



Informazioni generali



Lindab

1

Informazioni generali**2**

Safe

3

Silenziatori

4

Serrande e misuratori di portata

5

Cappelli da tetto

6

Altri prodotti per il circolare

7

Isol

8

Transfer

9

Accessori

10

Indice

11



Dimensioni

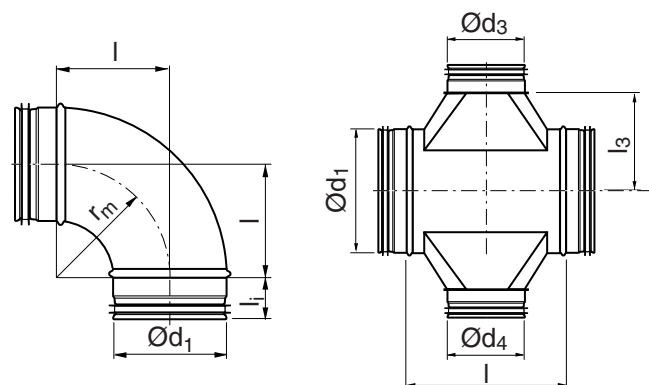
Quotature ed esempi

Le dimensioni dei tubi e dei pezzi speciali e le relative quotature sono adeguate agli standard CEN.

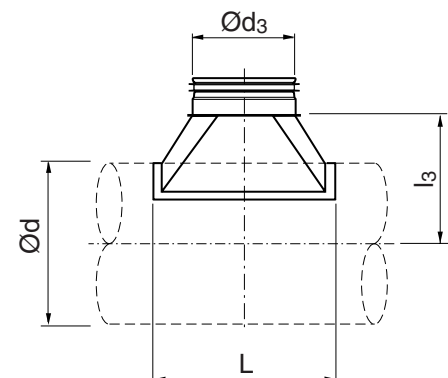
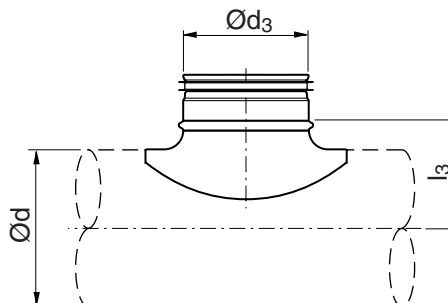
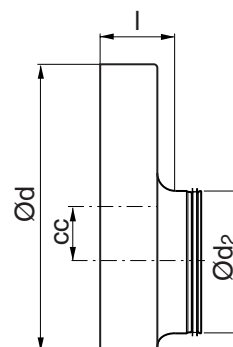
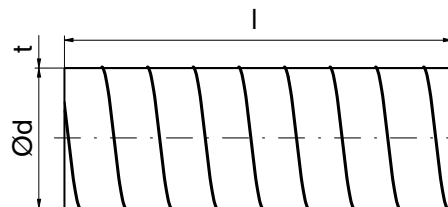
Le dimensioni sono in mm.

Gli angoli sono in gradi.

- Diametro nominale.....D
- Diametro nominale interno (femmina) Ød
- Diametro nominale esterno (maschio).... $\text{Ød}_1, \text{Ød}_2, \text{Ød}_3, \text{Ød}_4$
- Spessore del materiale..... t



- Lunghezza di montaggio..... l, l₁, l₂, l₃
- Raggio delle curve..... r_m
- Lunghezza della sovrapposizione l_i
- Eccentricità cc
- Lunghezza del particolare L
- Circonferenza O
- Sezione..... A
- Peso m
- Peso al metro lineare..... m_l

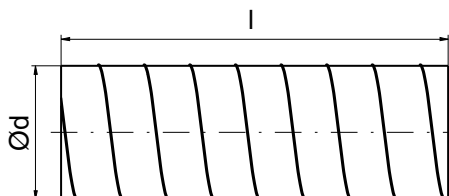




Tolleranze

In neretto sono evidenziate le dimensioni standard.
Le dimensioni intermedie sono scritte con il carattere normale.

Canale circolare



Conforme EN1506

Ød nom	Tolleranze(mm) min - max
80	80,0 - 80,5
100	100,0 - 100,5
125	125,0 - 125,5
150	150,0 - 150,6
160	160,0 - 160,6
180	180,0 - 180,7
200	200,0 - 200,7
250	250,0 - 250,8
300	300,0 - 300,9
315	315,0 - 315,9
355	355,0 - 356,0
400	400,0 - 401,0
450	450,0 - 451,1
500	500,0 - 501,1
560	560,0 - 561,2
600	600,0 - 601,2
630	630,0 - 631,2
710	710,0 - 711,6
800	800,0 - 801,6
900	900,0 - 902,0
1000	1000,0 - 1002,0
1120	1120,0 - 1122,5
1250	1250,0 - 1252,5
1400	1400,0 - 1402,8
1600	1600,0 - 1603,1

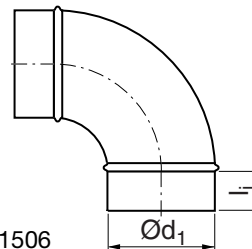
Lunghezze

Angoli

l, l ₁ , l ₃ , etc	Tolleranze
0-15	+0 -2
16-100	+0 -5
101-	+0 -10
L	±5

α	Tolleranze
	±2°

Raccordi



Conforme EN1506

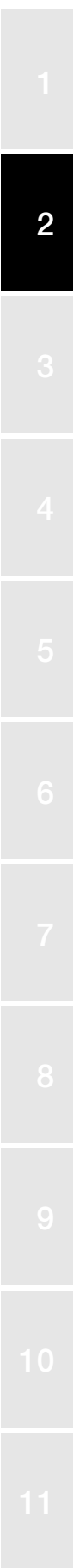
Ød ₁ , d ₂ , d ₃ , d ₄ nom	Tolleranze(mm) min - max	l _i nom
80	78,8 - 79,3	40
100	98,8 - 99,3	40
125	123,8 - 124,3	40
150	148,7 - 149,3	40
160	158,7 - 159,3	40
180	178,6 - 179,3	40
200	198,6 - 199,3	40
250	248,5 - 249,3	60
300	298,4 - 299,3	60
315	313,4 - 314,3	60
355	353,3 - 354,3	60
400	398,3 - 399,3	80
450	448,2 - 449,3	80
500	498,2 - 499,3	80
560	558,1 - 559,3	80
600	598,1 - 599,3	80
630	628,1 - 629,3	80
710	708,0 - 709,3	100
800	798,0 - 799,3	100
900	897,9 - 899,3	100
1000	997,9 - 999,3	120
1120	1117,8 - 1119,3	120
1250	1247,8 - 1249,3	120
1400	1397,3 - 1398,8	150
1600	1596,5 - 1598,2	150

Peso

±10%

Spessore del materiale

Spessore conforme a standard EN 10143:1993.





Materiale

Tipologia del materiale

Canali e raccordi della gamma standard Lindab sono realizzati in lamiera zincata a caldo con zincatura conforme alla norma Z 275.

Il trattamento Z 275 significa avere 275 g zinc/m² su entrambe le superfici della lamiera. Lo spessore può essere calcolato come mostrato in seguito:

$$\text{Spessore zincatura} = \frac{\text{Peso zincatura}}{\text{superfici} \times \text{densità zincatura}} =$$

$$= \frac{0,275}{2 \cdot 7140} \cdot 10^6 = 19 \mu\text{m}$$

Spessore del materiale

A richiesta può essere fornito materiale con spessori differenti dello standard, sottolineando che varieranno le misure nominali del canale e dei raccordi. Ad esempio, aumentare lo spessore del canale di 0,5 mm significa diminuire il diametro interno di 1,0 mm, di conseguenza i raccordi standard non potranno essere montati su questo canale e dovranno essere appositamente realizzati.

Materiali

- I seguenti materiali sono utilizzati per la gamma standard:
- Canali e raccordi fatti a mano sono in lamiera di acciaio EN 10142 – Fe PO2 G Z 275 MA–C.
- I raccordi stampati sono realizzati in lamiera di acciaio EN 10142 – Fe PO2 G Z 275 MA–C e EN 10142 – Fe PO6 G Z 275 MB–C

Altri materiali sono disponibili a richiesta, ad esempio:

- **Acciaio inox** del tipo EN 1.4436, AISI 316, EN 1.4301 o AISI 304. Alcuni raccordi che normalmente sono stampati devono essere realizzati a mano.
- **Alluminio** conforme ad ISO/DIS 209-1. Alcuni raccordi che normalmente sono stampati devono essere realizzati a mano.

• AglION™

I canali sono realizzati in lamiera di acciaio zincata Z 275, con un rivestimento in AglION™, **un composto a base di ioni d'argento che impedisce la proliferazione di batteri, muffe e funghi all'interno del sistema di ventilazione.**

Il rivestimento è disponibile sia per l'interno, sia per l'esterno del canale che per entrambe i lati per tutta la gamma Safe. Il sistema AglION™ è stato sottoposto a numerosi test ed è approvato per contatto alimentare e non-alimentare da numerose associazioni in Europa e Stati Uniti.

Per ulteriori informazioni contattare l'ufficio tecnico Lindab.

• Plastisol

I canali sono realizzati come standard in "Plastisol", ovvero in lamiera zincata a caldo del tipo Z 275, con un rivestimento interno ed esterno di polivinilcloruro (PVC) di spessore pari a 100 μm.

I raccordi sono realizzati, come standard, in lamiera zincata a caldo del tipo Z 275 e rivestiti internamente ed esternamente da una polvere composta da resina epossidica e poliestere (PE) fino a raggiungere uno spessore di 80 μm.

Il canali possono essere inoltre ricoperti su richiesta con un rivestimento in resina epossidica + PE. Questo trattamento può essere effettuato sia internamente che esternamente, oppure su un solo lato dal canale. Questo tipo di rivestimento elimina il rischio di differenti sfumature di colore tra i canali e i pezzi speciali.

I colori standard sono il bianco NCS S0502-Y 30 e il marrone NCS S7010-Y70R 45 secondo lo standard Gardner 60°.

ATTENZIONE! Per canali con diametro Ø < 100, la lunghezza massima per effettuare il rivestimento interno è 1,5 m.

Su richiesta i raccordi possono essere rivestiti solo sul lato interno o esterno.

Il rivestimento a polvere può essere realizzato su richiesta fino a spessori di 200 μm.

- **Aluzink** con trattamento superficiale AZ 185, che significa 185 g aluzink/m² su ambo le facce della lamiera. Alcuni raccordi che normalmente sono stampati devono essere realizzati a mano e saldati insieme.



Materiali

Temperature limite per i nostri materiali

Le caselle grigie rappresentano il materiale standard.

Prodotto	Materiale/tipo	Tipo di contatto			
		Continuo		Intermittente	
		Temperature limite			
		min °C	max °C	min °C	max °C
Pezzi stampati	Lamiera di acciaio galvanizzato		200 ¹		250 ²
	Alluminio		200 ³		300
	Acciaio inox		500		700
	Lamiera di acciaio rivestita con PVC		60		
	Prodotti rivestiti in resina epossidica e PE		60		
Giunzioni saldate, puntate e/o aggraffate	Aluzink		315		
	Mastice	-40	70		
Guarnizioni Safe e guarnizioni delle pale delle serrande	EPDM	-30	100	-50	120
	Silicone	-70	150	-90	200
Guarnizioni in gomma	EPDM	-30	100	-50	120
Guarnizioni in plastica	Poliestere	-40	70		
Boccola su cui è calettato l'albero della serranda per i modelli a portata costante	Poliammide	-30	150	-50	200
	Ottone		300		
	Teflon (PTFE)		150		200
Attuatore della serranda	Elettrico	-30	50		
	Pneumatico	-5	60		
Filtro per canale	Poliestere		120		
Scarico condensa	Vinil acetato di etilene e polietilene	-45	65		
Isolamento	Lana di vetro		200		
	Lana di roccia		700		
Silenziatori	Poliestere		130		180

¹ A 200 °C si ha una variazione di colore nell'acciaio galvanizzato. Questo è esclusivamente un problema estetico e non cambia la proprietà del materiale rispetto alla corrosione in un normale ambiente di lavoro.

² Se la temperatura sale fino a 300 °C, la zincatura si danneggia, diminuendo la resistenza alla corrosione del materiale.

³ La lamiera in alluminio si ammorbidisce dopo un paio di anni alla temperatura di 200 °C.



Il Sistema Internazionale di misura (SI)

Unità di misura

In questo catalogo viene utilizzato il sistema internazionale di misura. In alcune tabelle e diagrammi, in parallelo al Sistema Internazionale, sono presenti i dati in "Sistema Tecnico."

Alcune unità di misura fondamentali

Lunghezza	metro	m
Peso	chilogrammo	kg
Tempo	secondo	s
Intensità di corrente elettrica	ampere	A
Temperatura	kelvin	K

Alcune unità di misura derivate

Frequenza	hertz	Hz	1 Hz = 1/s
Forza	newton	N	1 N = 1 kg · m/s ²
Pressione, sforzo meccanico	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
Energia, lavoro	joule	J	1 J = 1 N · m
Potenza	watt	W	1 W = 1 J/s
Potenziale elettrico, tensione	volt	V	1 V = 1 W/A

Alcune unità di misura aggiuntive

Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	ora	h	1 h = 3 600 s = 60 min
Angolo	grado	°	1° = 1/360 of a circle
Volume	litro	l	1 l = 1 000 cm ³ = 1 dm ³

Moltiplicatori

Indice	Nome	Abbrev.	Esempio	
10 ¹²	tera	T	1 terajoule	1 TJ
10 ⁹	giga	G	1 gigawatt	1 GW
10 ⁶	mega	M	1 megavolt	1 MV
10 ³	kilo	k	1 chilometro	1 km
10 ²	hecto	h	1 ettogrammo	1 hg
10 ¹	deca	da	1 decalumen	1 dalm
10 ⁻¹	deci	d	1 decimetro	1 dm
10 ⁻²	centi	c	1 centimetro	1 cm
10 ⁻³	milli	m	1 milligrammo	1 mg
10 ⁻⁶	micro	μ	1 micrometro	1 μm
10 ⁻⁹	nano	n	1 nanohenry	1 nH
10 ⁻¹²	pico	p	1 picofarad	1 pF



Il Sistema Internazionale di misura (SI)

Fattori di conversione

Le tavole di conversione fornite prendono in considerazione alcune delle unità di misura comunemente utilizzate.

Pressione, p

Pa pascal N/m ²	mm wc mm Aq mm H ₂ O	mm Hg (a 20 °C)	in wg " wg in wc	psi(g) ibf/in ²	bar
1	0,102	0,007 53	0,004 02	0,000 145	0,000 010 0
9,79	1	0,073 7	0,039 4	0,001 42	0,000 097 9
133	13,6	1	0,534	0,019 3	0,001 33
249	25,4	1,87	1	0,036 1	0,002 49
6 895	704	51,9	27,7	1	0,068 9
100 000	10 215	753	402	14,5	1

Lunghezza, l

in pollice	ft piede	yd iarda	m metro	miglio
1	0,083 3	0,027 8	0,025 4	0,000 015 8
12,0	1	0,333	0,305	0,000 189
36,0	3,00	1	0,914	0,000 568
39,4	3,28	1,09	1	0,000 621
63 360	5 280	1 760	1 609	1

Area, A

in ² pollice quadro	ft ² piede quadro	yd ² irda quadra	m ² metro quadro	ar	ha ettaro
1	0,006 94	0,000 772	0,000 645	0,000 006 45	0,000 000 064 5
144	1	0,111	0,092 9	0,000 929	0,000 009 29
1 296	9,00	1	0,836	0,008 36	0,000 083 6
1 550	10,8	1,20	1	0,010 0	0,000 100
155 000	1 076	120	100	1	0,010 0
15 500 031	107 639	11 960	10 000	100	1

Volume, V

in ³ pollice cubo	l litro	US gal gallone USA	UK gal gallone UK	ft ³ piede cubo	yd ³ iarda cubo	m ³ metro cubo
1	0,016 4	0,004 33	0,003 60	0,000 579	0,000 021 4	0,000 016 4
61,0	1	0,264	0,220	0,035 3	0,001 31	0,001 00
231	3,79	1	0,833	0,134	0,004 95	0,003 79
277	4,55	1,20	1	0,161	0,005 95	0,004 55
1 728	28,3	7,48	6,23	1	0,037 0	0,028 3
46 656	765	202	168	27,0	1	0,765
61 024	1 000	264	220	35,3	1,31	1

Velocità, v

ft/min piedi/min	km/h Bz	piede/s	miglia/h mph	knot kn	m/s
1	0,018 3	0,016 7	0,011 4	0,009 87	0,005 08
54,7	1	0,911	0,621	0,540	0,278
60,0	1,10	1	0,682	0,592	0,305
88,0	1,61	1,47	1	0,869	0,447
101	1,85	1,69	1,15	1	0,514
197	3,60	3,28	2,24	1,94	1



Il Sistema Internazionale di misura (SI)

Fattori di conversione

Portata volumetrica, q_v

ft ³ /h cfh	l/min	m ³ /h	ft ³ /min cfm	l/s	m ³ /s
1	0,472	0,028 3	0,016 7	0,007 87	0,000 007 87
2,12	1	0,060 0	0,035 3	0,016 7	0,000 016 7
35,3	16,7	1	0,589	0,278	0,000 278
60,0	28,3	1,70	1	0,472	0,000 472
127	60,0	3,60	2,12	1	0,001 00
127 133	60 000	3 600	2 119	1 000	1

Peso, m

oz oncia	lb libbra	kg chilogrammo
1	0,062 5	0,028 3
16,0	1	0,454
35,3	2,20	1

Portata massica, q_m

lb/min	kg/s
1	0,007 56
132	1

Densità, ρ

kg/m ³	lb/ft ³	g/cm ³	lb/in ³
1	0,062 4	0,001 00	0,000 036 1
16,0	1	0,016 0	0,000 579
1 000	62,4	1	0,036 1
27 680	1 728	27,7	1

Forza, F

N newton	lbf pound-force	kp kilopond
1	0,225	0,102
4,45	1	0,454
9,81	2,20	1

Momento torcente, M

lbf · in	Nm	lbf · ft	kpm
1	0,113	0,083 3	0,011 5
8,85	1	0,738	0,102
12,0	1,36	1	0,138
86,8	9,81	7,23	1

Energia, Lavoro, E

J joule Nm, Ws	Btu British thermal unit	kcal chilocaloria	kWh
1	0,000 948	0,000 239	0,000 000 278
1 055	1	0,252	0,000 293
4 187	3,97	1	0,001 16
3 600 000	3 412	860	1



Il Sistema Internazionale di misura (SI)

Fattori di conversione

Potenza, P

Btu/h	W watt Nm/s, J/s	kcal/h	hk metric horsepower	hp UK, US horsepower
1	0,293	0,252	0,000 398	0,000 393
3,41	1	0,860	0,001 36	0,001 34
3,97	1,16	1	0,001 58	0,001 56
2 510	735	632	1	0,986
2 544	746	641	1,01	1

Variazione di temperatura, ΔT for K; $\Delta \theta$ for °C

K kelvin	°F gradi Fahrenheit	°C gradi Celsius
1	1,80	1,00
0,556	1	0,556
1,00	1,80	1

Temperature di riferimento

K	°F	°C	Riferimento
0,00	-460	-273	Zero assoluto
255	0,00	-17,8	Misto di neve e cloruro di ammonio
273	32,0	0,00	Punto di congelamento dell'acqua
293	68,0	20,0	Temperatura dell'atmosfera standard
311	100	37,8	Temperatura normale del corpo umano
373	212	100	Punto di ebollizione dell'acqua

Conversione fra unità di misura della temperatura

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9 \quad ^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 9/5 + 32 \quad \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

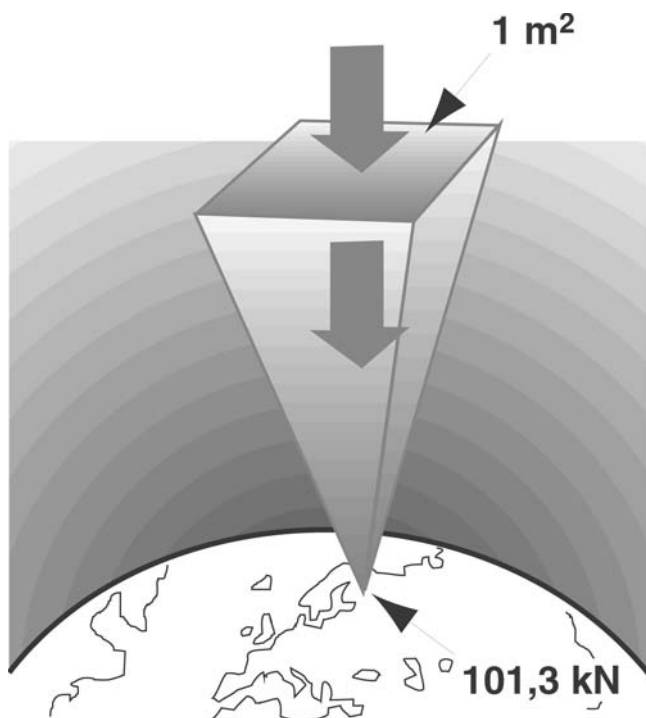


La Pressione

Pressione totale = pressione dinamica + pressione statica

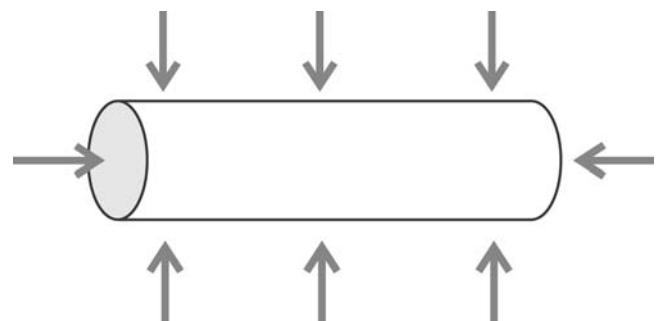
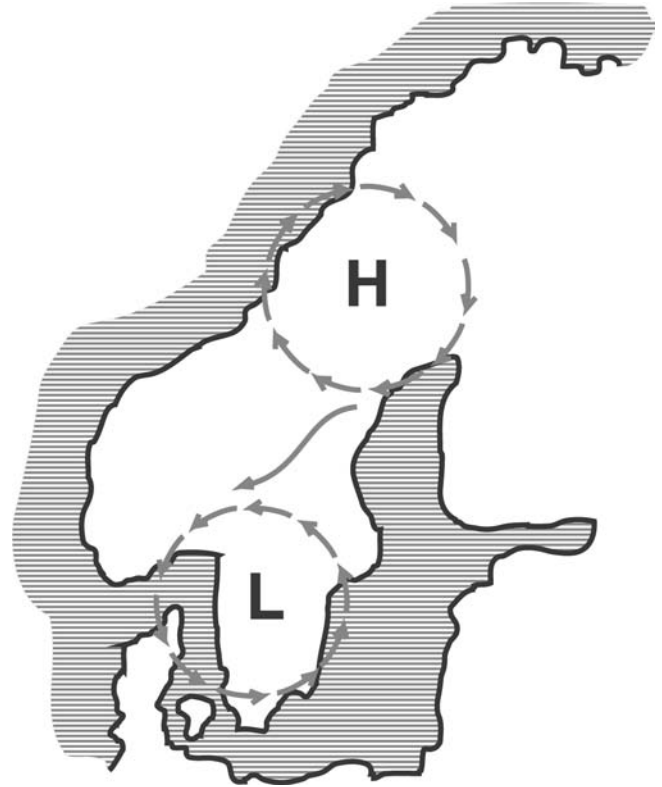
La **pressione statica** atmosferica varia a seconda delle condizioni metereologiche - alta pressione o bassa pressione - e con la variazione di quota rispetto al livello del mare. La pressione atmosferica standard, a livello del mare è:

101,3 kPa = 1,013 bar = 1013 mbar
(= 1 atm = 760 mm Hg)



La pressione statica è costante su ciascun punto dell'oggetto.

In un sistema di ventilazione, la pressione statica dipende dalla pressione atmosferica nell'ambiente esterno al canale; la pressione statica può essere sia positiva, superiore a quella atmosferica, che negativa, inferiore alla pressione atmosferica.

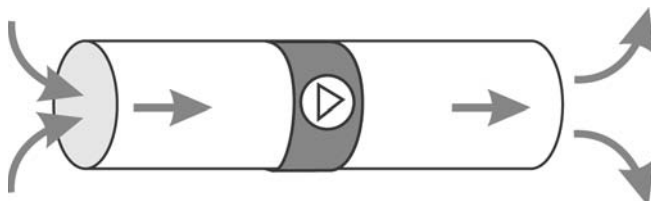




La Pressione

Perdita di carico

Se si provoca una variazione di pressione statica all'interno di un canale aperto alle estremità, si ha un movimento di aria all'interno del canale, dal punto di maggior pressione verso il punto a pressione inferiore. Si ha quindi un flusso d'aria nel canale, grazie all'energia trasmessa dal ventilatore. La differenza di pressione viene convertita in energia cinetica



La **pressione dinamica** è una misura dell'energia cinetica dell'aria in movimento. La relazione tra pressione ed energia cinetica nel sistema SI è la seguente:

$P_a = N/m^2 = Nm/m^3 = J/m^3$ energia (in J) per unità di volume (in m^3) della portata d'aria.

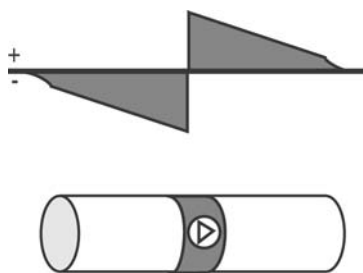
La pressione dinamica dipende da:

$$p_d = \rho \cdot \frac{\bar{v}^2}{2} \text{ con le seguenti unità:}$$

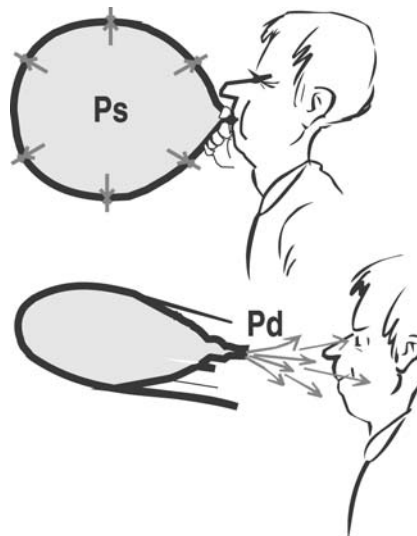
$$\frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2 = \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m^2}{s^2} = \frac{kgm}{s^2} \cdot \frac{m}{m^3} = N \cdot \frac{1}{m^2} = \frac{N}{m^2} = Pa$$

Il flusso d'aria in un sistema di canali normalmente subisce una perdita di carico. Si hanno perdite dovute alla frizione nei canali e ai cambi forzati di direzione. Si ha quindi una richiesta di pressione (ovvero energia) per controllare sia la pressione dinamica che quella statica, la cui somma, come già visto, dà la pressione totale.

$$P_t = P_s + P_d$$



Quando p_s è negativa rispetto alla pressione atmosferica (lato di aspirazione del ventilatore), questo implica che anche p_t sia negativa, se la somma di p_s e p_d è negativa.



Perdite di carico e perdite d'aria per trafileamento

In un sistema di ventilazione si ha necessità di movimentare l'aria. L'aria pulita deve sostituire l'aria inquinata all'interno della stanza o della zona di lavoro. Si ha quindi una richiesta di energia per muovere l'aria attraverso i canali.

Nel muoversi all'interno di un canale, l'aria subisce due tipi di perdite di carico:

- **perdite di carico distribuite** tra l'aria in movimento e le pareti del canale.
- **perdite di carico localizzate** quando l'aria cambia direzione o velocità.

Le **perdite di carico localizzate** (note anche come valore R)

$$\text{sono espresse in Pa/m } \Delta p_f = \frac{\lambda}{d_h} \cdot \rho \frac{\bar{v}^2}{2}$$

dove:

Δp_f = perdita di carico per metro (Pa/m)

λ = fattore di frizione dovuto al tipo di materiale e alla rugosità della superficie

d_h = diametro equivalente, diametro di un canale circolare che ha le stesse perdite di carico localizzate alla stessa velocità dell'aria nel canale rettangolare

$$d_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

dove a e b sono i lati del canale
Per il canale, $d_h = d$

ρ = densità dell'aria (kg/m^3)

\bar{v} = velocità media dell'aria (m/s)

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11



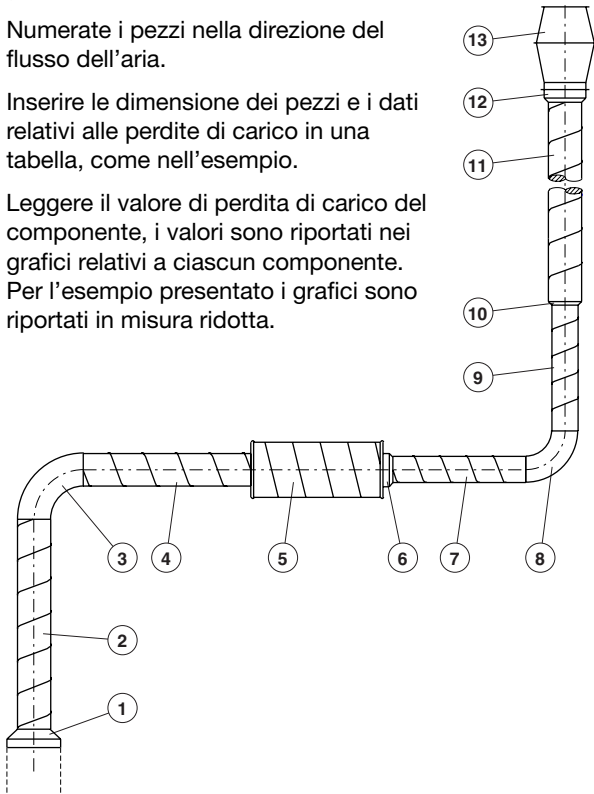
La Pressione

Calcolo delle perdite di carico

Prevalenza del ventilatore

In seguito è presentato un esempio di calcolo delle perdite di carico per un semplice sistema di ventilazione, con i passi seguiti per effettuare il calcolo.

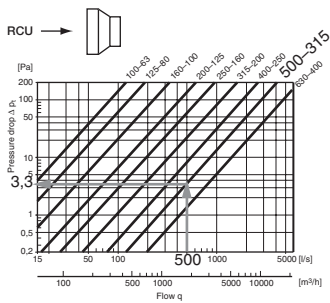
- Numerate i pezzi nella direzione del flusso dell'aria.
- Inserire le dimensioni dei pezzi e i dati relativi alle perdite di carico in una tabella, come nell'esempio.
- Leggere il valore di perdita di carico del componente, i valori sono riportati nei grafici relativi a ciascun componente. Per l'esempio presentato i grafici sono riportati in misura ridotta.



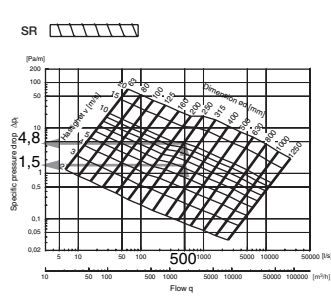
No	Portata l/s	Nome Componente	Diametro Ø mm	Lunghezza m	Perdita di carico Pa/m	Perdita di carico Pa
1	500	RCU	500-315	-	-	3,3
2	"	SR	315	2	1,5	3,0
3	"	BSU 90°	315	-	-	5,5
4	"	SR	315	1,6	1,5	2,4
5	"	SLBU 100	315/1200	1,2	-	42,0
6	"	RCFU	315-250	-	-	5,0
7	"	SR	250	1,5	4,8	7,2
8	"	BSU	250	-	-	14,0
9	"	SR	250	1,2	4,8	5,8
10	"	RCU	315-250	-	-	6,0
11	"	SR	315	3,5	1,5	5,3
12	"	RCFU	400-315	-	-	2,0
13	"	HF	400	-	-	22,0
Perdita di carico totale (somma delle righe da 1 a 13) = 123,4						

Sommare le perdite di carico riportate nell'ultima colonna a destra e scegliere un ventilatore che dia la portata di progetto $q = 500$ l/s e una prevalenza $p_t = 125$ Pa.

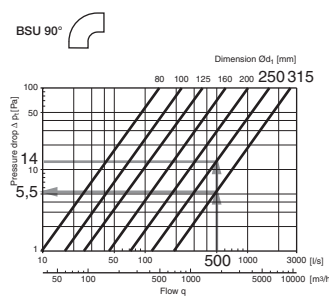
1



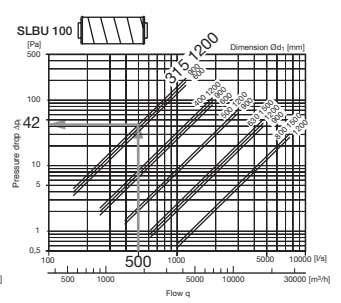
2 4 7 9 11



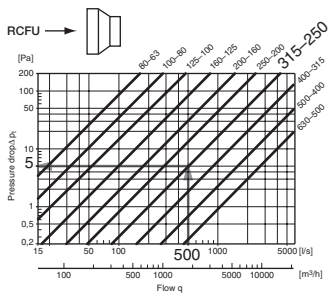
3 8



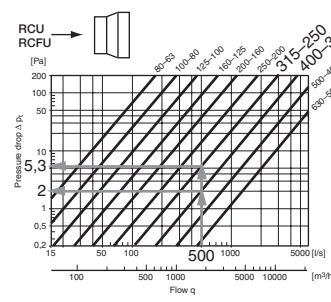
5



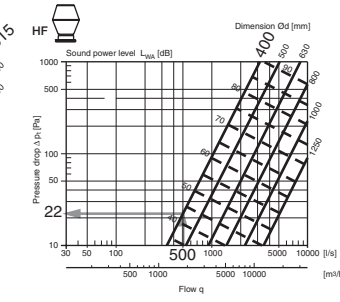
6



10 12



13





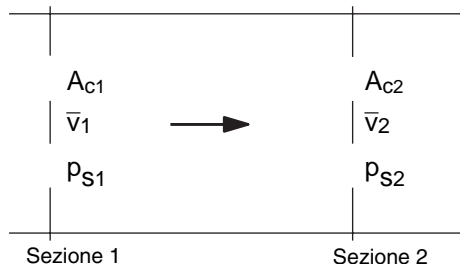
La Pressione

Prerequisiti

Per dimensionare correttamente un sistema di ventilazione bisogna conoscere le perdite di carico dei raccordi.

La perdita di carico totale Δp_t (Pa) tra due sezioni, 1 e 2, in un sistema di ventilazione è data da:

$$p_t = p_{t1} - p_{t2} = (p_{s1} + p_{d1}) - (p_{s2} + p_{d2})$$



dove $p_d = \frac{\rho \cdot \bar{v}^2}{2}$ e $\bar{v} = \frac{q}{A_c}$

Per calcolare le perdite di carico si utilizzano le seguenti semplificazioni:

- fluido incompressibile, ovvero la densità dell'aria non cambia
- il passaggio dell'aria è isoterma, ovvero non si hanno scambi termici tra aria, canale e ambiente circostante
- l'energia potenziale è costante, ovvero le differenze di quota in un sistema di canali sono trascurate

Abbreviazioni utilizzate

l	=	lunghezza	m (mm)
a	=	lato lungo	m (mm)
b	=	lato corto	m (mm)
r	=	raggio	m (mm)
d	=	diametro	m (mm)
d _h	=	diametro equivalente	m (mm)
A _c	=	sezione	m ²
p _A	=	pressione atmosferica	mbar
p _s	=	pressione statica	Pa
p _d	=	pressione dinamica	Pa
p _t	=	pressione totale	Pa
Δp	=	perdita di carico	Pa
Δp _t	=	perdita di carico totale	Pa
θ	=	temperatura	°C
\bar{v}	=	velocità dell'aria (media)	m/s
q	=	portata	m ³ /s
ρ	=	densità	kg/m ³
α	=	angolo	°
φ	=	umidità relativa	%
λ	=	fattore di frizione	
R	=	coefficiente di frizione	Pa/m
ζ	=	fattore di resistenza	
ν	=	viscosità cinematica	m ² /s

La perdita di carico totale dei raccordi comunemente utilizzati è riportata nei grafici, in funzione della portata di aria (o della velocità in alcuni casi).

I dati riportati nei grafici derivano da prove sperimentali e calcoli effettuati nei nostri laboratori. Alcuni grafici sono tratti da letteratura.

I dati riportati nei grafici sono applicabili all'aria in condizioni standard.

ν	=	15,1 · 10 ⁻⁶ m ² /s
θ	=	20 °C
ρ	=	1,2 kg/m ³
φ	=	65 %
p _A	=	1013,2 mbar

Per altre densità dell'aria (ρ_{diff}) la portata (q_{diff}) si può calcolare utilizzando la formula seguente:

$$q_{diff} = q_{graph} \cdot \sqrt{\frac{1,2}{\rho_{diff}}}$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11



Il Rumore

La ventilazione non deve essere rumorosa!

I ventilatori sono rumorosi, ma questa è una variabile su cui non si ha grande possibilità di scelta, ma si può evitare che il rumore giunga fino ai locali di lavoro o soggiorno, grazie a silenziatori.

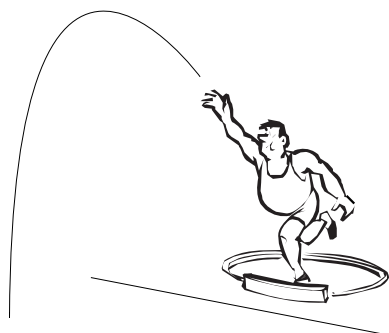
Questa descrizione riguardo al rumore e alle sua modalità di propagazione è puramente informativa, per spiegazioni tecniche approfondite si rimanda alla letteratura competente.

Per scegliere i componenti in modo corretto bisogna avere una conoscenza di base su come e dove il rumore viene generato, trasmesso ed attenuato nel sistema. La trasmissione del rumore consiste nella propagazione di onde nell'aria, analogamente alla trasmissione di onde nell'acqua, che però si vedono chiaramente all'interno del fluido, a differenza di quanto avviene per l'aria.

Fonte

Onde in acqua

Si getta un sasso nell'acqua completamente calma.



Onde in aria

Si spara un colpo di pistola.



Distribuzione

Onde in acqua

Le onde si propagano in cerchi concentrici a partire dal punto in cui la pietra tocca l'acqua.



Onde in aria

Le onde sonore si diffondono nell'aria in tutte le direzioni come una sfera a raggio crescente a partire dal punto di emissione del suono, ad esempio la pistola.





Il Suono

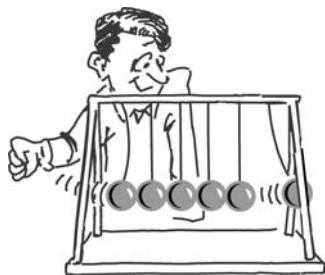
Trasporto di energia

Onde in acqua

L'energia cinetica si trasmette da una molecola di acqua all'altra, quando entrano in collisione tra loro. Le molecole hanno un moto disordinato e l'energia si propaga dalla fonte.

Onde in aria

Le onde si trasmettono nell'aria in modo del tutto analogo alle onde in acqua.



Zona di propagazione

Onde in acqua

Le onde partono dal punto in cui la pietra tocca l'acqua e l'altezza delle onde diminuisce con l'allontanarsi dal punto sorgente, fino a quando non si vedono più. L'acqua è nuovamente calma.

Onde in aria

Le onde sonore diminuiscono di intensità allontanandosi dal punto sorgente fino a quando non possono essere più udite.



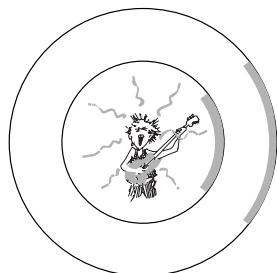
Intensità

Onde in acqua

L'energia che permette la propagazione delle onde nel mezzo, o la potenza necessaria per farle avanzare, si distribuisce su un'area sempre maggiore con l'aumentare della distanza dal punto sorgente.

Onde in aria

L'energia che permette la propagazione delle onde nel mezzo, o la potenza necessaria per farle avanzare, si distribuisce su un volume sempre maggiore con l'aumentare della distanza dal punto sorgente.



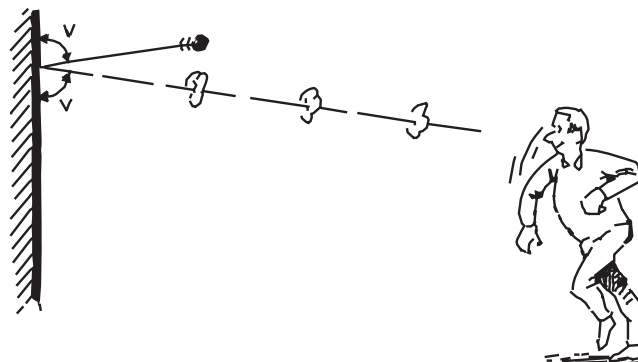
Ostacoli

Onde in acqua

Se l'onda colpisce un ostacolo, ad esempio una boa o una barca, viene riflessa con lo stesso angolo di incidenza con cui colpisce l'oggetto.

Onde in aria

Se l'onda sonora colpisce un ostacolo, viene riflessa con lo stesso angolo con cui colpisce il muro.



Le onde sonore che colpiscono un oggetto si comportano come una palla che colpisce il muro.

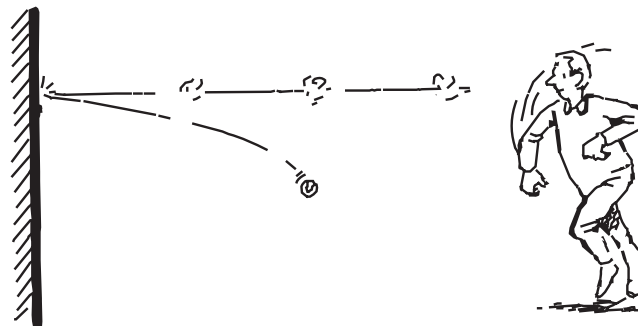
Dispersione di energia

Onde in acqua

L'altezza dell'onda riflessa è inferiore a quella dell'onda incidente. Parte dell'energia cinetica è assorbita nella collisione con l'ostacolo (l'energia assorbita è convertita in calore).

Onde in aria

La zona di propagazione dell'onda riflessa è minore di quella dell'onda incidente. Parte dell'energia cinetica è assorbita nella collisione con l'ostacolo e convertita in calore.



La palla si muove più lentamente dopo aver colpito il muro.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11



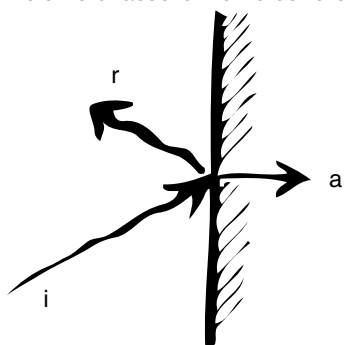
Il Rumore

Il Rumore può essere assorbito

Quando l'onda sonora incontra un materiale soffice e poroso (lana minerale etc.), le molecole che vibrano penetrano all'interno del materiale e vengono frenate dall'attrito.

La parte di energia così assorbita si trasforma in calore, la parte restante viene riflessa nell'ambiente. Questo tipo di abbattimento dovuto al materiale poroso è denominato infatti "assorbimento poroso".

La capacità di assorbire il rumore è diversa a seconda del tipo di materiale. Questa proprietà è definita per ogni materiale dal coefficiente di assorbimento sonoro α .



$$i = a + r$$

$$\alpha = \frac{a}{i}$$

Se l'assorbimento è nullo, si ha riflessione totale, ovvero $a = 0$ e di conseguenza $\alpha = 0$:

$$i = 0 + r\alpha = \frac{0}{i} = 0$$

Se la riflessione è nulla, si ha assorbimento totale, ovvero $r = 0$ e di conseguenza $\alpha = 1$:

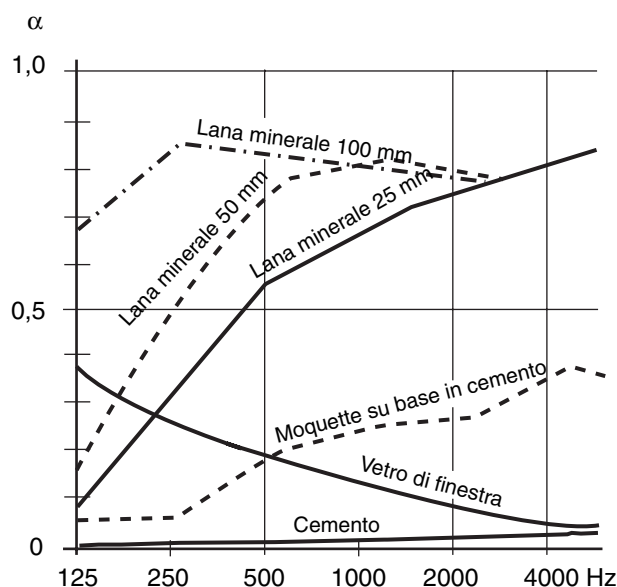
$$i = a + 0\alpha = \frac{a}{a} = 1$$

Si può dire che una finestra aperta abbia $\alpha = 1$: tutto il rumore che dalla stanza arriva alla finestra esce fuori.

Per quanto riguarda i materiali rigidi, come il cemento o il marmo, teoricamente non si ha assorbimento di energia, quindi il coefficiente α è circa zero. Nelle stanze con superfici rigide le onde sonore rimbalzano a lungo prima di perdere completamente la loro energia. Si ha un lungo periodo di riverbero del suono, che produce un'eco sgradita. Il rumore provocato dalle normali fonti sonore diviene molto elevato.

I materiali soffici, come ad esempio la lana minerale, hanno invece un alto potere assorbente nei confronti del rumore: il valore del coefficiente α è circa 1.

Il grafico seguente mostra la capacità di assorbimento del rumore di alcuni materiali.



Il rumore, in un sistema di ventilazione, si propaga sia nella direzione del flusso d'aria che nella direzione contraria.

Il rumore che si propaga in un sistema di ventilazione può essere attenuato in diversi modi.

Pareti metalliche - scarso assorbimento

Quando le onde sonore colpiscono le pareti del canale, queste iniziano a vibrare con la stessa frequenza dell'onda.

Il movimento, normalmente, è infinitesimale e quindi non visibile ad occhio nudo (è più facile sentire la vibrazione del metallo toccando il canale con le dita).

L'effetto della propagazione delle onde sonore è analogo a quello che si ha quando il passaggio di un camion fa vibrare le finestre.

Il canale e la finestra hanno quindi una funzione di **membrana attenuatrice**. Questo movimento ha degli attriti, essendo frenato sia dall'aggraffatura del canale che (in percentuale molto superiore) dalle connessioni alle estremità del canale. Come in precedenza, parte dell'energia è convertita in calore e il rumore è diminuito.

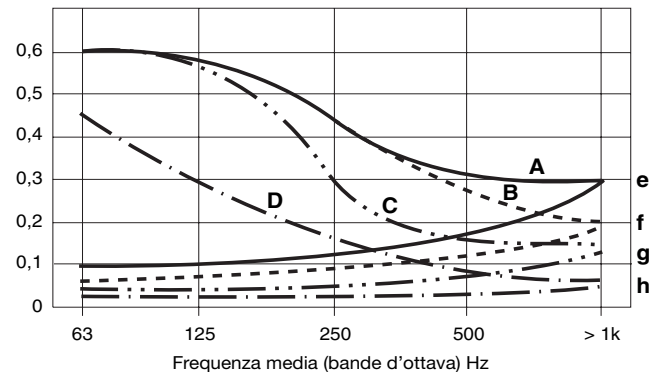
Come si può notare nell'illustrazione riportata nella pagina seguente, l'attenuazione in canali non lineari è relativamente modesta. Per questo motivo normalmente si ignora l'attenuazione dovuta al canale, aumentando così il margine di sicurezza nell'effettuazione del calcolo.



Il Rumore

Attenuazione in canali di lamiera (1 mm di spessore della lamiera)

Attenuazione dB per m

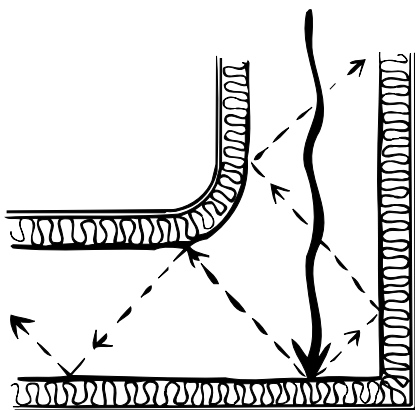


Dimensioni del Canale			
<i>Canale Rettangolare</i>			
□ 75-200	200-400	400-800	800-1000
A ———	B - - - -	C ·····	D ·····
<i>Canale Circolare</i>			
∅75-200	200-400	400-800	800-1600
e ———	f - - - -	g ·····	h ·····

Come rendere l'attenuazione più efficace

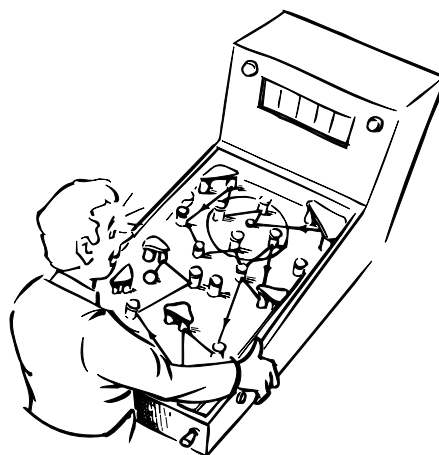
L'attenuazione diventa più efficace se si inserisce del materiale assorbente all'interno del sistema di ventilazione. Come descritto in precedenza, parte dell'energia sonora è assorbita dal materiale poroso su cui incidono le onde stesse.

Se le onde sonore colpiscono un certo numero di volte una parete porosa, l'energia sonora rimanente sarà talmente bassa che non causerà alcun fastidio.

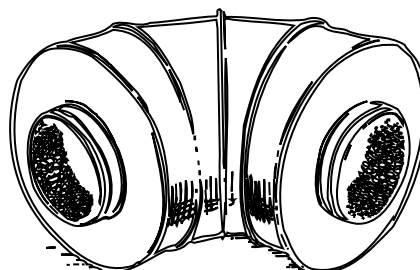


Dove è meglio mettere il materiale assorbente all'interno del canale?

La risposta è ovvia: il materiale assorbente va posizionato dove passa il maggior numero di onde sonore. Il rumore che viaggia all'interno di un canale non lineare viene riflesso lungo il canale stesso. Il materiale fonoassorbente va quindi preferibilmente inserito nel plenum di mandata (o ripresa) o in un canale rettilineo subito dopo il ventilatore, o dovunque si abbia un flusso d'aria turbolento. E' inoltre fondamentale che le onde sonore impattino il maggior numero di volte possibile contro le pareti del materiale fonoassorbente, per garantire una resa ottimale.



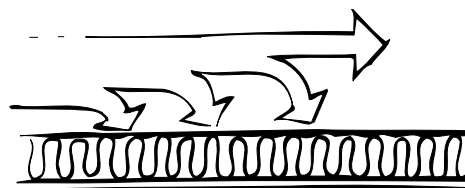
Ecco perchè il silenziatore curvo BSLU è particolarmente efficace!



I silenziatori rettilinei concentrano il materiale fonoassorbente

Questa è un'aggiunta a quanto detto sopra. Quando le onde sonore si muovono all'interno di un mezzo poroso, queste vengono deviate attraverso le pareti del materiale. Questa deviazione è chiamata "diffrazione".

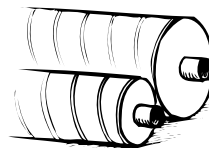
Per questo e per il fatto che la propagazione del suono sia resa più difficoltosa dalla turbolenza, si ha che i silenziatori rettilinei hanno un'attenuazione maggiore.





Il Rumore

Come si può vedere per i silenziatori SLU 50 e SLU 100, l'attenuazione varia seguendo semplici regole:



Per attenuare basse frequenze (< 500 Hz) è necessario avere il materiale fonoassorbente più spesso. SLU 100 ha una resa superiore rispetto a SLU 50.

SLU 50

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	1	5	6	13	21	28	28	17
80	600	1	7	11	23	35	50	50	25
80	900	2	9	16	33	49	50	50	33
80	1200	3	11	21	42	50	50	50	41
100	300	1	5	6	14	20	24	22	12

SLU 100

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	3	7	9	16	20	28	28	13
80	600	5	11	16	26	35	50	50	25
80	900	7	16	24	37	50	50	50	38
80	1200	9	20	31	47	50	50	50	50
100	300	2	7	10	13	18	23	22	13

Per attenuare alte frequenze (> 500 Hz), il materiale fonoassorbente più sottile è sufficiente. SLU 50 è efficiente come SLU 100.

SLU 50

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	1	5	6	13	21	28	28	17
80	600	1	7	11	23	35	50	50	25
80	900	2	9	16	33	49	50	50	33
80	1200	3	11	21	42	50	50	50	41
100	300	1	5	6	14	20	24	22	12

SLU 100

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	3	7	9	16	20	28	28	13
80	600	5	11	16	26	35	50	50	25
80	900	7	16	24	37	50	50	50	38
80	1200	9	20	31	47	50	50	50	50
100	300	2	7	10	13	18	23	22	13

Maggiore è il tratto di materiale fonoassorbente attraverso cui le onde sonore transitano e maggiore è l'attenuazione. I silenziatori lunghi hanno un'attenuazione superiore rispetto a quelli corti. SLU con l = 600 ha un'attenuazione superiore a SLU con l = 300.

SLU 50

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	1	5	6	13	21	28	28	17
80	600	1	7	11	23	35	50	50	25
80	900	2	9	16	33	49	50	50	33
80	1200	3	11	21	42	50	50	50	41
100	300	1	5	6	14	20	24	22	12

NOTA!

L'attenuazione non è direttamente proporzionale alla lunghezza. Questo è dovuto al fatto che si ha un'ulteriore attenuazione alle uscite del silenziatore, e le due aperture non sono proporzionali alla lunghezza del silenziatore.

Minore è la distanza tra le pareti del materiale fonoassorbente e migliore è l'assorbimento. I silenziatori con diametro minore attenuano di più di quelli con diametro maggiore. SLU Ø 80 attenua più di SLU Ø 250.

SLU 50

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	1	5	6	13	21	28	28	17
80	600	1	7	11	23	35	50	50	25
80	900	2	9	16	33	49	50	50	33
80	1200	3	11	21	42	50	50	50	41
100	300	1	5	6	14	20	24	22	12
250	600	1	2	6	13	18	17	8	7
250	900	1	3	7	18	24	24	11	9
250	1200	2	3	9	23	29	32	13	10
315	600	1	3	5	10	15	10	5	6

SLBU 100

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	3	7	9	16	20	28	28	13
80	600	5	11	16	26	35	50	50	25
80	900	7	16	24	37	50	50	50	38
80	1200	9	20	31	47	50	50	50	50
100	300	2	7	10	13	18	23	22	13
250	900	3	6	13	15	23	25	11	9
250	1200	4	8	17	20	30	34	14	10
315	600	2	3	6	7	12	11	6	6
315	900	3	5	11	12	19	16	8	8
315	1200	5	7	15	17	25	22	10	10
400	600	3	4	5	5	8	5	5	6
315	600	3	6	13	15	23	25	11	18
315	900	4	8	17	20	30	34	14	22
315	1200	2	3	6	7	12	11	6	25
400	600	3	5	11	12	19	16	8	13

Per la stessa ragione, un ulteriore parete centrale (baffla) dà un'attenuazione maggiore rispetto ad un silenziatore dello stesso diametro senza parete. SLBU 100 attenua di più rispetto a SLU 100.

SLU 100

Ød ₁ nom	l mm	Attenuazione (dB) per frequenza centrale Hz							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
80	300	3	7	9	16	20	28	28	13
80	600	5	11	16	26	35	50	50	25
80	900	7	16	24	37	50	50	50	38
80	1200	9	20	31	47	50	50	50	50
100	300	2	7	10	13	18	23	22	13
250	900	3	6	13	15	23	25	11	9
250	1200	4	8	17	20	30	34	14	10
315	600	2	3	6	7	12	11	6	6
315	900	3	5	11	12	19	16	8	8
315	1200	5	7	15	17	25	22	10	10
400	600	3	4	5	5	8	5	5	6



Il Rumore

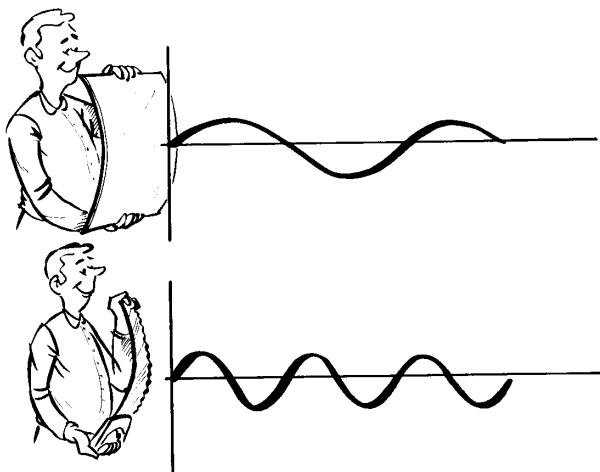
La frequenza del rumore influisce sulla scelta del silenziatore

Come si può vedere nella tabella della pagina precedente, la capacità di attenuazione di un silenziatore varia a seconda della frequenza del rumore. Prima di valutare come si sceglie un silenziatore, in seguito è descritto a grandi linee il concetto di frequenza.

Una sorgente sonora influenza l'aria circostante facendola vibrare. Il tipo di suono dipende dalle variazioni di pressione che avvengono nell'aria.

Supponendo che la fonte sonora sia una piastra vibrante, le variazioni di pressione (ovvero il suono prodotto) avranno la stessa frequenza delle vibrazioni della piastra. La lunghezza dell'onda sonora dipende da quanto la piastra vibra, cioè dall'ampiezza del movimento. Semplificando:

Se viene prodotta una sola nota, ovvero una singola frequenza, la pressione varierà come una sinusoidale.



Le caratteristiche di propagazione del suono sono:

- frequenza (f), si misura in hertz, **Hz**, (s^{-1}), (specifica il numero di volte che una nuova onda sonora raggiunge il punto di misura in un secondo).
 - lunghezza d'onda (λ , "lambda"), si misura in metri, **m**, (specifica la distanza tra due punti simili sulla sinusoidale).
- e
- velocità del suono (c) si misura in **m/s**, (specifica la velocità di movimento dell'onda sonora).

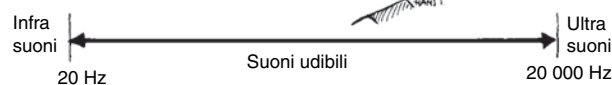
Queste tre variabili sono legate dalla seguente relazione:

$$c = f \cdot \lambda$$

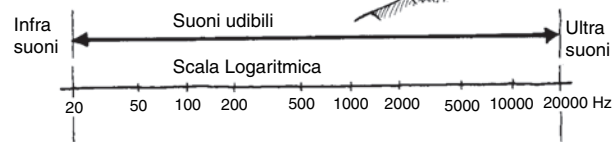
La velocità del suono in aria dipende anche da pressione e temperatura.

A pressione standard e a + 20 °C si ha $c \approx 340$ m/s.

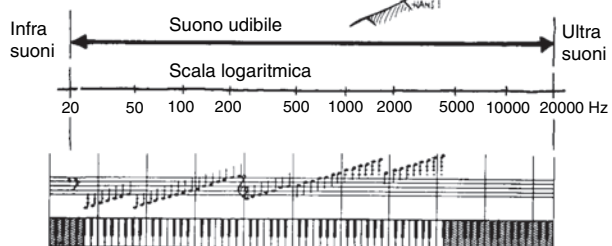
Una persona giovane con un udito normale è in grado di sentire suoni con frequenze compresa tra 20 e 20 000 Hz (in aria da lunghezze d'onda di 17 m (at 20 Hz) a circa 17 mm (a 20 kHz)).



L'uomo percepisce le variazioni di frequenza sonora su scala logaritmica: è la frequenza relativa e non la differenza in Hz che determina come è percepito il cambiamento di nota musicale. Un raddoppio di frequenza è percepito come uguale, indifferentemente se sia da 100 a 200 Hz, da 1000 a 2000 Hz o da 10 a 20 kHz.



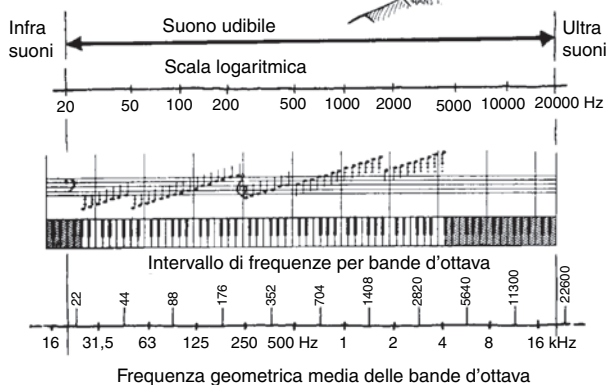
La scala logaritmica è solitamente divisa in ottave, in scale dove la nota superiore ha frequenza doppia rispetto alla nota inferiore, come è tipico delle scale musicali.





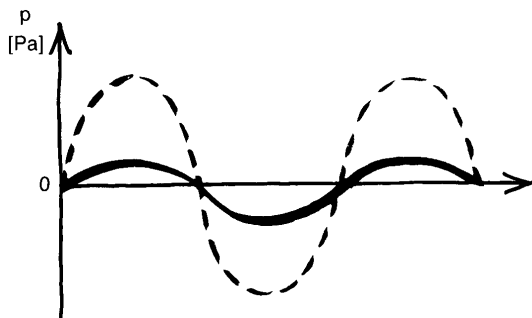
Il Rumore

Confronto con scala tecnica



Il concetto di decibel

Più il suono è forte e più sono violenti gli urti fra le molecole dell'aria.



La pressione sonora cambia nel campo dell'udibile tra limiti estremamente ampi. Talvolta alcuni suoni sono talmenti bassi che non riusciamo a percepirli. La cosiddetta **soglia dell'udibile** varia al variare della frequenza ed è circa 20 μ Pa a 1000 Hz.

Altri suoni sono invece così acuti che si rischia di danneggiare l'udito. La **soglia del dolore**, la pressione sonora che causa dolore alle orecchie, varia anch'essa con la frequenza, ed è circa 20 Pa a 1000 Hz. Questo significa che è un suono un milione di volte più forte del più basso che riusciamo a percepire.

L'uomo percepisce anche i cambiamenti di pressione sonora su una scala logaritmica. Un **concetto di livello sonoro** che usa il **decibel (dB)** come unità è stato creato per esprimere valori comparabili tra loro.

Il **decibel**, unità utilizzata in diverse applicazioni, è generalmente definita come: $10 \cdot \log (X/X_0)$, dove X è il valore misu-

rato, ad esempio la pressione sonora, e X_0 è un valore di riferimento espresso nella stessa unità di misura. La relazione tra X/X_0 è quindi adimensionata. Ciò significa che di norma il livello si esprime in **dB (riferito a X_0)**.

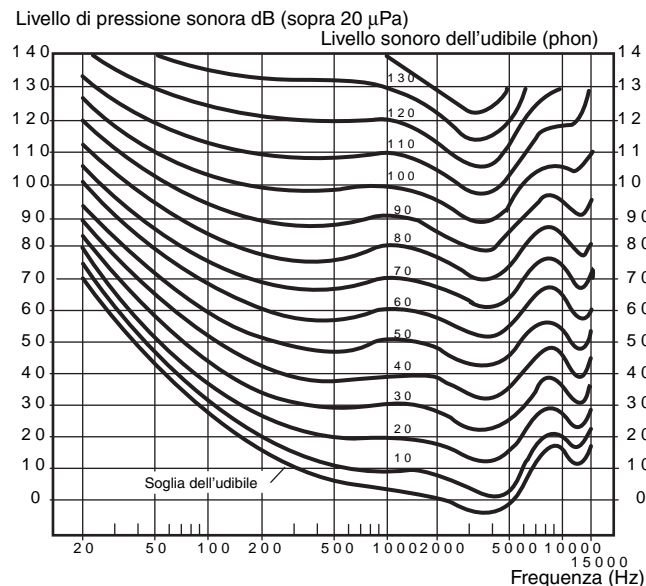
La percezione umana del suono

L'uomo percepisce in maniera diversa suoni che hanno la stessa pressione sonora e frequenze diverse.



In letteratura si trovano numerose curve sperimentali che descrivono come l'uomo percepisce il suono a differenti frequenze e lunghezze d'onda. Queste curve di **livello sonoro dell'udibile** riportano i livelli di pressione sonora di ciascuna curva alla frequenza di 1 kHz. L'unità usata per queste curve è il **phon**.

Curve di livello sonoro dell'udibile



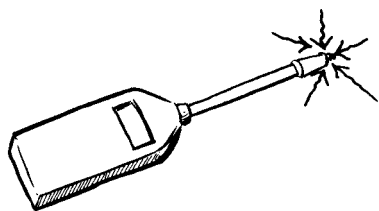
Esempio:

La pressione sonora di 70 dB a 50 Hz è normalmente percepita come 50 dB a 1000 Hz.

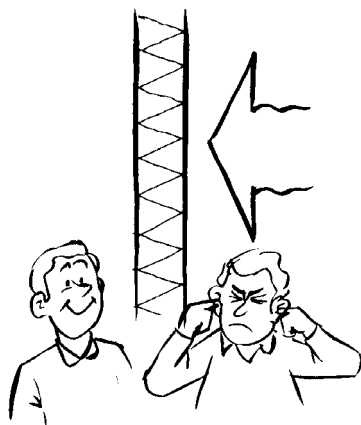


Il Rumore

Livelli sonori

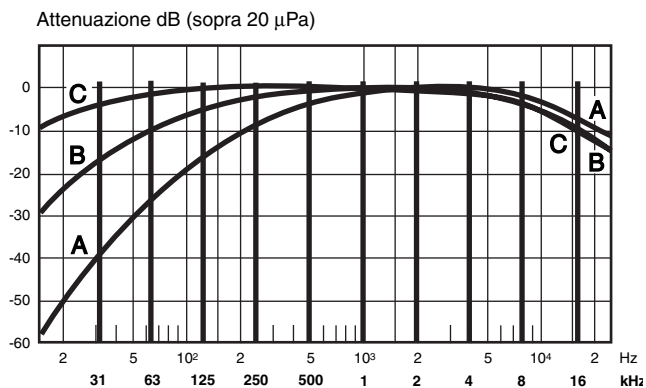


Per misurare il livello di fastidio causato da due suoni diversi sono stati utilizzati vari metodi e sono quindi stati creati modelli per valutare la percezione del suono.



Il metodo più semplice è quello di confrontare i livelli sonori "pesati". Il suono in ingresso viene filtrato per togliere parte delle frequenze, soprattutto le basse frequenze a cui l'orecchio è poco sensibile, e amplifica le componenti tra 1 e 4 kHz, a cui l'uomo è particolarmente sensibile.

Gli strumenti di misura hanno normalmente tre filtri elettronici, A, B e C. Il filtro A è generalmente il più utilizzato, e quindi il risultato, ovvero il **livello sonoro**, è espresso in **dB (A)**.



Scegliere i silenziatori

In un sistema di ventilazione il ventilatore è la sorgente principale di rumore, ma ulteriore rumore può essere dovuto a una scelta poco accurata di componenti e diffusori:

$$L_w = 40 + 10 \cdot \log q + 20 \cdot \log p_t \text{ dB (oltre 1 pW)}$$

q = portata d'aria (in m³/s) attraverso il ventilatore

p_t = prevalenza totale (in Pa) del ventilatore

40 = "livello specifico di potenza sonora" che considera l'efficienza del ventilatore a regime e l'unità di misura di q e p_t nel Sistema Internazionale.

Il rumore prodotto dal ventilatore deve essere attenuato all'interno dei canali, prima dell'arrivo nei locali di soggiorno. Perte dell'attenuazione è "naturale", come detto in precedenza, ma normalmente non è sufficiente. In questi casi si può inserire un silenziatore nel canale principale, subito dopo il ventilatore per attenuare il rumore che produce, oppure si possono inserire vari silenziatori dedicate alle stanze con esigenze di particolare comfort acustico.

Per evitare fastidiosi rumori all'interno della stanza è necessario utilizzare basse velocità dell'aria all'interno del canale:

- data una certa velocità dell'aria, raddoppiare questa velocità corrisponde ad un aumento di potenza sonora pari a 12 dB.

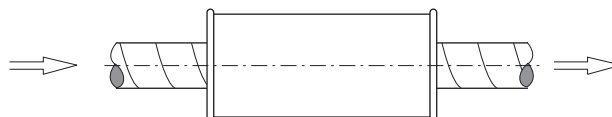
Basse velocità dell'aria abbassano inoltre i costi di esercizio:

- data una certa velocità dell'aria, la potenza richiesta al ventilatore è funzione del quadrato della velocità dell'aria.

Nell'esempio seguente, il calcolo mostra che la sola attenuazione dovuta al canale nel sistema di ventilazione non basta. La tabella mostra che è necessaria un'ulteriore attenuazione.

Esempio

Canale Ø 315



	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Prima	X	X	X	X	X	X	X	X	dB
Dopo	X	X	X	X	X	X	X	X	dB
Differenza	2	4	9	13	20	16	8	8	dB

Lindab ha un'ampia gamma di silenziatori con differenti dimensioni e caratteristiche tecniche.





Il Rumore

SLU 50	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
600	1	3	5	10	15	10	5	6
900	2	3	7	15	21	13	7	8
1200	2	3	9	19	28	16	9	9

Questo è il silenziatore con il diametro esterno minore, e il più lungo, 1200 mm, può risolvere il problema in esempio. L'abbattimento residuo nella banda di 125 Hz, 1 dB, è piccola e non percepibile.

Questa è una delle possibili alternative.

SLU 100	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
600	2	3	6	7	12	11	6	6
900	3	5	11	12	19	16	8	8
1200	5	7	15	17	25	22	10	10

Questo silenziatore ha una quantità maggiore di materiale fonoassorbente al suo interno (100 mm invece di 50 mm) e quindi ha un abbattimento delle basse frequenze superiore a SLU 50, ma anche un diametro esterno superiore. Per far fronte alla richiesta di abbattimento si deve scegliere quello da 900 mm. L'abbattimento residuo nelle bande da 500 e 1 kHz, 1 dB, è ridotto e non percepibile.

Questa è un'altra possibile alternativa.

SLBU 100	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
600	4	6	10	16	22	28	27	18
900	5	7	16	23	30	38	32	22
1200	7	9	23	30	38	47	37	25

Questo silenziatore ha la stessa quantità di materiale fonoassorbente di SLU 100 (100 mm) ma ha anche una baffle di 100 mm di spessore che migliora l'abbattimento (ma aument). È sufficiente il silenziatore più corto (600 mm) per soddisfare l'abbattimento richiesto con un ampio margine. Questa è un'ulteriore possibile alternativa.

La scelta finale dipende anche da altre considerazioni:

- **SLU 50 1200**
se c'è spazio a sufficienza in lunghezza e poco in larghezza.
- **SLU 100 900**
più corto del precedente, ma più largo, ha bisogno di maggiore spazio attorno.
- **SLBU 100 600**
Se lo spazio in lunghezza è ridotto e non ci sono problemi dovuti all'aumento delle perdite di carico questa è una valida soluzione.

Si deve essere prudenti nella scelta del silenziatore, valutando sempre un certo margine di sicurezza, dato che è molto più difficile e costoso aggiungere eventuali sistemi di abbattimento dopo l'installazione dell'impianto.

I Silenziatori sono nella sezione 4.