

Fig. 29.4 - Velocità medie dell'aria e rapporti aria/materiale in funzione del peso specifico apparente dei materiali da trasportare.

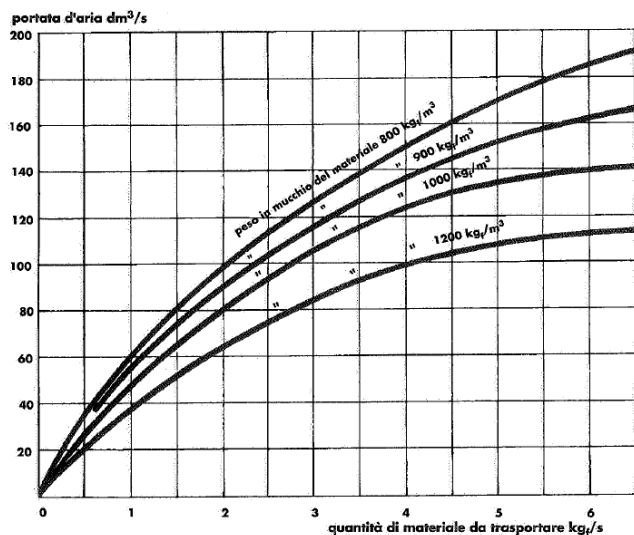


Fig. 29.5 - Portate d'aria occorrenti in funzione del peso specifico apparente e delle portate di materiale da trasportare.

Tabella 29.I - Valori della velocità dell'aria (in m/s) in funzione del diametro dei condotti e del peso specifico del materiale.

Peso specifico del materiale		Diametro del condotto (mm)						
kg/m³	Materiali campione	30	50	100	120	140	160	200
100÷400	crusca, colla, segatura	15	17	18	19	20	21	23
400÷600	farina, polveri	16	18	20	21	23	25	28
600÷700	semoia, farine	17	19	21	23	25	27	30
700÷800	frumento, zuccheri	18	20	22	24	27	29	32

210 mm

Tabella 29.II - Valori di v e di r_p per il trasporto pneumatico in pressione di alcuni materiali sciolti.

Materiale	Peso specifico apparente (kg/m³)	Granulometria (mm)	Velocità minima dell'aria nei condotti (m/s)		Valore massimo del rapporto r_p	
			orizzontali	verticali	orizzontali	verticali
Carbone	720	≤ 12	12	15	10	13
Carbone	720	≤ 6	9	12	13	20
Grano	750	≤ 5	9	12	20	26
Cubi di polietilene	480	≤ 3	9	12	20	26

Tabella 29.III - Valori della velocità e del rapporto dei pesi materiale/aria per il trasporto pneumatico in pressione di materiali fluidizzabili.

Materiale	Peso specifico apparente (kg/m³)	Velocità min dell'aria nei condotti (m/s)		Valore max del rapporto r_p (dm³/kg)	
		orizzontali	verticali	orizzontali	verticali
Cemento	1050÷1440	1,5	8	130	800
Farina	560	1,5	5	65	200
Carbone in polvere	720	1,5	5	90	250
Ceneri in polvere	720	1,5	5	130	400
Bentonite	770÷1040	1,5	8	130	400
Fluorite	1760	3,0	9	130	500
Fosfato minerale	1280	3,0	9	90	250
Farina fossile	1050	1,5	8	65	400
Solfato di sodio	1280÷1450	3,0	12	65	200
Perborato di sodio	860	3,0	9	40	130
Bauxite	1440	1,5	8	110	500
Allumina	930	1,5	8	85	400
Tripoli	240	1,5	8	25	130
Magnesite	1600	3,0	9	130	400

Tabella 29.IV - Valori di r_v e di v adottati per la progettazione di impianti di trasporto pneumatico.

Materiale	Peso specifico apparente kg/m³	Rapporto dei volumi r_v	Velocità dell'aria m/s
Terra argillosa	1000	36	8-13
Amido (22% H ₂ O)	600	32	11
Amido (22% H ₂ O)	240	29	10
Perborato di Na	1000	41	11
Pigmenti coloranti	500	53	8-21
Pigmenti coloranti	680	18	7
PVC - E	390	40	21
PVC - S	500	25	21
Zuccheri	900	60	14
Colla di urea	650	60	21
Farina di chamotte	1200	30	13
Sale	1000	27	17
Perlite	280	5	5
Farina ossea	700	17	6
Cacao (10% di grasso)	300	19	5
Cacao (20% di grasso)	300	16	5
Polvere detersiva	400	19	3

Tabella 29.V – Perdite di carico (in kg/m²) in un impianto di trasporto pneumatico.

Perdite di carico dovute a	Aria	Materiale	Note
energia di avviamento	$h_{1A} = \gamma_a \frac{v^2}{2g}$ (fig. 29.6)	$h_{1M} = \frac{Q}{A} \frac{v^2}{2g}$ (fig. 29.6)	γ_a = peso specifico dell'aria (kg/m ³) v = velocità dell'aria (m/s) g = accelerazione di gravità (9,8 m/s ²) Q = kg/s di materiale trasportato A = m ² /s di aria necessaria per assicurare il trasporto.
ingresso nel circuito	$h_{2A} = 3 \div 4 h_{1A}$	$h_{2M} = 2 \div 3 h_{1M}$	Negli impianti funzionanti in depressione: $h_{2A} \approx 3h_{1A}$; $h_{2M} \approx 3h_{1M}$. Negli impianti funzionanti in pressione: $h_{2A} \approx 4h_{1A}$; $h_{2M} \approx 2h_{1M}$.
attrito nei condotti	$h_{3A} \approx 8,12 \cdot 10^{-4} \gamma_a^{0,55} \frac{v^2}{D^{1,3}} L$ (fig. 29.7)	$h_{3M} = 0,2 \operatorname{tg} \varphi \frac{Q}{A} L$	D = diametro di ciascun condotto (m) L = lunghezza di ciascun condotto (m) φ = angolo di scorrimento del materiale trasportato sul materiale costituenti i condotti (tab. 29.XI).
dislivelli	$h_{4A} = \gamma_a \cdot H$	$h_{4M} = \frac{Q}{A} H$	H = dislivello da superare (m).
resistenze accidentali	$h_{5A} = j \gamma_a \frac{v^2}{2g}$ (fig. 29.6)	$h_{5M} = h_{5A} \cdot r_p$ essendo $r_p = \frac{Q}{\gamma_a \cdot A}$	$j = 0,1 \div 0,3 \left(\frac{S_2}{S_1} - 1 \right)^2$ nel caso di aumenti di sezione raccordati (angoli compresi fra 5° e 15°). $j = 0,1 \div 0,3 \left(\frac{S_2}{S_3} - 1 \right)^2$ nel caso di diminuzioni di sezione raccordate (angoli compresi fra 5° e 15°). $j = 0,13 + 0,16 \left(\frac{D}{R} \right)^{3,5}$ nel caso di curve con ampi raggi di curvatura (fig. 29.8e): v. tab. 29.X. $j = 1$ nel caso di riunione o divisione di due condotti secondo la fig. 29.8f. Nel caso di riunione o divisione di due condotti secondo la fig. 29.8g: – per il condotto deviato (di diametro D_1): $j = 1,5$; – per il condotto non deviato (di diametro D_2): $j = 1; 0,7; 0,4; 0,2; 0$ a seconda che $D_2 = D_1$; $> D_1$; $> 2 D_1$; $> 3 D_1$; $> 4 D_1$.
ciclone	$h_{6A} \approx 10 \gamma_a \frac{v^2}{2g}$ (fig. 29.6)	–	
filtro	h_{7A} : v. indicazioni ditte costruttrici	–	

Moltiplicando tutto per g ottengo le perdite in R

Tabella 29.VI – Valori del peso specifico dell'aria (kg/m³) in funzione della temperatura, alla pressione di 1 bar.

°C	γ aria	
	secca	saturo
– 10	1,342	1,341
– 5	1,317	1,315
0	1,293	1,290
+ 5	1,270	1,266
+ 10	1,248	1,242
+ 15	1,226	1,218
+ 20	1,205	1,195
+ 25	1,185	1,171
+ 30	1,165	1,146
+ 35	1,146	1,121
+ 40	1,128	1,097
+ 50	1,093	1,070
+ 60	1,060	0,981
+ 70	1,029	0,909
+ 80	1,000	0,823
+ 90	0,973	0,718
+ 100	0,947	0,589
+ 125	0,887	–
+ 150	0,835	–
+ 175	0,788	–
+ 200	0,746	–

perdita di carico per metro di condotto ($1 \text{ kg}_f/\text{m}^2 = 9,81 \text{ Pa}$)
 $(\text{kg}_f/\text{m}^2)/\text{m}$

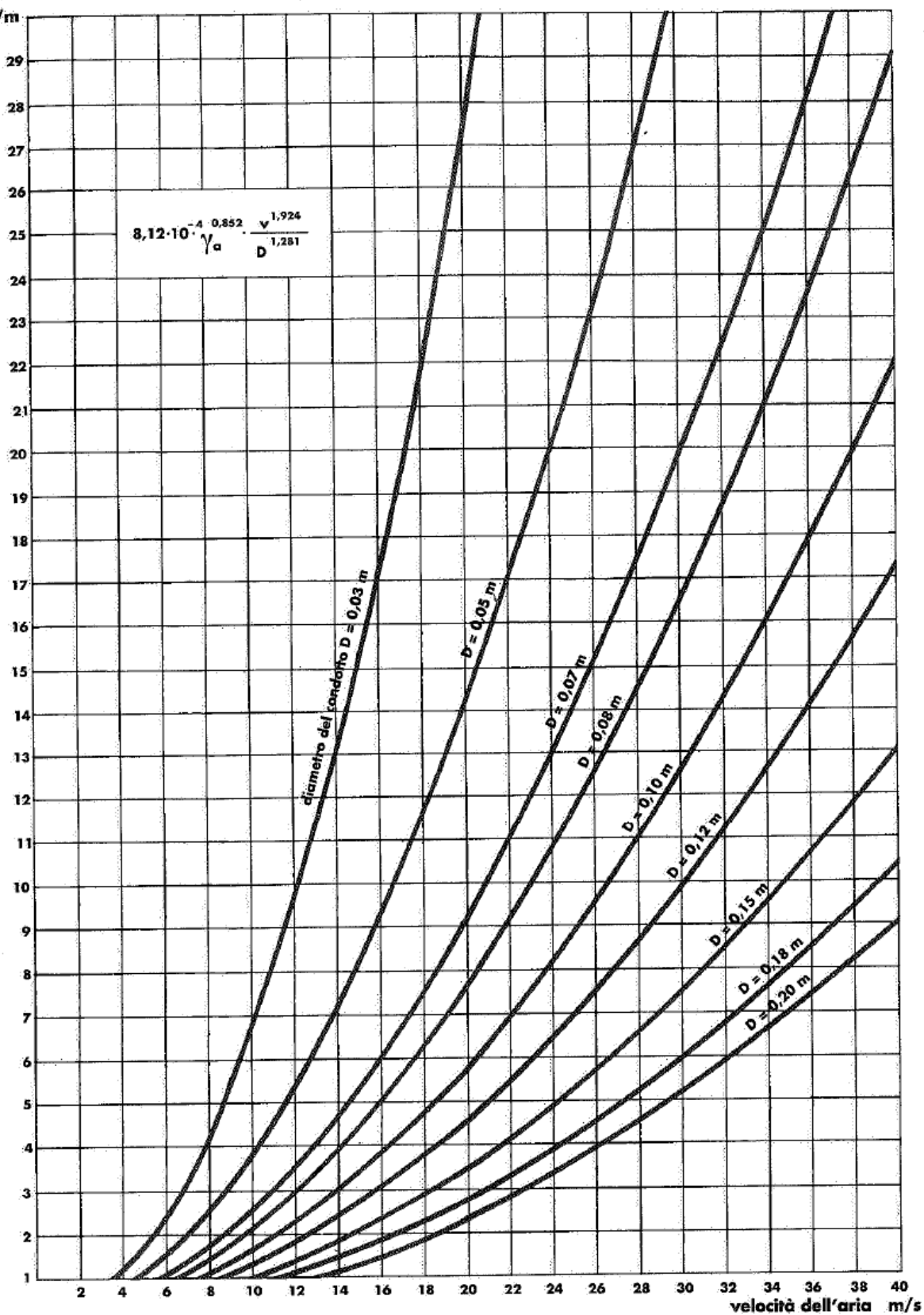


Fig. 29.7 – Perdita di carico per attrito dell'aria in un metro di condotto lineare in funzione della velocità dell'aria e del diametro del condotto e per aria alla temperatura di 20°C, alla pressione di 1 bar e ad un grado medio di umidità (60% di umidità relativa).

kg_f/m^2

Fig. 29.6 – Perdita di carico per il movimento dell'aria nei condotti in funzione della velocità e del peso specifico dell'aria secca alla pressione di 1 bar. Si noti che alla temperatura di 80°C risulta $\gamma_a = 1$ per cui la curva relativa fornisce i valori di $v^2/2g$.

Allargamenti di sezione

a) Diagram of a flange connection between two pipes.

b) Diagram of a conical transition fitting connecting two pipes.

Deviazioni

Diagram illustrating bends in piping with radius R and angle α.

Angolo di raccordo α	Rapporto dei diametri d:D				
	≈ 0	0,3	0,5	0,7	0,8
brusco) a)	50 D	40 D	25 D	16 D	10 D
40°)	45 D	25 D	6,5 D	4 D	2 D
30°) b)	40 D	20 D	5 D	3 D	1 D
20°)	35 D	14 D	3,5 D	2 D	0,5 D
10°)	25 D	7 D	1,8 D	1 D	0,5 D

Angolo α	Raggi di raccordo		
	R ≈ D	R ≈ 3 D	R ≈ 5 D
20°	0,5 D	0,3 D	0,1 D
40°	2 D	1,4 D	0,7 D
45°	3 D	1,8 D	0,9 D
60°	6 D	3,7 D	1,8 D
80°	12 D	7,5 D	3,8 D
90°	15 D	10 D	5 D

Restringimenti di sezione

Diagram of a tapered section reducing from diameter D to d at angle α.

Angolo di raccordo α	Rapporto dei diametri d:D					
	≈ 0	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8
brusco	25 D	24 D	17 D	13 D	10 D	6 D
40°	20 D	14 D	5 D	4,5 D	4 D	2 D
30°	15 D	12 D	4 D	3,5 D	3 D	1 D
20°	12 D	8 D	3 D	2,5 D	2 D	0,5 D
10°	10 D	4 D	2 D	1,5 D	1 D	0,5 D

Innesti A Y con α = 15°÷30°

Diagram of a Y-junction with branch diameter d and main pipe diameter D.

D : d :: 1,5 d	25 D
D = 1,5 d ÷ 2 d	22 D
D = 2 d ÷ 3 d	20 D
D > 4 d	15 D

SARACINESCHE

Apertura	1/8 D	2/8 D	3/8 D	4/8 D	5/8 D	6/8 D	7/8 D
Lunghezza equivalente	4000 D	800 D	220 D	100 D	40 D	13 D	3,5 D

SUCCHIANTI

Si considerino lunghezze di 40 D e velocità doppie rispetto alla tubazione normale.

Tabella 29.IX – Valori del coefficiente j nel caso di bruschi cambiamenti di direzione del condotto (fig. 29.8d).

$\alpha =$	20°	40°	60°	80°	90°
$j \approx$	0,03	0,14	0,36	0,74	0,98

Tabella 29.X – Valori del coefficiente j nel caso di cambiamenti di direzione dei condotti raccordati e per $\alpha = 90^\circ$ (fig. 29.8e).

$\frac{D}{R} =$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,00
$j \approx$	0,13	0,14	0,16	0,20	0,29

Tabella 29.XI – Pesì specifici assoluti e apparenti, angoli di attrito naturale e di scorrimento di alcuni materiali.

Materiale	Peso specifico		Angolo di attrito		tg φ	0,2 tg φ (valori arrotondati)
	assoluto kg _f /m ³ (¹)	apparente kg _f /m ³ (²)	naturale φ (³)	contro superfici in acciaio φ (⁴)		
Farina di frumento		580÷720	35°	25°÷29°	0,47÷0,55	0,09÷0,11
Frumento		750÷780	28°÷34°	20°÷28°	0,36÷0,53	0,08÷0,11
Amido in grani		650	30°	24°	0,44	0,9
Amido in polvere		500	40°÷50°	45°	1	0,2
Bentonite in polvere	2.000	800	45°÷50°	42°	0,90	0,18
Cemento in polvere	2.000	1.400	40°÷44°	39°	0,80	0,16
Ceneri in polvere		700÷900	43°÷48°	40°÷45°	0,84÷1	0,17÷0,20
Cioccolato in polvere		640		45°	1	0,2
Fosfato sodico in polv.	1.640	800÷900	47°	40°	0,84	0,17
Fosfato sodico in grani	1.640	960	32°	26°	0,49	0,1
Fosfato monocalcico	2.300	980	45°	40°	0,84	0,17
Sabbia asciutta		1.600	35°÷40°	35°	0,70	0,15
Argilla	2.000	1.800	40°÷48°	40°	0,84	0,17
Zucchero	1.600	700	50°	45°	1	0,2

(¹) Peso dell'unità di volume di materiale.

(²) Peso del materiale in mucchio.

(³) Pendenza naturale del materiale in mucchio: angolo che si forma fra il piano di posa (orizzontale) e la superficie limite di un mucchio di materiale quando questo è versato dall'alto e può scorrere sul mucchio stesso.

(⁴) Angolo di scorrimento del materiale su una superficie in acciaio (tubazioni degli impianti di trasporto pneumatico).

N.B. - E' consigliabile che sia i valori qui riportati sia quelli forniti da altri Autori, vengano di volta in volta verificati per il materiale da trasportare.