda dei casi può essere necessario installare un unico detector oppure due distinti (dedicati alla fiamma principale ed a quella pilota).

L’accensione del bruciatore deve avvenire da pannello locale. Il funzionamento del bruciatore deve essere supervisionato da un sistema di controllo della combustione tale da garantire i seguenti obiettivi:

- Stabilità della fiamma e mantenimento di corretti rapporti aria-combustibile (“fuel”);
- Rispetto dei limiti operativi (minimo e massimo) della pressione del gas secondo le indicazioni del fornitore del bruciatore (per evitare fenomeni di distacco della fiamma o ritorni di fiamma);
- In modalità di controllo automatico, il sistema di regolazione deve evitare la richiesta di una miscela con basso eccesso d’aria.

3.1.6 Il sistema di controllo del combustore

Il sistema di regolazione di un combustore a letto fluidizzato deve perseguire i seguenti obiettivi:

- deve mantenere aria e fuel alimentati al combustore in accordo alla richiesta (“demand”);
- deve mantenere la temperatura del letto nei limiti stabiliti in tutto il range operativo della caldaia.

Gli “input” (materiali alimentati) al forno ed i relativi ratei di variazione devono essere controllati in modo che il rapporto aria-fuel sia sempre mantenuto nei limiti richiesti per una combustione stabile. Il controllo del rapporto aria-fuel è particolarmente critico nel caso di combustibili solidi. Tipicamente richiede l’uso di feeders di tipo volumetrico (calibrati) o gravimetrici per misurare la portata di RDF, di misure della portata di aria di combustione ed il monitoraggio continuo della percentuale di ossigeno nei fumi e, possibilmente, anche degli incombusti (ad es. monitorando il tenore di CO).

E’ importante notare con riferimento alla funzione svolta dell’analizzatore di ossigeno nei fumi, che in un FBC, in particolari condizioni operative anomale, si possono accumulare significative variazioni di fuel incombusto senza una ovvia indicazione di tale anomalia. Ciò può accadere, ad es. quando l’alimentazione di RDF (“fuel input”) eccede la disponibilità di aria di combustione per un periodo abbastanza lungo di tempo. Questa condizione è particolarmente grave allorché si bruci RDF con composizione e potere calorifico variabile. L’analizzatore di ossigeno è quindi necessario per mantenere il “fuel input” agganciato alla vera richiesta di aria (“air demand”), per confronto all’input attuale di aria, e per avvisare l’operatore quando l’input di aria scende al di sotto dei limiti accettabili. E per questo motivo che, allorché sia prevista la combustione di RDF con potere calorifico e richiesta di aria di combustione (kg aria/kg fuel) ampiamente variabile, deve essere possibile aggiustare il rapporto aria-fuel impostato nel sistema di controllo.

In caso di variazioni del carico del combustore, il flusso d’aria e di fuel deve essere cambiato simultaneamente in modo da mantenere un eccesso d’aria durante e dopo i cambi. A tale fine, è opportuno che il sistema impedisca di porre in automatico il controllore della portata del combustibile senza che sia posto in automatico il controllo dell’aria di combustione, interbloccando tali funzioni e legando l’input di combustibile all’input di aria quando il sistema è in automatico.

Come già evidenziato, prima che possa essere alimentato RDF al combustore, è necessario che il sistema di controllo verifichi che la temperatura del materiale del letto superi il limite stabilito ed inoltre che il letto sia in condizioni di fluidizzazione. Tra le varie misure rese disponibili dal sistema all’operatore è quindi sempre necessario prevedere la visualizzazione del trend della temperatura del letto.

Il sistema di controllo deve anche regolare la pressione del combustore evitando escursioni eccessive della pressione. Una descrizione completa delle modalità con cui questo può essere tecnicamente effettuato esula dagli scopi della presente memoria e può essere approfondito altrove (ad es. [4]). E’ importante sottolineare che in tale tipologia di impianti, come usuale del resto per tutte le caldaie ed i forni industriali, la progettazione deve garantire che in tutte le condizioni operative che il flusso dei fumi, dalla caldaia sino al camino, abbia sempre disponibile un percorso con una sezione minima libera di passaggio.

3.1.7 Il sistema di generazione dell'energia elettrica

Ai sensi dell'art. 2 del D.Lgs. 133/05, gli impianti di incenerimento debbono essere dotati di una sezione di recupero del calore. Gli schemi di processo usualmente adottati prevedono che il vapore prodotto, opportunamente surriscaldato, sia alimentato ad una turbina a vapore accoppiata ad un generatore per la produzione di energia elettrica che, con le opportune trasformazioni, viene ceduta alla rete.

Nella valutazione della sicurezza in caso d'incendio del locale turbina è opportuno che sia riconosciuto il pericolo derivante dall'incendio dell'olio utilizzato per la lubrificazione della turbina (in quantitativi spesso notevoli) o dal surriscaldamento dei cuscinetti del sistema di supporto dell'albero della turbina, causato dall'usura o da non corretto bilanciamento della macchina. E' pertanto opportuno, che oltre alle usuali protezioni previste dal progettista della turbina, sia assicurata la presenza di un sistema di spegnimento asservito ad un sistema di rilevazione d'incendio, con opportuna disposizione degli ugelli di erogazione atta a garantire la copertura delle su citate aree a rischio specifico.

Sale quadri e trasformatori, in particolari quelli ad olio, necessitano delle consuete misure di protezione dal rischio incendio (compartimentazione, sistemi di spegnimento a gas, vasche di raccolta olio, ecc.).

3.1.8 Aspetti inerenti la sicurezza nelle procedure operative di avviamento

Le sequenze di avviamento e fermata per un FBC sono stabilite con l'obiettivo prioritario di preservare la temperatura del letto e del refrattario. Di conseguenza, le procedure operative per il riscaldamento ("warm up") in fase di avviamento a freddo e la ripartenza dell'unità a caldo ("hot restart") sono differenti da quelle usualmente previste per una caldaia convenzionale (alimentata con olio combustibile o gas).

L'avviamento di un FCB prevede la fluidizzazione del letto, l'avvio della sequenza di bonifica ("lavaggio") e quindi l'accensione dei bruciatori ausiliari per procedere al riscaldamento dell'unità sino al livello minimo predeterminato per consentire l'alimentazione del combustibile solido.

La sequenza di lavaggio ("purge") non deve riguardare solo la camera di combustione ma anche tutte le apparecchiature al cui interno operino sorgenti di ignizione (ad es. i filtri elettrostatici). Il requisito tipicamente fissato per la bonifica è che duri almeno 5 minuti o garantisca un ricambio di almeno 5 volumi.

La velocità di riscaldamento del letto deve seguire la curva fornita dal costruttore della caldaia. Al termine, è possibile procedere all'alimentazione del combustibile solido (RDF), mettendo in servizio bruciatori ausiliari sino a quando non si siano stabilizzate le condizioni di combustione, come è possibile verificare operativamente osservando il trend in ascesa della temperatura del letto e la contestuale diminuzione dell'ossigeno nei fumi. Deve essere previsto il blocco automatico dell'alimentazione qualora il combustibile solido (RDF) sia stato alimentato per più di 90 secondi (o per un periodo di tempo indicato dal progettista del combustore) senza un apprezzabile incremento della temperatura del letto.

Una volta stabilizzate le condizioni di combustione nel letto, la sequenza di avviamento procede con i seguenti steps (con riferimento ad un sistema CAFBC; i dettagli sono leggermente diversi per un BAFBC):

- a) Progressivamente viene ridotta la potenzialità dei bruciatori ausiliari ed aumentata la portata di combustibile solido (RDF), mantenendo la temperatura del letto al livello raccomandato;
- b) La portata di aria deve essere incrementata per mantenere il necessario eccesso d'aria di combustione.

Salvo non sia espressamente previsto dal progettista sistema di controllo del combustore, queste operazioni debbono essere effettuate in "manuale", passando in automatico solo al verificarsi delle seguenti condizioni:

- 1) Superamento di un "input" minimo predeterminato RDF;
- 2) Trend stabile della temperatura del letto;
- 3) Tutti i loops di controllo stiano operando in manuale senza segnali di errore fra set point e segnale di misura ("feedback") dal processo;
- 4) Il controllo della portata di aria posto in automatico.

3.1.9 La gestione della sicurezza

Una corretta valutazione non può trascurare la necessità di ottemperare agli obblighi introdotti dalle normative comunitarie applicabili, posti in capo, per quanto di competenza, al costruttore ed al gestore dell'impianto. Trascurando gli aspetti connessi al rispetto della legislazione emanata a stretta tutela dell'ambiente e restringendo l'attenzione al solo campo della sicurezza tecnica, tali disposizioni sono contenute in numerosi disposti legislativi facenti capo a due grandi filoni, quello delle direttive di "prodotto" ("Macchine", "PED", "ATEX") e quello delle direttive "sociali" (D.Lgs. 626/94, D.Lgs. 359/99, D.Lgs. 233/03, D.M. 329/04). Tali impianti rientrano anche nel campo di applicazione della direttiva "Seveso",

recentemente aggiornata con il D.Lgs. 238/05. Gli inceneritori di rifiuti, quali stabilimenti destinati all'eliminazione di sostanze solide mediante combustione indicati al punto 3 dell'allegato A del D.Lgs.334/99, sono soggetti agli obblighi previsti all'articolo 5 comma 2, con necessità di integrare il documento di valutazione del rischio di cui al D.Lgs. 626/94 ed adottare le di misure di formazione, addestramento ed equipaggiamento di coloro che lavorano in situ previste dal Decreto del Ministero dell'Ambiente 16 marzo 1998 (oltre a quelle previste dal Decreto del Ministero dell'interno 10 marzo 1998).

4.0 UN CASO APPLICATIVO

4.1 Descrizione dell'unità

L'impianto esaminato è situato nella provincia di Lucca ed è gestito da una società operativa all'interno di un contratto di project financing. Si tratta di un termovalorizzatore di RDF proveniente da un limitrofo impianto di pretrattamento di rifiuti solidi urbani, con produzione di energia elettrica (per una potenza di circa 6 MW). La tecnologia di combustione è quella del letto fluido, operante su due linee, e l'impianto è corredato da sistema di trattamento fumi sia a secco che ad umido. Oltre al trattamento di tutti i reflui liquidi ed al monitoraggio delle emissioni al camino, l'impianto è corredato da un sistema di rilevamento al suolo delle immissioni in atmosfera. I dati tecnici dell'impianto sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Dati tecnici dell'impianto.

<i>Combustore – generatore di vapore</i>	
Numero linee	2
Tipo	Letto fluido a ricircolazione interna con generatore di vapore integrato
Combustibile solido	RDF “fluff”; Biomasse
Capacità	3-5 t/h per linea
<i>Trattamento degli effluenti gassosi</i>	
Tipo	DeNO _x SNCR – Trattamento a secco con calce – Assorbimento con carboni attivi – Filtrazione a maniche – Trattamento ad umido con soda.
<i>Produzione di energia elettrica</i>	
Tipo	Ciclo Rankine con turboalternatore a spillamento e condensazione
Pressione del vapore	40 bar
Temperatura del vapore	400°C
Potenza elettrica resa	5.7 MW

Si fornisce nel seguito una descrizione sintetica delle soluzioni tecniche e dei sistemi di protezione attiva e passiva adottate nelle varie sezioni dell'impianto, tenuto conto della particolarità del processo, delle caratteristiche del sito in cui l'impianto è stato costruito e delle necessità operative delle squadre di soccorso. Nella trattazione sono stati volutamente omessi i particolari relativi ad attività aree a rischio specifico per cui siano disponibili norme di prevenzione incendi (ad es. gruppi elettrogeni, cabine di riduzione del gas, ecc.).

4.2 Le soluzioni tecniche di protezione passiva

Le misure di protezione passiva attuate rientrano fra quelle usualmente adottate ai fini della sicurezza in caso d'incendi. Per le attività non coperte da specifiche disposizioni di prevenzione incendi (quali ad esempio il combustore a letto fluidizzato) sono stati seguiti, per quanto applicabili, i criteri generali contenuti nel decreto del Ministero dell'interno 10 marzo 1998 (come attualmente disposto dal D.M. 29 dicembre 2005). Tenuto conto del layout dell'impianto, è stato possibile realizzare in maniera relativamente agevole la compartimentazione di tutte le aree a rischio specifico (locale trasformatori, zona officina per piccoli lavori di manutenzione, uffici e servizi, locali tecnici (sale quadri e compressori, ecc.), sala macchine turbina a vapore, vani ascensore, ecc.). Nella zona caldaie, è stata richiesta la protezione delle carpenterie metalliche portanti (orizzontali e verticali) della zona caldaie con prodotti in grado di garantire una resistenza al fuoco almeno R60, secondo le indicazioni progettuali. La verifica del sistema di vie di esodo è stata condotta in modo da assicurare il rispetto delle disposizioni contenute nell'Allegato III del D.M. 10 marzo 1998. Ciò ha comportato la necessità di realizzare nell'edificio che ospita le caldaie, avente altezza di circa 30 metri, scale a prova di fumo. Anche l'accesso alla sala controllo è stato previsto tramite filtri a prova di fumo.

4.3 Le soluzioni tecniche di protezione attiva

4.3.1 Rete idrica antincendio ,e gli impianti idrici automatici di spegnimento

L'impianto è protetto da una rete idrica antincendio realizzata in conformità alla norma UNI 10779 e dimensionata per Aree di livello 3 (rischio elevato) con protezione esterna, con idranti UNI 70, ed interna, con idranti UNI 45 e naspi, ubicati in modo da garantire la copertura di tutto l'impianto, con particolare riguardo per i silos di stoccaggio, per le linee di trasferimento del combustibile solido ed i serbatoi polmone utilizzati per l'alimentazione del RDF alla caldaia. Tenuto conto della natura dei combustibili detenuti, è stata prevista la possibilità di poter erogare schiuma (dai naspi), ottenuta tramite l'installazione di un sistema di premiscelazione in linea (con serbatoio di stoccaggio e riserva di schiumogeno in fusti).

Ulteriori misure sono state previste per le aree a rischio specifico:

- Nella zona di conferimento del RDF è stata prevista l'installazione di un impianto sprinkler (Fig. 3 a)).



Figura 3. a) Conferimento RDF; b) Nastro di trasferimento RDF alla caldaia; c) Dettaglio cuscinetti turbina.

- Considerata la capacità di stoccaggio dei due silos di stoccaggio RDF (850 m³), l'altezza dell'installazione, la natura dei materiali di costruzione impiegati (carpenteria metallica) nonché il layout dei silos (ubicati nella "boiler house" a pochi metri di distanza reciproca) che favorisce la propagazione dell'incendio da un silos all'altro, è stato necessario prevedere le seguenti ulteriori misure di protezione:
 - a) in caso di incendio di un silos, è prevista l'attivazione di un sistema a diluvio posto all'interno del silos interessato dall'incendio e di un sistema di raffreddamento del silos adiacente. La segnalazione del principio di incendio in un silos deve provocare il blocco del sistema di alimentazione di RDF.
 - b) All'interno dei due silos, sono state installate telecamere a circuito chiuso, brandeggiabili a distanza dalla sala controllo, sensibili alle radiazioni infrarosse e quindi in grado di coadiuvare l'operatore nella rilevazione di eventuali principi di combustione nello stoccaggio.
 - c) per agevolare l'intervento delle squadre di soccorso in caso di incendio generalizzato dei silos è stato ritenuto necessario installare un sistema di monitor che consentano di coprire anche le zone più elevate dei silos. Il sistema è stato progettato in modo da consentire l'attacco dell'incendio di un silos da almeno due lati e consentire la manovra dei monitor a distanza. Dispositivi meccanici limitano l'angolo di brandeggio dei monitor al fine di impedire un erroneo direzionamento del getto.
 - d) Alla base dei due silos, in corrispondenza delle linee di scarico e trasferimento del RDF alla caldaia, considerata l'assenza di compartimentazione e la vicinanza delle linee, sono state installate due barriere a lama d'acqua attivate su segnalazione di principio d'incendio in uno dei silos (Fig. 3 b)).
- Lungo ciascuna linea di trasferimento del combustibile solido (RDF) dai silos alla caldaia, costituita dall'insieme di coclee, elevatore a tazze, serbatoio polmone, sistema di separazione dei metalli non ferrosi, rotocella, è prevista l'installazione di un cavo termosensibile e di numerosi rivelatori di scintille in grado di rilevare principi d'incendio, anche a seguito dell'eventuale riflusso dei fumi di combustione dalla caldaia, e, azionare la scarica di ugelli ad acqua nebulizzata ubicati in varie posizioni lungo il sistema, secondo determinate logiche di funzionamento (Fig. 4).
- Ugelli di spegnimento automatico ad acqua nebulizzata per intervenire su principi d'incendio causati dal surriscaldamento dei cuscinetti o dall'olio di lubrificazione della turbina a vapore (Fig. 3 c)).

L'alimentazione della rete idrica antincendio è di tipo superiore e la capacità della riserva è stata fissata in modo da assicurare la contemporaneità di utilizzo degli idranti UNI 70 utilizzati per la protezione esterna con i sistemi automatici di spegnimento precedentemente descritti, come prescritto dalla orma UNI 10779.



Figura 4. Dettaglio rivelatori scintille ed ugelli acqua nebulizzata installati nel sistema di alimentazione RDF.

4.3.2 Sistema di rilevazione automatica dell'incendio

Tutto l'impianto (incluse le zone destinate ad uffici e servizi) è protetto da un sistema automatico di rivelazione di incendio, realizzato a norma UNI 9795. Stante la complessità ed il numero estremamente elevato di zone controllate, l'operatore dispone in sala controllo di un'apposita postazione che consente, con apposito software del fornitore del sistema, di gestire e visualizzare le segnalazioni dell'impianto.

4.3.3 Impianti di estinzione a gas

Particolare cura è stata dedicata alla protezione delle sale quadri elettrici, PCC e MCC, al locale trasformatori, alla cabina di analisi dei fumi ed alla sala controllo. Oltre che dal sistema di rilevazione automatica dell'incendio, tali locali, essenziali per garantire il funzionamento dell'unità, sono protetti con impianti di estinzione a gas (argon ed anidride carbonica, per il solo trasformatore ad olio) realizzati in conformità alla norma UNI 10877. In impianto è tenuta una riserva di sostanza estinguente, multipla della quantità nominale operativa. Nel caso specifico la riserva è costituita da 25 bombole di argon e 5 di anidride carbonica, permanentemente collegate alle rispettive tubazioni di distribuzione e disposte in modo da consentire un agevole passaggio dal set operativo a quello di riserva (Fig. 5a)). L'attivazione della scarica oltre che automatica deve essere anche manuale. Le bombole di alimentazione dell'impianto debbono essere poste in posizione protetta dall'incendio.



Figura 5. a) Dettaglio dei pacchi bombole

b) Ugelli CO₂ per protezione trasformatore ad olio

4.4 I bruciatori ausiliari

Nel caso in esame, i bruciatori ausiliari sono alimentati con metano. La tubazione di adduzione del gas, derivata da una cabina di riduzione posta ai limiti esterni del perimetro dell'impianto, ed il sistema di regolazione e di blocco sono stati realizzati come descritto nel par. 3.1.5. Inoltre, per ciascun bruciatore, è stata prevista l'installazione di un sistema di rilevazione di eventuali perdite di gas. Il sensore è stato posizionato al di sotto di una cappa posta in corrispondenza della rampa gas e del bruciatore in modo da raccogliere l'eventuale gas fuoriuscito al fine di favorirne la rilevazione (Fig. 6).



Figura 6. Dettaglio della rampa gas, del pannello locale e della cappa con il sensore rilevazione fuga gas.

4.5 La gestione delle sostanze pericolose utilizzate nel processo

Per quanto concerne lo stoccaggio e le modalità di utilizzo e rifornimento delle sostanze utilizzate nel processo e classificate come pericolose (ammoniaca, soda, acido cloridrico, ecc.), oltre a richiamare le ordinarie cautele, precauzioni e dotazioni di pronto soccorso previste nelle schede di sicurezza dei prodotti, è stato richiesto di predisporre idonei punti di caricamento in posizione facilmente accessibile e segnalata.

Il sistema di collegamento con l'autocisterna è stato progettato per ridurre la possibilità di sversamenti accidentali (con l'installazione di dispositivi di intercettazione automatica della linea in caso di strappo).

Il serbatoio di ammoniaca in soluzione acquosa, localizzato per esigenze di layout in prossimità delle caldaie, è protetto da un impianto di raffreddamento ad acqua nebulizzata ed è rifornito con sistema a ciclo chiuso.

5.0 CONCLUSIONI E RINGRAZIAMENTI

L'applicazione ad un impianto di termocombustione recentemente costruito ed avviato nella provincia di Lucca, costituisce un caso di studio per il quale vengono esposte le soluzioni impiantistiche adottate e le misure di sicurezza attiva e passiva implementate nelle varie sezioni dell'impianto, anche in considerazione delle necessità operative delle squadre di soccorso in caso di incidente. L'esame delle basi di progetto adottate nella definizione dei sistemi di protezione attiva e passiva, esemplificata con alcuni dettagli fotografici di particolari costruttivi "as built", consente di estrapolare le soluzioni adottate a tipologie di impianti simili, in modo da costituire un utile riferimento tecnico.

Si ringraziano le ditte Termomeccanica S.p.A. e T.E.V. S.r.l. per la collaborazione fornita.

RIFERIMENTI

1. Ehrlich, S., Fluidized Bed Combustion, 1995, ASME, pp. 729-736
2. Ehrlich, S., Fire Protection Handbook, NFPA, Quincy, MA, Section 3/Chapter 6
3. Murphy, Design and Performance Requirements for a Fluidized bed Boiler Firing Municipal Refuse Derived Fuel in Ravenna, Italy, in EPI (Energy Products of Idaho), Release- May 1999: pp.1-10
4. NFPA 85, Boiler and combustion System Hazards Code, 2004 Edition, NFPA, Quincy, MA