

Calcolo delle Condotte d'Aria

Marco Manzan

Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

aprile 2021

Condotte d'aria

Concetti base

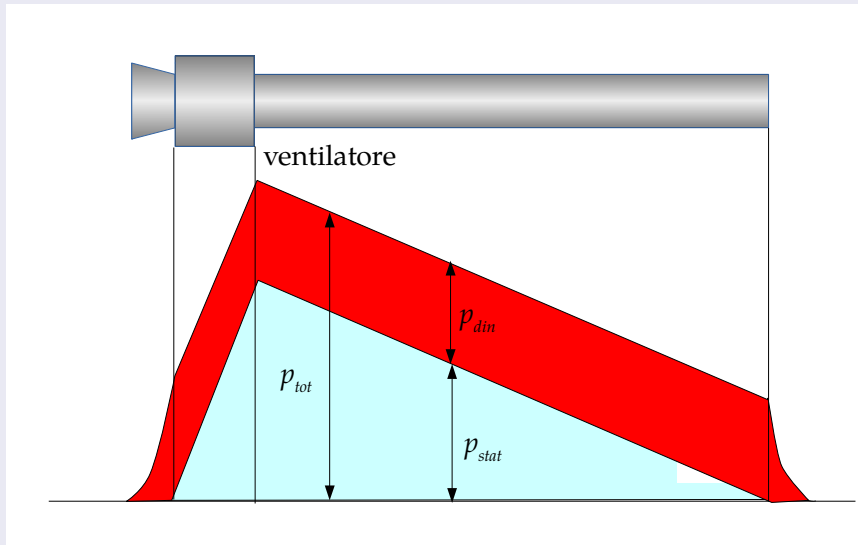
- A sezione costante a tratti (i cambi di sezione sono localizzati).
- Costituite da diversi rami, con diramazioni e confluenze che portano variazioni di portata.
- La velocità dell'aria nei condotti deve essere scelta in funzione dell'utilizzo dell'impianto e della posizione delle condotte al fine di limitare la rumorosità degli impianti
- La velocità è anche importante perché determina la distribuzione delle pressioni all'interno delle condotte.
- Nelle confluenze e nelle diramazioni tutti i rami hanno lo stesso valore di pressione statica.

Pressione dinamica e totale

$$P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2 > 0 \text{ [Pa]}$$

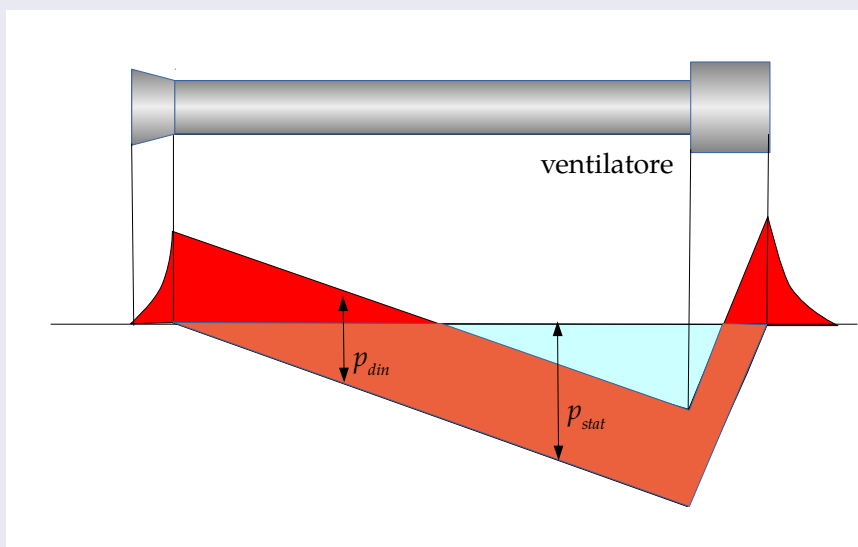
$$P_{tot} = P_{dyn} + P_{stat}$$

Andamento delle pressioni in un condotto

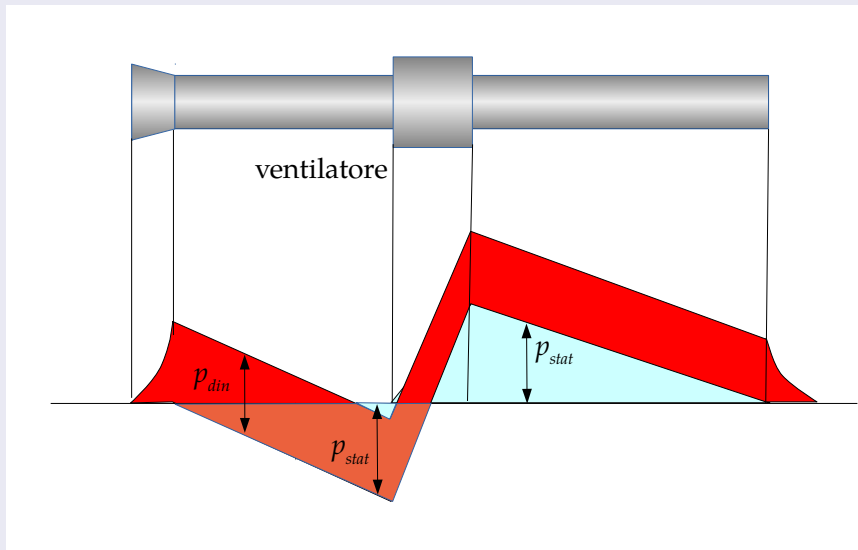


Pressioni e ventilatori

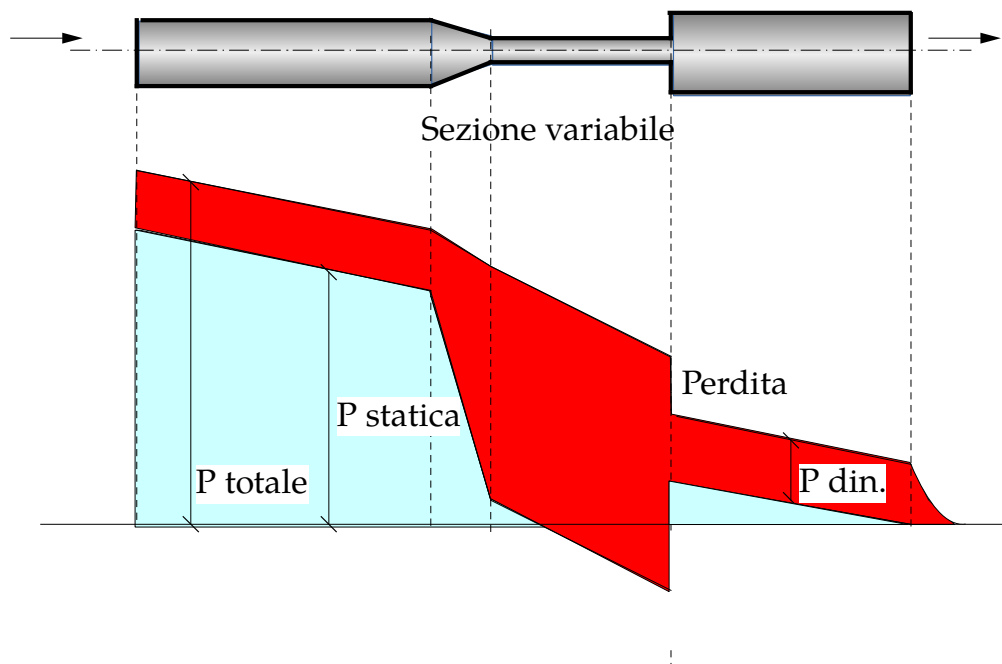
aspirante



ventilatore intermedio



Sezione variabile



Velocità dell'aria nelle condotte

Componente	Impianti		
	residenziali (m/s)	commerciali (m/s)	industriali (m/s)
Prese aria esterna	2,5-4,0	2,5-4,5	2,5-6,0
Filtri	1,3-1,5	1,5-1,8	1,8-2,5
Batterie fredde	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,8
Batterie calde	2,3-2,5	2,5-4,0	3,5-5,0
Ingresso ventilatore	3,5-4,5	4,0-5,0	5,0-7,0
Mandata ventilatore	5,8-8,5	6,5-11,0	8,0-14,0
Canali principali	3,5-6,0	5,0-8,0	6,0-11,0
Canali derivati	3,0-5,0	3,0-6,5	4,5-9,0

Calcolo delle perdite di carico

Perdite distribuite

$$\Delta P_{dist} = \frac{f_a}{D_h} \rho \frac{v^2}{2} L = \frac{f}{D} P_{dyn} L$$

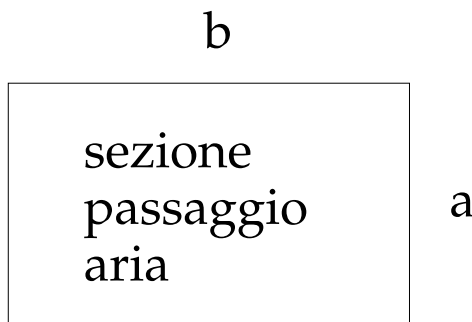
f_a fattore d'attrito

ρ densità del fluido

L è la lunghezza del condotto

D_h diametro del condotto se circolare

Sezione rettangolare



Diametro equivalente

$$D_{eq} = 1,3 \frac{(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}}$$

$$1 \leq \frac{b}{a} \leq 4$$



Condotte dimensioni normalizzate

lunghezza del lato [mm]	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200
200	0,02	0,03	0,04								
	133	171	200								
	149	186	218								
	0,6	0,7	0,8								
250	0,025	0,038	0,05	0,063							
	143	188	222	250							
	165	206	241	273							
	0,7	0,8	0,9	1							
300	0,03	0,045	0,06	0,075	0,09						
	150	200	240	273	300						
	180	224	262	296	327						
	0,3	0,9	1	1,1	1,2						
400	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16					
	160	218	267	308	343	400					
	205	255	299	337	373	436					
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6					
500	0,075	0,1	0,13	0,15	0,2	0,25					
	231	286	333	375	444	500					
	283	331	374	413	483	545					
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2					
600	0,09	0,12	0,15	0,18	0,24	0,3	0,36				
	240	300	353	400	480	545	600				
	307	359	406	448	524	592	654				
	1,5	1,6	1,7	1,8	2	2,2	2,4				
800	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,48	0,64				
	320	381	436	533	615	686	800				
	410	463	511	598	675	745	872				
	2	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2				

lunghezza del lato [mm]	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200
1000				0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	
				400	462	571	667	750	889	1000	
				512	566	662	747	825	965	1090	
				2,5	2,6	2,8	3	3,2	3,6	4	
1200				0,36	0,48	0,6	0,72	0,96	1,2	1,44	
				480	600	706	800	960	1091	1200	
				614	719	812	896	1049	1184	1308	
				3	3,2	3,4	3,6	4	4,4	4,8	
1400				0,56	0,7	0,84	1,12	1,4	1,68		
				622	737	840	1018	1167	1292		
				771	871	962	1125	1270	1403		
				3,6	3,8	4	4,4	4,8	5,2		
1600				0,64	0,8	0,96	1,28	1,6	1,92		
				640	762	873	1067	1231	1371		
				819	925	1022	1195	1350	1491		
				4	4,2	4,4	4,8	5,2	5,6		
1800				0,9	1,08	1,44	1,8	2,16			
				783	900	1108	1286	1440			
				976	1078	1261	1424	1573			
				4,6	4,8	5,2	5,6	6			
2000				1	1,2	1,6	2	2,4			
				800	923	1143	1333	1500			
				1024	1131	1323	1494	1650			
				5	5,2	5,6	6	6,4			



Calcolo del fattore d'attrito

Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f_a}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f_a}} \right)$$

Atshul e Tsaal

$$f' = 0,11 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

se $f' \geq 0,018$: $f_a = f'$
se $f' < 0,018$: $f_a = 0,85 \cdot f' + 0,0028$

ε rugosità del condotto

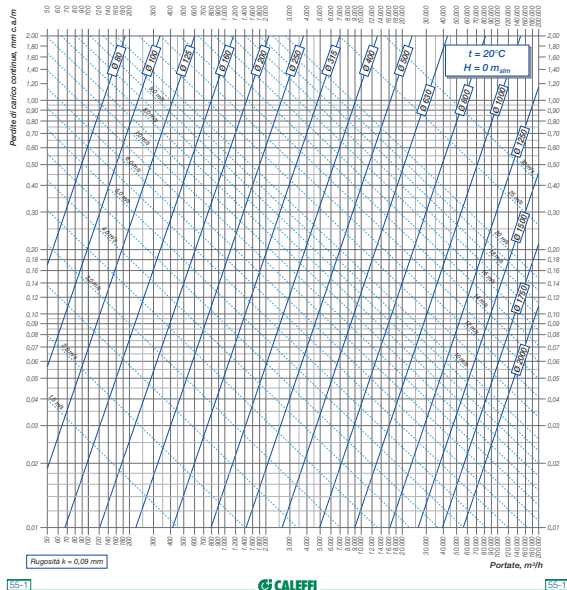
Re numero di Reynolds

rugosità

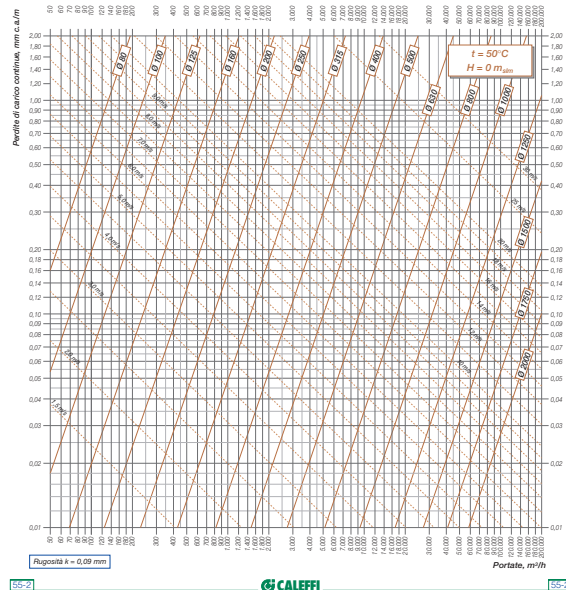
tipologia	tipologia	rugosità ε [mm]
PVC		0,01-0,05
Alluminio	liscio	0,01-0,05
Acciaio non rivestito		0,05
lamiera zincata		0,05-0,10
lamiera zincata continuo	medio	0,06 - 0,12
lamiera zincata spirale		0,09 - 0,12
flessibile metallico		1,2-2,1
flessibile non metallico	rugoso	1,0-4,6

Diagrammi di scelta

Perdite di carico continue dell'aria – CONDOTTI CIRCOLARI "LISCI" – $t = 20^\circ\text{C}$, $H = 0 \text{ m}_{\text{sm}}$



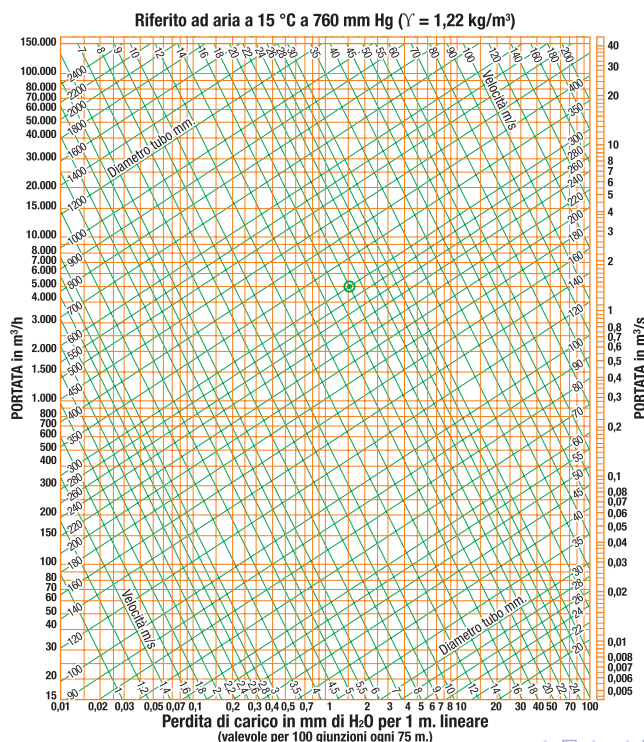
Perdite di carico continue dell'aria – CONDOTTI CIRCOLARI "LISCI" – $t = 50^\circ\text{C}$, $H = 0 \text{ m}_{\text{sm}}$



fonte Caleffi

Diagramma di scelta

> Diagramma perdite di carico <



Materializzazione	Materializzazione	0,90	0,80	0,75	0,65
molto liscio	vetro	0,90	0,80	0,75	0,65
mediamente liscio	P.V.C.	0,95	0,90	0,85	0,80
mediamente ruvido	Francobeton	1,05	1,00	1,00	1,00

di pressione di $1,6 \text{ mm H}_2\text{O}$ per 1 m .
 Se il canale anziché di lamiera zincata è di Eternit, la
 perdita di carico $1,6 \text{ mm H}_2\text{O}$ per 1 m è di $1,0 \text{ mm H}_2\text{O}$ net.

Perdite concentrate

Metodo diretto

$$\Delta P_{conc} = \xi \frac{\rho v^2}{2} [Pa]$$

$$\Delta P_{conc} = \xi_1 \frac{\rho v_1^2}{2} = \xi_2 \frac{\rho v_2^2}{2}$$

lunghezze equivalenti

$$L_{eq} = f \left(\frac{L}{D} \right)$$

$$L_{tot} = L_{effettiva} + \sum L_{eq}$$



Perdite concentrate

> Tabella resistenze accidentali <

Canali rettangolari - valori indicativi dei coefficienti ξ - derivazioni e confluenze

<p>Derivazioni a 90°</p> <p>$\xi_p = 0.2$ $\xi_s = 0.2$ $\xi_p = 1.3$</p>	<p>Derivazioni a 30°, 45° e 60°</p> <p>$\xi_p = 0.2$ $\xi_s = 0.4$ $\xi_p = 0.7$ $\xi_s = 0.9$</p>
<p>Derivazioni con riduzione a 90°</p> <p>$\xi_p = 0.1$ $\xi_s = 0.4$ $\xi_p = 1.3$</p>	<p>Derivazioni con riduzione a 30°, 45° e 60°</p> <p>$\xi_p = 0.4$ $\xi_s = 0.4$ $\xi_p = 0.4$ $\xi_s = 0.9$</p>
<p>Derivazione a doppia curva</p> <p>$\xi_p = 0.2$ $\xi_s = 1.0$ $\xi_p = 0.3$ $\xi_s = 0.1$ $\xi_p = 2.00$ $\xi_s = 0.1$</p>	<p>Confluenze a doppia curva</p> <p>$\xi_p = 0.50$ $\xi_s = 1.0$ $\xi_p = 0.2$ $\xi_s = 0.1$ $\xi_p = 2.00$ $\xi_s = 0.1$</p>
<p>Derivazione ad Y</p> <p>$\xi_p = 0.3$ $\xi_s = 0.7$ $\xi_p = 1.0$</p>	<p>Confluenze a Y</p> <p>$\xi_p = 0.3$ $\xi_s = 0.6$ $\xi_p = 0.3$ $\xi_s = 0.9$</p>
<p>Derivazione a T</p> <p>$\xi_p = 1.4$</p>	<p>Confluenze a T</p> <p>$\xi_p = 1.3$</p>

Pressione dinamica $pd = \frac{\gamma C^2}{2g}$ Per $\frac{\gamma}{g} = 1,22 \frac{kg}{m^3}$
 $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

Perdite accidentali $\Delta p = K \times pd$ (pd riferita alla velocità nel punto →)

	C	pd
	m/s	mm H ₂ O
4	1	
5	1.6	
6	2.2	
7	3	
8	4	
9	5	
10	6	
12	9	
14	12	
16	16	
18	20	
20	25	
22	30	
24	36	
26	42	
28	49	
30	56	
35	76	
40	100	
45	126	
50	155	
55	188	
60	224	
65	263	
70	305	
75	350	
80	398	
90	504	
100	622	

INGRESSO E SCARICO

CURVE

BIFORCAZIONI

CAMBIO DI SEZIONE

Tubazioni rettangolari - Diametri equivalenti a parità di Perdita per attrito e di Portata d'aria

b	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1200	1400	1600	1800	
150	210	230	245	260	275	290	300	310	320												
200	245	265	285	305	320	340	350	365	380	390	400	415									
250	275	300	325	345	365	380	400	415	430	445	455	470	480	495	505	520					
300		330	355	370	400	425	440	460	475	490	505	520	535	550	565	575	620				
350			380	410	435	455	475	495	515	535	550	565	580	600	615	625	680	725			
400				460	490	515	535	555	575	590	610	625	645	660	675	700	760	830	870		
450					490	520	545	565	590	610	630	650	670	685	705	720	780	835	885	935	
500						545	575	600	625	645	665	685	710	725	745	760	830	880	940	990	

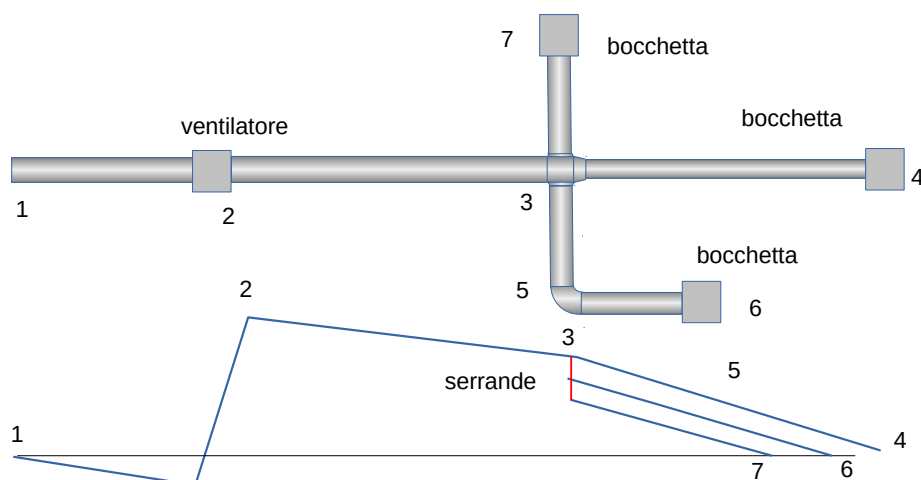
Esempio: La tubazione \varnothing 300 mm. per una portata di 5000 m³/h ha una perdita di carico di 1.6 mm. H₂O per metro. Per la medesima portata e uguale perdita di pressione si dovranno usare le seguenti tubazioni rettangolari: a x b = 150x550, 200x400, 250x300 mm.

Perdita di carico uniforme

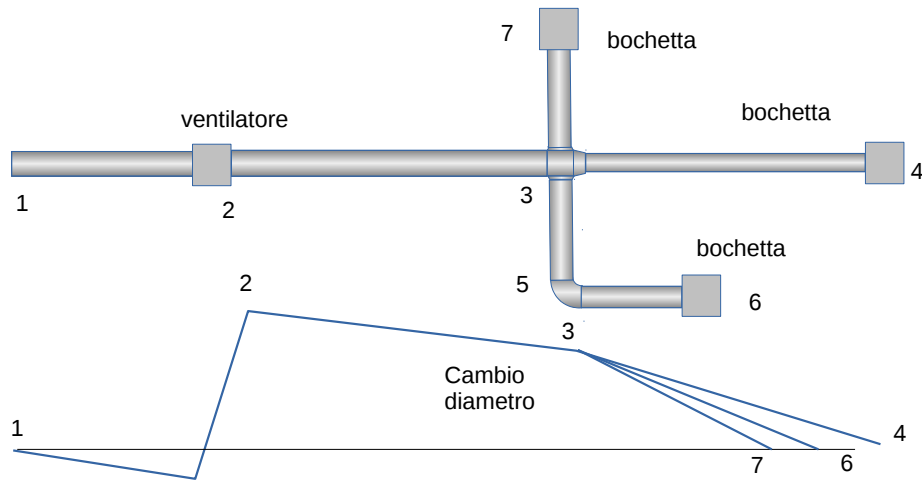
- metodo semplice e veloce
- ideale per sistemi simmetrici con simili distanze tra bocchette e ventilatori
- i canali vengono dimensionati con la stessa perdita di carico per unità di lunghezza
- si deve controllare che la pressione alle bocchette sia sufficiente
- devono essere bilanciati
 - cambio di dimensioni
 - inserimento di serrande

perdita di carico uniforme

bilanciamento con serrande



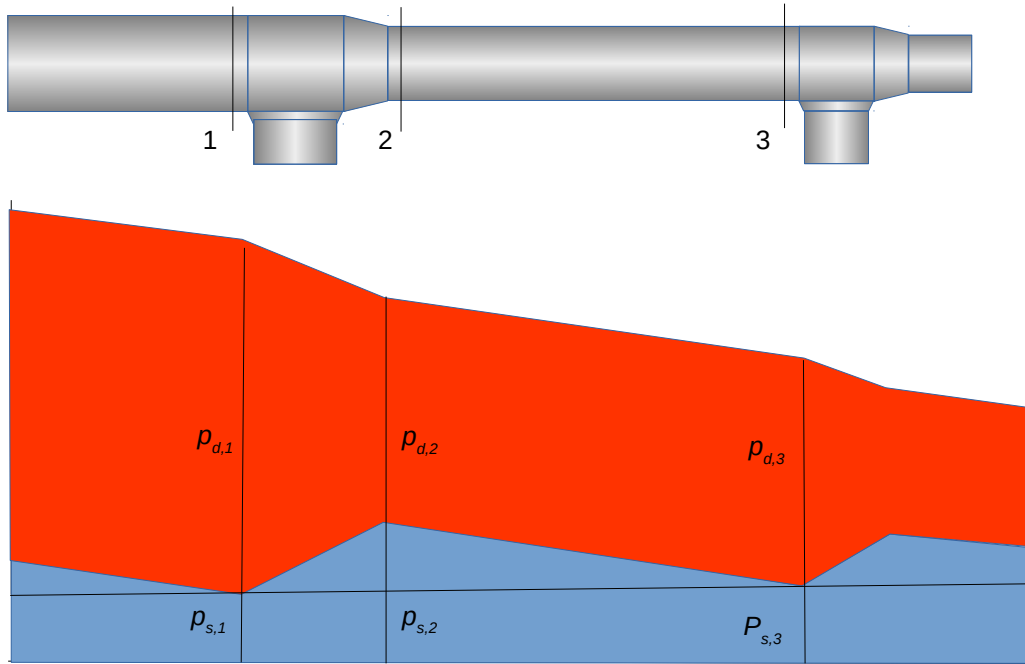
bilanciamento con riduzione di diametro



bilanciamento

metodo del recupero della pressione statica

- ad ogni variazione di sezione si fa in modo da trasformare la pressione dinamica in statica
- si recupera il valore di P_{stat} all'inizio del tratto
- si cerca di mantenere una pressione statica uniforme
- posso assumerlo basso, basse pressioni alle pareti
- soluzione iterativa
- rete più bilanciata



determinazione delle dimensioni

pressioni

$$p_{t,1} = p_{s,1} + p_{d,1}$$

$$p_{t,3} = p_{s,3} + p_{d,3}$$

evidenziando la pressione statica

$$p_{s,1} = p_{t,1} - p_{d,1}$$

$$p_{s,3} = p_{t,3} - p_{d,3}$$

uguaglianza delle pressioni

$$p_{s,1} - p_{s,3} = p_{t,1} - p_{t,3} - (p_{d,1} - p_{d,3}) = 0$$

$$p_{s,1} - p_{s,3} = (p_{t,1} - p_{t,2}) + (p_{t,2} - p_{t,3}) - (p_{d,1} - p_{d,3}) = 0$$