

R. Margraf, Lühr Filter -
testo italiano a cura di Lühr
Italiana

Per rispettare i limiti di emissione nell'incenerimento di biomasse legnose, si installano a valle dell'inceneritore degli impianti di filtrazione costituiti, nella maggior parte dei casi, da filtri a maniche. Oltre alla mera separazione delle polveri, anche i limiti di emissione di vari composti nocivi (gas acidi, diossine/furani, mercurio e suoi composti, nonché altri metalli pesanti) possono essere adeguatamente rispettati in esercizio continuo, grazie all'iniezione di additivi in polvere, implementata con un processo di adsorbimento a secco oppure a secco-condizionato.

La scelta dell'additivo e del processo di adsorbimento più idoneo dipendono dall'applicazione, considerando i costi di investimento e di esercizio. Nel seguito sono indicati degli aspetti notevoli per la progettazione di filtri a maniche per applicazioni di incenerimento di biomasse legnose.

Successivamente sono descritte differenti procedure di adsorbimento combinate con filtri a maniche, con valutazione dei rispettivi vantaggi e svantaggi. In questo ambito l'obiettivo è puntato sul-

l'assorbimento chimico di gas acidi. L'abbattimento di altri composti gassosi, come ad esempio NO_x, CO e Toc, non è oggetto di questa trattazione.

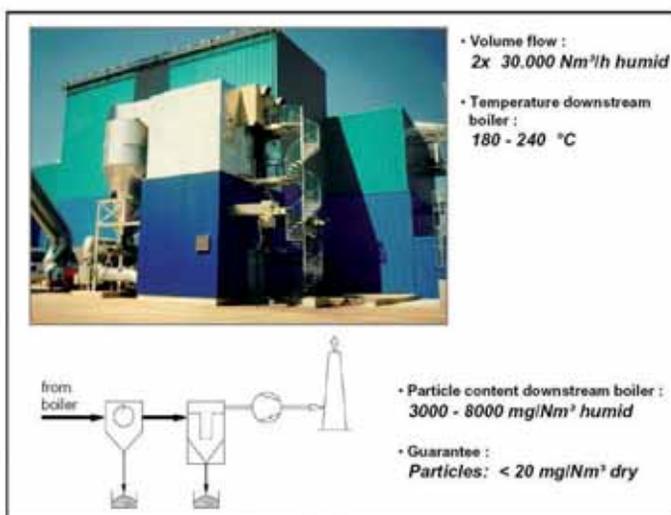
Requisiti dei filtri a maniche per inceneritori a biomassa

Se gli inquinanti gassosi sono al di sotto dei limiti richiesti, il processo può essere realizzato senza iniezione di additivo. In que-

sti casi l'impianto di trattamento fumi comprende un filtro a maniche, generalmente con un separatore di scintille (per esempio, ciclone o multiciclone) installato a monte. I primi impianti per inceneritori a biomassa sono in esercizio da anni.

Tenendo conto dell'esperienza raccolta durante i primi anni di esercizio, questi impianti vengono gestiti senza alcun problema. Il seguente elenco, non esaustivo, riporta alcuni aspetti da tene-

Figura 1 - Filtrazione a maniche a valle di valle di un inceneritore di biomasse.



FILTRI A MANICHE PER INCENERITORI DI BIOMASSA

Nonostante sia una tecnologia di origini remote, la depolverazione con filtri a maniche è lungi dall'essere obsoleta. Grazie alle eccellenti prestazioni e ai costi limitati, è impiegata in una serie innumerevole di applicazioni, in alcune delle quali è indicata come Bat (miglior tecnologia disponibile). Nell'incenerimento di biomasse, la depolverazione integra un trattamento fumi completo, con abbattimento di gas acidi, diossine e metalli pesanti, usando sistemi di complessità crescente in relazione ai fumi da trattare.

Despite its remote origin, fabric filtration is far away from being obsolete. Characterized by excellent performance and low cost, it is used in a huge number of applications, in some of which is ranked as Bat (best available technology). In biomass incineration, fabric filter is part of a complete flue gas treatment, including sorption of acid gases, dioxins and heavy metals, by using increasing complexity devices depending on the flue gas.

Reazione	Quantità di Ca(OH) ₂ riferita alla quantità di gas acido con il 100% di trasformazione stechiometrica (i=1)	Quantità di polveri di risulta secondo (compreso il contenuto d'acqua secondo esperienza) riferita alla quantità di gas acido
$2HF + Ca(OH)_2 \rightarrow CaF_2 + 2H_2O$	1,85 Kg/Kg	1,95 Kg/Kg
$2HCl + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + 2H_2O$	1,01 Kg/Kg	2,02 Kg/Kg
$SO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + H_2O$	0,93 Kg/Kg	2,15 Kg/Kg
$SO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_3 + H_2O$	1,16 Kg/Kg	2,02 Kg/Kg

Tabella - Equazioni di reazione e quantità di additivo e di polveri residue, con un'efficienza del 100%.

re in considerazione:

- rivestimento del separatore di scintille;
 - limitazione degli idrocarburi nei fumi mediante combustione controllata;
 - scelta di un carico di filtrazione sufficientemente basso, max 1 m/minuto;
 - scelta di un filtro adeguato, in relazione ai vincoli termici e chimici, oltre che alle ceneri volanti, spesso molto fini e igroscopiche.
 - accensione e spegnimento controllato dell'intero impianto, anche riguardo alle esigenze del filtro, per esempio con iniezione di additivo durante queste fasi dell'esercizio.
- La Figura 1 mostra un esempio di un impianto realizzato più di dieci anni fa.

Processo di assorbimento

Se a causa della composizione del combustibile è richiesta una separazione supplementare di composti gassosi, occorre aggiungere sostanze adeguate per l'assorbimento e/o adsorbimento di tali composti a monte del filtro. Per quanto riguarda i gas acidi, i principali additivi disponibili sono idrossido di calcio Ca(OH)₂ e bicarbonato di sodio (NaHCO₃). Per l'abbattimento di diossine e furani, o per il mercurio e i suoi composti, viene impiegato un additivo con grande superficie specifica, come carboni attivi o argille speciali. Soprattutto per quanto riguarda i gas acidi è disponibile una grande quantità di varianti di processo. Di seguito sono descritte e commentate le principali.

Con idrossido di calcio

Variante base: assorbimento a secco

Lo schema di principio del processo di assorbimento a secco con Ca(OH)₂ è mostrato in Figura 2. Sono disponibili numerose qualità di Ca(OH)₂, con differente reattività. In generale, per questa molto semplice variante sarà necessaria una qualità di calce altamente reattiva, con una grande superficie specifica (>40 m²/g) ed un elevato volume dei pori (>0,2 cm³/g), per rispettare in modo affidabile i limiti di emissione richiesti. Le equazioni di reazione e le quantità di additivo e di polveri residue, assumendo un'efficienza del 100%, sono mostrate in Tabella. Nella pratica il rispetto dei limiti di emissione



Figura 2 - Variante base dell'assorbimento a secco con Ca(OH)_2

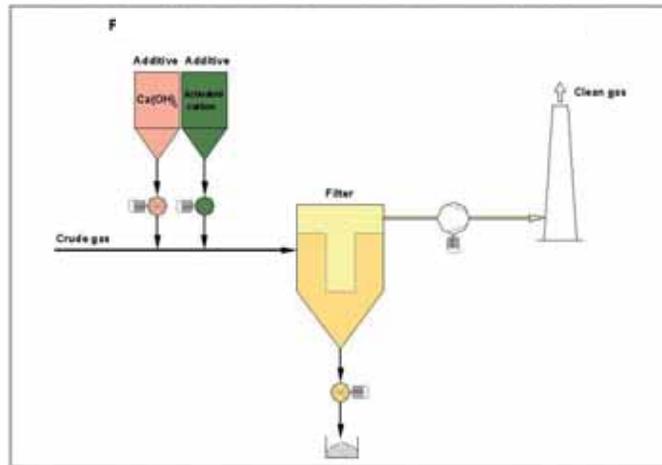


Figura 3 Assorbimento a secco con Ca(OH)_2 a valle di inceneritore a letto fluido.

Crude gas values downstream boiler:	
Particles	: ≤ 0,008 mg/Nm³ dry
HCl	: ≤ 105 mg/Nm³ dry
HF	: ≤ 10 mg/Nm³ dry
SO ₂	: ≤ 480 mg/Nm³ dry
PCDD/PCDF	: ≤ 1 mg/Nm³ dry

Guarantee:	
Particles	: ≤ 10 mg/Nm³ dry
HCl	: ≤ 30 mg/Nm³ dry
HF	: ≤ 3 mg/Nm³ dry
SO ₂	: ≤ 350 mg/Nm³ dry
PCDD/PCDF	: ≤ 0,1 mg/Nm³ dry

Additive powder consumption:	
Ca(OH)_2	: surface > 40 m³/g
HOK*	: mill activated

* Open-hearth furnace coke

Volume flow: 25.000 Nm³/h humid
Temperature downstream boiler: 150 °C

viene raggiunto dosando l'additivo in dosi sovrastechiometriche. I vantaggi di questo processo sono favorevoli costi di investimento e basso livello di manutenzione, data la semplicità dell'impianto. Gli svantaggi sono elevati costi di acquisto dell'additivo e una limitata efficienza di abbattimento. In caso di quantità moderata di fumi, il processo è in grado di rispettare i limiti con un consumo accettabile di additivo. La Figura 3 mostra un assorbimento a secco a valle di una combustione a letto fluido di cippato. Dato il basso grado di abbattimento richiesto per i gas acidi, per questa applicazione basta un processo semplice, con bassi costi di investimento. I maggiori costi per un additivo ad alta reattività sono sufficientemente compensati dal risparmio dell'investimento.

Ricircolo e condizionamento delle polveri

Per aumentare l'efficienza e ridurre i costi dell'additivo, lo schema di base visto viene spesso integrato da elementi come un reattore con ricircolo delle polveri e torre evaporativa (Figura 4). È dimostrato che, specialmente in caso di elevato tenore di ricircolo, il ricircolo delle polveri conduce ad un netto miglioramento del grado di abbattimento dei gas acidi e/o ad una riduzione

Figura 4 - Assorbimento chimico con ricircolo polveri e condizionamento dei fumi.

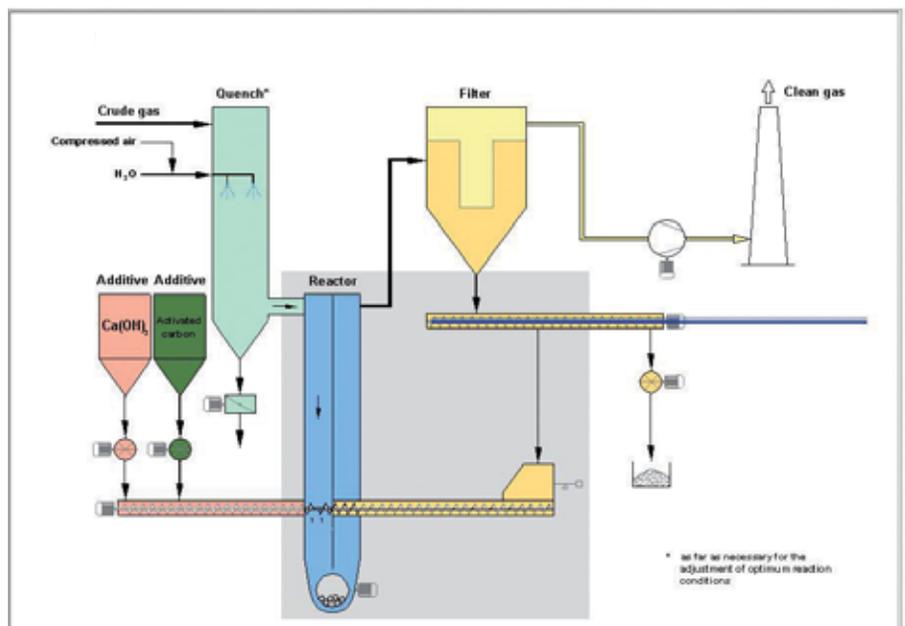


Figura 5
Rotore di condizionamento -
Processo di ricircolo Kuv.

della quantità di additivo. Infatti:
- aumenta il tempo di residenza dell'additivo nel sistema;
- nel reattore, posto a monte del filtro, c'è una più elevata densità di additivo (il tempo di permanenza nel reattore arriva a oltre 2 secondi);
- si realizza un frequente rimiscelamento delle polveri riciclate, con rideposizione dello strato di polvere (cake) sugli elementi filtranti.

Dato l'elevato rapporto di ricircolo richiesto, e per garantire un livello ottimale di efficienza dell'additivo, l'impiego dei sistemi di ricircolo richiede che si possano gestire quantità considerevoli, anche qualora grandi quantità di polveri problematiche, come CaCl_2 , siano presenti nello spettro delle polveri. La Figura 5 mostra una tecnologia impiegata da molti anni in vari campi di applicazione. Essa è caratterizzata da alta versatilità e omogenea distribuzione delle polveri riciclate nel flusso dei gas che arriva al filtro. Il trasporto con sistemi pneumatici, soggetto a più frequenti interruzioni, non è qui usato.

Torre evaporativa (quench)

Per il campo di temperatura tra 100° e 220°C, tipico per molte applicazioni con filtri a maniche, l'ordine delle reazioni è il seguente:



La temperatura, nell'intervallo considerato (100-220°C), se non riscontra particolari problematiche per la separazione di SO_3 e di HF, ha tuttavia un'influenza rilevante sulla separazione di HCl e SO_2 . Per risparmiare additivo è spesso utile raffreddare il gas fino alla temperatura ottimale per mezzo di uno scambiatore a recupero, o preferibilmente con una torre evaporativa (quench). La minima temperatura di esercizio ammissibile viene scelta in modo da evitare nell'im-

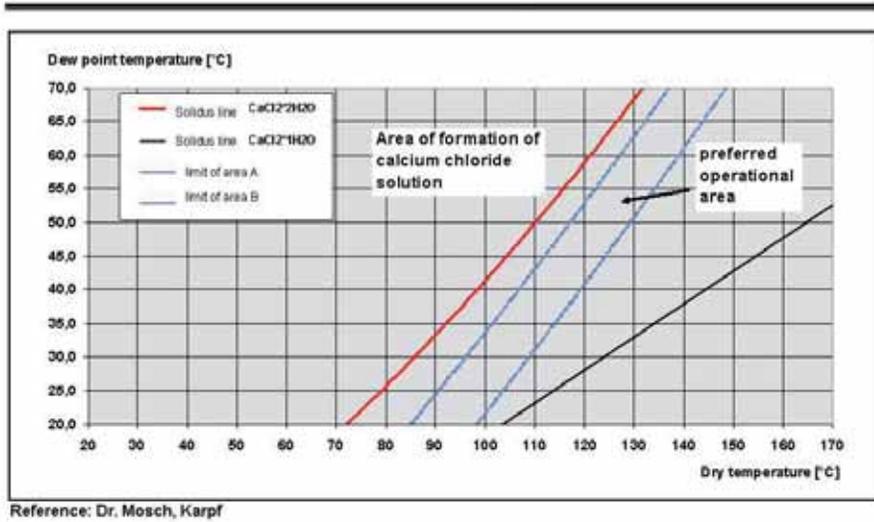
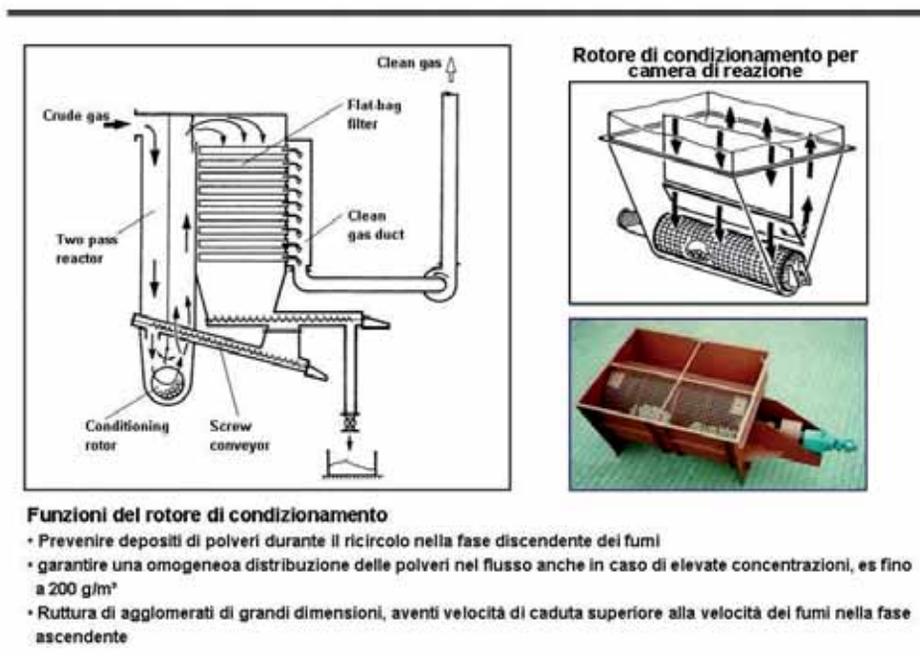


Figura 6
Diagramma di fase $\text{CaCl}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$.

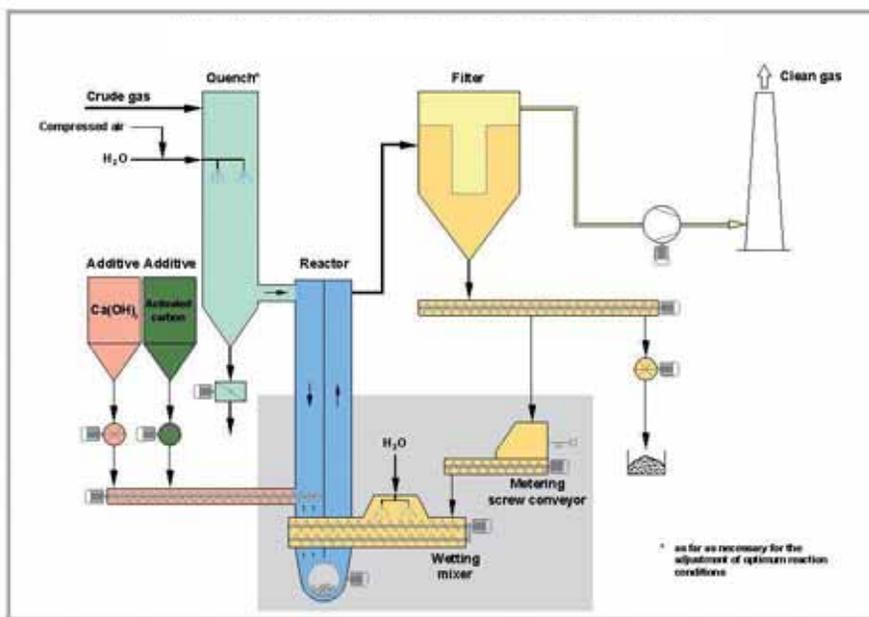
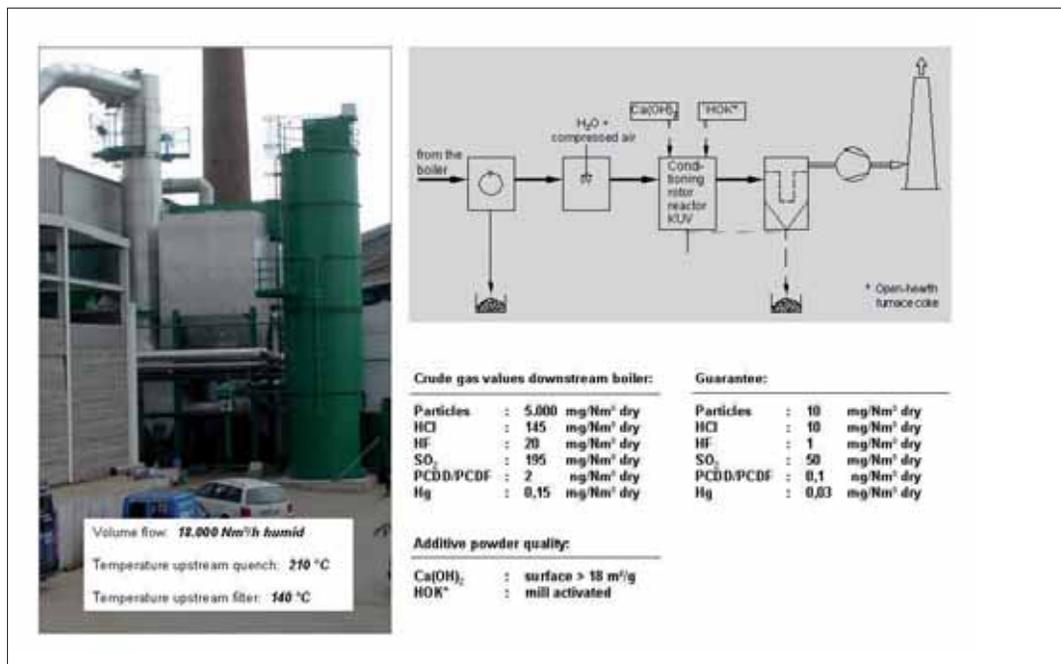
pianto impaccamenti ed intasamenti, causati soprattutto dalle caratteristiche igroscopiche delle polveri di CaCl_2 . La Figura 6 mostra l'intervallo di temperatura ideale, in relazione al punto di rugiada. L'esempio applicativo descritto in Figura 7 mostra la torre evaporativa installata a monte del filtro a maniche. In relazione alla tecnologia scelta, si può usare una qualità commerciale di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a basso costo. Il ricircolo polveri ha un ulteriore effetto favorevole sul consumo di carbone attivo, dosato per abbattere diossine, furani, Hg e suoi composti. In questo caso, il basso costo dell'additivo contro-

bilancia i più alti costi di investimento, oltre ai costi supplementari per l'aria compressa necessaria per nebulizzare l'acqua nella torre evaporativa. In confronto alla variante di base, si riscontra una maggiore complessità impiantistica.

Assorbimento con condizionamento delle polveri

Come già descritto, generando l'incremento dell'umidità assoluta e relativa nel gas grezzo, il condizionamento del gas ha un effetto positivo sull'adsorbimento. Tuttavia, una buona efficienza dell'additivo è raggiungibile solo quando la pressione parziale del

*Figura 7
Assorbimento chimico
con condizionamento
e ricircolo polveri di un
inceneritore di biomasse
con forno a griglia.*



*Figura 8 - Assorbimento a secco
condizionato di fumi e polveri.*

vapore in prossimità delle polveri di ricircolo è, almeno per un breve intervallo di tempo, vicina alla pressione di saturazione. Questa condizione viene raggiunta con la tecnica dell'adsorbimento a secco condizionato (Figura 8). In questo tipo di processo, le polveri di ricircolo vengono condizionate, cioè umidificate, prima di essere reintrodotte nel reattore. L'umidificazione causa un aumento del contenuto di vapore acqueo sulla superficie delle particelle di additivo, migliorando così la reattività nei confronti dei gas acidi. L'additivo

usato è Ca(OH)₂ di qualità commerciale. Data la relativamente limitata umidificazione delle polveri riciclate, e considerando la temperatura dei fumi all'ingresso del reattore, può essere utile installare a monte una torre evaporativa per la regolazione delle condizioni di reazione ottimali. Paragonata alle varianti sopra descritte, questo procedimento altamente efficiente è caratterizzato da un'eccellente efficienza dell'additivo e da un rispetto dei limiti di emissione eccezionalmente versatile, anche nei casi delle più elevate concentrazioni di

inquinanti nei fumi. Non esiste dipendenza dell'efficienza di abbattimento dal rapporto HCl/SO₂. Per contro, rispetto agli altri processi, occorre tener conto dei più elevati costi di investimento e della maggiore entità delle apparecchiature. La Figura 9 mostra la variante di processo con combustione a letto fluido per rifiuti legnosi di varia tipologia, con il condizionamento delle polveri installato a valle. La necessità di un'elevata efficienza di abbattimento per SO₂, in combinazione con una sfavorevole correlazione HCl/SO₂, richiede l'impiego del condizionamento delle polveri. Poiché la temperatura dei fumi in uscita dalla caldaia è <150°C, si può evitare l'impiego della torre evaporativa. L'esempio di applicazione descritto nella Figura 10 mostra invece che, essendo la temperatura dei fumi di caldaia pari a 200°C, è stato opportuno decidere in favore della variante di processo con condizionamento dei fumi e delle polveri. La temperatura a monte del reattore viene regolata a circa 150°C per mezzo di un raffreddatore evaporativo. Come risultato dell'iniezione di polveri umidificate nel flusso gassoso in ingresso al filtro, la temperatura è ulteriormente ridotta di circa 10K. La quantità di polveri riciclate in questo caso ammonta a circa 150 g/Nm³ (fumi umidi).

Figura 9 - Assorbimento a secco condizionato delle polveri di un inceneritore di biomasse a letto fluido.

Se la temperatura ottimale per la reazione di circa 140°C fosse determinata esclusivamente dalle polveri riciclate, la quantità specifica necessaria sarebbe di oltre 600 g/Nm³. Si osserva inoltre che l'utilizzo del processo di assorbimento a secco condizionato si è dimostrato efficace per una intera gamma di applicazioni che richiedono un tenore di abbattimento elevato con basso consumo di additivi. Esempi a riguardo sono: inceneritori di fanghi, rifiuti urbani e rifiuti industriali; inceneritori per combustibili alternativi; applicazioni in ambito industriale, come la separazione della SO₂ per impianti di agglomerazione in acciaieria o per forni fusori del vetro.

Processi di assorbimento con additivo NaHCO₃

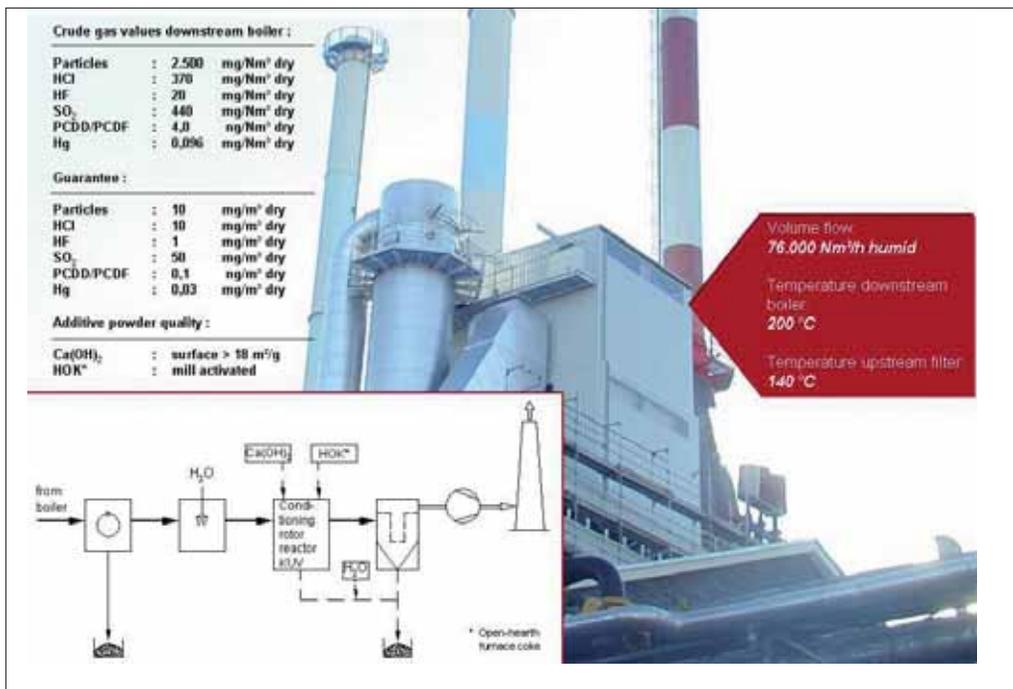
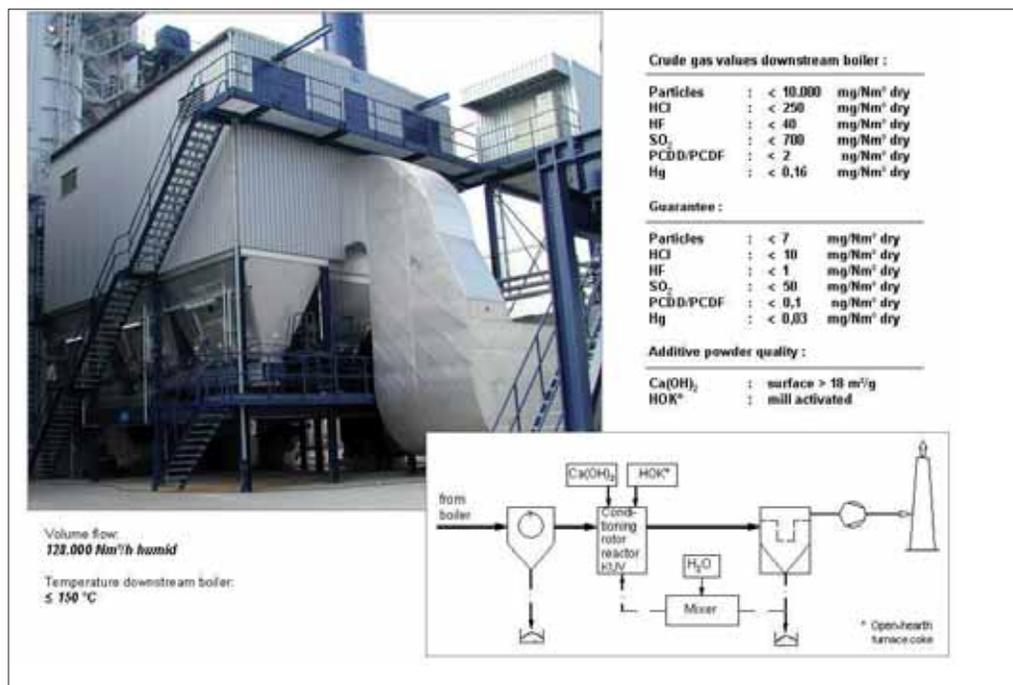
Il processo, la cui struttura ricalca semplicemente quelle precedenti con alcune differenze, è descritto in Figura 11. L'additivo è aggiunto nel flusso gassoso in ingresso al filtro. Con temperature dei fumi maggiori di 140°C, ha luogo l'attivazione termica del bicarbonato.

Ne risulta un carbonato di sodio estremamente reattivo.

La Tabella mostra le equazioni di reazione e le quantità di additivo e di polveri residue, assumendo un'efficienza del 100%. Nella pratica i limiti di emissione vengono rispettati con margine affidabile in esercizio operativo con una adeguata progettazione d'impianto con un fattore sovra-stoichiometrico di 1,2-1,4.

Anche in questo caso può essere vantaggioso il ricircolo multiplo delle polveri separate nel flusso di gas in ingresso al filtro. I principali vantaggi di questa tecnologia sono:

- alta reattività dell'additivo;
- progettazione semplice;
- la quantità di residui è ridotta in



confronto all'additivo dosato (vantaggioso in casi di elevati costi di smaltimento);

- sali residui meno igroscopici.
- Gli svantaggi sono:
- sfavorevole rapporto in massa fra additivo e fumi;
 - necessità di mulino per polverizzare l'additivo prima di dosarlo nel flusso di gas;
 - elevato costo specifico dell'additivo.

Figura 10 - Assorbimento a secco condizionato dei fumi e delle polveri di un inceneritore di biomasse con forno a griglia.

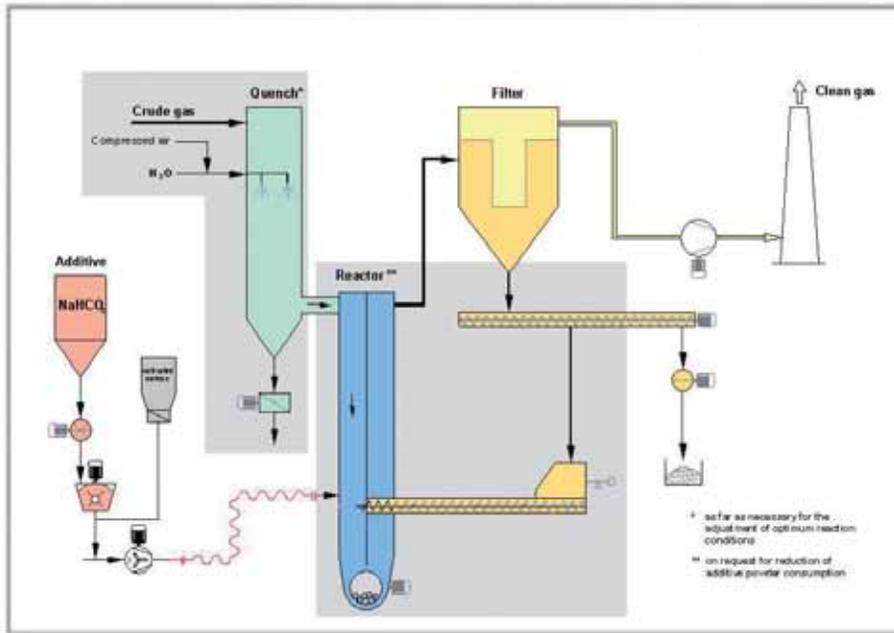


Figura 11 - Schema del processo con NaHCO_3 .

requisiti riguardo l'assorbimento di gas acidi. I vigenti limiti di emissione sono rispettati con sicurezza in esercizio continuo. In aggiunta a ciò si può osservare che l'aggiunta di additivi di qualità adeguata consente la simultanea separazione di diossine, furani e mercurio. In ogni caso, non esiste la tecnologia più adatta per ogni campo di applicazione. Ogni applicazione deve essere considerata separatamente. I criteri di scelta per la valutazione sono:

- tenore di abbattimento richiesto;
- limiti di emissione;
- costi di investimento;
- costi di esercizio, in particolare fornitura di additivo e smaltimento delle polveri, oltre a costi ener-

Volume flow: **120.000 Nm³/h humid**
 Temperature upstream boiler: **≤ 200 °C**

Crude gas values downstream boiler at 11 % O ₂ :	
Particles	: 3.000 mg/Nm ³ dry
HCl	: 140 mg/Nm ³ dry
HF	: 10 mg/Nm ³ dry
SO ₂	: 140 mg/Nm ³ dry
PCDD/PCDF	: 4,0 ng/Nm ³ dry
Hg	: 0,05 mg/Nm ³ dry
Guarantee DAV :	
Particles	: 8 mg/Nm ³ dry
HCl	: 8 mg/Nm ³ dry
HF	: 1 mg/Nm ³ dry
SO ₂	: 50 mg/Nm ³ dry
PCDD/PCDF	: 0,1 ng/Nm ³ dry
Hg	: 0,03 mg/Nm ³ dry

Figura 12 - Assorbimento a secco con NaHCO_3 a valle di un inceneritore di biomasse con forno a griglia.

Un esempio di questo tipo di processo è mostrato nella Figura 12. Nonostante la relativamente alta temperatura dei fumi (fino a 200°C), questa variante non comprende una riduzione di temperatura, per esempio con una torre evaporativa installata prima del filtro. Il rispetto di tutti i limiti è coperto anche per diossine e furani, oltre a mercurio e suoi composti. I criteri essenziali per l'operatore che deve scegliere la

tecnologia di processo sono la progettazione semplice, in combinazione con una bassa manutenzione e una elevata disponibilità d'impianto, e con l'uso di un additivo ad alta reattività.

Conclusioni

Gli esempi pratici presentati dimostrano come i filtri a maniche per gli inceneritori siano in grado di garantire, oltre all'abbattimento delle polveri, anche gli attuali

getici (energia elettrica e aria compressa);

- costi di manutenzione e riparazione;
- disponibilità d'impianto e affidabilità di esercizio;
- comportamento a carichi parziali;
- flessibilità riguardo a variazioni dei valori del gas, a limiti di emissione e costi specifici di esercizio.