

CENTRIFUGAZIONE

Descrizione tecnica

La tecnica è utilizzata per separare le particelle di particolato dal gas in cui sono disperse, e si basa sull'applicazione di una forza centrifuga che spinge le particelle contro le pareti di un cilindro, dove si fermano per impatto. Le particelle presenti in un gas che entrano forzate in una struttura cilindrica risentono della forza tangenziale che dipende dall'accelerazione impressa al gas, della forza di gravità e della forza d'attrito che si oppone a entrambe.

La forza centrifuga è inversamente proporzionale al raggio del cilindro R e direttamente proporzionale alla massa m della particella e al quadrato della velocità tangenziale V_t :

$$F_c = m * V_t^2 / R$$

Per valori di velocità in ingresso di 15 m/sec, in un cilindro di 0,5 metri di raggio, a parità di massa della particella la forza centrifuga assume un valore 40 volte maggiore della forza di gravità.

Le particelle si muovono verso la parete del cilindro con una velocità costante detta velocità radiale, che risulta dalla combinazione di due forze, la forza centrifuga e la resistenza di attrito.

La velocità radiale V_r è quella che la particella raggiunge quando la forza centrifuga è uguale a quella di attrito: ipotizzando che quest'ultima si ricavi con la legge di Stokes, si ricava :

$$\text{Forza centrifuga } F_c = m * V_t^2 / R = \pi * D_p * d_p * V_t^2 / 6R$$

$$\text{legge di Stokes} \quad F_r = 3 * V_r * d_p * N_a * \pi$$

$$3 * V_r * d_p * N_a * \pi = \pi * D_p * d_p * V_t^2 / 6R$$

dove D_p è la densità della particella, D_a dell'aria e N_a è la viscosità dell'aria.

Dall'equazione si ricava V_r

$$V_r = D_p * d_p^2 * V_t^2 / 18R * N_a$$

Rimane da considerare la componente del moto dovuta alla forza di gravità, ovvero la velocità terminale V_{ti} ; la direzione di caduta della particella sarà regolata dal rapporto tra la velocità radiale e terminale RS, nel senso che tanto maggiore è tale rapporto, migliore è la separazione delle particelle dal gas.

$$\text{Velocità terminale} \quad V_{ti} = [(D_p - D_a) * d_p^2 * g] / 18 N_a$$

$$\text{Velocità radiale} \quad V_r = D_p * d_p^2 * V_t^2 / 18R * N_a$$

$$\text{Rapporto di separazione} \quad RS = V_{ti}^2 / R * g$$

Il rapporto RS è inversamente proporzionale al raggio del cilindro, e direttamente proporzionale al quadrato della velocità tangenziale, ovvero la separazione sarà tanto migliore quanto più piccolo è il raggio del cilindro e quanto maggiore è la velocità tangenziale.

I dispositivi in cui viene applicato questo principio sono i **cycloni**.

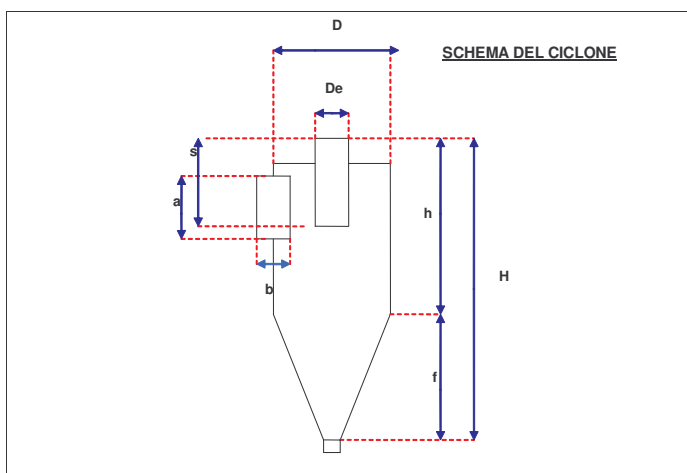
Nei cycloni la velocità di ingresso del gas produce un moto vorticoso spiraliforme da cui si originano le forze centrifughe che portano il particolato sulle pareti interne del dispositivo. I cycloni sono camere cilindriche sotto cui è posto un cono che raccoglie le polveri separate, il gas da trattare entra di lato, in direzione tangenziale alla sezione circolare della camera, mentre il gas depurato esce dall'alto, in direzione perpendicolare a questa stessa sezione.

Il gas entra in testa al cilindro e scende con un moto spiraliforme verso il fondo del cono generando il cosiddetto "vortice principale"; raggiunto il fondo del cono il moto si inverte e il gas risale secondo una spirale più stretta della prima lungo l'asse, fino ad uscire attraverso il tubo posto alla sommità del cilindro: l'estremità inferiore di questo tubo non deve trovarsi troppo all'interno del cilindro per non causare vortici anomali ed effetti di trascinamento del particolato, che portano a diminuzione dell'efficienza del ciclone.

Per cycloni con piccoli diametri e alte velocità di ingresso tangenziali la separazione delle particelle può essere molto elevata (RS pari a 2000 – 3000). Il rapporto di separazione è indipendente dalla dimensione delle particelle; esistono diagrammi che forniscono la curva di efficienza del ciclone in cui vengono messi in relazione il diametro delle particelle e l'efficienza %: le particelle molto fini vengono trascinate nel flusso di gas in uscita, in pratica non è possibile abbattere particelle del diametro inferiore a 5 micron con i cycloni.

Il materiale con cui sono costruiti i cycloni può essere acciaio semplice o inox, materiale ceramico, o ancora dotato di particolari rivestimenti per resistere ad atmosfere chimiche corrosive, la parete interna deve comunque essere il più possibile liscia per favorire la raccolta della polvere sul fondo: in generale in funzione delle caratteristiche della polvere, la parete interna può essere soggetta a una forte azione abrasiva, così come i punti di curvatura dei tubi di trasporto. Pertanto generalmente il dispositivo è costruito in diverse sezioni unite tra loro da chiusure a tenuta in modo da poter all'occorrenza effettuare sostituzioni delle sole parti non più utilizzabili.

Di particolare importanza è il dimensionamento del ciclone che viene definito da un pacchetto di 8 parametri, (diametro del ciclone e altri 7 sono rapporti dimensionali). Questi valori fissano:



- la dimensione della sezione di ingresso del gas da depurare rispetto alla sezione del corpo del ciclone e delle dimensioni del tubo interno, per prevenire effetti di circuitazione del gas e per moderare le perdite di carico, ($a = 0,5 - 0,7 D$; $a < s$)
- il rapporto tra l'altezza complessiva del sistema cilindro – cono e il diametro del corpo del ciclone ($H > 3D$ generalmente H/D è fissato a 4),
- l'angolo del cono per facilitare lo scivolamento della polvere ($7 - 8^\circ$)
- il rapporto De/D tra 0,4 e 0,5),
- il rapporto H/De 8 e 10),
- il rapporto S/De deve essere 1

Una variante del sistema è costituita dai **cycloni ad umido**, con i quali è possibile abbattere aerosols o nebbie: la fase liquida dispersa può essere già presente nel gas da depurare o essere deliberatamente aggiunta al fine di rendere più efficiente la separazione delle polveri.

Su trascinamenti di goccioline di dimensione superiore a 100 micron l'efficienza di abbattimento è del 100%.

Nel caso in cui la fase liquida sia aggiunta per migliorare la separazione delle polveri, oltre ad aumentare l'efficienza di rimozione, si riduce l'erosione della parete della camera e si evitano sovraccarichi e intasamenti. La fase liquida viene immessa attraverso spruzzatori in controcorrente al gas, e perché l'efficacia del sistema sia massima è necessario verificare che le pareti interne siano uniformemente bagnate al fine di evitare impiccamenti.

A seconda delle dimensioni si possono distinguere essenzialmente due tipi di cicloni.

I dispositivi a largo diametro (da 30 a 200 cm) vengono utilizzati per l'abbattimento del materiale solido con un diametro superiore ad 1 mm. In genere si impiegano quando la concentrazione del particolato è molto alta e sono caratterizzati da aperture di entrata ed uscita relativamente grandi; il vortice che si forma all'interno è relativamente lento e non permette di abbattere il particolato di piccole dimensioni ma solamente il materiale grossolano.

La maggior parte dei dispositivi in commercio ha invece un diametro che va dai 5 ai 30 cm. Questo diametro permette di accelerare il movimento a spirale del flusso molto più di quanto sarebbe possibile in un ciclone a diametro maggiore. Inoltre, il particolato che fuoriesce dal flusso vorticoso deve compiere una distanza relativamente minore prima di andare a finire la sua corsa contro la parete del ciclone. Tutte queste caratteristiche fanno sì che i cicloni a piccolo diametro siano in grado di raccogliere particolato molto più fine, così in genere sono molto utilizzati per abbattere il materiale caratterizzato da un diametro superiore ai 5 micron.

A causa della limitata capacità di depurazione di ogni tubo, spesso molti piccoli cicloni vengono installati in parallelo all'interno di un cassone metallico per formare un singolo impianto definito **multiciclone**. Tutti questi cicloni sono montati sulla stessa lastra di supporto e pescano dalla medesima condotta; inoltre hanno in comune anche l'uscita: dall'interno di ogni dispositivo si diparte un tubo di scarico che convoglia in un'unica tubazione il flusso d'aria ripulito. Questo sistema permette di abbinare l'alta efficienza di abbattimento caratteristica dei piccoli cicloni con una capacità di predepurazione estremamente elevata.

1. Temperatura	> 0 °C.
2. Dimensioni	Ingresso-tangenziale con inclinazione 45°
	Diametro min. del corpo - 600 mm
	Diametro max. del corpo centrale - 1800 mm
3. Umidità relativa	50%
4. Sistemi di controllo	Nessuno
5. Sistema di pulizia	Manuale del corpo cilindrico e dei raccordi di immissione ed espulsione del fluido gassoso
6. Manutenzione	Pulizia delle superfici interne del ciclone
7. Informazioni aggiuntive	Questo impianto può essere utilizzato prima dei depolveratori a secco a mezzo filtrante o come impianto singolo (cicloni o multicicloni) nelle combustioni di materiali solidi

Campi di applicazione e limiti di operatività

Il campo di applicazione dei cicloni, rispetto al tipo di polveri da abbattere, è definito dal peso specifico delle particelle che deve essere superiore a 300 g/litro, per particelle di dimensioni superiori a 50 micron il peso specifico deve essere almeno 500 g/litro, per particelle di dimensioni approssimative intorno a 10 micron, deve essere almeno 1000 – 1500 gr/litro. Con polveri che rispondono a queste caratteristiche anche presenti in concentrazioni elevate il ciclone è adatto per essere utilizzato come primo stadio di abbattimento al fine di diminuire il carico sui sistemi di filtrazione successivi più efficienti, ma anche più delicati.

<p>Abbattimento di polveri e nebbie oleose con granulometria 20 micron provenienti da :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operazioni di stoccaggio, movimentazione, trasporto pneumatico, miscelazione, pesatura e confezionamento di materiali solidi polverulenti - Operazioni di sabbatura, smerigliatura, bordatura, taglio di superfici di vario tipo e materiale. - Operazioni di fusione di materiali metalli e combustione di materiali solidi - Operazioni su materiale plastico flessibile e/o semirigido - Operazioni meccaniche con uso di oli minerali

Efficienza di abbattimento

L'efficienza dei cicloni aumenta al crescere di diametro e densità delle particelle, della velocità di ingresso del gas, lunghezza del corpo del ciclone (o del cono) e del rapporto dimensionale tra diametro del corpo del ciclone e diametro del tubo di uscita del gas depurato.

Al contrario l'efficienza diminuisce all'aumentare di densità e viscosità del gas e al crescere della sezione di entrata de gas, e dei diametri del corpo del ciclone e del tubo di uscita.

L'efficienza è direttamente legata alla dimensione delle polveri, polveri di diametro inferiore a 5 micron non vengono praticamente abbattute.

Un modo per aumentare l'efficienza di abbattimento del ciclone è realizzare un sistema di cicloni montati in serie o in parallelo: suddividendo il flusso di gas tra i due cicloni in parallelo si utilizzano due corpi più piccoli con una maggiore efficienza di abbattimento. Il limite di questa variante sta nella difficoltà di suddividere equamente il flusso tra i due elementi.

Nella configurazione in serie, la sequenza dei cicloni è caratterizzata dalla diminuzione del diametro dei corpi, in modo che le particelle non abbattute nei primi vengono separate nei successivi: questa configurazione trova utilizzo anche per la classificazione dimensionale delle polveri.

L'efficienza d'abbattimento delle polveri varia in genere dal 70% al 90%, dal 30% al 90% per il PM10 e non supera il 40% per il PM2,5. I cicloni ad alta efficienza, caratterizzati da flussi interni estremamente veloci sono in grado di raggiungere dei rendimenti migliori: dal 60% al 95% per il PM10 e dal 20% al 70% per il PM2,5; questi dispositivi sono però caratterizzati da un'elevata caduta di pressione, per cui il loro funzionamento richiede un grande dispendio energetico.

Per quanto riguarda i multicloni, risulta che siano in grado di raggiungere un'efficacia di abbattimento variabile tra l'80% ed il 95% per il PM5.

Un indicatore del funzionamento del sistema è l'opacità del flusso trattato: se l'attività della sorgente dell'inquinamento rimane costante, allora un aumento dell'opacità in uscita può indicare che il sistema di abbattimento non funziona correttamente. Un esame delle condizioni generali del predepuratore può facilmente individuare il problema, probabilmente dovuto alla presenza di punti di infiltrazione d'aria esterna che possono determinare sia la risospensione del materiale raccolto che perdite o condensazioni

Costi di investimento e di esercizio

Il sistema ha costi di investimento contenuti anche se piuttosto variabili in funzione della specifica installazione.

I costi di esercizio sono legati alle manutenzioni per la pulizia interna e nel caso di cicloni ad umido al consumo di acqua e al costo di smaltimento del fango separato, a meno che non sia possibile effettuare qualche forma di recupero.

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

I vantaggi dei cicloni sono da ricondurre al basso costo di impianto e di esercizio, alla assenza di necessità di effettuare complesse manutenzioni, alle basse perdite di carico e alle dimensioni d'ingombro relativamente ridotte, al basso consumo di risorse energetiche.

Lo svantaggio principale è legato al ristretto campo di applicazione.

Per i cicloni ad umido vanno ricordati i seguenti svantaggi:

- consumo di risorsa idrica
- nel caso in cui nel gas da trattare siano presenti acidi l'atmosfera umida diventa fortemente corrosiva e quindi aggressiva nei confronti dei materiali strutturali;
- da questa tipologia di ciclone risulta un rifiuto liquido che richiede un opportuno trattamento.

Fonti:

“L’aria e l’azienda” W. Formenton, Associazione artigiani della provincia di Vicenza, 1989

Sito internet : www.nonsoloaria.com

L’AMBIENTE, N° 2/2003

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