

## **COMBUSTIONE**

Il trattamento termico consiste nel portare il flusso gassoso a temperature elevate (800 – 900 °C) per un tempo sufficiente a realizzare la trasformazione delle sostanze inquinanti in composti semplici, anidride carbonica e acqua ; la tecnica è applicabile con vantaggio nel caso in cui gli inquinanti stessi abbiano un potere calorifico elevato, in modo da permettere un risparmio nei consumi di combustibile primario.

Il sistema si applica a gas e vapori organici, sostanze odorigene e particolati combustibili; se nel flusso gassoso sono presenti anche altri composti, come composti organici alogenati e dello zolfo nel flusso in uscita si formano gas acidi ossidati e possono formarsi sostanze pericolose come le diossine. Per controllare la formazione di questi composti è necessario individuare le più opportune condizioni di combustione ed inserire a valle del combustore idonei sistemi di abbattimento.

Un limite all'uso della tecnica di incenerimento sta nei costi di esercizio dovuti al consumo di combustibile, ma viene superato nei casi in cui gli inquinanti siano idrocarburi o comunque sostanze ad alto potere calorifico, per cui una volta avviata la combustione il processo si autosostiene.

I processi di incenerimento si distinguono in termici e catalitici; nei primi la combustione interessa direttamente il flusso di gas da trattare fino a completa trasformazione, mentre nel processo catalitico il catalizzatore favorisce la cinetica delle reazioni di trasformazione degli inquinanti permettendo di tenere temperature più basse.

### **Descrizione tecnica**

#### ***Incenerimento diretto, combustori termici***

La combustione avviene in un reattore in cui sono distinte una zona di combustione ed una per il recupero termico: la camera di combustione deve avere volume e forma tali da garantire il realizzarsi delle condizioni di turbolenza che permettano, mantenendo opportune velocità di flusso, la completa combustione degli inquinanti organici. La sezione di recupero termico permette di preriscaldare l'aria in ingresso o altri fluidi di processo (acqua, olio diatermico,...) al fine di ottimizzare i consumi di combustibile ausiliario. Il recupero termico ottimale consiste nel portare l'aria da trattare alla temperatura d'ossidazione senza necessità di utilizzare combustibile esterno.

Il consumo di combustibile ausiliario è inversamente proporzionale al potere calorifico della miscela gassosa da trattare; con elevati poteri calorifici il sistema diventa molto conveniente, anche se richiede un controllo stretto delle concentrazioni di inquinanti, relative al tenore di ossigeno, per evitare l'instaurarsi di condizioni che favoriscano l'esplosione; comunque per ragioni di sicurezza la concentrazione massima di sostanza nell'effluente gassoso non può superare il 25% del livello inferiore di esplosività .

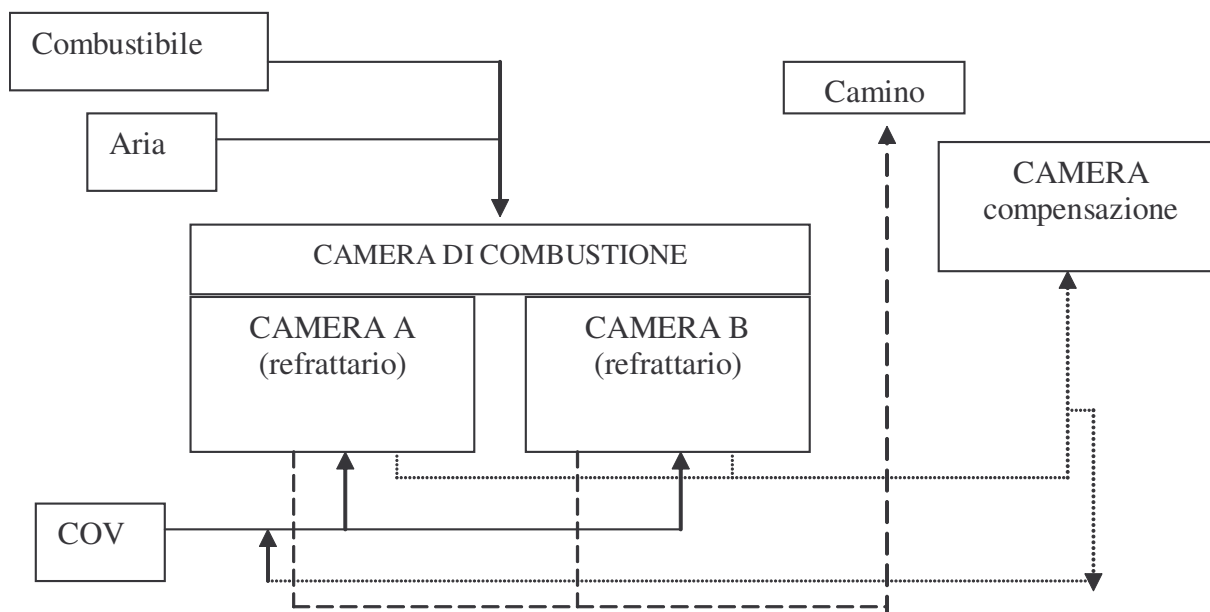
I reattori hanno generalmente forma cilindrica con un rapporto lunghezza diametro variabile da 1,5 a 2 ; oltre a forma e disposizione sono di importanza critica il dimensionamento e posizionamento dei ventilatori: questi infatti determinano la velocità con cui i gas entrano nella camera e quindi la realizzazione delle condizioni di turbolenza e il tempo di permanenza.

La turbolenza è un elemento essenziale per il buon funzionamento del sistema: viene garantita dalla geometria interna dell'impianto in cui vengono inseriti deflettori allo scopo di modificare direzione e velocità del flusso di aria e del combustibile ausiliario. I ventilatori in genere variano automaticamente la portata (mediante inverter) per mantenere stabili le condizioni fluidodinamiche a monte dell'impianto di trattamento. Il ventilatore posto a valle deve avere prevalenze maggiori per la presenza di differenti temperature e di infiltrazioni di aria esterna nel sistema.

I sistemi più semplici sono i combustori termici recuperativi dotati di sistemi di recupero termico del tipo scambiatori aria-aria. Con questi scambiatori (a fascio tubiero o più di frequente a piastre) si raggiungono rendimenti di recupero termico del 40 – 70%, che permettono una certa riduzione dei consumi energetici: gli scambiatori a piastre sono preferiti perché grazie alla loro geometria permettono una maggior flessibilità e per il costo più contenuto. Le rese di recupero termico sono

limitate per evitare di raggiungere le condizioni di autoignizione nella fase di preriscaldamento dell'effluente, condizioni che potrebbero causare danneggiamento ai materiali.

Un combustore termico che ottimizza il recupero di energia è il cosiddetto rigenerativo o combustore a inversione di flusso, di cui è riportato lo schema di funzionamento nella figura che segue:



Consiste di un sistema a due o più camere, sempre comunque in numero dispari per alternare le tre fasi preriscaldamento – scambio – purga. Le camere in cui si alterna il flusso di gas contengono un riempimento costituito da materiali ad elevata capacità termica, come sassi quarziferi, mattoni forati preparati a partire da una miscela con alto tenore di ossido di alluminio e corpi ceramici, di forma (mattoni e sellette) e dimensioni opportunamente definite, che permette di ottimizzare il recupero termico. I diversi tipi di riempimenti differiscono nei costi e nelle prestazioni meccaniche e termiche: mattoni e sellette dimostrano in genere migliori proprietà meccaniche, mentre i sassi quarziferi, tendono nel tempo a sgretolarsi, facendo aumentare le perdite di carico del sistema.

L'aria da depurare attraversa il serbatoio caldo, quindi raggiunge la camera di combustione e prima di uscire attraversa il secondo serbatoio dove cede il calore accumulato. Periodicamente, con cicli comunemente di 60 – 100 secondi, in funzione delle temperature raggiunte all'uscita dei rigeneratori, il flusso si inverte automaticamente per sfruttare al massimo il recupero termico. Al momento dell'inversione l'aria inquinata, ma non ancora bruciata, presente in una delle due camere viene avviata in una terza camera detta di compensazione, da cui viene avviata alla combustione nel ciclo successivo. La camera di compensazione ha un volume utile generalmente corrispondente a 1,5 volte quello di una delle due camere di accumulo del calore e ha la funzione di evitare che durante la fase di inversione del ciclo, si avvii al camino aria non depurata.

Nel corso del primo passaggio attraverso la camera contenente il letto ceramico, il gas si preriscalda e si avviano le reazioni di ossidazione che si completano poi nella camera di combustione: qui infatti ha luogo l'ossidazione termica se la temperatura raggiunta dai gas lo permette (autosostentamento) oppure, in caso contrario, la reazione di combustione mediante bruciatore a metano.

In condizioni di autosostentamento il recupero termico può raggiungere il 95%.

Il materiale di cui sono costituiti gli elementi di riempimento è inerte e non interferisce nella reazione di decomposizione termica delle sostanze organiche. Se sono mantenute le condizioni di autosostentamento, la combustione degli inquinanti avviene in assenza di fiamma e nel bruciatore resta in funzione solo la fiamma pilota, la cui presenza è necessaria per garantire il funzionamento in sicurezza; se le condizioni di autosostentamento vengono a mancare il bruciatore si avvia per

riportare a regime il livello termico. Mediamente pertanto il combustore rigenerativo comporta una produzione di NOx minore del combustore recuperativo dove la fiamma è sempre presente: tale produzione sarà minimizzata quando si mantengono le condizioni di autosostentamento del sistema.

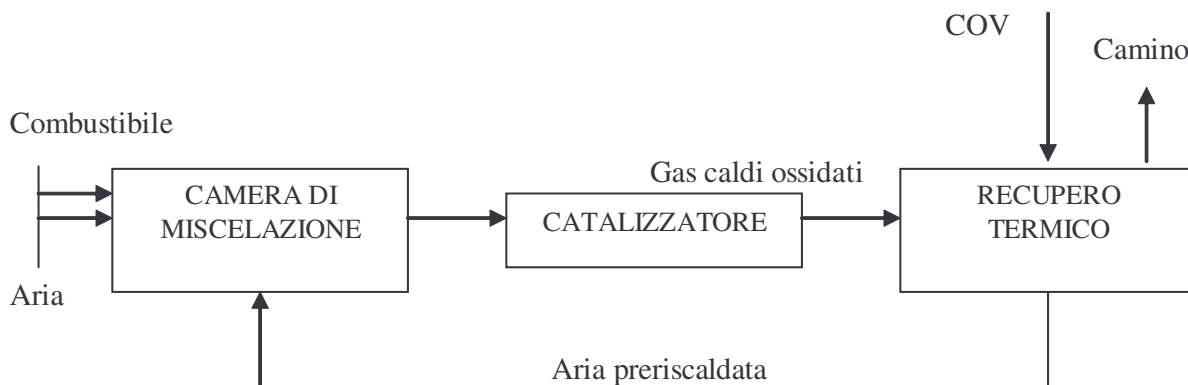
Il numero di camere potrà essere superiore a tre in funzione della portata in ingresso: la dimensione massima di ogni singola camera è definita in maniera complessa da un insieme di fattori tra cui distribuzione del flusso di aria, perdita di carico, costo dell'installazione, per cui non è possibile dare una indicazione generale di limiti dimensionali oltre i quali il numero di camere deve aumentare.

<b>COMBUSTORE TERMICO RECUPERATIVO</b>	
1. Velocità minima dell'effluente gassoso in ingresso alla camera di combustione	10 m/s
2. Tempo di permanenza	0,6 s
3. Temperatura minima di esercizio	720 °C.
4. Perdite di carico	150 mmH <sub>2</sub> O
5. Calore recuperato totale	60%
6. Combustibile di supporto	Possibilmente gassoso
7. Tipo di bruciatore	Modulante a piastre forate o simili
8. Tipo di scambiatore	Aria/aria o aria/altro fluido refrigerante
9. Coefficiente globale di scambio termico	80 Kcal/mq °C per aria/aria
10. Isolamento esterno	Resistente a temperature fino a 1000 °C
11. Sistemi di controllo e regolazione	11a) Analizzatore in continuo tipo FID da installarsi solo per flussi di massa di COV 50 kg/h
	11b) misuratore della temperatura posto alla fine della camera di combustione
	11c) regolatore del flusso dell'inquinante e del rapporto aria - combustibile
	11d) misuratore delle temperatura al camino ed allo scambiatore
	11e) controllo dell'apertura e chiusura by-pass
	11f) misuratore della portata del flusso aria e del combustibile
12. Manutenzione	Controllo e pulizia dello scambiatore di calore, controllo e regolazione del materiale isolante, taratura della strumentazione di controllo e regolazione, nonché del FID.
13. Informazioni aggiuntive	Questa tipologia di impianti diventano autosostentanti per concentrazioni di COV in ingresso 3 g/Nmc

COMBUSTORE TERMICO RIGENERATIVO	
1. Velocità minima dell'effluente gassoso in camera di combustione	10 m/s
2. Tempo di permanenza calcolato nella zona del bruciatore compresa tra le masse delle due torri	0,6 s
3. Temperatura minima di esercizio	720 °C.
4. Perdite di carico	200 mmH <sub>2</sub> O
5. Calore recuperato totale	85%
6. Combustibile di supporto	Possibilmente gassoso
7. Tipo di bruciatore	Modulante a piastre forate o simili per ogni 2 torri
8. Tipo di scambiatore	Massa ceramica
9. Volume di refrattario	1-1.5 mc ´ 10000 mc di effluente in ogni torre
10. Spessore del letto di refrattario	Almeno 1 m
11. Velocità di attraversamento del letto di refrattario	10 m/s
12. Torri minime	3 di cui almeno 2 con riempimento di refrattario
13. Valvole di inversione	a farfalla con tenuta ad azoto
14. Isolamento esterno	Per temperature fino a 1000 °C
15. Sistemi di controllo	a - analizzatore in continuo tipo FID da installarsi solo per flussi di massa di COV 50 kg/h b - misuratore della temperatura posto alla fine della camera di combustione c - regolatore del flusso dell'inquinante e del combustibile d - misuratore delle temperatura al camino ed in ciascuna torre e - controllo dell'apertura e chiusura by-pass f - misuratore della portata del flusso aria e del combustibile g - controllore della tenuta delle valvole ad inversione
16. Manutenzione	Controllo della tenuta delle valvole di inversione, del livello della massa ceramica e regolazione della strumentazione dell'impianto
17. Informazioni aggiuntive	Evitare possibilmente elevate punte di concentrazioni dell'inquinante al fine di evitare surriscaldamento della massa ceramica. Dotare il sistema di prefiltrazione qualora nel flusso sia presente materiale polverulento

### **Incenerimenti indiretto, combustori catalitici**

Il reattore di ossidazione catalitico, il cui schema di funzionamento è rappresentato nella figura che segue, permette di mantenere temperature più basse (300-500 °C) e tempi di contatto contenuti grazie all'introduzione di un catalizzatore che abbassa la soglia energetica per l'innesco delle reazioni di trasformazione degli inquinanti.



A parità di resa di abbattimento, il tempo di residenza risulta inferiore rispetto ai processi termici (per benzene e metiletilchetone è 0,2 secondi). Di fatto si realizza un processo di ossidazione senza fiamma.

Il tempo di permanenza infatti è molto basso e quindi ininfluenza ai fini della progettazione a causa dei valori elevati della velocità di flusso lineare che variano da 3 a 6 m/sec. Importante ai fini del dimensionamento è la velocità spaziale, definita come rapporto tra la portata oraria dell'effluente (Nmc/h) e il volume del catalizzatore (mc): questo parametro permette di calcolare il volume di catalizzatore necessario per avere una determinata efficienza di conversione ad una temperatura prefissata. Nella fase di progettazione, nota la portata e la composizione quali-quantitativa dell'aria da trattare, si definisce il tipo di catalizzatore più adatto e, noto questo, si risale al campo di valori di velocità spaziale applicabili. Individuato un valore, lo si rapporta alla portata per calcolare il volume di catalizzatore. La velocità spaziale per ogni tipologia di catalizzatore, varia in un campo di valori abbastanza ampio e l'individuazione del valore più opportuno deve tener conto del complesso insieme di parametri progettuali. Di seguito sono riportati alcuni esempi.

<b>Tipo di catalizzatore</b>	<b>Velocità spaziale (h<sup>-1</sup>)</b>
Metalli preziosi su nido d'ape	20.000 – 40.000
Metalli preziosi su supporto sfuso	8.000 – 15.000
Ossidi metallici	3.000 – 10.000

La funzione di catalizzatore viene svolta da metalli nobili come platino e palladio, da altri metalli come cobalto, rame, nichel, cromo e manganese: se nell'effluente sono presenti composti clorurati vengono utilizzati catalizzatori a base di ossidi di rame, cromo, manganese. Tali metalli sono depositi su supporti inerti aventi una struttura caratterizzata da alta superficie specifica, che favorisce la diffusione dei gas. Le strutture più diffuse per i supporti sono:

- struttura monolitica: costituita da un substrato poroso (ceramico o metallico), sulla cui superficie viene depositato un primo strato di ossido di alluminio e quindi il catalizzatore metallico; i canali di passaggio sono allineati al flusso di gas. Permette maggior stabilità strutturale e dimensionale al variare della temperatura e di conseguenza garantisce perdite di carico più costanti.
- pellets: si tratta di materiale estruso in dimensioni e forme variabili. Nel caso il catalizzatore sia un metallo nobile, il materiale estruso è ossido di alluminio e sulla superficie viene depositato il metallo nobile, negli altri casi l'estrusione viene fatta direttamente sul catalizzatore. I metalli nobili sono più delicati soprattutto in relazione all'eventualità di avvelenamento. Questa forma di riempimento

permette di realizzare più velocemente le operazioni di carico e si dimostra più resistente in presenza di siliceni e composti fosforici.

Il catalizzatore costituisce la fase delicata del sistema: devono essere evitati sbalzi eccessivi di temperatura e contaminazioni con sostanze che ne possano inibire l'efficienza (avvelenamento). Il maggior limite all'utilizzo del sistema è legato infatti proprio alla compatibilità chimica della miscela di gas da trattare.

Le apparecchiature, combustore e recuperatori di calore, grazie alle più basse temperature raggiunte, occupano volumi più contenuti, permettendo di realizzare un risparmio che compensa parzialmente il costo dovuto al catalizzatore.

Il gas, preriscaldato alla temperatura di reazione mediante opportuno scambiatore, fluisce nel reattore e durante il passaggio attraverso il catalizzatore la temperatura sale a valori compresi tra 300 e 500 °C, quindi i gas passano attraverso il recuperatore di calore e sono scaricati dal camino.

Con il tempo le caratteristiche chimico- fisiche del catalizzatore mutano a causa di fenomeni fisici come la deposizione di particolato sottile e di particelle carboniose trasportate dai fumi, e fenomeni chimici come il realizzarsi di reazioni tra il catalizzatore stesso ed elementi che, se pur presenti in tracce nel flusso dei gas da trattare, formano con esso legami irreversibili.

Il reattore deve essere costruito in acciai speciali, e necessita di coibentazione; periodicamente il catalizzatore deve essere scaricato e rigenerato affidandolo al fornitore stesso.

<b>COMBUSTIONE CATALITICA</b>	
1. Velocità spaziale minima dell'effluente gassoso	Deve essere fornita dal costruttore
2. Tempo di permanenza	0.3 s
3. Temperatura minima di esercizio	200 °C.
4. Perdite di carico	100 mmH <sub>2</sub> O
5. Calore recuperato totale	50%
6. Combustibile di supporto	Possibilmente gassoso
7. Tipo di bruciatore	Modulante a piastre forate o simili
8. Tipo di scambiatore	Aria/aria o aria/altro fluido scambiatore
9. Coefficiente globale di scambio termico	80 Kcal/mq °Ch aria/aria
10. Volume di catalizzatore	90 l.min/m <sup>3</sup> per metalli preziosi 400 l.min/m <sup>3</sup> per ossidi metallici
11. Velocità di attraversamento del letto	10 m/s
12. Isolamento esterno	Per temperature fino a 1000 °C
13. Sistemi di controllo	a - Analizzatore in continuo tipo FID da installarsi solo per flussi di massa di COV 50 kg/h b - misuratore della temperatura posto alla fine della camera di combustione c - regolatore del flusso dell'inquinante e del combustibile d - misuratore della temperatura al camino ed allo scambiatore
14. Manutenzione	Pulizia dello scambiatore e del livello del catalizzatore e regolazione della strumentazione dell'impianto
15. Informazioni aggiuntive	Il catalizzatore ha una durata massima di 25000 ore. L'effluente gassoso non deve contenere veleni per il catalizzatore come composti organici ed inorganici clorurati, solforati, fosforati, fenoli, arsenico ecc.

Un limite all'utilizzo dei combustori è legato alla concentrazione di inquinanti presenti nelle arie da trattare: infatti, a parità di potere calorifico degli inquinanti, il consumo di combustibile ausiliario aumenta se le concentrazioni in gioco sono basse.

Una soluzione tecnologica consiste nell'inserire a monte del sistema di combustione un dispositivo, detto concentratore, che opera trattenendo su un supporto adsorbente gli inquinanti presenti nell'aria di processo, strippandoli poi con un volume di aria molto minore di quello in entrata, in modo da aumentarne la concentrazione.

Il concentratore trova applicazione in particolare nell'abbattimento delle sostanze organiche volatili (di seguito COV) è costituito da 2 dischi rotanti in materiale inerte (in genere ceramico) rivestiti di zeoliti, sui quali si distinguono tre zone in funzione della fase del processo. Sul settore più esteso, costituito dall'80% della loro superficie del rotore, arriva il flusso di aria da trattare, cioè il flusso a bassa concentrazione, che nell'attraversare le zeoliti si depura degli inquinanti organici contenuti e viene quindi avviata al camino. Il restante 20% della superficie è diviso in due parti equivalenti dove si svolgono le fasi di desorbimento e concentrazione: l'aria di desorbimento, costituita da una quota del gas in entrata, prelevata a monte del concentratore, attraversa dapprima il rotore raffreddando il settore di zeoliti appena rigenerato (fase di concentrazione) e quindi, dopo essere stata riscaldata per mezzo di un bruciatore, viene immessa nella zona di desorbimento. In tal modo si ottiene in uscita un flusso di aria di volume ridotto e concentrazione elevata che può essere efficacemente trattato in un combustore.

Il materiale adsorbente è costituito da un supporto inerte (generalmente ceramico) impregnato di zeoliti idrofobe, con caratteristiche di stabilità dimensionale e termica (fino a temperature di 600 °C), e di inerzia chimica.

Il sistema quindi permette di trasformare il flusso di aria diluita in entrata in due flussi, di cui quello di portata maggiore è costituito da aria depurata, mentre quello di portata minore è costituito da aria ad elevata concentrazione di inquinanti (può essere 10 - 12 volte maggiore dell'aria in entrata), ideale per alimentare un combustore.

Riducendo i volumi di aria da trattare si riduce anche il volume dell'unità di combustione con vantaggi economici e gestionali, in quanto, in condizioni di concentrazione dell'ordine di 2 - 3 gr/mc. di COV, un combustore rigenerativo opera in condizioni di autosostentamento.

Si riportano di seguito un esempio indicativo di dati di processo per un rotoconcentratore:

<b>Parametro</b>	<b>Valore</b>
Portata aria di processo	130000 Nmc/hr.
Concentrazione in ingresso	250 Nmg/mc.
Portata aria dopo concentratore	13000 Nmc/hr.
COV. dopo concentratore (flusso da avviare al combustore)	2.500 mg/Nmc.
Emissione al camino (flusso di aria depurata)	<30 mg/Nmc.

Il concentratore trova applicazione a flussi di aria con concentrazioni in ingresso comprese tra un minimo 0,2 gr/Nmc e un massimo di 1,2 gr/Nmc, indipendentemente dalla portata.

In caso di presenza di particolato nell'aria di processo, per evitare l'intasamento delle zeoliti, è necessario inserire a valle del sistema una fase di abbattimento delle polveri.

### **Campi di applicazione e limiti di operatività**

Vengono utilizzati per trattare le emissioni di impianti di verniciatura, di produzione di prodotti a base di solvente (vernici, collanti, ecc.), ma anche emissioni odorigene (impianti di trattamento termico degli scarti animali).

Il combustore termico recuperativo opera con portate inferiori a 30000 Nmc/h per concentrazioni superiori ai 5 gr/Nmc e trova applicazioni solo nel caso in cui sia possibile utilizzare l'energia recuperata. Funziona in modo ottimale per concentrazioni costanti di inquinanti.

Il combustore termico rigenerativo opera in un intervallo di portate molto ampio praticamente illimitato (fino a oltre 100000 Nmc/h) e raggiunge l'autosostentamento a concentrazioni dell'ordine

dei 2 – 2.5 gr/Nmc e permette una consistente riduzione dei consumi di combustibile ausiliario, in quanto il rendimento del recupero termico è molto elevato. Per contro ha come limiti elevati costi di investimento e onerose manutenzioni e richiede notevoli spazi per l'installazione. In caso di aria con elevata quantità di solidi sospesi, richiede una prefiltrazione per evitare l'otturazione del materiale refrattario.

Risulta che nel 2000, a livello mondiale, siano stati investiti circa 1 MD di dollari per l'acquisto di combustori rigenerativi, dei quali il 18% impegnati nel settore verniciatura, il 17 % nella chimica fine, il 10 % nell'industria automobilistica, 12 % trattamento legno, e il 43% tra elettronica, stampa, adesivi ecc.

I combustori catalitici sono generalmente utilizzati per portate e concentrazioni di inquinanti inferiori a quelle dei combustori rigenerativi: portate non superiori a 40000 Nmc/h oltre le quali la quantità di catalizzatore necessaria incide sfavorevolmente sui costi, e concentrazioni tra 1 e 8 g/Nmc. Il limite di cui risentono maggiormente consiste nella presenza di composti che possano avvelenare il catalizzatore (in particolare i composti clorurati) e per questo negli impianti di verniciatura è meno usato rispetto al rigenerativo.

Il rotoconcentratore trova applicazione nei casi in cui si hanno elevate portate e basse concentrazioni, riscontrabili in diversi settori produttivi, riportati nella tabella che segue:

Settore produttivo	Processo	Solventi trattati
Produzione auto, e mobilifici	Verniciatura	Aromatici, esteri alcoli
Stampa	Asciugatura	Aromatici, esteri alcoli
Produzione nastri adesivi e nastri magnetici	Operazioni di pulizia e processo di rivestimento	Chetoni (MEK, cicloesanone)
Settore chimico	Processi vari di trattamento e sintesi	MIBK
Adesivi sintetici	Plastificazione	Aromatici, alcoli aldeidi
Semiconduttori	Lavaggio	Aromatici, esteri, alcoli, chetoni

Il limite all'uso del concentratore sta sostanzialmente nel fatto che rende più complesso il sistema di abbattimento, aumentando la necessità di controlli e manutenzioni: controlli, in quanto i punti di emissione dell'aria trattata sono due, da combustore e da rotoconcentratore e manutenzioni in quanto è aumento il numero dei dispositivi collegati da mantenere in funzione.

#### **COMBUSTORE TERMICO RECUPERATIVO**

Abbattimento di COV (composti organici volatili) combustibili con corrente gassosa inquinata contenente una concentrazione > 3 g/Nm<sup>3</sup> proveniente da qualsiasi operazione o fase con impiego di Composti Organici Volatili  
efficienza di abbattimento

#### **COMBUSTORE TERMICO RIGENERATIVO**

Abbattimento di COV combustibili con corrente gassosa inquinata contenente una concentrazione > 1.5-2 g/Nm<sup>3</sup> proveniente da qualsiasi operazione o fase con impiego di Composti Organici Volatili.

#### **COMBUSTORE CATALITICO**

Abbattimento di COV combustibili con corrente gassosa inquinata contenente una concentrazione 1-1.5 g/Nm<sup>3</sup> proveniente da qualsiasi operazione o fase con impiego di Composti Organici Volatili purché privi di veleni per il catalizzatore.

---

## Efficienza di abbattimento

---

I parametri da considerare per garantire la massima efficienza di abbattimento sono temperatura, tempo di permanenza degli inquinanti nella camera di combustione, realizzazione delle condizioni di turbolenza.

La temperatura da mantenere dipende dalle caratteristiche di refrattarietà delle sostanze inquinanti. E' importante che la temperatura sia omogenea in tutto il volume del combustore; la presenza di elevato tenore di ossigeno nei gas in uscita è prova di buona efficienza del sistema.

Nel caso di combustori rigenerativi e catalitici, la prefiltrazione è fondamentale perché la presenza di materiale particellare comporta la riduzione delle superfici di scambio e di reazione.

I tempi di permanenza nella camera di combustione ed il volume del combustore diminuiscono al crescere della temperatura operativa. Nel caso nei fumi siano presenti particolati e aerosol è necessario prevedere tempi di permanenza più lunghi. In genere i tempi variano da frazioni di secondo ad alcuni secondi, e le temperature variano tra 300°C e 1100°C, intendendo le temperature più basse riferiti ai sistemi catalitici .

La progettazione del sistema si basa sui flussi di massa e quindi sui tempi di contatto; per un tempo di permanenza definito la temperatura di processo diventa funzione delle sostanze da trattare e dell'efficienza di abbattimento che si vuole ottenere. Individuato e progettato un certo impianto, la sua efficienza di abbattimento non varia sensibilmente al variare dei solventi, considerando le famiglie di questi composti normalmente utilizzati nei settori di interesse. Una sostanziale variazione nell'efficienza di abbattimento si potrebbe rilevare solo in presenza di sostanze caratterizzate da una particolare resistenza all'ossidazione: ad esempio confrontando le rese di abbattimento di miscele contenenti toluene, si può verificare come questo composto aromatico venga abbattuto con una efficienza che può arrivare ad essere il 5% minore di quella riscontrata per sostanze alifatiche ( esteri, acetati., chetoni,ecc..).

Operando in condizioni ottimali le efficienze d'abbattimento possono raggiungere il 99%.

Tali condizioni si raggiungono se avviene l'ossidazione completa delle COV presenti nell'aria da trattare e quindi, se si realizzano le temperature e i tempi di residenza necessari. Per i combustori termici e rigenerativi le rese di abbattimento si attestano intorno a valori non inferiori a 97 – 98% ; rese maggiori si possono raggiungere con temperature superiori agli 850 °C e tempi di residenza dell'ordine del secondo. Per i combustori rigenerativi la resa d'abbattimento viene incrementata notevolmente nel caso la terza camera sia dotata di riempimento, in modo tale da diventare così uno stadio di trattamento; la conseguenza di questa modifica è l'aumento del 15 – 20 % circa dei costi di investimento.

Per i combustori catalitici la temperatura operativa è inferiore ( 300 – 500 °C), ma le rese di abbattimento sono equivalenti a quelle realizzate con i combustori termici; infatti la funzione del catalizzatore è quella di attivare le trasformazioni di demolizione delle molecole a temperature moderate.

La Provincia di Treviso nel corso del 2001 ha effettuato un'indagine sui combustori inseriti a valle degli impianti di verniciatura coinvolgendo sette aziende: obiettivo dell'indagine era non solo valutare l'efficienza dei sistemi d'abbattimento, ma anche mettere in luce le problematiche di tipo analitico legate ai dispositivi di rilevamento delle emissioni.

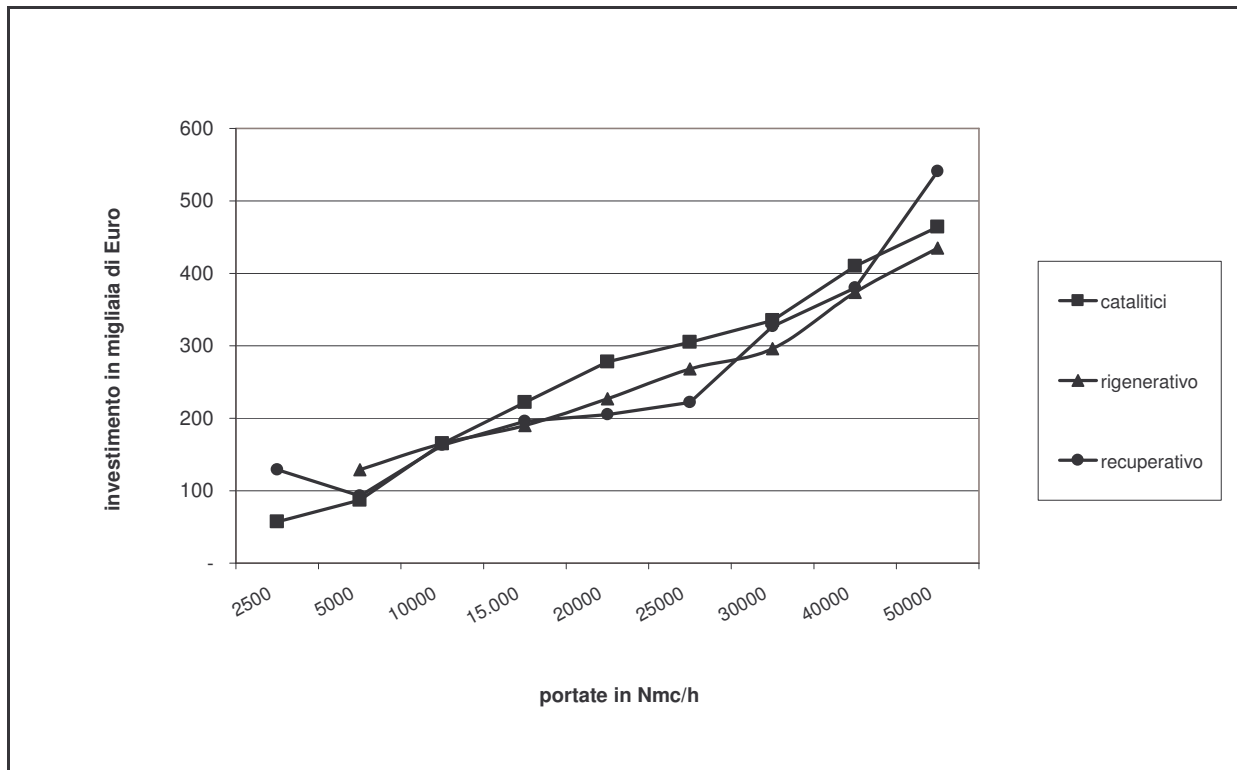
I combustori rigenerativi si sono dimostrati i più efficienti nell'abbattimento, in particolare quelli con la terza camera riempita di elementi ad elevata capacità termica (tabella 5). Nel caso vengano a mancare le condizioni autotermiche (basse concentrazioni di COV) e sia necessario l'intervento di combustibile ausiliario si registra una notevole produzione di NOx e CO.

	Tipo impianto	Lavorazione	VOC trattate	Portata aria (Nm <sup>3</sup> /h)	VOC in (kg/h)	VOC out (kg/h)	Efficienza di abbattimento (%)
A	Combustore termico rigenerativo (3 corpi)	Verniciatura carte da gioco	butilacetato etilacetato metossipropanolo altri	6.100	8,88	0,03	99,7
B	Combustore termico rigenerativo (2 corpi)	Verniciatura mobii	etilbenzene butanone butilacetato toluene xileni metossipropanolo etilacetato altri	40.800	4,8	0,36	92,6
C	Combustore termico rigenerativo (2 corpi)	Verniciatura cornici in legno conto terzi	etilbenzene butanone butilacetato toluene xileni etilacetato altri	35.200	121,8	1,2	99
D	Rotoconcentratore + combustore catalitico rigenerativo	Verniciatura antine in legno conto terzi	butilacetato dimetilchetone etilacetato toluene xilene butanone	27.800	32	4,4	86,3
				28.000	49	15,4	68,6
				39.000	39,5	3,6	90,8
F	Combustore termico recuperativo	Verniciatura a spruzzo su cartoncino	isobutilacetato metossipropilacetato etilacetato ragia minerale butilacetato xilane	17.000	74,5	0,97 (650°C) 0,12 (720°C)	98,7  99,84
G	Combustore termico rigenerativo (2 corpi)	Finitura superficiale materiali plastici	MEK etilacetato DMF	25.000	37,5	0,4	98,9
E	Bioscrubber	Verniciatura particolari in ghisa		10.000	8	4,48	44

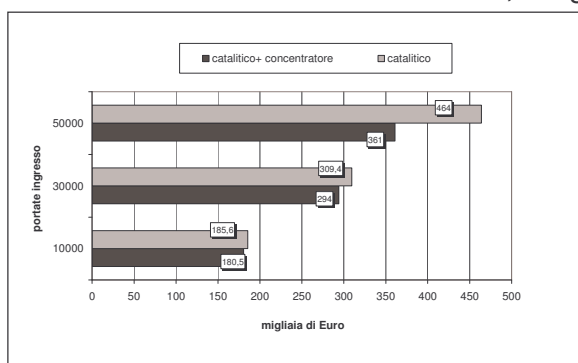
### Costi di investimento e di esercizio

Per quanto riguarda i costi di investimento si riporta di seguito la situazione riscontrata nel corso dell'indagine effettuata nel 2001 (vedi bibliografia), in cui si riportano i costi di investimento per le tipologie analizzate di combustori come medie dei dati forniti dalle ditte che hanno partecipato all'indagine.

**COSTI INVESTIMENTO COMBUSTORI TERMICI, RIGENERATIVI E CATALITICI**



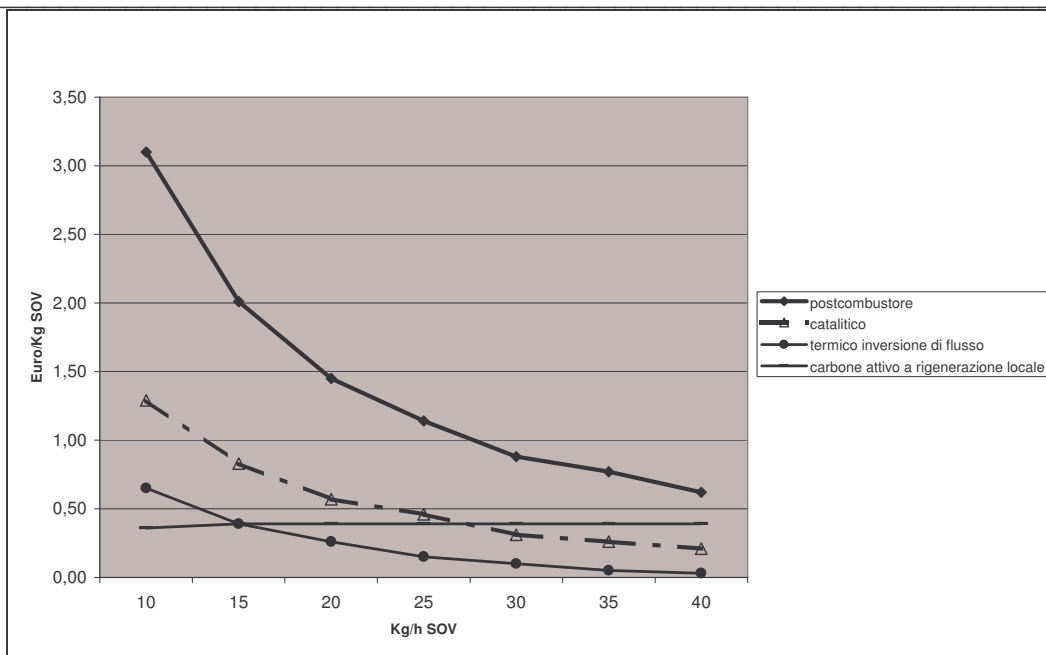
Si può notare come i tre andamenti divergono più al centro che alle estremità del campo di portate: infatti tra 5000 e 15.000 Nmc/h e tra 35.000 e 45.000 Nmc/h le differenze di costo sono inferiori che nel campo compreso tra 20.000 e 30.000 Nmc/h. Infatti il costo di investimento dipende dalle dimensioni, ovvero dalla “quantità di materiale consumato” e dalla complessità impiantistica, che resta più o meno invariata al variare della portata per una certa tipologia di impianto: alle estremità del campo di applicazione questi contributi si combinano riducendo le differenziazioni, mentre nella parte centrale la complessità impiantistica e la quantità di materiali necessaria aumentano in modo diverso per le diverse tipologie rendendo più netta la differenza dei costi, che si riconoscono nettamente crescenti andando dal termico, al rigenerativo al catalitico.



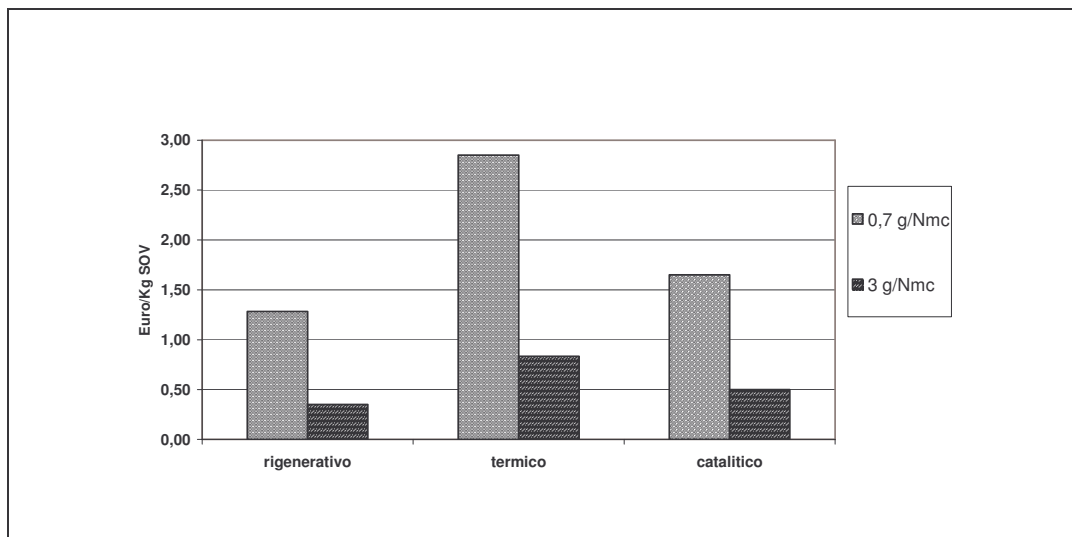
L’inserimento del rotoconcentratore permette di ridurre il volume di aria da trattare e quindi le dimensioni del combustore posto a valle: nel digramma a fianco si riporta l’andamento dei costi in relazione a tre taglie di portata, per combustori catalitici con e senza concentratore a monte: si può notare come al crescere della portata si riduca il costo di investimento, in modo tanto più significativo quanto maggiore è la portata, a causa del risparmio sulla quantità di catalizzatore inserito.

Per quanto riguarda i costi di esercizio nel diagramma che segue si riportano gli andamenti espressi riportando i costi specifici (€/kg SOV<sup>1</sup>) in relazione al flusso di massa (Kg SOV / h) anche in confronto al sistema di abbattimento di filtrazione a carboni attivi.

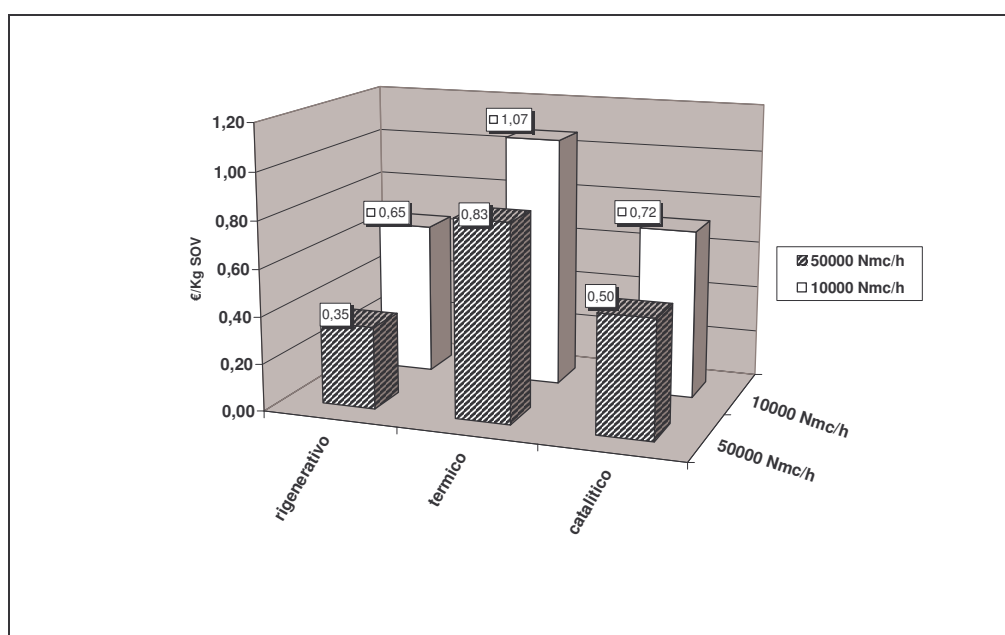
<sup>1</sup> SOV si intende sostanze organiche volatili



Di seguito evidenziata l'incidenza della concentrazione di SOV nell'aria da trattare per le tre tipologie di combustori, considerando una taglia di 50000 Nmc/h per l'impianto rigenerativo la riduzione di costi è più significativa che per gli altri impianti



Nel diagramma che segue si confrontano i costi di esercizio delle tre tipologie impiantistiche per un'aria in ingresso a 3 gr/Nmc, e per due diverse taglie impiantistiche, 10000Nmc/h e 50000Nmc/h: risulta che le con portate di aria in ingresso troppo basse i costi aumentano, in quanto, a parità di concentrazione, la quantità assoluta di solventi alimentata diminuisce e ci si allontana dalle condizioni di autosostentamento. Tra le tre tipologie di impianti il più sensibile alla diminuzione di portata risulta essere il rigenerativo (86% di aumento dei costi di esercizio), mentre il meno sensibile è il semplice termico (26% di aumento), dati questi che risultano coerenti sulla base dei principi di funzionamento dei due sistemi. Il combustore termico che realizza un recupero del calore massimo del 70% risulta poco sensibile alla differenza di solventi alimentati, mentre il rigenerativo, che realizza un recupero termico che supera il 90%, risente in modo più deciso della diminuzione di alimentazione di solventi .



### vantaggi e svantaggi nell'utilizzo, anche in termini di impatti sulle altre componenti ambientali

La tecnica di combustione offre vantaggi in relazione al consumo di risorse per il suo funzionamento se si riesce ad ottimizzare il recupero termico: nel caso del combustore rigenerativo con un flusso costante di aria ricca di SOV, nel caso del catalitico perché si riesce ad operare a temperature inferiori.

Lo svantaggio sta nella maggior complessità dell'impianto e, nel caso del catalitico, nella sensibilità del supporto ai possibili avvelenamenti, che richiede una conoscenza costante e precisa del processo che dà origine all'effluente.

#### Fonti:

"Indagine, nei processi di verniciatura e di pulizia delle superfici, delle potenzialità di riduzione fornite dall'applicazione della direttiva comunitaria sulla limitazione dell'uso di solventi in alcune lavorazioni industriali: indagine sugli impianti di abbattimento dei solventi" Ricerca realizzata da: Ambiente Italia srl, istituto di ricerche e coordinata da ENEA, Centro Ricerche Casaccia Ambiente, Divisione Caratterizzazione dell'Ambiente e del Territorio, 2002

**Nota:** i riquadri a fondo grigio riportano le indicazioni contenute nella D.G.R. Lombardia 15/12/2000, n° 7/2663