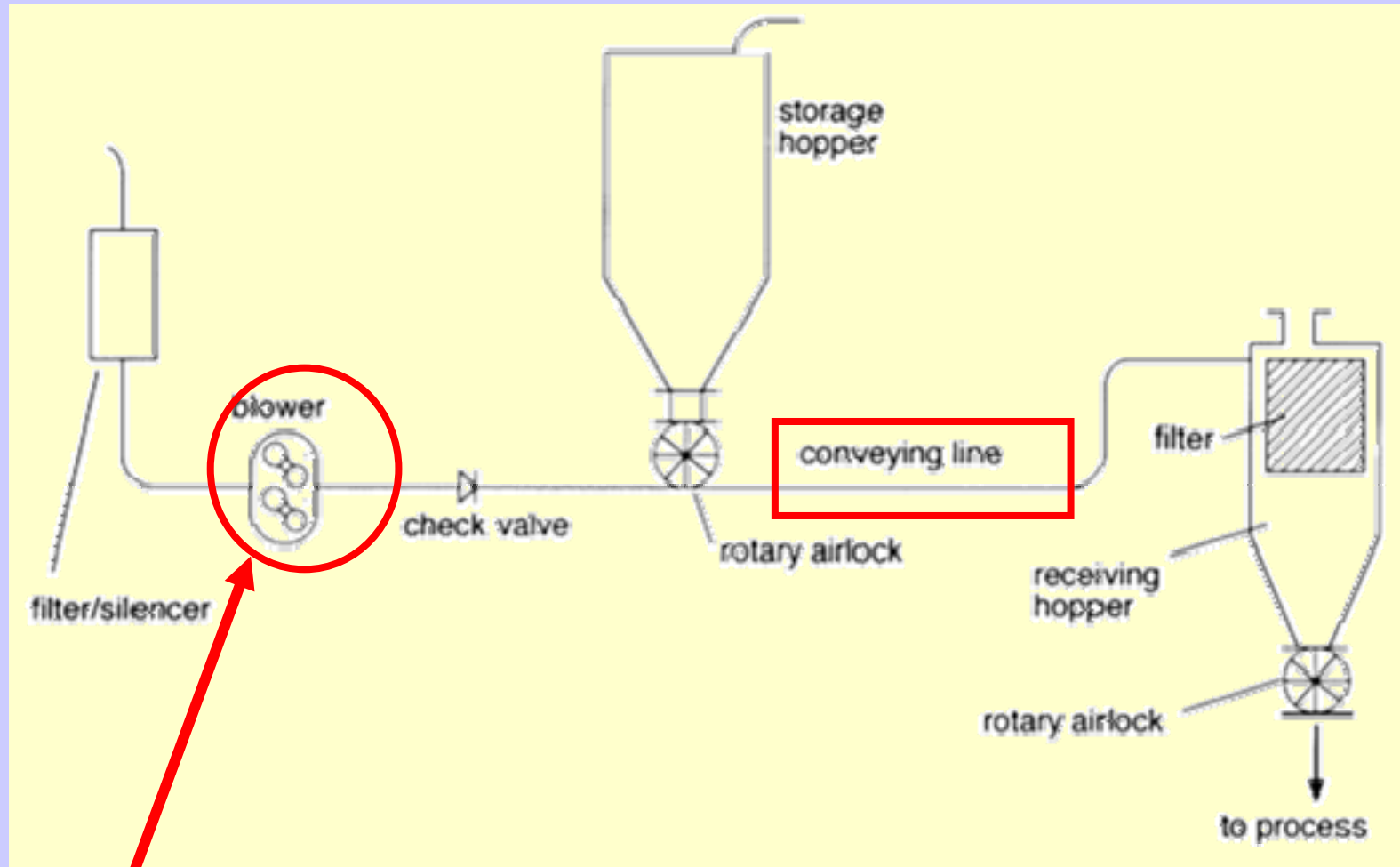

Trasporto pneumatico: calcolo delle perdite di carico

Impianti Chimici 2006-2007

Sistemi di trasporto (a pressione)



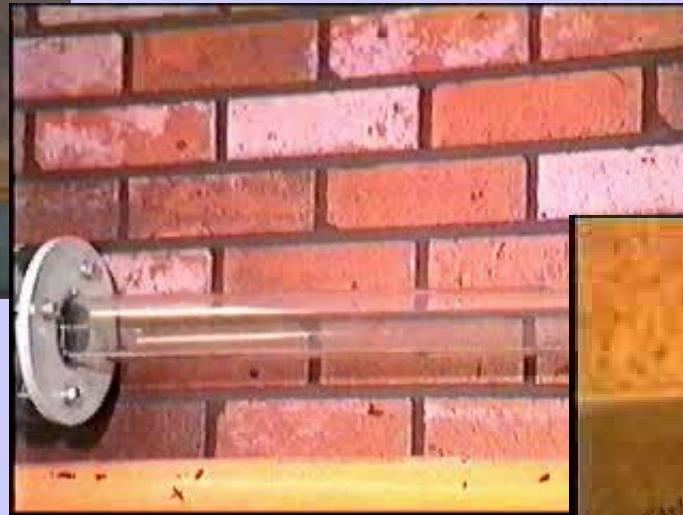
Positive pressure system: $P_{line} > P_{atm}$

Condizioni di flusso

Mass loading (Z) = Massa solido / Massa gas



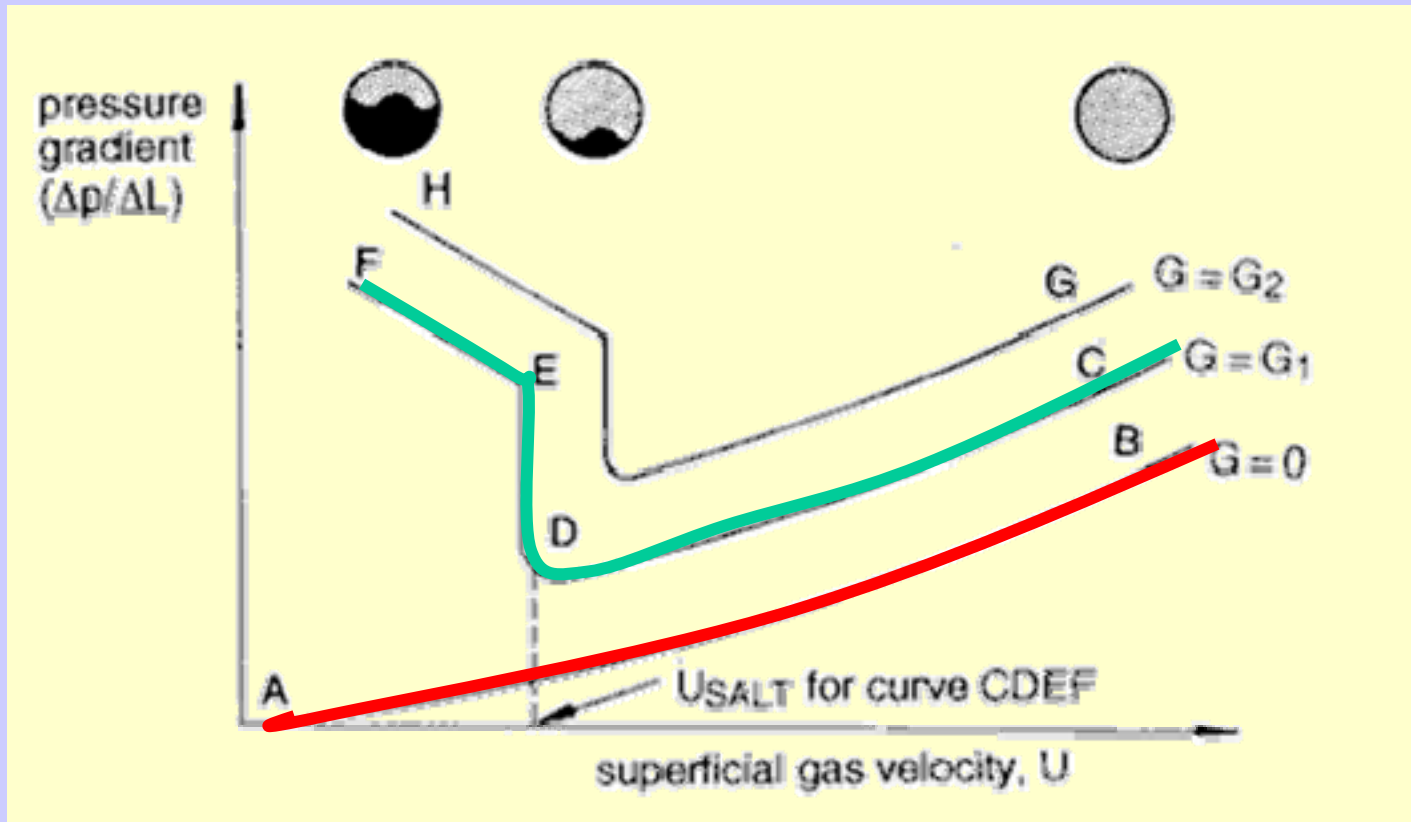
Fase diluita
 $Z=5$



Fase concentrata
 $Z=20$

Perdite di carico, tubo orizzontale

Diagramma di Zenz



Solo gas

Gas+particelle

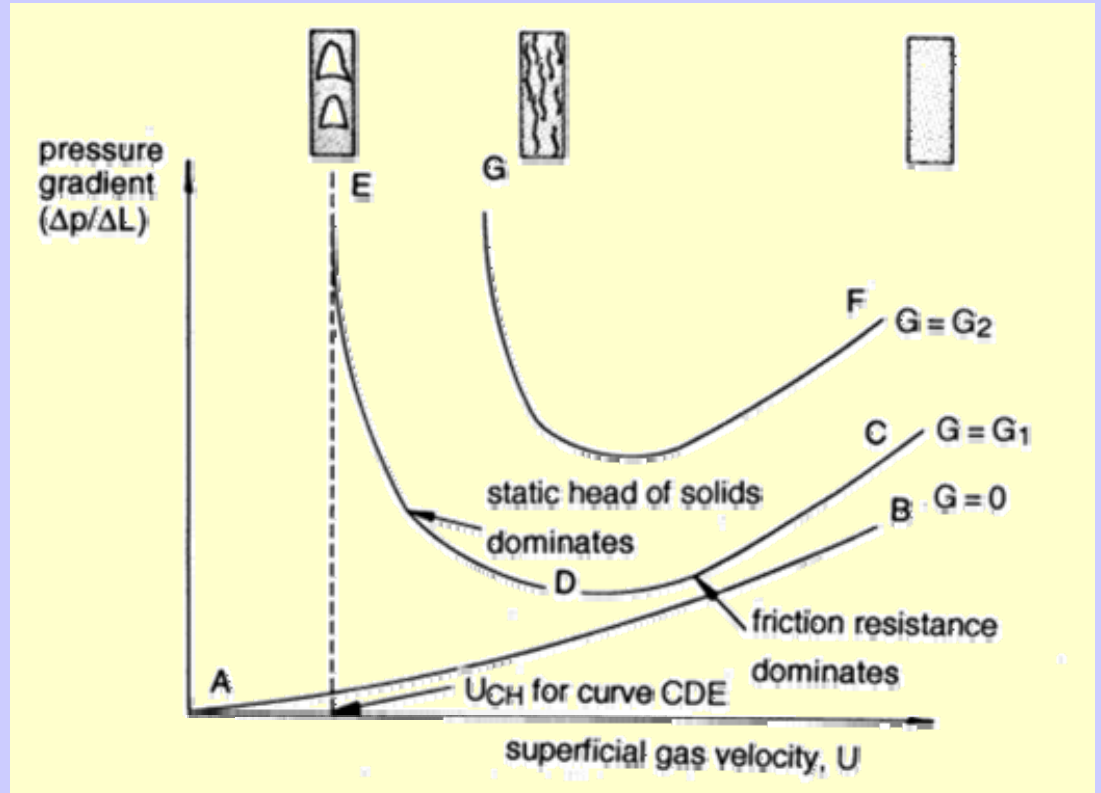
G =portata solido

U_{salt} velocità **minima** che impedisce deposizione

Perdite di carico, tubo verticale



Diagramma di Zenz



U_{choke} velocità **minima** che impedisce ingolfamento

Perdite di carico in tubazione

L, D

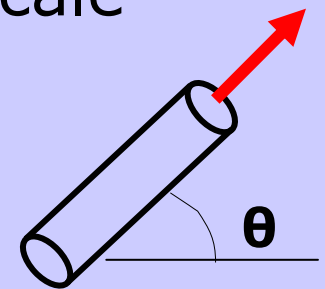


$$P_1 - P_2 = \Delta P_{\text{acc,gas}} + \Delta P_{\text{acc,s}} + \Delta P_{\text{friction,gas}} + \Delta P_{\text{friction,s}}$$

($+\Delta P_{\text{grav,s}} + \Delta P_{\text{grav,gas}}$) in tubo verticale

U_g , velocità superficiale gas

U_s , velocità superficiale fase solida



EXE: calcolare perdite carico (tubo orizzontale)

1. Dati del problema:

- Caratteristiche gas di trasporto (MM, P, T, μ, ρ)
- Caratteristiche particolato (ρ_p, D_p)
- Caratteristiche condotto (L, D)
- Portate fluido e particelle (w_g, w_s)

2. Calcolo saltation velocity (correlazione di Rizk)

$$Z = w_s/w_g = 1/10^\delta Fr^x$$

$$\delta = 1.44 D_p + 1.96$$

$$X = 1.1 D_p + 2.5$$

$$Fr = U_{g,salt}/(gD)^{0.5}$$

$$\rightarrow U_{g,salt} \quad (D_p \text{ in mm})$$

3. Calcolo velocità superficiali (fluido e particelle)

$U_g = w_g / \rho_g A$ velocità fase gas se occupasse intera sezione tubo

$U_p = w_p / \rho_p A$ velocità particelle se occupassero intera sezione tubo

4. Calcolo frazioni volumetriche (fluido e particelle)

$Q_g = w_g / \rho_g$ portata volumetrica fase gas

$Q_p = w_p / \rho_p$ portata volumetrica particelle

$\varepsilon = Q_g / (Q_p + Q_g)$ frazione volumetrica gas

$\varepsilon_p = (1 - \varepsilon) = Q_p / (Q_p + Q_g)$ frazione volumetrica particelle

5. Calcolo velocità effettive (fluido e particelle)

$U_{g,eff} = U_g / \varepsilon$ velocità effettiva fase gas

$U_{p,eff} = U_p / \varepsilon_p = U_p / (1 - \varepsilon)$ velocità effettiva particelle

6. Contributo alle perdite di carico (fluido e particelle)

Accelerazione gas e solido

$$\Delta P_{g,acc} = 1/2 \varepsilon \rho_g U_{g,eff}^2 \quad \text{perdite di carico per accelerazione gas}$$

$$\Delta P_{p,acc} = 1/2 (1-\varepsilon) \rho_p U_{p,eff}^2 \quad \text{Perdite di carico accelerazione particelle}$$

Attrito alla parete

$$\Delta P_{g,att} = 2f L/D \rho_g U_{g,eff}^2 \quad \text{gas-wall friction}$$

$$f = 0.079 Re^{-0.25}$$

$$Re = U_{g,eff} \rho_g D / \mu$$

$$\Delta P_{p,att} = f_s Z L / (2D) \rho_g U_{g,eff}^2 \quad \text{particle-wall friction}$$

$$f_s = 0.082 Z^{-0.3} Fr^{-0.86} Fr_s^{0.25} (D/D_p)^{0.1}$$

$$Fr = U_{g,eff} / (gD)^{0.5}$$

$$Fr_s = U_{pt} / (gD)^{0.5}$$

$$U_{pt} = \rho_p D_p^2 / (18 \mu) \quad \text{velocità terminale particella}$$

7. Modifiche per tubo verticale

Accelerazione gas e solido

$\Delta P_{\text{grav,gas}} = \varepsilon \rho_g L \sin \theta$ perdite di carico per sollevamento gas

$\Delta P_{\text{grav,p}} = (1-\varepsilon) \rho_p L \sin \theta$ perdite di carico per sollevamento particelle

In genere:

$U_{\text{choke}} < U_{\text{salt}} \rightarrow U_g > U_{\text{salt}}$ sufficiente per buon funzionamento

N.B. Errore su U_{salt} da relazioni empiriche $\sim 50\%$ \rightarrow sovrastima conservativa per U_g per evitare fermi impianto.