Doppia filtrazione: un nuovo design

per elevate prestazioni nel trattamento fumi da inceneritore

Alstom Power Italia, insieme a HERA, ha implementato un nuovo design per i sistemi di trattamento fumi da inceneritore con un sistema di doppia filtrazione in serie combinato con un SCR tail-end a bassa temperatura. Le elevate prestazioni del sistema nella rimozione di vari inquinanti sono state dimostrate durante un'estesa campagna di misure. L'articolo descrive le caratteristiche più importanti del sistema, nell'ottica di un sistema di trattamento fumi in grado di rimuovere diversi contaminanti.

DOUBLE FILTRATION: A NEW DESIGN TO GET OUTSTANDING PERFORMANCES

Alstom Power Italia together with Hera has implemented a new design for AQCS systems implying a double filtration combined with a tail-end low-temperature SCR for WtE plants. The outstanding performances on various contaminants of the mentioned system have been proven by dedicated measurement campaigns. The proposed paper by Alstom-Hera will describe the most important features of the double filtration system and the tail-end SCR fitted into such a multi-pollutant plant concept.

INTRODUZIONE

La continua richiesta per diminuire le concentrazioni di contaminanti nelle emissioni gassose degli termovalorizzatori di Rifiuti Solidi Urbani (RSU) sta spingendo la tecnologia del trattamento fumi verso nuovi sistemi che siano in grado di dare prestazioni sempre migliori ed elevata affidabilità con un accettabile livello di costi operativi. Il sistema Doppia Filtrazione Alstom insieme a un reattore catalitico selettivo (SCR) è una possibile risposta a questi requisiti.

Il presente documento descrive l'esperienza di applicazione della Doppia Filtrazione Alstom con SCR, utilizzato in tre termovalorizzatori: Ferrara (2 linee), Forlì (1 linea) e Rimini (1 linea). Gli impianti sono di proprità di HERA Spa che si occupa anche dell'operazione degli stessi. Gli impianti sono stati progettati e costruiti da Alstom Power Italia tra il 2006 e il 2010.

La tecnologia della doppia filtrazione consiste in due filtri a maniche in serie, entrambi con dosaggio di reagenti alcalini per la rimozione dei composti acidi.

I filtri a manica sono noti per essere la migliore apparecchiatura in termini di rimozione del particolato dalle correnti gassose. Da anni i filtri a manica sono anche usati come unità di trattamento chimico: mediante l'iniezione di reagenti alcalini (calce o bicarbonato, tipicamente), infatti, mostrano prestazioni eccellenti nella riduzione dei composti acidi. I reagenti alcalini, tipicamente iniettati in un reattore a monte dei filtri, sono in grado di reagire con i composti acidi presenti nei gas sia nel condotto stesso sia sulle maniche del filtro, dove formano un pannello di adsorbente che funziona come un reattore chimico quando i fumi lo attraversano.

L'idea di usare due filtri a maniche in serie è nata per aumentare le prestazioni dei filtri a maniche presi singolarmente, in particolare in termini di rimozione dei composti acidi. Questo assetto impiantistico dà la possibilità di aumentare l'efficienza totale di rimozione, iniettando i reagenti due volte, usando il concetto tipico dei reattori in serie che consente reazioni più complete. L'aumento delle prestazioni è potenzialmente valido anche per i composti organici. Questi composti sono tipicamente rimossi tramite l'iniezione di carbone attivo: la possibilità di iniettare questo reagente in due filtri permette di incrementarne le prestazioni a causa della natura tipicamente selettiva della rimozione operata dai carboni attivi. In termini di rimozione del particolato, infine, il fatto che il secondo filtro si trovi a lavorare con un carico ridotto di polveri, consente di ridurre i cicli di pulizia, limitando eventuali picchi emissivi che possano verificarsi durante gli spari di pulizia.

Un altro effetto positivo di questo tipo di arrangiamento è che le polveri provenienti dal secondo filtro sono praticamente prive di ceneri, che vengono trattenute dal primo filtro, pertanto si tratta di un prodotto potenzialmente adatto a un processo di rigenerazione in idonei impianti.

Oltre alle elevate capacità di rimozione, il sistema a Doppia Filtrazione Alstom è dotato di un'elevata affidabilità: l'estesa ridondanza utilizzata, tipica di questa applicazione, incrementa sia la disponibilità sia l'affidabilità del sistema.

Nel caso in cui si debba installare un catalizzatore di tipo Tail-end a bassa temperatura è necessario che le concentrazioni di zolfo (SO_2/SO_3) che raggiungono il catalizzatore siano particolarmente basse, per evitare la formazione di sali che potrebbero portare a un rapido decremento delle prestazioni del catalizzatore stesso. La capacità del sistema Doppia Filtrazione di raggiungere basse emissioni di SO_2/SO_3 dà la possibilità di utilizzare questo tipo di catalizzatori in modo efficace nel tempo, limitando i fenomeni di sporcamento.

La commissione europea per la prevenzione e il controllo dell'inquinamento (IPPC), nel definire le migliori tecnologie disponibili (BAT) per il trattamento fumi da incenerimento, indica la doppia filtrazione come tecnologia adatta per una spinta rimozione del particolato. I criteri di scelta per la doppia filtrazione vengono definiti secondo la Tabella 1.

Carlo Acquistapace, Alessia Marini - Alstom Power Italia ECS
Davide Corrente - Gruppo HERA

Criterio	Valutazione / commenti
Taglia di impianto	• Preferibile su grandi Impianti in virtù del potenziale beneficio per la riduzione di elevate masse di contaminante
Nuovi/esistenti	• Applicabile su entrambi • Installabile come miglioria a fine trattamento • La tecnologia è poco appetibile su Impianti che già raggiungono basse emissioni
Compatibilità di processo	• Le temperature di rugiada acida devono essere attentamente valutate • La tecnologia consente un'adeguata depurazione nel caso di un sistema SCR a valle
Localizzazione impiantistica	• La soluzione richiede spazi superiori • La disponibilità di realtà industriali che permettano un recupero/rigenerazione dei sali prodotti

TABELLA 1 - Criteri di valutazione per l'applicabilità della doppia filtrazione

Considerando i criteri espressi nella Tabella 1, questo tipo di tecnologia è stata considerata applicabile per i termovalorizzatori HERA. Le ragioni principali della scelta sono state:
- trattandosi di impianti nuovi lo spazio disponibile era sufficiente;
- la taglia degli impianti è medio-grande (75.000 Nm^3/h - 120.000 Nm^3/h);
- è richiesto un sistema SCR Tail-end a bassa temperatura;
- sono richieste emissioni particolarmente contenute.

Nei successivi paragrafi viene data una descrizione del sistema di trattamento e delle sue principali unità operative; sono quindi analizzate le principali peculiarità dell'impianto.

FIGURA 1 - Vista aerea del sistema trattamento fumi a Doppia filtrazione, impianto HERA Coriano (Rimini)

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI TRATTAMENTO FUMI

GENERALITÀ

Tre nuovi termovalorizzatori sono stati realizzati da HERA Spa in tre diversi siti italiani (Ferrara, Forlì e Rimini). Al fine di assicurare livelli di emissione particolarmente contenuti, è stato scelto di applicare un sistema a Doppia Filtrazione con SCR tail-end, ritenendolo la migliore tecnologia applicabile per questo tipo di trattamento. Gli impianti sono stati progettati e realizzati da Alstom Power Italia e sono costituiti da un primo filtro a maniche con iniezione di calce idrata e carbone attivo, un secondo filtro a maniche con iniezione di bicarbonato e un catalizzatore a bassa temperatura (180 °C).

Di seguito vengono descritti i diversi stadi di trattamento.

FILTRO A CALCE

I fumi provenienti dall'economizzatore vengono filtrati su un filtro a maniche di primo stadio, dove calce e carbone attivo vengono iniettati.

Parametro	U.M.	Ferrara Linee1/2	Forlì	Rimini
Q	Nm3/h	2x75'000	1x120'000	1x120'000
T inlet	°C	180	180	180
H2O	%	12	12	12
O2	%	8	8	8

TABELLA 2 - Dati di dimensionamento impianto

Lo scopo di questa prima filtrazione è quello di rimuovere sostanzialmente tutta la polvere proveniente dal forno e dare una rimozione della maggior parte dei composti acidi attraverso l'iniezione di calce idrata. A causa della temperatura utilizzata (180 °C) la calce risulta essere solo parzialmente attiva nella rimozione degli ossidi di zolfo (SO_2) mentre mostra una buona rimozione dei composti alogenati (HCl). La calce idrata è iniettata a secco, senza aggiunta di acqua.

Al fine di avere un miglior utilizzo della calce dosata è possibile ricircolare all'ingresso del sistema parte delle polveri raccolte dal filtro. Il carbone attivo è dosato nella stessa linea di trasporto della calce per rimuovere i contaminanti organici, tipo diossine.

Il filtro a maniche è stato dimensionato sulla base del pluridecennale esperienza Alstom, con una ridotta velocità di filtrazione (inferiore a 1 m/min) così da avere una migliore distrubuzione dei flussi e un maggior tempo di reazione dei fumi attraverso il pannello sulla manica. Viene utilizzato un lavaggio delle maniche in linea ("on line") con aria compressa a bassa pressione (2,5 barg). É possibile operare il lavaggio anche a pressioni così ridotte, grazie allo speciale design delle valvole di sparo (Optipow®) progettate da Alstom, che consentono di pulire maniche anche più lunghe di 10 m, usando aria compressa a bassa pressione, cosa che limita lo stress meccanico sulle maniche.

Considerando la temperatura operativa (180 °C) sono state scelte maniche in PTFE con membrana in PTFE. Questo tipo di materiale ha un'ottima resistenza all'attacco acido e alle alte temperature.

La calce è iniettata all'interno del condotto fumi a monte del filtro maniche attraverso lance progettate per distribuire il reagente in modo uniforme sulla sezione del condotto. É stato inoltre installato un miscelatore statico a monte delle lance che funge da generatore di vortice, onde migliorare ulteriormente la distribuzione della calce iniettata.

FILTRO A BICARBONATO

I fumi provenienti dal filtro a calce vengono quindi filtrati su un secondo filtro con iniezione di bicarbonato di sodio. É richiesto un minimo tempo di contatto del bicarbonato di sodio all'interno dei condotti, al fine di consentire la reazione di trasformazione del bicarbonato in carbonato di sodio ad alta superficie specifica. Un reattore verticale è stato realizzato per dare un tempo di contatto di almeno 2 secondi. Prima di essere iniettato, il bicarbonato viene macinato così da aumentarne la sua superfice specifica, migliorandone quindi l'attività.

Il filtro è stato progettato e realizzato identicamente al filtro a calce, utilizzando le stesse velocità di filtrazione.

Lo scopo di questo secondo stadio di filtrazione è quello di operare una depolverazione finale e rimuovere la quota rimanente di contaminanti acidi, in particolare SO_2. Alle temperature cui opera questa sezione d'impianto (circa 170 °C), il bicarbonato di sodio mostra caratteristiche di reattività eccellenti in termini di rimozione degli ossidi di zolfo.

É stato utilizzato lo stesso tipo di maniche del primo filtro, dato che la presenza della membrana in PTFE consente un'ottima captazione delle polveri anche nelle sue frazioni più fini.

REATTORE CATALITICO SELETTIVO (SCR)

All'uscita del filtro a bicarbonato i fumi vengono riscaldati per raggiungere la temperatura operativa del catalizzatore (180 °C). Lo scambiatore utilizzato è uno scambiatore a fascio tubiero che utilizza vapore saturo direttamente dal corpo cilindrico. L'uso di vapore saturo è particolarmente importante per questa applicazione in quanto la temperatura dello scambiatore si mantiene pressochè costante, rendendo quindi omogenea la temperatura dei fumi che raggiungono il catalizzatore.
Una volta che i fumi sono stati riscaldati, l'ammoniaca in soluzione acquosa è evaporata e quindi iniettata in fase gassosa nel condotto attraverso una griglia di iniezione, progettata da Alstom.
Per avere una distribuzione omogenea dell'ammoniaca sul catalizzatore, anche in considerazione della ridotta distanza tra punto di iniezione e catalizzatore stesso, la griglia di iniezione è equipaggiata con un elevato numero di ugelli (fino a 150). Uno studio fluidodimanico (CFD) può essere fatto all'occorrenza per verificare la corretta distribuzione dell'ammoniaca sul catalizzatore.
Il catalizzatore è di tipo tail end a bassa temperatura per la rimozione degli ossidi d'azoto (NO_X). A temperature così basse la co-presenza di ammoniaca e ossidi di zolfo può causare la formazione e la deposizione di sali sulle superfici fredde. Questo fenomeno è noto come "deposizione dei solfati d'ammonio" e genere un potenziale sporcamento del reattore in vari punti, quali, ad esempio, il catalizzatore stesso. Le prestazioni del sistema Doppia Filtazione Alstom a monte del catalizzatore, consentono di ridurre gli ossidi di zolfo a valori compatibili con questo tipo di condizioni operative, riducendo la deposizione di sali d'ammonio.

VENTILATORE

I fumi in uscita dal catalizzatore vengono aspirati dal ventilatore di coda, di tipo centrifugo. Il ventilatore è dimensionato per vincere le perdite di carico dell'intera linea fumi: considerando la presenza di due filtri a maniche in serie, dello scambiatore e del reattore catalitico, considerando un certo margine operativo, il ventilatore presenta un valore di prevalenza piuttosto elevato (circa 10.000 Pa).
La pressione nella camera di combustione è regolata mediante una serranda modulante, installata immediatamente all'uscita dell'economizzatore. Il ventilatore di coda è mosso da un motore sotto inverter e controlla la pressione in uscita dalla serranda di regolazione. Questo tipo di regolazione è particolarmente accurata e veloce nel mantenere la pressione desiderata in camera di combustione. La serranda modulante si occupa di controllare i veloci transitori che possono avvenire nel forno mentre la portata del ventilatore viene modificata più lentamente, così da gestire le reali variazioni di carico.

DOPPIA FILTRAZIONE: PECULIARITÀ DEL SISTEMA

Di seguito vengono analizzate le peculiarità principali di questa tecnologia.

ELEVATA EFFICIENZA DI RIMOZIONE

Il sistema a Doppia Filtrazione è stato progettato con un primo filtro a maniche con dosaggio di calce e un secondo filtro con dosaggio di bicarbonato di sodio. Questo sistema presenta chiari vantaggi in termini di capacità di rimozione dei contaminanti acidi e dei micro-inquinanti. In particolare, la calce viene utilizzata per rimuovere la maggior parte dell'acido cloridrico invece lo stadio a bicarbonato è usato principalmente per rimuovere gli ossidi di zolfo e come stadio di finissaggio per l'acido cloridrico. Questo assetto impiantistico tende a usare ogni reagente nel campo di operatività in cui è maggiormente efficace. La calce idrata, che è più economica ma meno reattiva, viene utilizzata per rimuovere la maggior parte dell'acido cloridrico che forma, in termini di massa, la gran parte dei contaminanti acidi presenti nei fumi da incenerimento di RSU. Alle temperature operative di questo impianto la calce ha una ridotta capacità di rimozione nei confronti degli ossidi di zolfo, pertanto, cercare di ottenere elevate rimozioni di questi, avrebbe comportato un consumo eccessivo di calce. La rimozione dell'SO_2 è invece fatta nel secondo stadio di filtrazione, dove viene utilizzato bicarbonato. In questo modo il reagente più efficace ma più costoso, viene utilizzato per rimuovere il contaminante più difficile.
In aggiunta a questo, sul secondo filtro arrivano solo ridotti quantitativi di ceneri che sono invece state quasi completamente filtrate dal primo stadio: in questo modo si evita ogni effetto di "ciecatura" che renderebbe meno reattivo il bicarbonato.
Le prestazioni di questi sistemi sono state monitorate attentametne durante un mese di collaudo per ciascun impianto (Ferrara, Forlì, Rimini). Le emissioni di HCl e SO_2 erano giornalmente molto inferiori ai 10 mg/Nm^3, con medie mensili molto inferiori ai 5 mg/Nm^3.

PROFILO DI TEMPERATURA

Calce e bicarbonato hanno diversi comportamenti al variare della temperatura. Mentre la calce idrata ha una migliore attività alle basse temperature, il bicarbonato di sodio è normalmente utilizzato a temperature superiori.
Il tipico intervallo di utilizzo per la calce è 120 - 160 °C, con un miglioramento delle prestazioni al diminuire della temperatura.
Il bicarbonato di sodio invece presenta un intervallo di utilizzo di 140 - 300 °C, con un miglioramento delle prestazioni all'aumentare della temperatura stessa, in quanto la reazione di trasformazione del bicarbonato in carbonato di sodio è più veloce.
In caso di sistemi a doppia filtrazione che vogliano usare entrambi questi reagenti è importante scegliere una corretta temperatura di esercizio. La scelta è legata a un certo numero di parametri quali: costo relativo dei reagenti, rapporto tra efficienze di rimozione richiesta sull'HCl ed efficienza richiesta sull'SO_2, presenza di un catalizzatore tail-end.
Lavorare a temperature più basse favorisce l'attività della calce, aumentandone la capacità di rimozione ma diminuendo quella del bicarbonato. Viceversa succederebbe alzando le temperature.
Nel caso dei progetti HERA 180 °C è stata considerata la temperatura ottimale per l'applicazione. Questo valore è relativamente alto per la calce idrata che però ha comunque conservato una buona capacità di rimozione dell'acido cloridrico. D'altra parte, questa temperatura favorisce l'efficienza del bicarbonato, più efficace nel raggiungere emissioni particolarmente basse.
Infine questa temperatura è adatta all'utilizzo del catalizzatore installato a valle del secondo filtro. Pertanto lo scambiatore a vapore viene utilizzato per compensare le perdite termiche del sistema.

FLESSIBILITÀ

L'uso di due stadi di filtrazione dà al cliente finale un certo grado di libertà nel modulare i dosaggi relativi dei due reagenti.
Quando le concentrazioni dei contaminanti in ingresso al sistema sono particolarmente basse, il dosaggio di calce può essere ridotto al fine di consentire un migliore utilizzo del bicarbonato che verrebbe comunque dosato sul secondo filtro.
Al contrario, in caso di alte concentrazioni di SO_2 risulta più interessante incrementare il dosaggio di bicarbonato di sodio

piuttosto che quello della calce, in quanto il primo reagente è più efficace nel neutralizzare gli ossidi di zolfo.
Analoghe considerazioni possono essere fatte sulla base del rapporto tra il costo dei due reagenti.
I fumi provenienti dal primo filtro hanno un contenuto di ceneri molto ridotto. Per questa ragione il particolato raccolto sul secondo filtro è quasi completamente formato da sali di sodio, bicarbonato non reagito o carbone attivo. Questo tipo di residui può essere trattato e ri-generato in impianti dedicati invece che smaltito, con una potenziale riduzione di costi e una diminuita produzione di rifiuti.

OPERATIVITÀ CATALIZZATORE

Un catalizzatore di tipo tail-end a bassa temperatura è utilizzato per la rimozione degli ossidi di azoto (NO_X) attraverso il dosaggio di ammoniaca. La tipica finestra operativa, in termini di temperature, per questo tipo di applicazione è 170 - 250 °C. Negli impianti HERA sono installati catalizzatori di tipo "nido d'ape" che operano a 180 °C.
L'ammoniaca in soluzione acquosa è evaporata in corrente gassosa preventivamente riscaldata con batterie elettriche o a vapore. La scelta di iniettare ammoniaca evaporata è legata a limitazioni palnimetriche: questa soluzione è considerata la migliore per raggiungere, anche in presenza di condotti particolarmente corti, una perfetta distribuzione di ammoniaca sulla superficie del catalizzatore, requisito fondamentale per ottenere elevate prestazioni.
L'iniezione di ammoniaca in presenza di SO_2/SO_3, a queste temperature, causa la deposizione di sali di ammonio (solfati e bisolfati di ammonio). La temperatura di condensazione di questi sali è fortemente dipendente dalle concentrazioni di ammoniaca e di ossidi di zolfo. Il deposito di sali può creare sporcamento della superficie del catalizzatore, con conseguente riduzione della sua attività. Il sistema a doppia filtrazione è in grado di raggiungere concentrazioni particolarmente basse di SO_2/SO_3, limitando in questo modo la possibilità di formazione di questi sali. Questo sistema di trattamento è quindi particolarmente indicato per una continua operazione del catalizzatore a basse temperature.
Non è stato installato nessun sistema di pulizia per pulire il catalizzatore durante la normale operazione. Il catalizzatore può essere pulito una volta l'anno per rumuovere le tracce di sali che potrebbero aver creato parziale sporcamento del catalizzatore stesso.
Al fine di ottenere una più semplice manutenzione, il reattore degli impianti HERA è stato progettato per consentire la pulizia del catalizzatore durante la fermata annuale, senza la necessità di estrarre i moduli.

AFFIDABILITÀ

Il sistema di trattamento fumi è stato progettato per avere un elevato livello di affidabilità che è stato ottenuto considerando una filosofia di ridondanza riassunta nella Tabella 3.
Grazie all'elevato livello di affidabilità, tutti gli impianti sono in operazione senza bypass.
In aggiunta a quanto sopra descritto, i seguenti criteri sono di grande importanza per raggiungere questa affidabilità:
- la scelta di fornitori affidabili e referenziati su questo tipo di applicazioni con forti capacità ingegneristiche e procedure di qualità dedicate;
- una robusta architettura di controllo che preveda ridondanza della strumentazione, loop di controllo automatici e sequenze automatiche per la normale operazione così come le fermate di emergenza;
- procedure di montaggio e saldatura di comprovata efficacia.

Unità operativa	Ridondanza considerata
Filtro a maniche	• Ogni filtro è in grado di mantenere le proprie prestazioni anche con un comparto escluso
Dosaggio calce	• 100% di ridondanza delle machine di dosaggio
Dosaggio carbone attivo	• 100% di ridondanza delle macchine di dosaggio
	• Possiblità di dosare carbone attivo su entrambi i filtri
Sistema di trasporto reagenti	• 100% ridondanza delle soffianti di trasporto e e delle tubazioni
Dosaggio bicarbonato	• 100% ridondanza delle macchine di macinazione e dosaggio
Trasporto polveri finali	• 100% di ridondanza del trasporto pneumatico
	• Scarico di emergenza in ogni filtro
Ventilatore	• Motore di emergenza in caso di black out generale

TABELLA 3 - Ridondanze d'impianto

CONCLUSIONI

Il presente articolo ha descritto l'applicazione del sistema Doppia Filtrazione come trattamento fumi di impianti da incenerimento RSU. Questa tecnologia è indicata dall'IPPC come parte delle Migliori Tecnologie Disponibili (BAT) per il trattamento di questi reflui gassosi.
Questa tecnologia è stata installata con successo su tre termovalorizzatori HERA. Il presente articolo ha descritto l'assetto impiantistico del sistema di trattamento fumi, dando una breve descrizione delle principali unità operative. Gli impianti sono equipaggiati con due filtri a maniche in serie, di cui il primo con iniezione di calce, il secondo con iniezione di bicarbonato. Un catalizzatore SCR tail-end a bassa temperatura (180 °C) è installato a valle della filtrazione per la rimozione degli ossidi di azoto (NO_X).
Il sistema doppia filtrazione, associato a un SCR tail-end, ha mostrato di poter raggiungere emissioni particolarmente basse di inquinanti e un'elevata affidabilità d'impianto.
I principali vantaggi del sistema possono essere riassunti in:
- eccellenti capacità di rimozione dei contaminanti;
- ottima operatività dell'SCR tail-end, grazie al ridotto contenuto di zolfo residuo nei fumi;
- alto livello di affidabilità, grazie ad un'elevata ridondanza delle apparecchiature;
- flessibilità dell'impianto in operazione, dovuta alla possibilità di modulare il dosaggio dei diversi reagenti in funzione delle esigenze d'impianto.

Considerato quanto sopra descritto, si ritiene che il sistema Doppia Filtrazione Alstom sia un'interessante tecnologia di trattamento, qualora vengano richieste emissioni particolarmente contenute e un sistema di trattamento particolarmente robusto e affidabile.

NOMENCLATURA

CFD	Computational Fluid Dynamics
FF	Fabric Filter
ID	Induced Draft
SCR	Selective Catalytic Reactor

BIBLIOGRAFIA

1. *Integrate Pollution Prevention and Control Committee - European Community. Reference document on Best Available Technology on Waste Incinerators, 2006.*
2. *Alstom Design Manual*
3. *HERA data base*