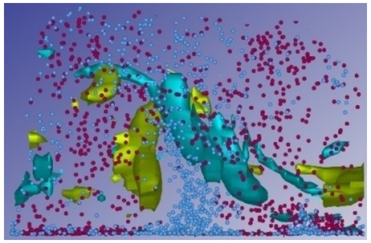
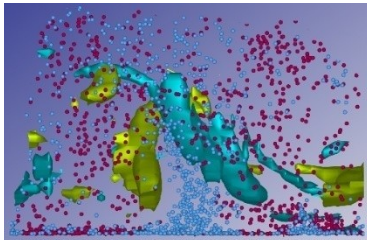
Università degli Studi di Udine
Centro Interdipartimentale di Fluidodinamica e Idraulica



Sistemi per il trasporto pneumatico

M.Campolo

2012



Problema

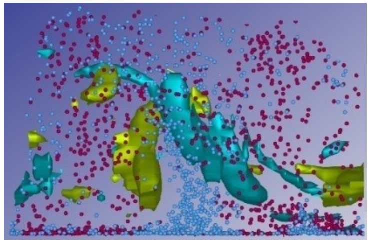
Trasferire una fase solida da un punto ad un altro punto

A boat being loaded at Pier 86 Grain Terminal (Seattle)

Belts conveyor to load/unload suphur

Krupp coal stacker (RTCA Kestrel Mine, Queensland)

Obiettivo



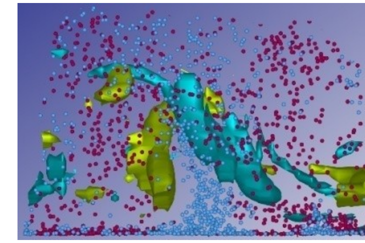
Trasferire fase solida in modo continuo utilizzando un flusso portante di aria

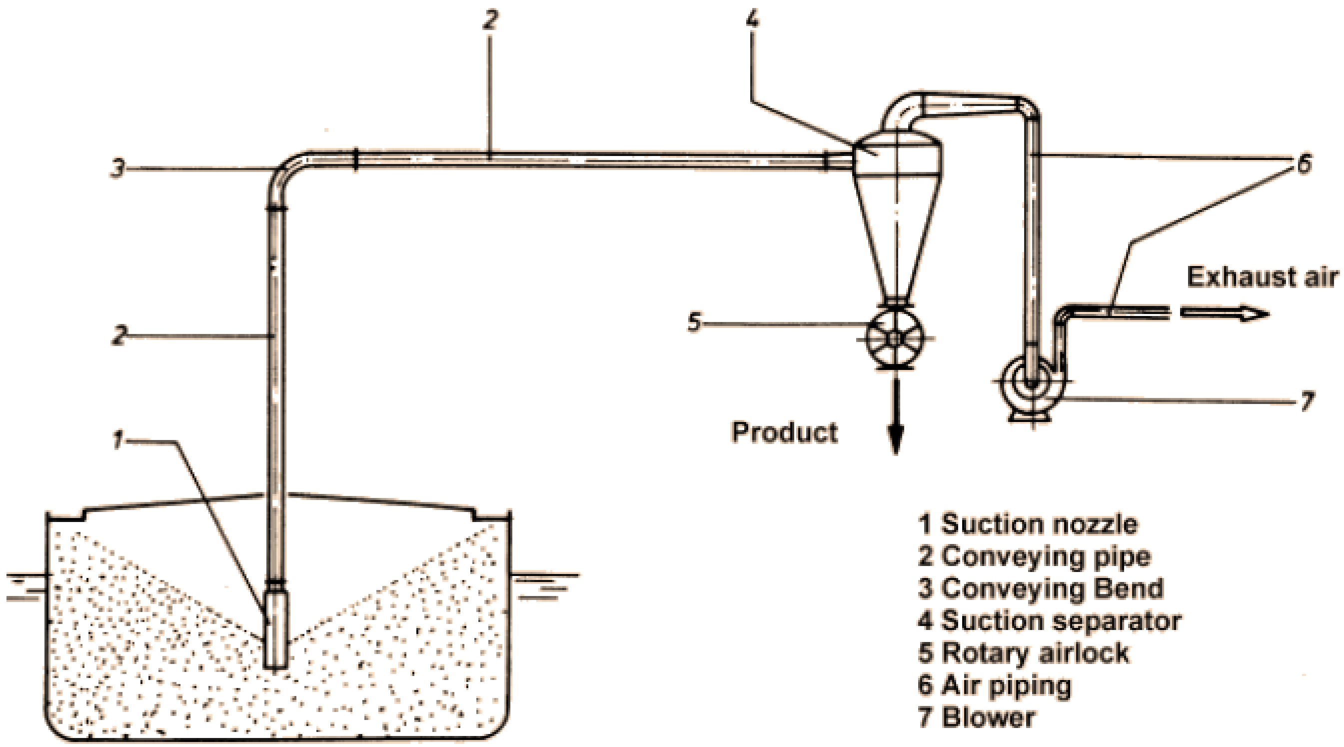
Metodo inizialmente utilizzato per carico/scarico di granaglie, sabbia, semi

Metodo attualmente utilizzato per trasportare additivi chimici, fibre di legno, polveri

In quali condizioni è possibile il trasporto? Quali sono le perdite di carico da vincere?

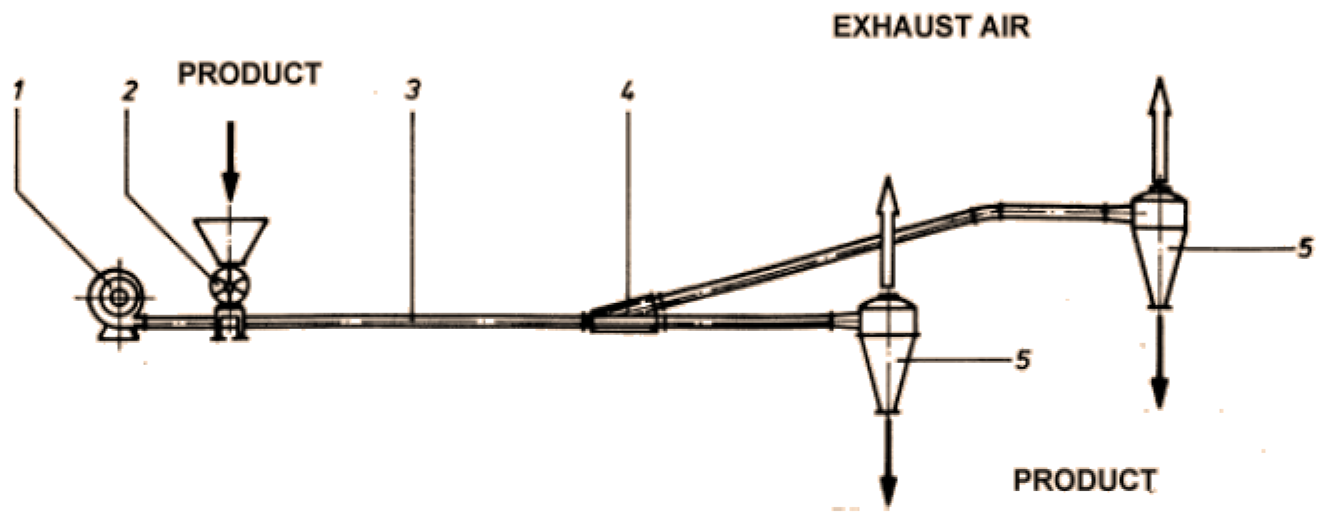
Sistemi di trasporto: in depressione



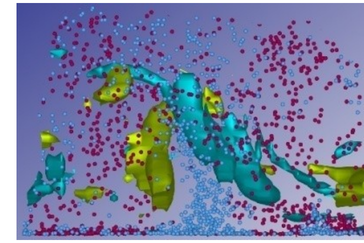


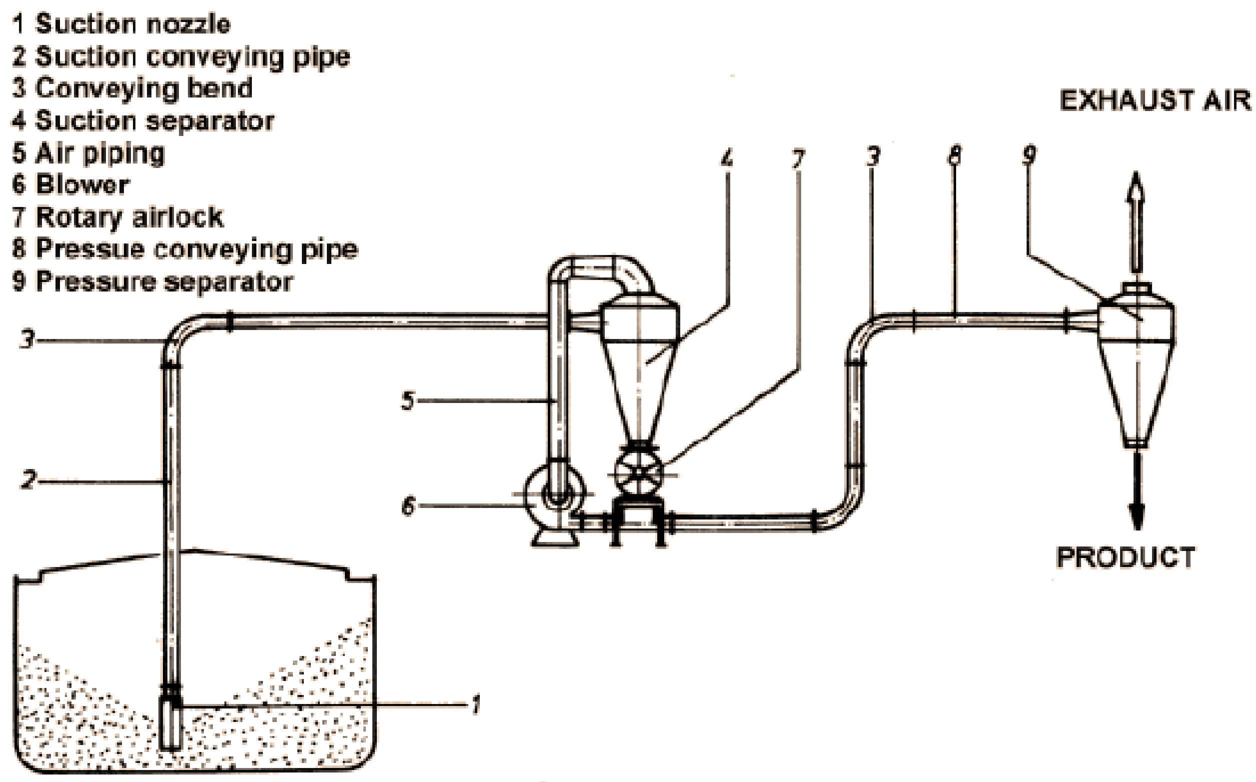
Sistemi di trasporto: in pressione

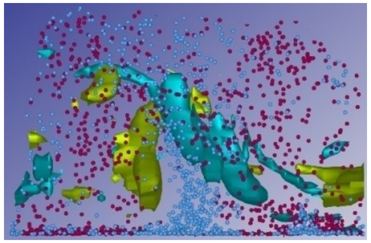
1 Blower
2 Rotary airlock
3 Conveying pipe
4 Pipe diverter
5 Pressure separator



Sistemi di trasporto: misto







Caratteristiche di linea

Diametro tubazione: 10 mm – 800 mm

Portate trasportate: 1 kg/h – 1000 t/h

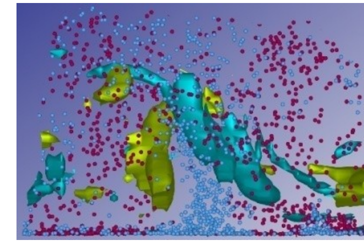
Lunghezza linea: 10 m – 1000 m

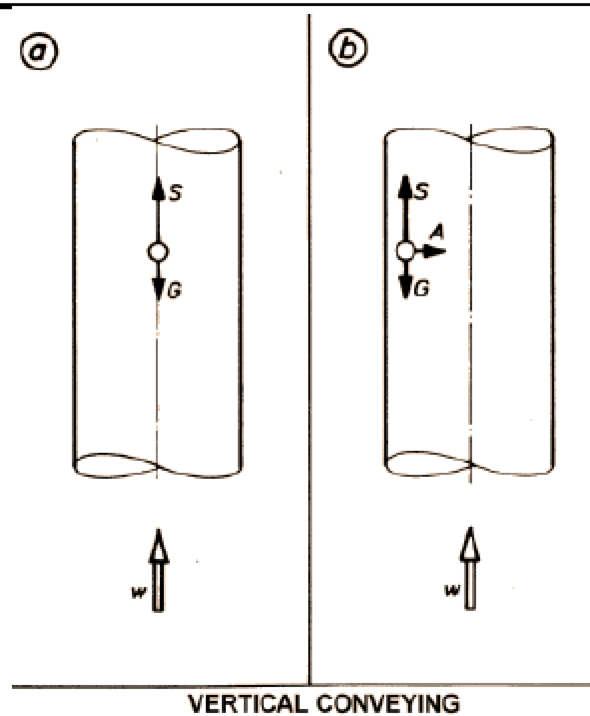
Velocità aria: 10 m/s – 30 m/s

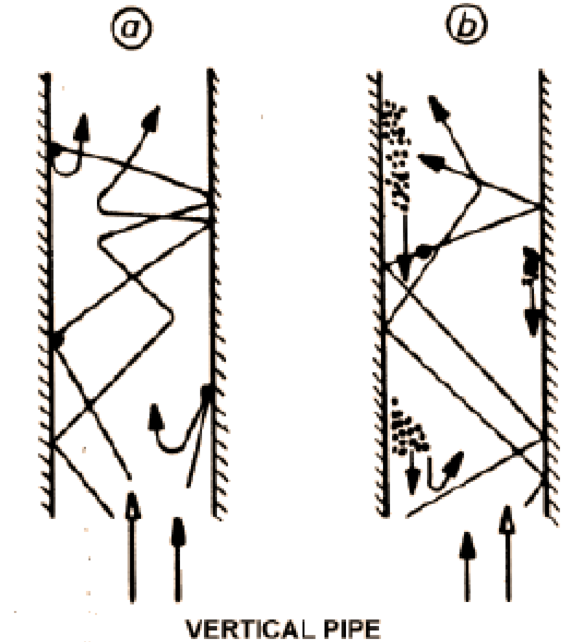
Linee in depressione: più punti di carico, un punto di scarico

Linee in pressione: un punto di carico, più punti di scarico (maggiore capacità di trasporto)

Regimi di flusso (verticale)







G: forza peso

S: forza di attrito

A: forza di lift

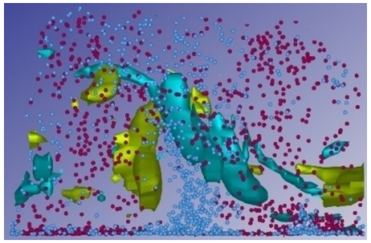
Z →

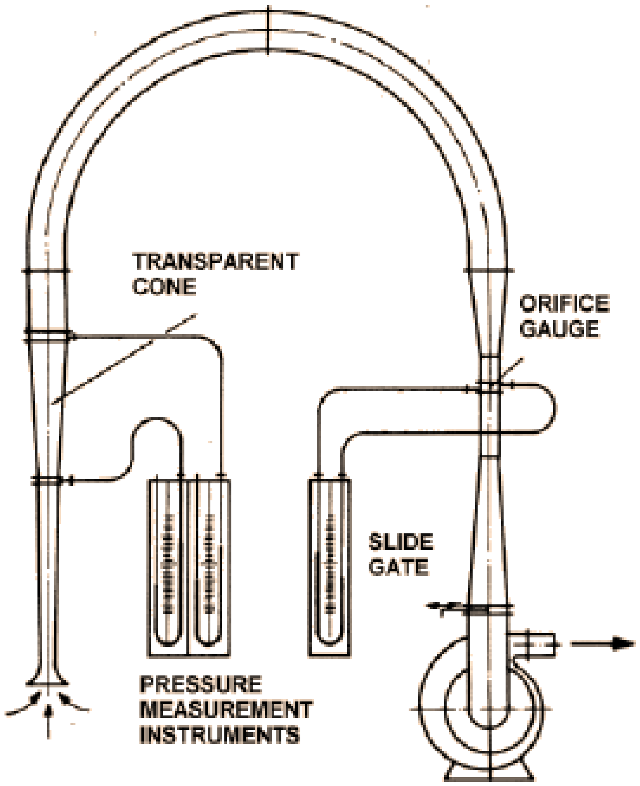
I: forza d'inerzia

Fp-p: forza di attrito tra particelle

Fp-w: forza di attrito particelle-parete

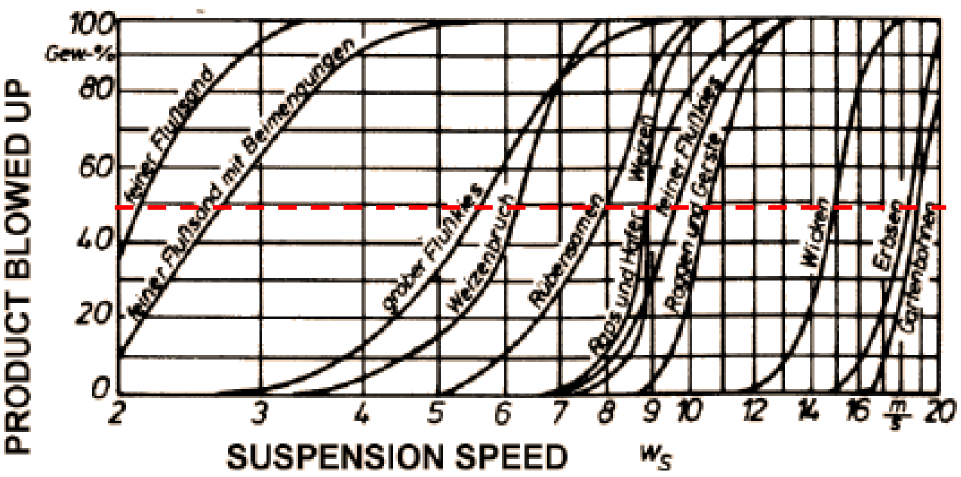
Velocità di sospensione: misura sperimentale

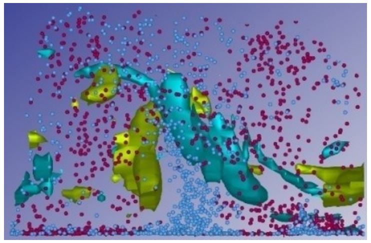




Dipende da:

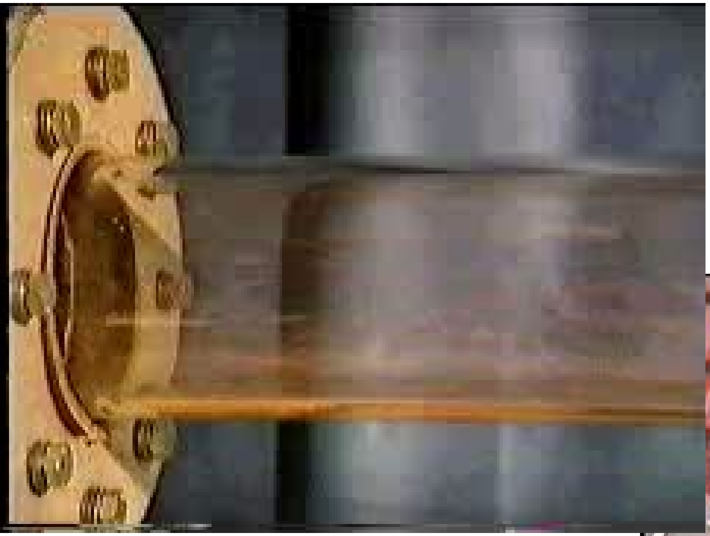
- Forma
- Distribuzione dimensionale
- Superficie (liscia/rugosa)





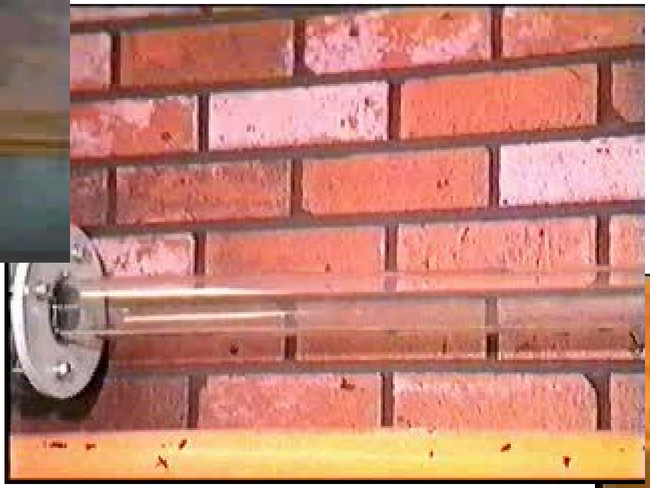
Regimi di flusso (orizzontale)

Mass loading (Z)= Massa solido/Massa gas



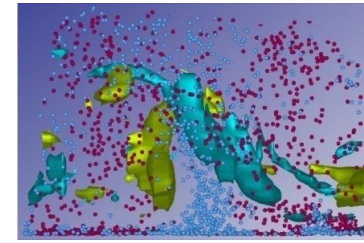
Fase diluita

Z=5

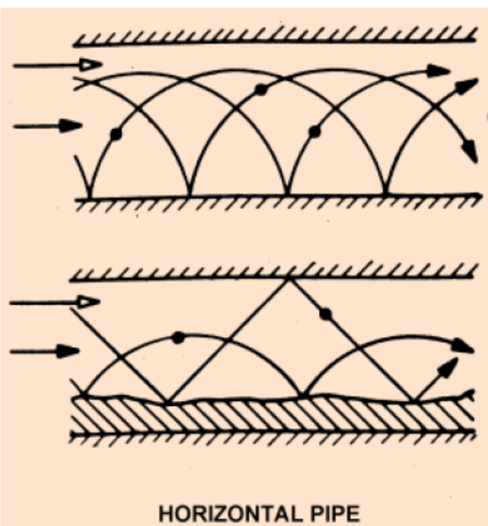


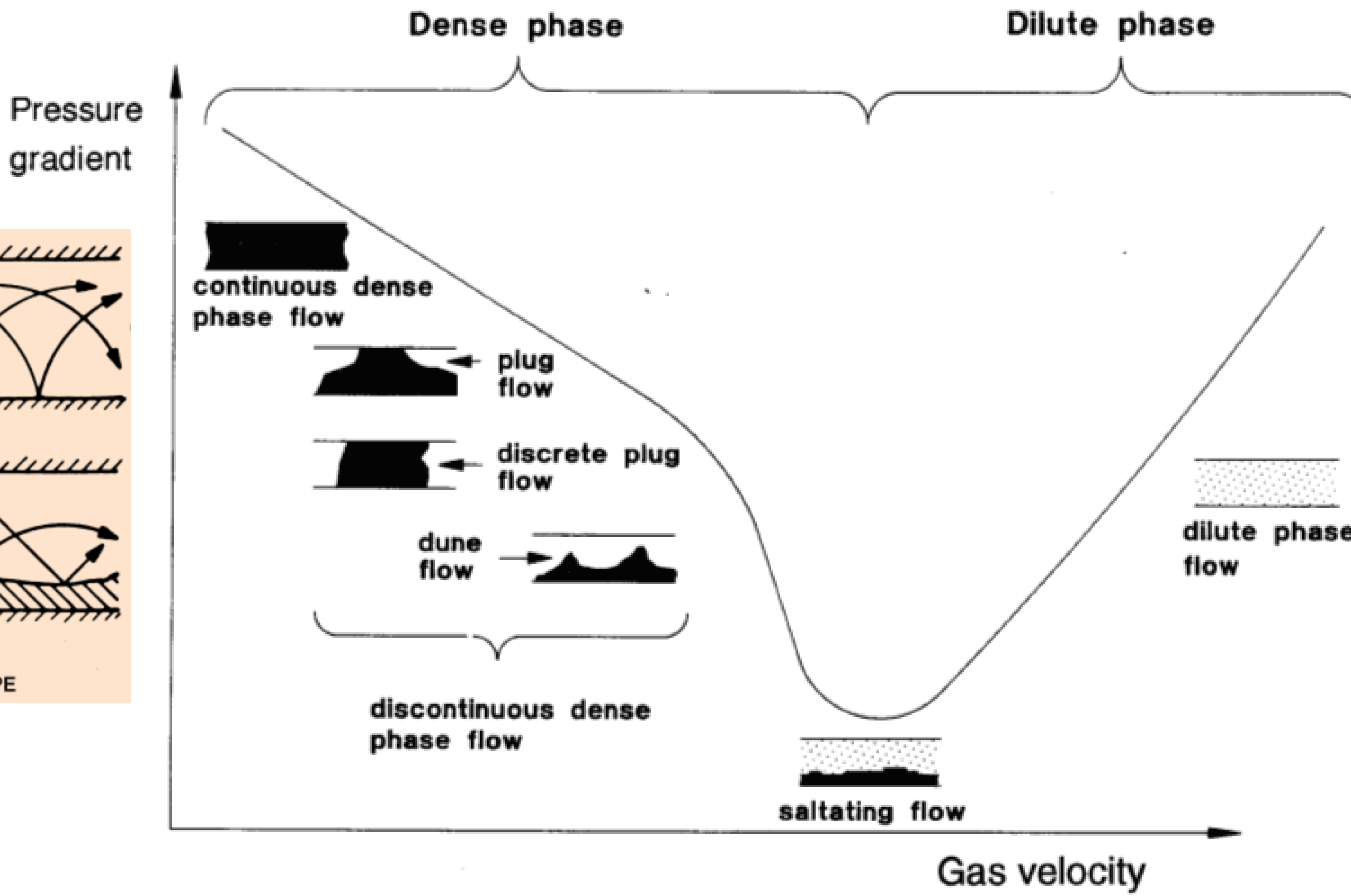
Fase concentrata

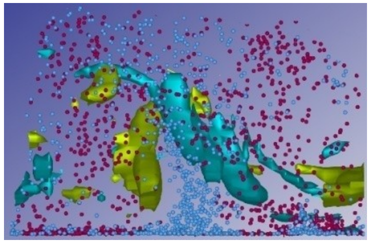
Z=20



Regimi di flusso (orizzontale)



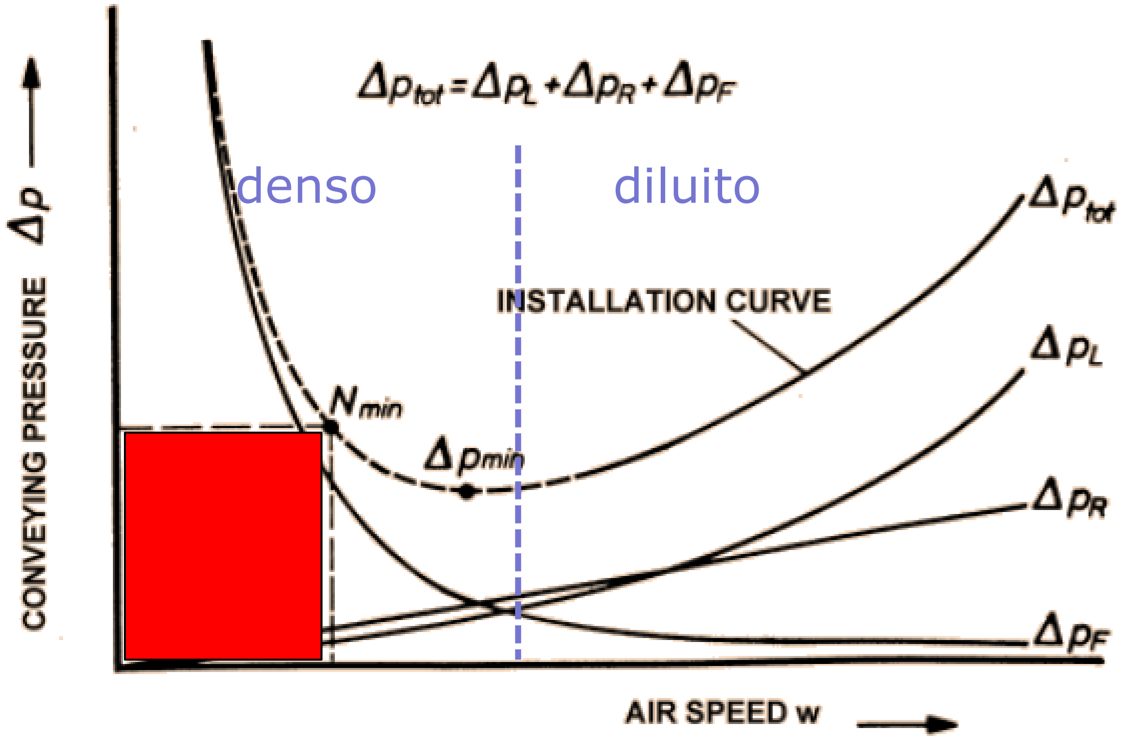




Perdite di carico

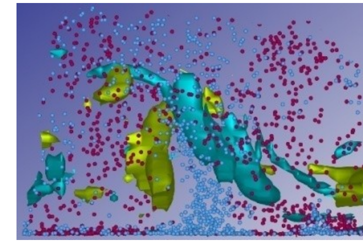
ΔP_{TOT} dipende da:

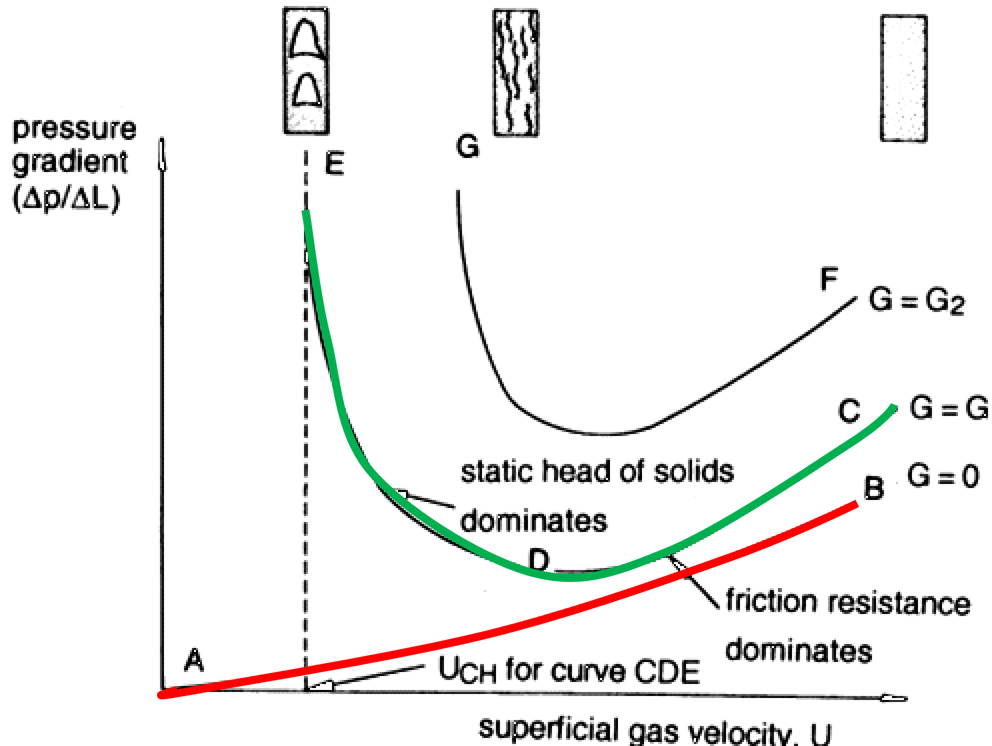
- Gas friction ΔP_L
- Solid acceleration ΔP_R
- Blocking forces ΔP_F



$P = Q \bullet \Delta P_{TOT} \sim w^3$

Perdite di carico: tubo verticale





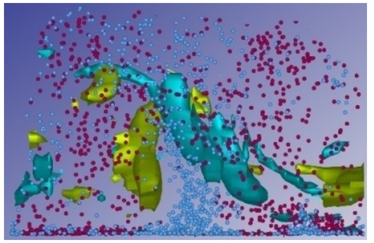
Solo gas

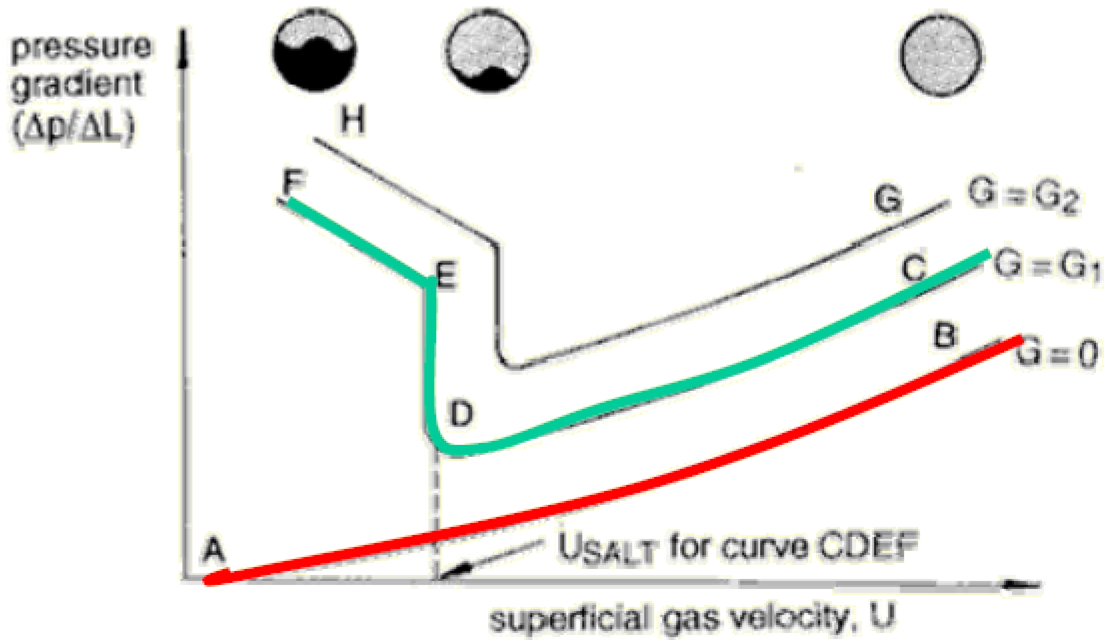
Gas + solido

G=portata solido

U_{ch}= velocità di choking

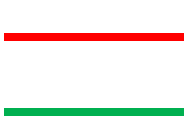
Perdite di carico: tubo orizzontale



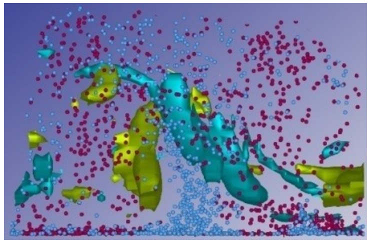


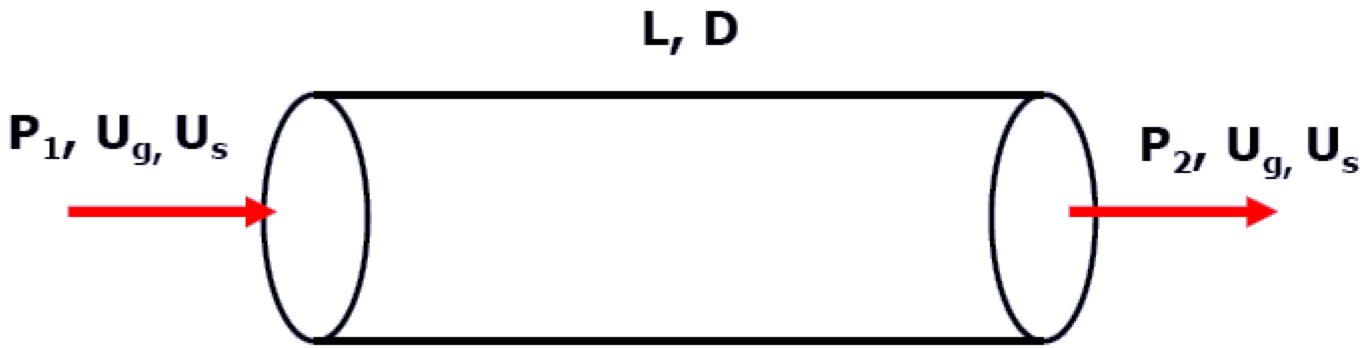
G=portata solido

U_{salt}= velocità minima che impedisce deposizione



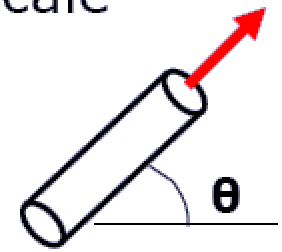
Calcolo delle perdite di carico





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

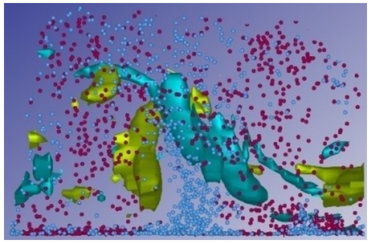
$(+\Delta P_{grav,s} + \Delta P_{grav,gas})$ in tubo verticale



U_g, velocità superficiale gas

U_s, velocità superficiale fase solida

Calcolo delle perdite di carico



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)

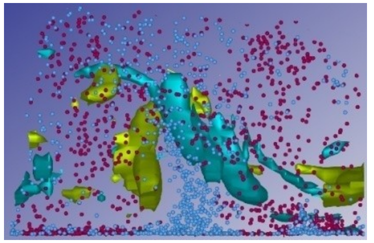
$Z = w_s/w_g = 1/10^{\delta}\, Fr^{x}$

$\delta = 1.44\, D_p + 1.96$

$X = 1.1\, D_p + 2.5$ (D_p in mm) $U_g > U_{g,salt}$!!!!

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

Calcolo delle perdite di carico



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

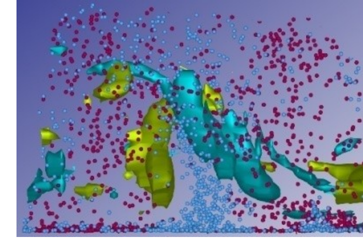
$\varepsilon_p = (1-\varepsilon) = Q_p/(Q_p+Q_g)$ frazione volumetrica particelle

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

Calcolo delle perdite di carico



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

Accellerazione gas e solido

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

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

Attrito alla parete

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

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

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

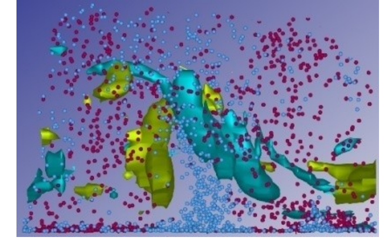
$\Delta P_{p,att} = f_s\ Z\ L/(2D)\ \rho_g\ U_{g,eff}^2$ particle-wall friction

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

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

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

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



Calcolo delle perdite di carico

7. Modifiche per tubo verticale

Accellerazione gas e solido

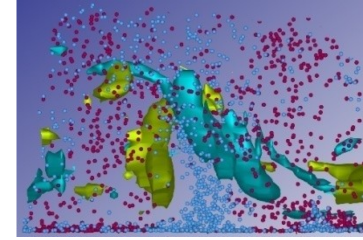
$\Delta P_{grav,gas} = \varepsilon\ \rho_g\ L \sin\theta$ perdite di carico per sollevamento gas

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

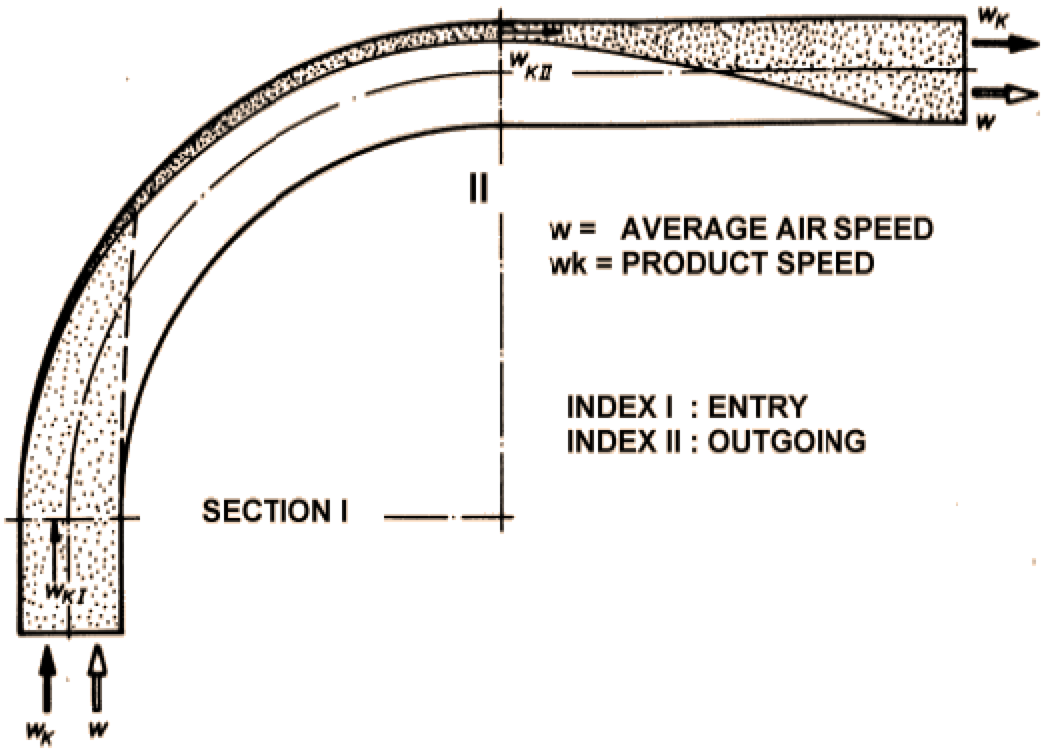
In genere:

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

N.B. Errore su U_{salt} da relazioni empiriche ~ 50% → sovrastima conservativa per U_g per evitare fermi impianto.



Calcolo delle perdite di carico: curve

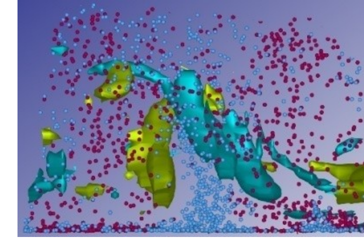


Problemi:

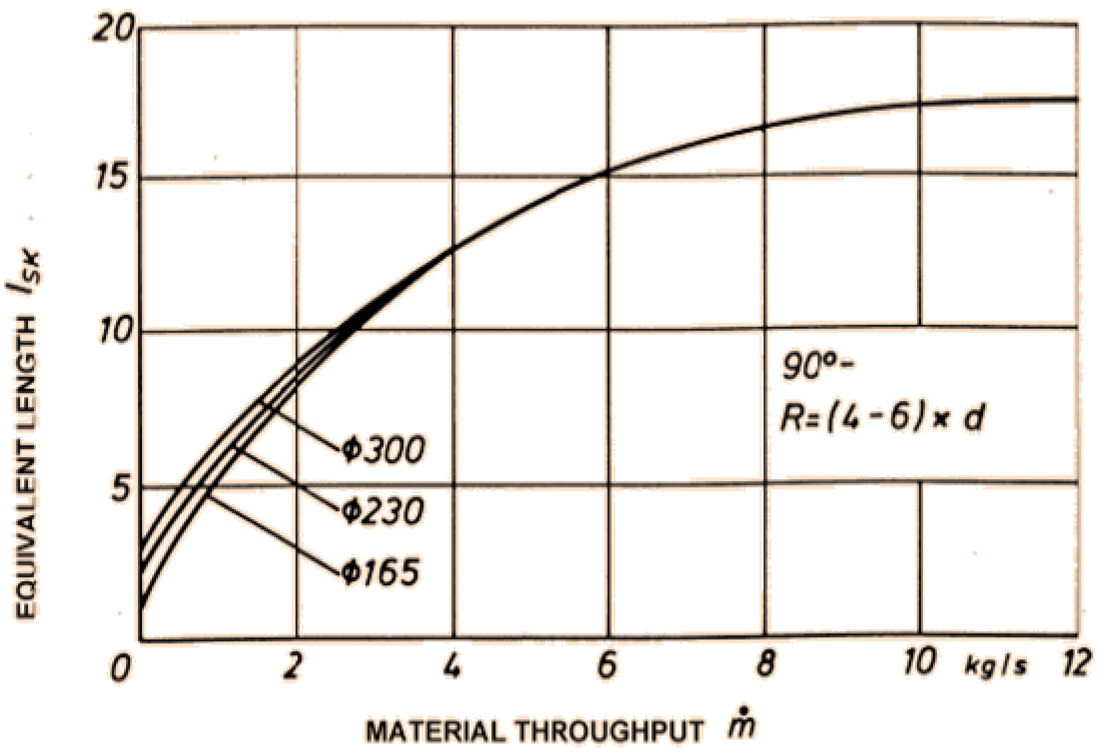
Erosione, perdite di carico aggiuntive,

→Minimizzare le curve

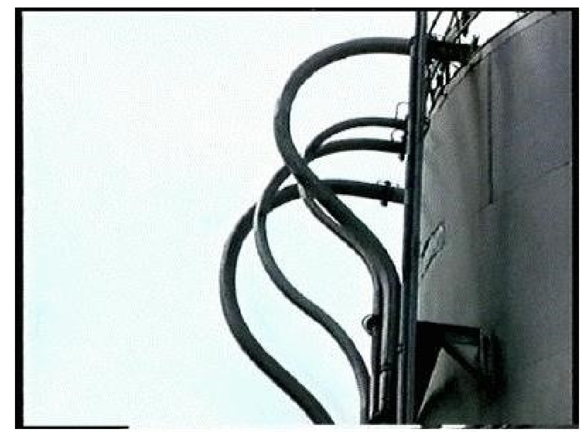
→Arrotondarle



Calcolo delle perdite di carico: bend



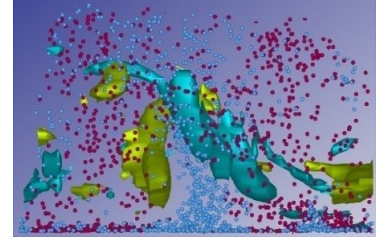
Lunghezze equivalenti di tubo



R: curvatura

D: diametro tubo

$$\Delta P_{Bend} = 2\ f\ Lsk/D\ \rho\ w^2$$



References

http://www.erpt.org/retiredsite/014Q/rhoe-00.html

Introduction to the Theoretical and Practical Principles of Pneumatic Conveying
SCOTT NEIDIGH, *Neuero Corporation, West Chicago, IL, USA*

Coulson & Richardson, Chemical Engineering