

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

*Principi di aeraulica applicati
all'abbattimento di sostanze
inquinanti*

Tutor universitario: Prof. Andrea
Claudio Santomaso

Laureando: *Klevis Shijaku*

Padova, 23/09/2024



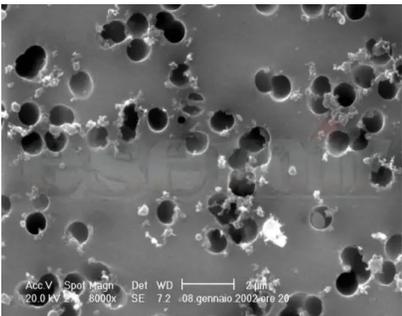
SENSORI DI QUALITÀ DELL'ARIA

CONDOTTI DI AERAZIONE

IMPIANTO FILTRANTE

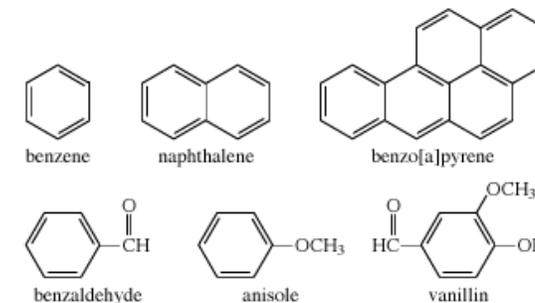
SERRANDE O VALVOLE

VENTILATORE



PARTICOLATO

VOC

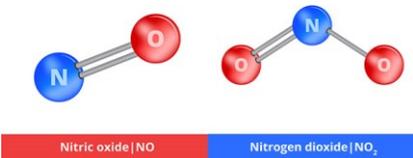


Inquinanti: sostanze, allo stato di gas, vapori, nebbie o pulviscoli, che possano riuscire nocive o moleste agli esseri viventi o dannose per i materiali utili

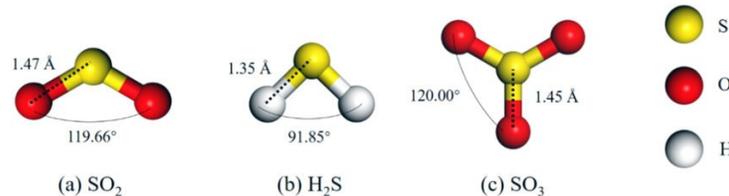
INQUINANTI GASSOSI

COMPOSTI DELL'AZOTO

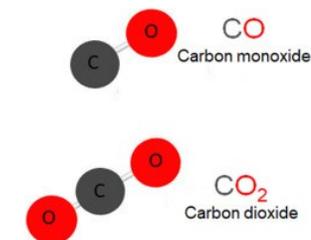
NOx (OXIDES OF NITROGEN)

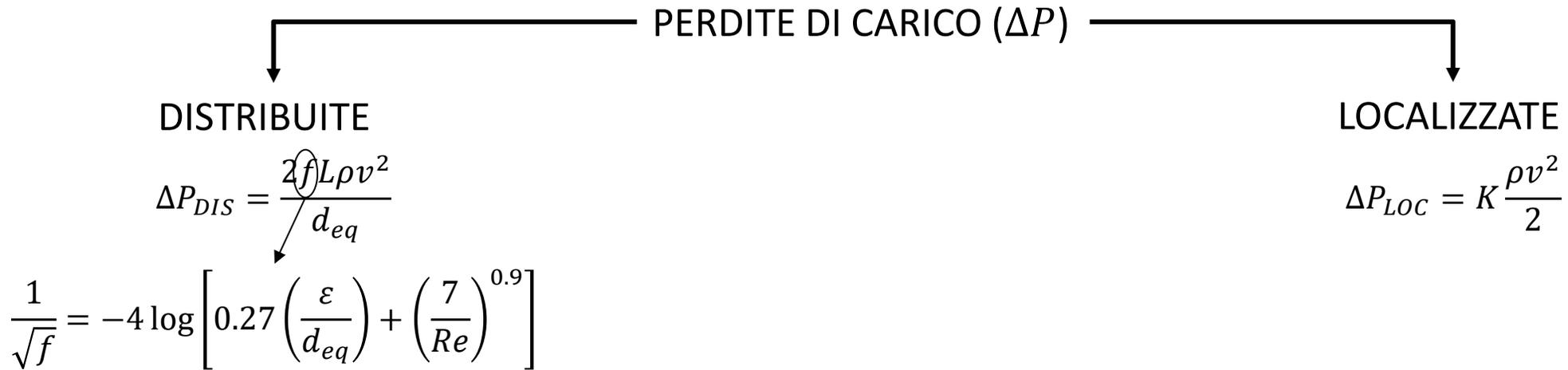


COMPOSTI DELLO ZOLFO



COMPOSTI DEL CARBONIO





Il valore di ΔP deve essere il più basso possibile, cosicché si risparmia sui componenti impiegati (meno materiale e ventilatori meno potenti) e si hanno meno rumorosità e sollecitazioni

La filtrazione consiste nel passaggio dell'aria contenente particelle solide attraverso un tessuto poroso, il quale trattiene il particolato e permette il passaggio dell'aria stessa. I filtri sono altamente versatili vista la vasta scelta dei materiali impiegabili e la possibilità di avere forme differenti



PERDITE DI CARICO (ΔP)

TIPO DI TESSUTO

$$\Delta P_f = \frac{D_f \mu \dot{V}}{K_f \Sigma}$$

STRATO DI PARTICOLATO

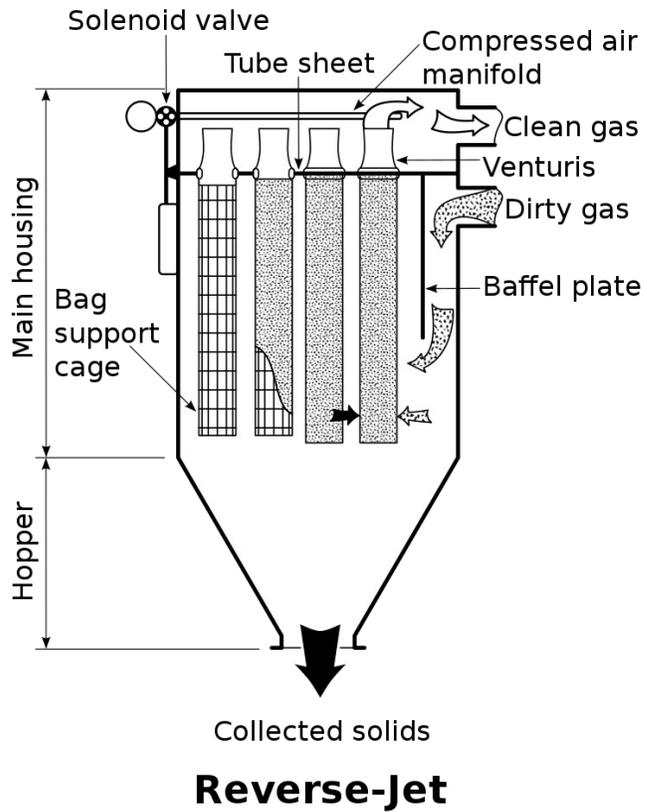
$$\Delta P_p = \frac{D_p \mu \dot{V}}{K_p \Sigma}$$

$$D_p = \frac{L \dot{V} t}{\rho_p}$$

STRUTTURA DELL'IMPIANTO
(trascurabile)

Questo tipo di filtro a tasche è così strutturato: una camera di calma (1), una sezione di filtrazione a setti metallici multistrato (2) e una sezione in cui sono presenti le tasche (3). L'altezza del macchinario rimane sempre uguale (per ICAM S.r.l., 2200 mm), mentre la larghezza e la lunghezza dipendono dal numero e dal tipo di tasche che vengono impiegate. È un'ottima soluzione economica ed efficace contro polveri non troppo fini, anche se presenti in fino gocce d'olio. Tuttavia non è adatto per flussi d'aria ad alta concentrazione di polvere ed è necessario sostituire le tasche dopo un certo tempo d'utilizzo dell'impianto.





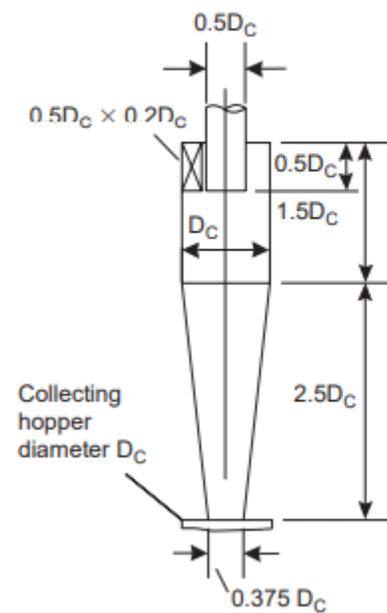
È molto versatile, le sue perdite di carico sono moderatamente basse (dunque, è possibile far fluire all'interno del filtro a maniche portate molto elevate), ed è autopulente. Ha altezza e profondità standardizzata, mentre la larghezza varia al variare del numero di maniche presenti nell'impianto. Nei casi in cui la polvere da voler filtrare sia potenzialmente esplosiva, è necessario adoperare dei piccoli accorgimenti per rispettare le norme ATEX.



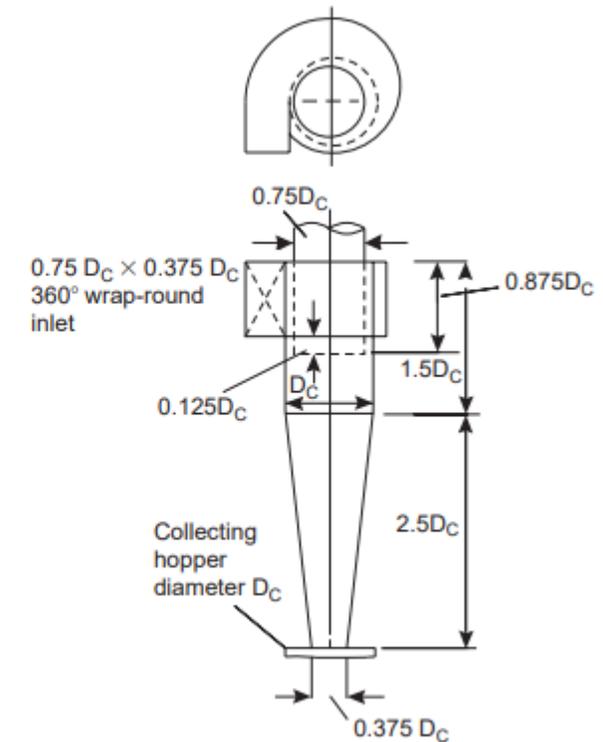
Le cartucce consentono al filtro di avere maggior superficie filtrante a parità di volume rispetto ad una manica filtrante; di conseguenza, il filtro a tasche risulta essere molto più compatto. Tuttavia, una cartuccia filtrante è più facilmente intasabile ed è tendenzialmente più fragile rispetto ad una manica filtrante; dunque, viene impiegato nella depurazione d'aria con basse concentrazioni di polvere in ingresso e lavora a temperature di esercizio inferiori.



La filtrazione avviene grazie alle forze centrifughe. Questo impianto è l'ideale per la rimozione di polveri grossolane con elevato peso specifico e come prefiltro per impianti con maggiore capacità di filtrazione. Esistono due configurazioni differenti per il ciclone: quello ad alta efficienza e quello ad alte portate.

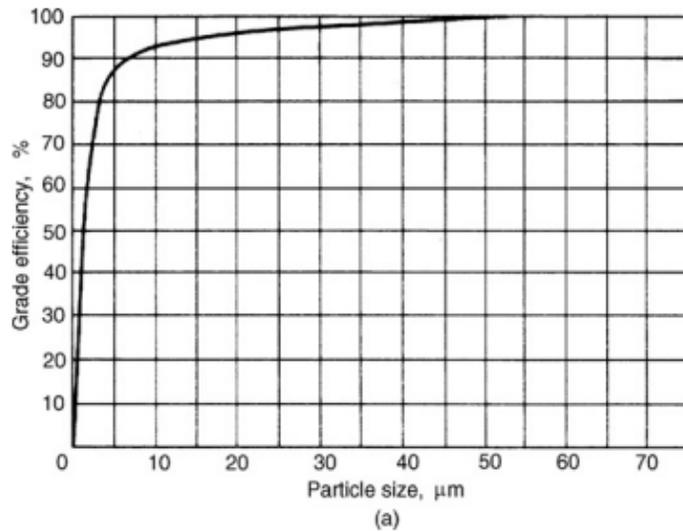


(a)



(b)

RENDIMENTO

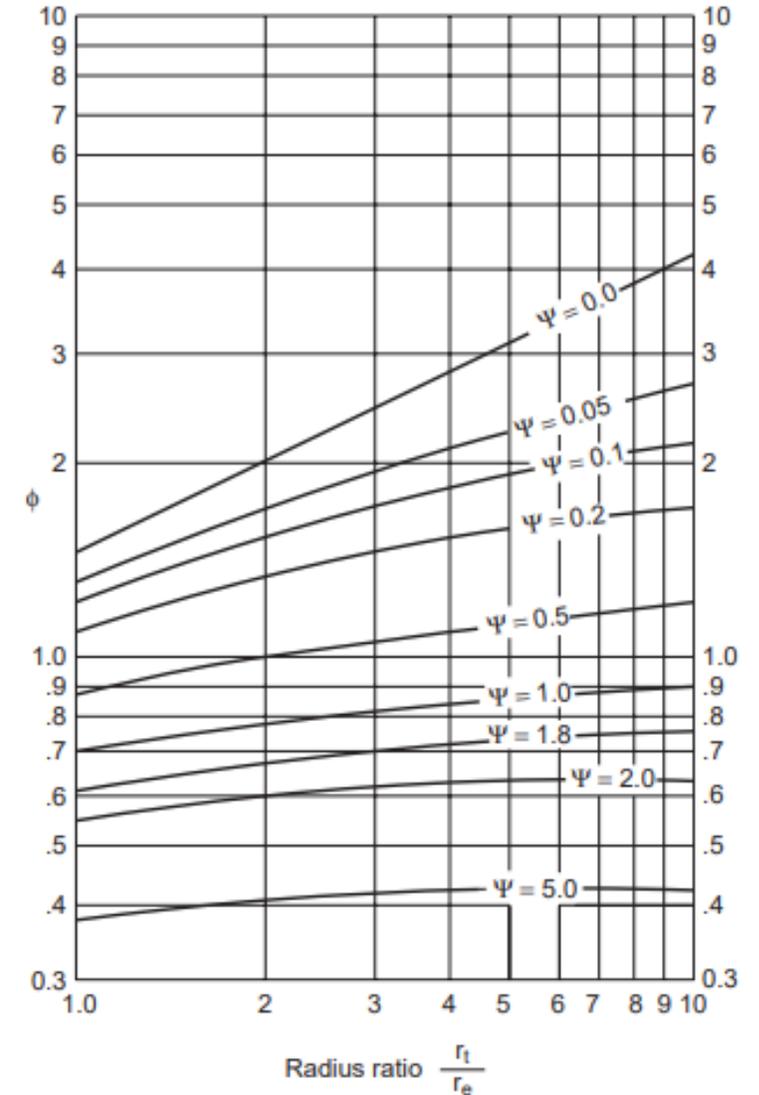


$$d_2 = d_1 \left[\left(\frac{D_{c2}}{D_{c1}} \right)^3 * \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} * \frac{\Delta\rho_1}{\Delta\rho_2} * \frac{\mu_2}{\mu_1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

PERDITE DI CARICO

$$\Delta P = \frac{\rho_f}{203} \left\{ v_1^2 \left[1 + 2\phi^2 \left(\frac{2r_t}{r_e} - 1 \right) \right] + 2v_2^2 \right\}$$

$$\psi = f_c \frac{\Sigma_s}{\Sigma_1}$$



La struttura altamente porosa e l'elevata area specifica del carbone attivo permette l'adsorbimento degli inquinanti. Il filtro a carboni attivi viene impiegato per l'abbattimento dei VOC con basse-medie concentrazioni, dell'ozono e di sostanze chetoniche (MEK, acetone, cicloesano).

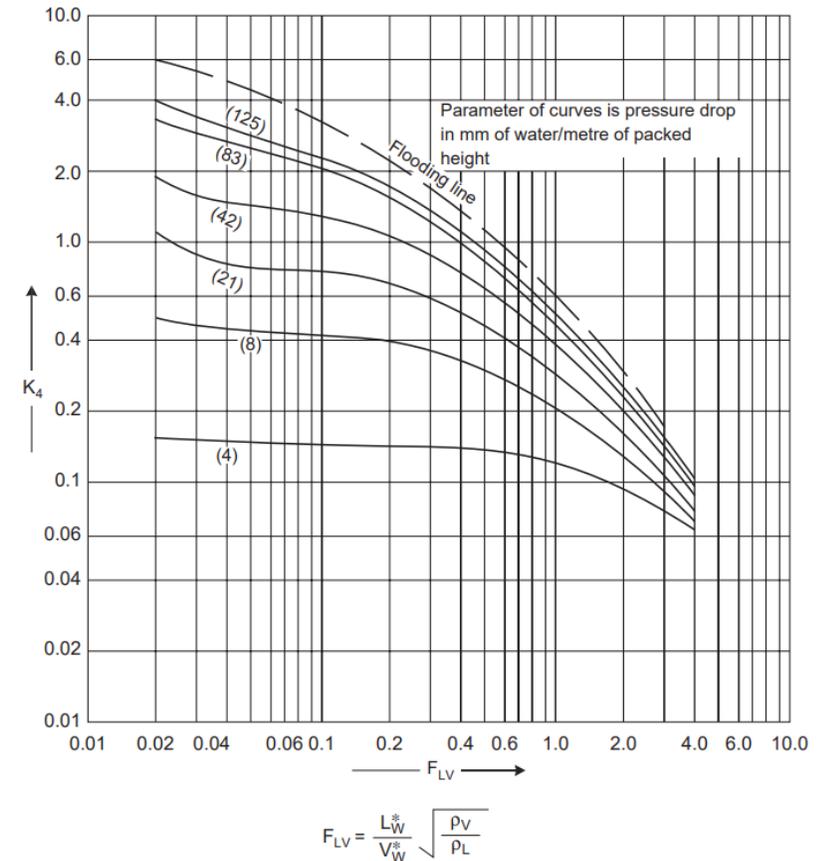
Solitamente, questo filtro permette semplicemente l'ingresso dell'aria inquinata al suo interno, la quale passa successivamente sul letto dove sono situati i carboni attivi. Tuttavia, è possibile progettare un impianto a due letti: ciclicamente, un letto filtra l'aria mentre all'altro viene rimosso l'inquinante adsorbito. Quest'ultimo viene bruciato e i suoi prodotti vengono utilizzati per la rigenerazione di uno dei due letti.



PERDITE DI CARICO

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{(1 - \varepsilon)G}{d_p \varepsilon^3 \rho_g} \left(\frac{150\mu(1 - \varepsilon)}{d_p} + 1.75G \right)$$

L'elemento fondamentale per questo filtro è la presenza di corpi di riempimento. Il loro utilizzo permette di avere un'elevata superficie di contatto tra il fluido assorbente e l'inquinante da assorbire. All'interno della torre, oltre ai corpi di riempimento, sono presenti un distributore di liquido assorbente e una griglia metallica posta che impedisce l'uscita di gocce fini. Questo genere di impianto permette di trattare una vasta gamma di inquinanti con un'alta efficienza, anche ad alte portate. Tuttavia, la sua complessità incide sulla sua manutenzione, che deve essere compiuta di frequente. e sul suo costo di impianto.



Il diametro della colonna è ricavabile tramite la seguente relazione:

$$D_c = \sqrt{\frac{4\dot{m}_v}{\pi \dot{m}_{vS}}} \rightarrow \dot{m}_{vS} = \sqrt{\frac{K_4 \rho_v (\rho_L - \rho_v)}{13.1 F_p (\mu_L / \rho_L)^{0.1}}}$$

L'altezza del letto fisso della colonna è ricavabile tramite la seguente formula:

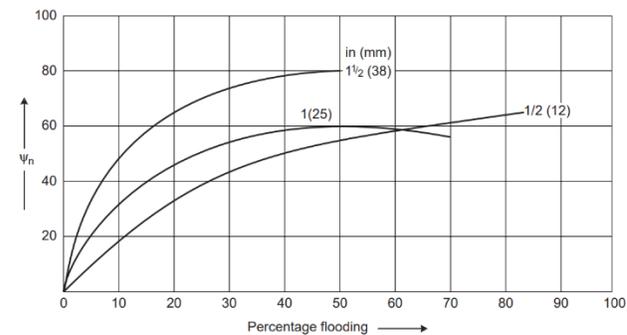
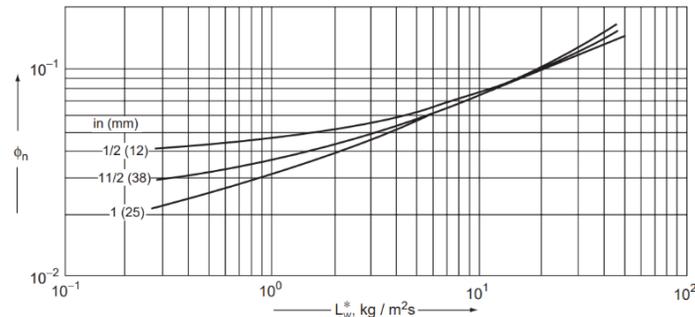
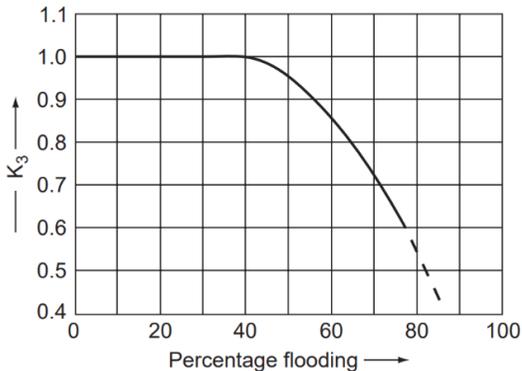
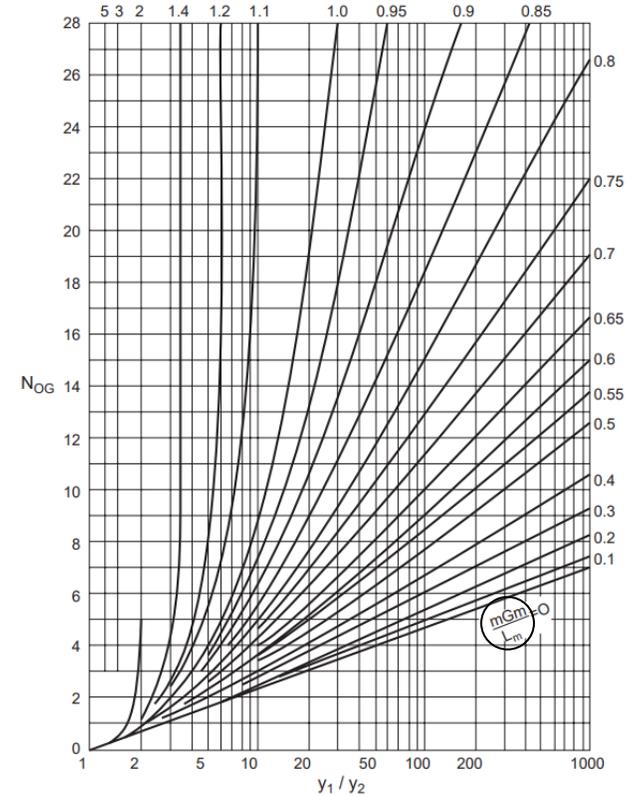
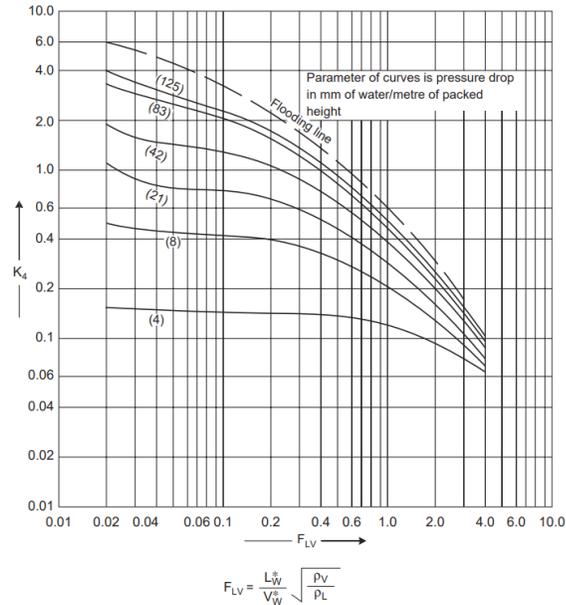
$$Z = H_{OG} N_{OG}$$

$$H_{OG} = H_G + m \frac{G_m}{L_m} H_L \rightarrow H_L = 0.305 \phi_h (Sc)_L^{0.5} K_3 \left(\frac{Z}{3.05} \right)^{0.15}$$

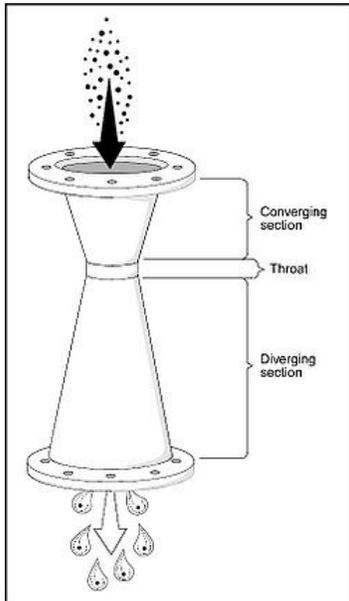
$$H_G = 0.011 \psi_h (Sc)_v^{0.5} \left(\frac{D_c}{0.305} \right)^{1.11} \left(\frac{Z}{3.05} \right)^{0.33} (m_L s f_1 f_2 f_3)^{-0.5}$$

I fattori ψ_h , ϕ_h e K_3 sono determinabili dalla percentuale di allagamento

$$PF = \frac{K_4 \text{ a perdita di carico di progetto}}{K_4 \text{ ad allagamento}}$$



Lo scrubber Venturi è un filtro ad umido che sfrutta l'effetto della turbolenza dell'aria da depurare in entrata, il quale induce al liquido immesso all'interno dello scrubber la sua nebulizzazione. La sua struttura semplice e compatta lo rende una valida soluzione per il filtraggio di inquinanti, in più può essere impiegato anche per la depurazione d'aria ad elevata concentrazione di sostanze da abbattere, rendendola ideale come sistema di prefiltrazione di altri impianti di filtrazione ad umido. Ciononostante, le alte velocità raggiunte al suo interno generano delle perdite di carico elevatissime.



PENETRAZIONE DELLE PARTICELLE

$$P = \exp \left\{ \frac{\dot{V}_L v_g \rho_L (d_d)}{55 \dot{V}_g \mu_g} \left[-0.7 - K_p f + 1.4 \ln \left(\frac{K_p f + 0.7}{0.7} \right) + \frac{0.49}{0.7 + K_p f} \right] \frac{1}{K_p} \right\}$$

$$d_d = \frac{58\,600}{v_g} \left(\frac{\sigma}{\rho_L} \right)^{0.5} + 597 \left[\frac{\mu_L}{(\sigma \rho_L)^{0.5}} \right]^{0.45} \left(\frac{1000 \dot{V}_L}{\dot{V}_g} \right)^{1.5} \quad K_p = \frac{\rho_w d_a^2 v_p}{9 \mu_g d_d}$$

PERDITE DI CARICO

$$\Delta P = \frac{v_g \rho_g \Sigma^{0.133} (\dot{V}_L / \dot{V}_g)^{0.78}}{3870}$$

L'assorbimento degli inquinanti avviene tramite un liquido, generalmente acqua, che viene espulso tramite degli ugelli a pressione compresa tra le 2 e le 3 atm. A seconda dell'impiego della colonna, possono essere presenti una, due o tre file di ugelli. La sua efficienza di filtrazione è peggiore rispetto ad una colonna di riempimento; tuttavia, poiché non ha componenti degradabili come i corpi di riempimento, può operare anche a temperature che raggiungono i 100 °C. Inoltre, la sua semplicità strutturale rende il filtro meno costoso e richiede scarsa necessità di manutenzione.



PENETRAZIONE DELLE PARTICELLE

$$P = \exp \left[- \frac{3\dot{V}_L V_{td} z \eta_d}{4\dot{V}_G r_d (V_{td} - v_{gs})} \right]$$

$$\eta_d = \left(\frac{K_p}{K_p + 0.7} \right)^2$$

