

Cristiano Vergani
Responsabile R & D
Deparia Engineering S.r.l.
E-mail: cristiano.vergani@deparia.com

Il trattamento delle emissioni dell'industria chimico - farmaceutica

Nel nostro Paese questo settore industriale riveste un ruolo molto importante, con una massiccia presenza di siti produttivi anche in aree fortemente urbanizzate: il trattamento delle emissioni nocive in atmosfera è quindi una esigenza essenziale per garantire il rispetto dell'ambiente e la sicurezza degli abitanti.

I prodotti dell'industria chimico - farmaceutica sono indubbiamente tra i principali protagonisti del benessere e della elevata qualità della vita del mondo industrializzato. Ne consegue però un notevole impatto ambientale, costituito da una grande varietà di rifiuti avviati in discarica o alla termodistruzione, da emissioni aeriformi e da scarichi di residui in forma acquosa. Si deve comunque dare atto del lavoro compiuto negli ultimi 20 anni per limitare l'entità delle emissioni inquinanti, soprattutto in seguito al forte incremento della coscienza ecologica pubblica. Infatti, dopo un prolungato periodo caratterizzato da scarso rispetto per l'ambiente e carenti misure di sicurezza, l'orientamento attuale dell'industria è improntato ad un sempre maggiore impegno verso la compatibilità ambientale, grazie anche alla presenza di effettivi controlli da parte delle competenti autorità e di un rinnovato panorama normativo. Come si può vedere nella Figura 1, vi sono Regioni caratterizzate da una grande concentrazione di impianti produttivi, proprio in coincidenza delle zone più popolate: una tale "coabitazione" richiede un deciso intervento volto alla massima riduzione delle emissioni nocive.

Quantità e qualità delle emissioni in atmosfera

Nella Figura 2 sono riportati i valori emissione negli anni dal 1989 al 1998, relativi alle imprese italiane aderenti al programma Responsible Care, un protocollo internazionale di autoregolamentazione parzialmente applicato in Italia dal 1992. Si può notare una decisa riduzione nella quantità di inquinanti presi in esame, anche se occorre tenere presente che la maggior parte delle aziende chimiche italiane è composta da imprese di piccole dimensioni, in grado di investire risorse limitate per ridurre l'impatto ambientale (stime di Federchimica del 1998 indicano non più del 1,8% del fatturato consolidato totale, contro il 2,8% investito dalle aziende aderenti al Responsible Care).

I principali inquinanti coinvolti si possono così riassumere:

Anidride solforosa (SO₂): prodotta principalmente negli impianti termici che utilizzano combustibili contenenti zolfo, contribuisce alla formazione del fenomeno delle piogge acide.

Composti volatili e metalli pesanti in aria: fanno parte di questa categoria i Composti Organici Volatili (COV) (es. diversi tipi di solventi), i Composti Inorganici Volatili (CIV) (es. ammoniaca e acidi) e i Metalli Pesanti (es. piombo e mercurio).

Ossidi di azoto (NO_x): prodotti a seguito dei processi di combustione, contribuiscono alla formazione delle piogge acide.

Ossido di carbonio (CO): la presenza di CO è legata al rendimento dei processi di combustione.

Anidride Carbonica (CO₂): emessa in grande quantità a causa dell'utilizzo dei combustibili fossili a fini energetici, principale responsabile dell'effetto serra.

Particolato: Il particolato è costituito dalle particelle solide di varia natura e granulometria immesse nell'atmosfera.

Oltre ai dati evidenziati in Figura 2, riportiamo le quantità emesse nell'aria, nel corso del 1998, di Ossido di carbonio (CO): 4.976 ton. (- 48% rispetto al precedente anno); di particolato: 2.717 ton. (- 42% rispetto al 1997); Composti Inorganici Volatili: 241 ton. (+0,2% rispetto al precedente anno).

In generale, si può dire che la maggior parte delle diminuzioni si deve al miglioramento generale dei processi di combustione dovuto all'utilizzo di combustibili meno inquinanti (gas naturale e gasolio a basso tenore di zolfo), nonché all'impiego di tecnologie e processi produttivi più moderni. L'emissione dei Composti Organici Volatili, indice dell'inquinamento dovuto ai processi produttivi veri e propri, è invece in aumento, seppure di un valore modesto. Il metodo migliore per diminuire l'emissione degli inquinanti è sicuramente rappresentato dalla razionalizzazione e dall'ammodernamento delle linee produttive: a volte però, per motivi tecnici od economici, contenere le emissioni al di sotto dei limiti consentiti è possibile solo utilizzando impianti di abbattimento ad alta efficienza.

Metodologie di intervento

Ad ogni tipologia di inquinante corrisponde un intervento differenziato: i casi reali sono tali e tanti da determinare spesso l'impiego di impianti di abbattimento progettati e realizzati "ad hoc". In genere, all'interno dei locali di produzione, costituiti da reparti differenziati per prodotto e stadio produttivo (estrazione, sintesi, miscelazione, confezionamento ecc.) esistono dei dispositivi di filtrazione e recupero di tipo standard, scelto in base al tipo di inquinante, alla portata ed alle caratteristiche dell'aria che lo veicola (temperatura, umidità ecc.). Questi dispositivi di abbattimento agiscono nella maggior parte dei casi come pre-filtri, raccogliendo solo una parte degli inquinanti, sia per quantità che per qualità. Ad esempio, in un reparto di sintesi farmaceutica possono essere emesse grandi quantità di polveri

di varia granulometria frammiste a miscele di vari solventi organici: a valle dei reattori di sintesi possono essere installati dei filtri a tasche o a maniche, in materiale resistente ai solventi, in grado di trattenere gran parte delle polveri di maggior diametro (spesso si tratta del prodotto stesso di reazione, quindi di rilevante valore economico). Allo stesso tempo, parte dei solventi può essere recuperata per condensazione su batterie di refrigerazione ad acqua e reinserita subito nel processo produttivo. L'aria reflua da questi dispositivi primari di abbattimento viene convogliata ad un collettore comune e portata all'esterno del reparto, insieme o separatamente all'aria ambientale estratta dalle varie cappe di raccolta situate a bordo reattore per i vapori e le polveri che si sviluppano durante le operazioni di carico dei reagenti. A loro volta, i collettori di ogni reparto vengono portati a singoli impianti di trattamento posti nelle vicinanze (specialmente nel caso di inquinanti particolarmente tossici ed aggressivi) oppure, qualora la tipologia degli inquinanti lo permetta, confluiscono in un solo collettore principale verso un impianto di abbattimento principale che può essere, a seconda dei casi, di filtrazione elettrostatica, di termodistruzione, di condensazione, di assorbimento / adsorbimento o di tipo combinato. Questo tipo di industria richiede rilevanti quantità di energia termica ed elettrica, fabbisogno dal quale deriva, come già accennato, gran parte degli inquinanti sotto forma di NO_x , SO_2 , CO_2 , CO e particolato. Negli ultimi anni, presso le aziende più grandi, sono andati diffondendosi imponenti impianti di cogenerazione, in grado di assicurare 24 ore su 24 la fornitura contemporanea di calore ed energia elettrica alla produzione. Il trattamento delle emissioni da tali impianti dipende dal tipo di combustibile adottato: combustori catalitici per gas metano e gasolio a basso tenore di zolfo; per olio combustibile con percentuali variabili di sostanze solforate deve essere aggiunto uno stadio di desolforazione. In alcuni casi l'impianto di cogenerazione è alimentato con percentuali variabili di rifiuti industriali, determinando l'impiego di varie tecnologie per l'abbattimento dei residui, equiparabili a quelli di un termodistruttore.

Principali sistemi di depurazione applicabili**Sistemi ad assorbimento****Sistemi di assorbimento ad umido**

Con questa tipologia di sistemi di abbattimento si intende un insieme di sistemi differenti tra loro per principi di funzionamento e prestazioni, ma aventi in comune l'utilizzo dell'acqua o di una soluzione acquosa per separare e raccogliere le polveri. Il liquido che cattura le polveri può essere in forma atomizzata (goccioline molto fini), in forma di velo steso sul percorso del fluido da depurare, ed in forme combinate presente nelle zone di contatto gas - liquido ad elevata turbolenza. Nel caso di corrente contenente anche inquinanti allo stato gassoso solubili in acqua o nella soluzione acquosa utilizzata, il sistema di abbattimento rimuove per trasferimento di massa nella fase liquida oltre alle polveri anche questo tipo di inquinanti.

Fasi del processo di depurazione:

- condizionamento del gas vettore con riduzione di temperatura e saturazione con vapore d'acqua;
- dispersione della massa liquida in gocce, veli, ecc. allo scopo di aumentare la superficie di contatto gas - liquido;
- urto e cattura da parte della fase liquida del particolato;
- separazione della fase liquida contenete le particelle dalla corrente gassosa.

Nella scelta del tipo di liquido di rimozione occorre valutare la reattività delle polveri e del gas con tale liquido, al fine di contenere eventuali fenomeni di corrosione, incrostazioni, formazione di schiume; questi fattori inoltre possono influire molto nel costo di gestione del sistema.

Tipologie di impianto:

Torri a riempimento:

Il gas risale la torre incontrando in controcorrente il liquido assorbente che attraversa il materiale di riempimento (corpi di varie forme in ceramica, plastica, metallo, ecc..) dall'alto verso il basso della torre. Il sistema è utilizzabile anche in equicorrente alimentando sia il gas che il liquido assorbente dall'alto o a correnti incrociate (liquido alimentato perpendicolarmente al gas): la prima soluzione comporta minori perdite di carico, ma problemi di allagamento e efficienza ridotta, mentre la seconda si rivela particolarmente utile nel caso corrente gassosa contenente polveri.

Torri a piatti:

Il contatto tra gas e liquido (alimentati in controcorrente) avviene in modo intermittente su appositi piatti che sono percorsi trasversalmente dalla soluzione assorbente mentre il gas è disperso tramite dei diffusori: in questo modo il gas gorgoglia all'interno del liquido che attraversa il piatto. Le varie configurazioni di questi sistemi differiscono per la tipologia di diffusori.

Torri a spruzzo:

Si tratta di colonne dotate di appositi ugelli dai quali viene nebulizzato il liquido assorbente in controcorrente o trasversalmente al gas. Questi sistemi risultano particolarmente adatti per il trattamento di correnti gassose ricche di polveri (basso rischio di intasamento), tuttavia i rendimenti sono elevati solo con gas molto solubili.

Sistemi Venturi:

E' il sistema che consente di ottenere l'efficienza di abbattimento più elevata ed è basato sul condotto convergente - divergente studiato dal fisico italiano Venturi. Il flusso gassoso affluisce al condotto convergente e nella sezione di gola raggiunge la velocità massima e la minima pressione. Alimentando acqua in tal punto, l'elevata energia cinetica della corrente disperde l'acqua in goccioline molto piccole; immediatamente a valle della sezione di gola, nel condotto divergente la velocità relativa delle gocce rispetto alle polveri raggiunge

valori massimi, determinando elevate probabilità di urto e quindi di captazione del particolato. E' il sistema che consente di ottenere l'efficienza di abbattimento più elevata.

Vantaggi e svantaggi

Vantaggi:

- ingombro modesto e costi contenuti sia di gestione che d'impianto;
- elevata efficienza anche per granulometrie fini;
- assenza di limiti di temperatura per il funzionamento;
- riduzione dei rischi di incendio.

Svantaggi:

- problemi di inquinamento idrico e produzione di fanghi;
- problemi di corrosione, incrostazioni, intasamenti;
- fumi freddi e con elevato contenuto di vapore emessi dal camino;
- perdite di carico elevate.

Sistemi di assorbimento a secco

Questi sistemi associano all'assorbimento anche fenomeni di adsorbimento e chemiadsorbimento: sono impiegati soprattutto nel trattamento di gas acidi da incenerimento dei rifiuti e da processi di combustione. In una camera di reazione attraversata dal gas, viene iniettato il reagente solido (CaO , Ca(OH)_2 , CaCO_3 , ecc.); un filtro a maniche poi, oltre che trattenere la frazione solida dei prodotti della reazione e del reagente, consente anche di completare la reazione neutralizzante.

Sistemi di assorbimento a semisecco

Questi sistemi sono analoghi a quelli a secco, con la differenza che il reagente è iniettato in sospensione liquida concentrata.

Sia i sistemi a secco che quelli a semisecco presentano come vantaggio quello dell'as-

senza di sottoprodotti liquidi del processo, con conseguente mancanza di trattamento. In genere però i rendimenti sono elevati, e quindi confrontabili con quelli dei sistemi ad umido, solo nel caso di gas particolarmente reattivi (HCl, HF, ecc.) e con l'utilizzo di grandi eccessi di reagente.

Vantaggi

- campo di applicabilità ampio
- rendimenti elevati nel trattamento di gas acidi
- Perdite di carico modeste.

Svantaggi

- Presenza prodotti della reazione da smaltire o depurare
- Rischi di corrosione ed incrostazioni dell'impianto

Campi di applicazione

- rimozione di composti idrofili di natura organica (acidi alogenidrici, ammoniaci);
- rimozione di componenti poco solubili in acqua (desolforazione gas di combustione, controllo odor);
- trattamento di emissioni contenenti composti organici.

Sistemi ad adsorbimento

I sistemi ad adsorbimento per la depurazione di emissioni gassose funzionano sulla base del fenomeno di attrazione esercitata da una superficie solida (adsorbente) su una sostanza gassosa o liquida (sostanza adsorbita). Si tratta di un fenomeno complesso che dipende dalle caratteristiche fisiche e chimiche sia del solido che della sostanza adsorbita, nonché dalle condizioni di temperatura. Trattandosi di un fenomeno di superficie la capacità adsorbente aumenta con l'aumentare della superficie di contatto e quindi maggiore è la porosità del solido migliore è la prestazione del sistema. Gli adsorbenti più comuni sono il carbone attivo, l'allumina o silice gel, i quali possiedono caratteristiche chimiche tali da favorire un adsorbimento di tipo chimico, in quanto capaci di legarsi chimicamente alle sostanze adsorbite.

I solidi adsorbenti possono essere classificati in:

- solidi non polari in cui l'adsorbimento è di tipo fisico (carbone) più adatti alla depurazione dell'aria;
- solidi polari in cui l'adsorbimento è di tipo chimico (ossidi di silicio ed altri metalli);
- superfici di reazioni chimica in cui le molecole sono adsorbite e dopo una reazione chimica sono rilasciate.

Il carbone attivo è comunemente usato per depurare i flussi gassosi da solventi, sostanze organiche e per la deodorazione dei fumi. La presenza di umidità a valori vicini alla saturazione o di inquinanti inorganici in grado di legarsi chimicamente al carbone può ridurre drasticamente le prestazioni. La rigenerazione del carbone, generalmente fatta o con insufflazione di vapore o con circolazione di gas caldo (azoto), viene sfruttata per il recupero ed il riciclo sia della sostanza adsorbita che di quella adsorbente, con notevoli vantaggi economici.

Tipologia di impianti

A seconda delle caratteristiche della corrente da trattare, possono essere impiegati impianti:

- a letto fisso in cui il flusso gassoso attraversa la massa adsorbente, anche fluidificata,
- impianti a letto mobile in cui l'adsorbente fluisce in controcorrente al flusso da trattare,
- impianti a letti rotanti di cui solo un settore è di adsorbimento, mentre il restante viene sottoposto a deadsorbimento.

La tipologia più largamente impiegata è quella della depurazione di effluenti industriali a letto fisso o stazionario con rigenerazione o meno dell'adsorbente che generalmente è carbone attivo. Alcune soluzioni prevedono la disponibilità di almeno due unità adsorbenti in serie, eliminando in questo modo uno dei grossi svantaggi del letto fisso, ossia l'invio alla rigenerazione di letti non completamente esauriti. I flussi delle sostanze deadsorbite generalmente vengono convogliati a condensatori, per il loro recupero o direttamente ad inceneritori per lo smaltimento finale. Quando le portate da trattare sono esigue invece, in genere si usano cartucce adsorbenti facilmente sostituibili di carbone, che in genere non viene rigenerato, ma smaltito come rifiuto combustibile o a volte rigenerato in centri di trattamento di carbone esausto.

Vantaggi:

- possibilità di recupero e reimpiego delle sostanze adsorbite;
- possibilità di limitare mediante il recupero i costi di impianto e di gestione;
- eliminazione dei problemi dovuti a scarichi da smaltire ad eccezione dell'acqua condensata quando il desorbimento è fatto con vapore.

Svantaggi:

- spesso questi sistemi richiedono pre - trattamenti
- rischio di deterioramento del letto adsorbente
- smaltimento della sostanza adsorbita qualora non ne convenga il recupero.

Campi di applicazione:

- Quando l'inquinante è difficilmente o non è del tutto combustibile, o quando si producono inquinanti secondari nella combustione,
- quando in un processo diventa importante il recupero della sostanza adsorbita, in quanto il prodotto recuperato e riciclato può attenuare i costi di smaltimento e della depurazione,
- quando la concentrazione del flusso da trattare è molto bassa e quindi altri sistemi risulterebbero insufficienti.

Questa tipologia di trattamento risulta particolarmente adatta per il trattamento di emissioni di solventi. Un'altra tipica applicazione dei sistemi ad adsorbimento è il trattamento degli odori.

Sistemi di conversione catalitica e termica

Si tratta di processi chimici in grado di trasformare gli inquinanti in molecole a scarso impatto ambientale. Il processo può avvenire sia a bassa che alta temperatura ed è utilizzato generalmente per ossidare idrocarburi e ridurre composti inorganici quali gli NO_x ; possono quindi verificarsi delle emissioni residue da trattare con altri sistemi di depurazione. Il calore della corrente gassosa può essere recuperato in parte tramite uno scambiatore per il preriscaldamento della corrente gassosa da depurare. La temperatura del preriscaldamento e l'efficienza dello scambiatore vengono stabiliti in funzione della quantità di inquinanti ed in

base al risparmio energetico che si vuole ottenere.

I fattori che limitano le possibilità di impiego di questa tecnologia sono la formazione di composti che richiedono ulteriori processi depurativi e la presenza nell'effluente di sostanze che, per interferenze chimiche o fisiche, possono bloccare o ridurre l'attività dei catalizzatori ed infine la possibilità che si inneschino esplosioni. Gli elementi che influiscono maggiormente sui costi d'esercizio del processo, sono la vita media dei catalizzatori e la richiesta di combustibile ausiliario che dipende dall'efficienza dei sistemi di recupero di calore.

Vantaggi

Combustione termica

- rimozione simultanea di miscele di composti gassosi purchè combustibili;
- non sono richiesti pretrattamenti dell'effluente;
- struttura di impianto semplice e contenuta nelle dimensioni;
- possibilità di recupero del potere calorifico del combustibile ausiliario e della sostanza ossidata

Combustione catalitica

- costi di gestione contenuti e durata notevole del catalizzatore;
- rischi ridotti di incendio ed esplosioni;
- ridotte necessità di coibentazioni.

Svantaggi

Combustione termica

- possibilità di produzione di inquinanti secondari a seguito di malfunzionamenti o disfunzioni del sistema;
- rischi di incendi e esplosioni;
- costi di gestione relativamente elevati;

Combustione catalitica

- problemi di rigenerazione e smaltimento del catalizzatore;
- pretrattamento necessario a eliminare i composti che possono inibire la catalisi;
- elevati costi di installazione.

Anno 1996

Distribuzione delle unità regionali



	N° Unità regionali	Distribuzione %	Indice di specializzazione (*)
Piemonte	535	7,0	0,86
Valle d'Aosta	4	0,1	0,32
Lombardia	2501	32,9	1,54
Liguria	191	2,5	1,17
Trentino-Alto Adige	73	1,0	0,69
Veneto	677	8,9	0,78
Friuli-Venezia Giulia	141	1,9	0,88
Emilia-Romagna	684	9,0	0,95
Toscana	524	6,9	0,72
Umbria	94	1,2	0,73
Marche	151	2,0	0,50
Lazio	550	7,2	1,32
Abruzzo	143	1,9	0,90
Molise	15	0,2	0,51
Campania	472	6,2	1,01
Puglia	262	3,5	0,69
Basilicata	46	0,6	0,93
Calabria	122	1,6	0,85
Sicilia	313	4,1	0,84
Sardegna	95	1,3	0,71
NORD	4806	63,3	1,12
CENTRO	1319	17,4	0,83
SUD	1468	19,3	0,85
ITALIA	7593	100,0	1,00

Figura 1

Impianti produttivi chimico - farmaceutici in Italia, distribuzione regionale nel 1996. (Fonte: Federchimica)

* rapporto tra industria chimica ed industria manifatturiera

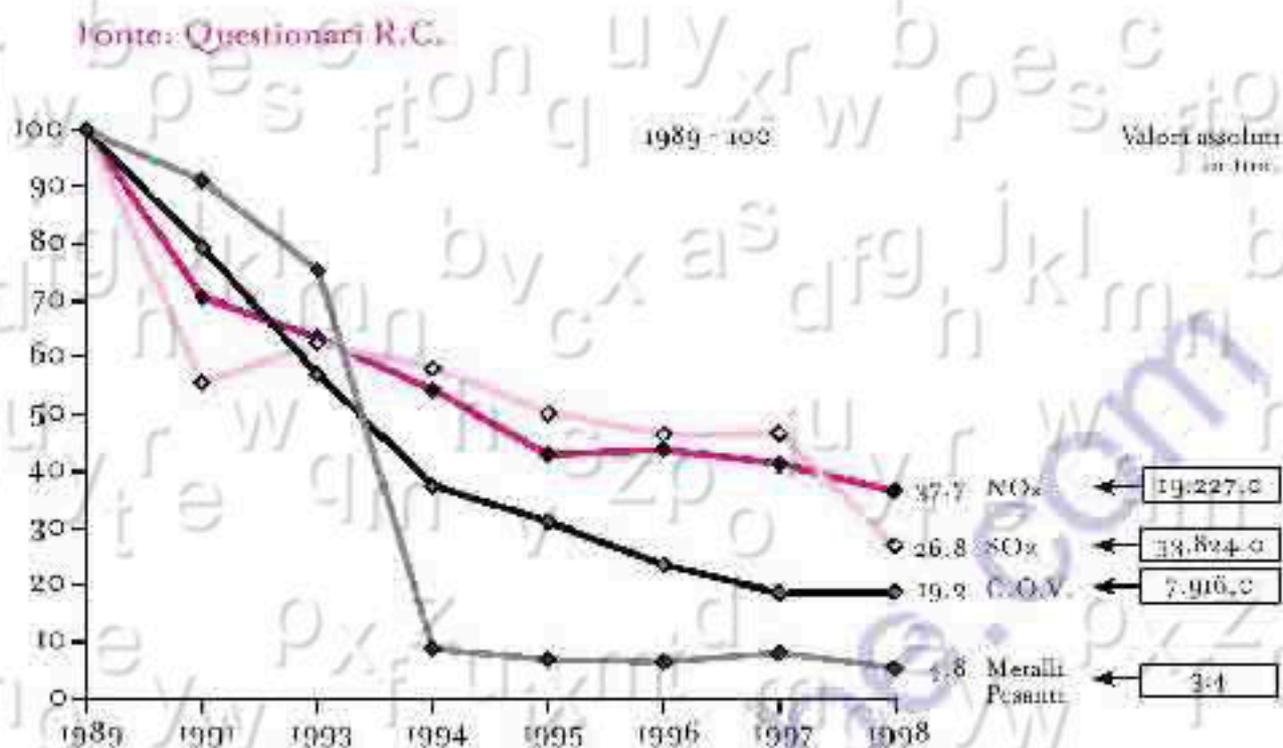


Figura 2

Andamento delle emissioni in atmosfera negli anni '89-'98 del pool di aziende chimiche italiane aderenti al Programma Responsible Care (Fonte: Federchimica).

I dati riguardano 136 imprese che da sole assommano circa il 50% del fatturato totale di settore.



Figura 3

Impianto combinato di trattamento finale per emissioni da sintesi farmaceutica, costituito da combustore termico rigenerativo continuo a tre camere su letto ceramico seguito da quench di raffreddamento e colonna di assorbimento a due stadi (Deparia Engineering).



Figura 4

Impianto di pretrattamento per emissioni da sintesi farmaceutica, costituito da due colonne di assorbimento (in secondo piano) e stadio ad azoto liquido di condensazione e recupero solventi clorurati (Deparia Engineering).

Siti di consultazione su Internet

www.federchimica.it: sito ufficiale dell'associazione di categoria delle industrie chimiche;

www.ecoserver.cima.unige.it: sistema informativo per la gestione ambientale dell'impresa;

www.deparia.com: esempi di impianti di abbattimento.