



BONIFICA ACUSTICA: *SILENZIATORI*

Silenziamento lungo i condotti o tramite silenziatori dissipativi

I canali rettangolari costruiti con lamiera metallica presentano una bassa attenuazione sonora dell'ordine di 0.1 dB/m. I canali circolari risultano molto più rigidi di quelli rettangolari. Ciò determina una ancora minore capacità di assorbire energia e quindi valori di attenuazione più bassi.

Un primo provvedimento per aumentare l'attenuazione della potenza sonora lungo i condotti è quello di rivestire internamente i canali con uno strato di materiale poroso, il cui spessore deve essere tanto maggiore quanto maggiore è il contributo delle componenti a bassa frequenza (sistema dissipativo).

L'attenuazione per metro di canale, variabile con la frequenza, è tanto più alta quanto è maggiore il rapporto tra il perimetro ricoperto e l'area della sezione del canale. Inoltre, essa dipende dallo spessore e dal tipo di materiale usato.

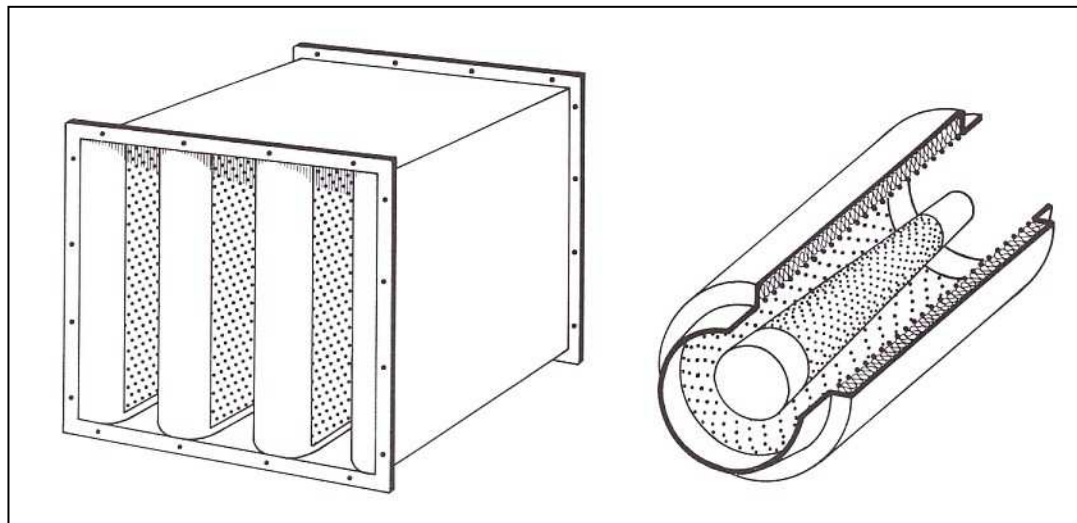
Per spessori realistici l'attenuazione è comunque molto carente alle basse frequenze. Inoltre le recenti problematiche legate al controllo qualità dell'aria (contaminazione batterica e presenza di fibre) sconsigliano l'uso di materiale poroso con fibre naturali specie negli ambienti dove sono richieste condizioni particolari di purezza dell'aria (ospedali, industrie alimentari, farmaceutiche, elettroniche).

Nell'ambito della protezione del materiale fibroso, si è ampiamente indagato sugli effetti di pannelli microforati o fogli plastici impervi di spessore trascurabile sull'attenuazione di filtri acustici.

Il rivestimento con lamiera perforata con percentuale di foratura superiore al 30% non altera le prestazioni dei dispositivi mentre con una porosità del 5-10% vi sono evidenti riduzioni del valore della perdita d'inserzione (in dB) alle alte frequenze

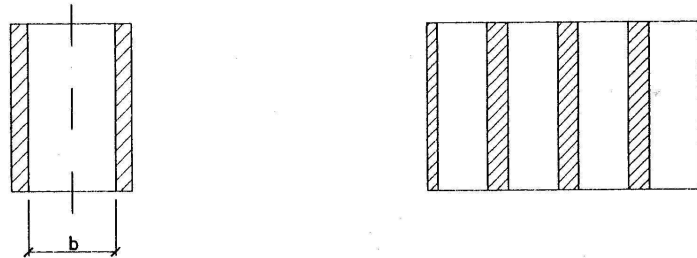
Anziché rivestire i canali esistenti, spesso si preferisce aggiungere dei sistemi silenzianti basati sullo stesso principio

In questo caso vengono solitamente impiegati silenziatori cosiddetti "a setti fonoassorbenti paralleli", costituiti da un involucro esterno di contenimento (rettangolare o circolare) all'interno del quale vengono inseriti dei pannelli di materiale fonoassorbente, affiancati ad una certa distanza l'uno dall'altro, in modo da formare una serie di passaggi rettangolari o circolari.



Filtri acustici concentrati di tipo dissipativo

Silenziatore dissipativo



Calcolo dell'attenuazione

Prima approssimazione

$$D = 1,05 \alpha_s^{1,4} \frac{P}{A} \quad \text{dB per metro di lunghezza}$$

α_s è il coefficiente di assorbimento acustico del materiale fonoassorbente

P è la parte del perimetro della sezione del canale rivestita di materiale fonoassorbente

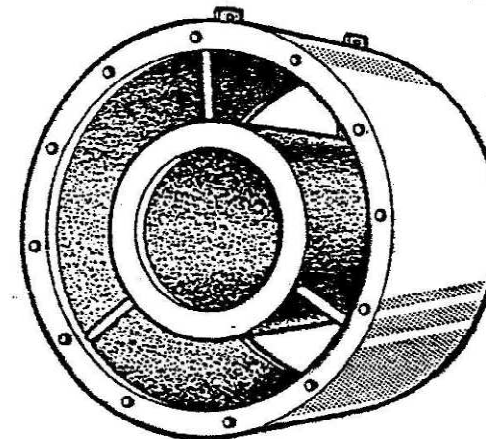
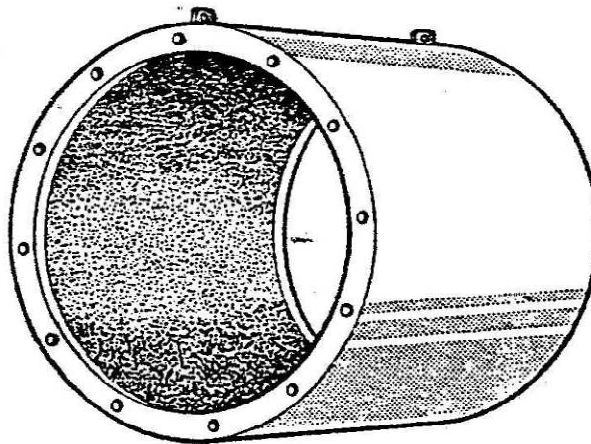
A è l'area della sezione del canale

Calcolo dell'attenuazione

$$D = 1,05 \alpha_s^{1,4} \frac{P}{A} \quad \text{dB per metro di lunghezza}$$

Questa espressione:

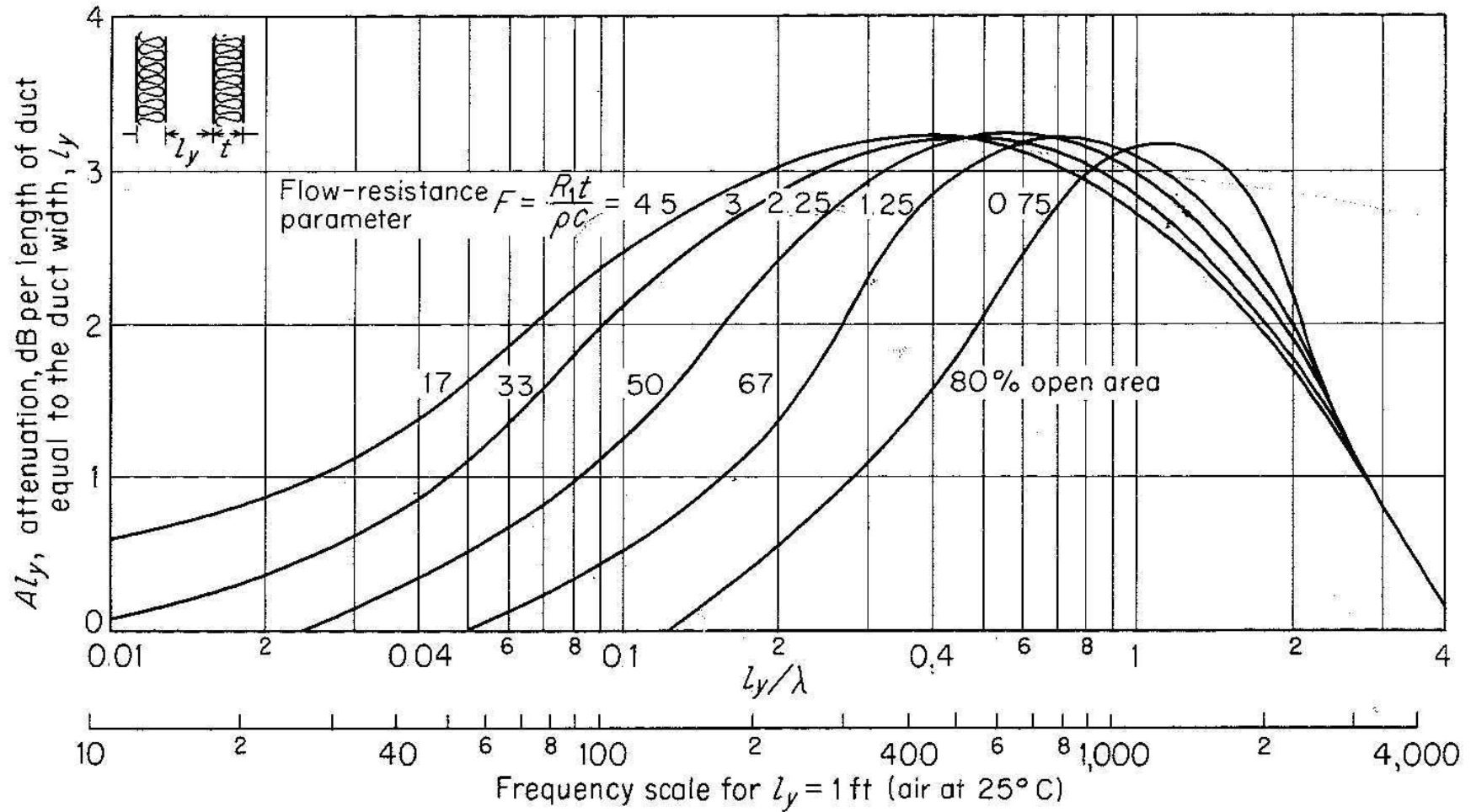
- **valuta adeguatamente D alle basse frequenze** $\left(f < \frac{c}{10b} \right)$
- **sottovaluta D alle medie frequenze**
- **sopravaluta D alle alte frequenze**



Silencer internal diam. D mm	Octave band mid-frequencies							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
300	0	0	2	5	10	12	10	7
380	0	1	3	6	11	11	9	6
480	0	1	4	8	12	11	8	5
600	0	2	5	10	12	10	7	5
760	1	3	6	11	11	9	6	3
960	1	4	8	12	11	8	5	2
1220	2	5	10	12	10	7	4	2
1520	3	6	11	11	9	6	3	2

Silencer internal diam. D mm	Octave band mid-frequencies							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
300	3	4	4	10	17	23	25	18
380	4	3	6	12	19	25	22	16
480	5	3	8	15	21	26	20	15
600	4	4	10	17	23	25	18	14
760	3	6	12	19	25	22	16	12
960	3	8	15	21	26	20	15	10
1220	4	10	17	23	25	18	14	9
1520	6	12	19	25	22	16	12	8

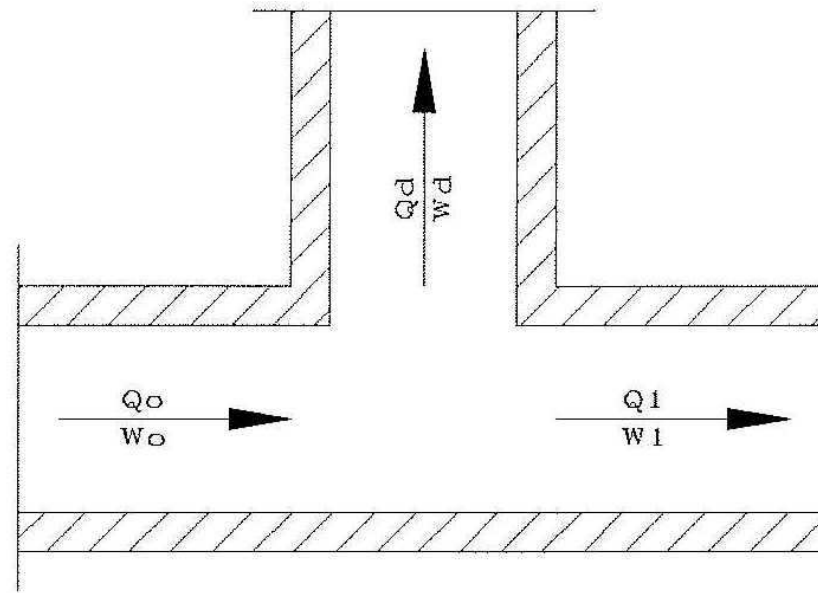
Attenuazione di silenziatori dissipativi cilindrici (Woods)



SEZIONE RETTANGOLARE						
<i>Dimensione minore mm</i>	<i>Attenuazione, dB/m, alle frequenze, Hz</i>					
	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1.000</i>	<i>2.000</i>	<i>4.000</i>
75 ÷ 125	0,60	0,45	0,35	0,31	0,30	0,30
200 ÷ 375	0,60	0,42	0,31	0,25	0,23	0,23
400 ÷ 750	0,60	0,36	0,23	0,17	0,16	0,17
800 ÷ 1.500	0,30	0,17	0,09	0,07	0,08	0,07

SEZIONE CIRCOLARE						
<i>Diametro mm</i>	<i>Attenuazione, dB/m, alle frequenze, Hz</i>					
	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1.000</i>	<i>2.000</i>	<i>4.000</i>
75 ÷ 125	0,09	0,17	0,23	0,29	0,30	0,30
200 ÷ 375	0,08	0,13	0,17	0,20	0,22	0,22
400 ÷ 750	0,06	0,09	0,12	0,14	0,16	0,17
800 ÷ 1.500	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07

Attenuazione di un condotto rettilineo non rivestito di materiale fonoassorbente



Attenuazione lungo un condotto con diramazioni

$$L_{wd} = L_{w0} + 10 \log \frac{Q_d}{Q_0}$$

Dove:

Q_0 è la portata d'aria del condotto prima della diramazione

Q_d è la portata d'aria della diramazione

<i>Sezione</i> <i>m²</i>	<i>Attenuazione, dB, alle frequenze, Hz</i>						
	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1.000</i>	<i>2.000</i>	<i>4.000</i>
0,02	17	12	8	4	1	0	0
0,06	12	8	4	1	0	0	0
0,25	8	4	1	0	0	0	0
1	4	1	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0

Attenuazione per sbocco di un condotto

<i>Attenuazione, dB, alle frequenze, Hz</i>							
<i>d,m</i>	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1.000</i>	<i>2.000</i>	<i>4.000</i>
0,13	0	0	0	1	5	7	5
0,25	0	0	1	5	7	5	3
0,5	0	1	5	7	5	3	3
1	1	5	7	5	3	3	3

Attenuazione per curvatura a 90°

<i>Attenuazione, dB, alle frequenze, Hz</i>							
<i>d,m</i>	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1.000</i>	<i>2.000</i>	<i>4.000</i>
0,13	0	0	0	0	1	2	3
0,25	0	0	0	1	2	3	3
0,5	0	0	1	2	3	3	3
1	0	1	2	3	3	3	3

d = larghezza del lato che ruota di 90°

Attenuazione per curvature arrotondate

	<i>Larghezza del condotto</i>	<i>Attenuazione, dB, alle frequenze, Hz</i>						
		<i>m</i>	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1.000</i>	<i>2.000</i>
A	0,13	-	-	-	1	5	8	6
	0,25	-	-	1	5	8	6	8
	0,5	-	1	5	8	6	8	11
	1	1	5	8	6	8	11	11
B	0,13	-	-	-	1	6	11	10
	0,25	-	-	1	6	11	10	10
	0,5	-	1	6	11	10	10	10
	1	1	6	11	10	10	10	10
C	0,13	-	-	-	1	6	12	14
	0,25	-	-	1	6	12	14	16
	0,5	-	1	6	12	14	16	18
	1	1	6	12	14	16	18	18

A = trattamento fonoassorbente prima della curva

B = trattamento fonoassorbente dopo la curva

C = trattamento fonoassorbente prima e dopo della curva

Attenuazione per curvature con rivestimento fonoassorbente

Plenum

Ulteriore attenuazione può essere realizzata sfruttando la presenza di plenum. I plenum di distribuzione quando provvisti di un isolamento termico sulle superfici interne che è anche un buon sistema fonoassorbente, permettono di realizzare elevati valori di attenuazione.

$$D = -10 \log \left[S_u \left(\frac{h}{2\pi l^3} + \frac{1-\alpha}{\alpha S} \right) \right] \quad dB$$

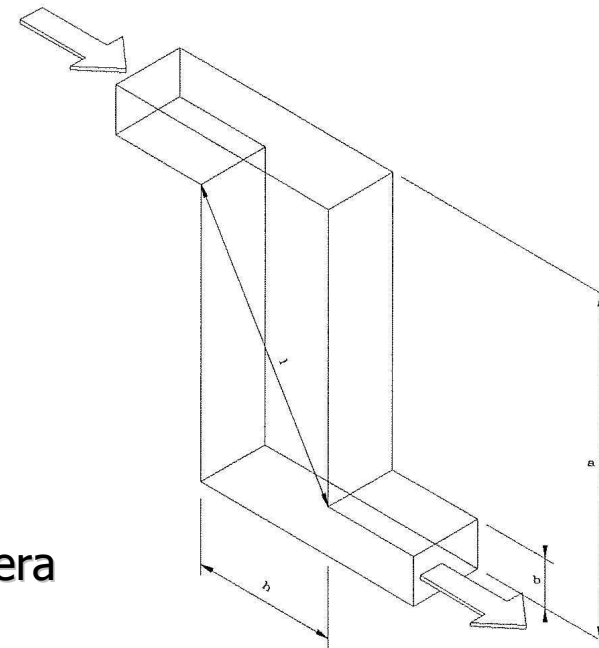
Dove

h, l = dimensioni indicate

S_u = sezione del condotto di uscita

α = coefficiente di assorbimento medio della camera

S = superficie totale delle camera



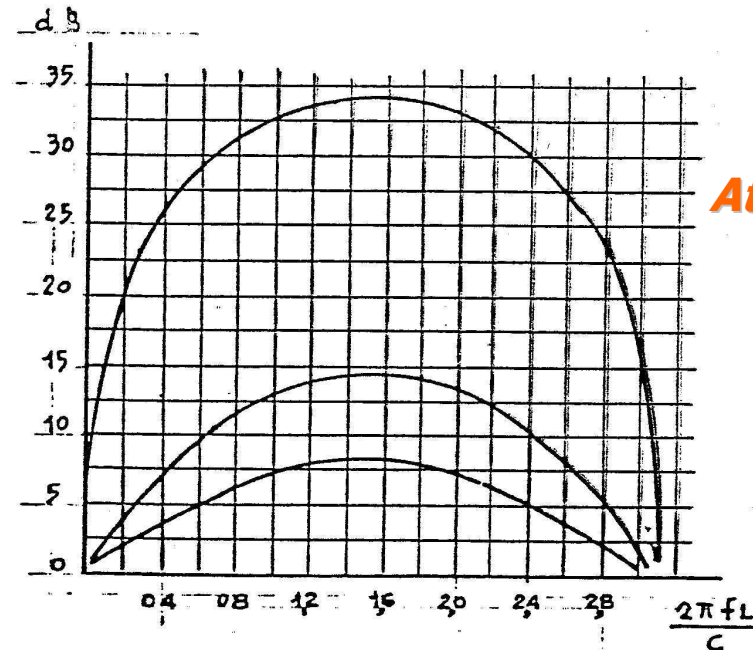
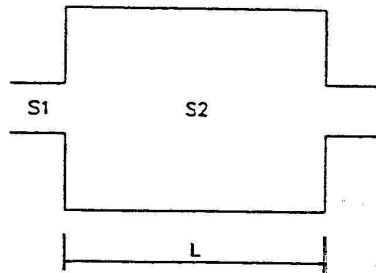
Silenziatori reattivi

I silenziatori di tipo reattivo si basano sul principio dell'assorbimento acustico per risonanza, o per riflessione, del rumore proveniente dalla sorgente. Ciò avviene ad esempio attraverso un condotto nel quali vi siano tutta una serie di camere ad espansione la cui geometria sia tale da riflettere verso il punto d'origine, o da assorbire per risonanza, parte dell'energia sonora che si propaga lungo di esso. L'esempio più noto di silenziatore reattivo è la marmitta di scarico dei veicoli stradali, ma dispositivi analoghi vengono applicati sugli scarichi delle turbine e di tutti quegli impianti che presentano gas in uscita a velocità e temperature elevate.

Le prestazioni acustiche di questo tipo di silenziatori sono fortemente dipendenti dalle caratteristiche del rumore in ingresso e da quelle termiche e dinamiche dei gas che li attraversano.

Silenziatori a camera

Principio di funzionamento: limita la propagazione acustica in base ad una brusca variazione della sezione di passaggio del fluido



*Attenuazione per curvature
con rivestimento
fonoassorbente*

Vantaggi: possibilità di ottimizzare l'attenuazione acustica in funzione della frequenza agendo sulle dimensioni

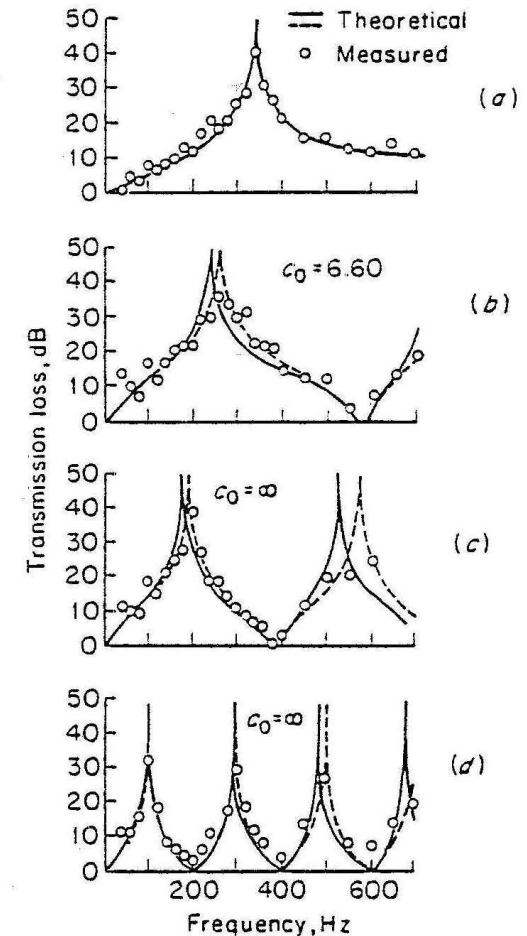
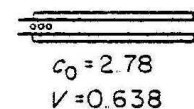
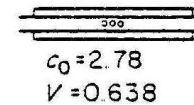
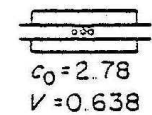
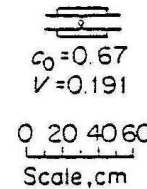
Svantaggi: vi sono intervalli di frequenza dove l'attenuazione è scarsa, perdite di carico elevate, ingombri elevati

Silenziatori a risonanza

Principio di funzionamento: limitano la propagazione acustica per il fenomeno della risonanza di Helmholtz

c_0 = conduttività del collo del risuonatore

V = volume del risuonatore



Silenziatori a risonanza

Applicazioni principali

Per autoveicoli

Vantaggi

Possibilità di adattare l'attenuazione delle caratteristiche del rumore da attenuare, attraverso complesse configurazioni geometriche

Svantaggi e limiti

Scarsa efficacia alle alte frequenze, elevata perdita di carico nelle configurazioni più complesse

Silenziatori a controllo attivo

I silenziatori a controllo attivo sono, di principio, costituiti da un microprocessore, da due microfoni posti a una determinata distanza all'interno del canale e da un altoparlante posizionato tra i microfoni e posto all'esterno del canale ma che irradia suono all'interno di questo. Il microfono più vicino alla sorgente rileva il rumore, il segnale viene elaborato dal microprocessore il quale genera un segnale in controfase che viene irradiato dall'altoparlante. Il secondo microfono, a valle dell'altoparlante, registra l'avvenuta attenuazione e invia il segnale di "feedback" al microprocessore per eventuali ulteriori correzioni

Per situazioni particolarmente severe in cui sono richieste attenuazioni elevate in un largo spettro di frequenza, possono essere realizzati silenziatori di tipo misto, costituiti da una sezione reattiva e da una dissipativa, complementari l'una all'altra in termini di attenuazione acustica.

Effetti del passaggio dell'aria

- Varia la velocità di propagazione del suono

flusso d'aria



Diminuisce
l'attenuazione

verso di propagazione del suono



flusso d'aria



Aumenta
l'attenuazione

verso di propagazione del suono



- Si genera rumore che dipende dal rivestimento dei condotti silenzianti e dall'urto dell'aria contro eventuali ostacoli (griglie, setti, ...)

$$L \cong K + 10 \log v^5$$

dove v è la velocità dell'aria

Effetti del passaggio dell'aria

- **le perdite di carico crescono con il quadrato della velocità dell'aria**
- **usando come materiale fonoassorbente materiali fibrosi (es. lana di vetro) occorre impedire l'asportazione delle fibre attraverso una adeguata protezione**

Rumore irradiato dai condotti

Cause

- **vibrazioni indotte da organi in movimento collegati al condotto (es. ventilatori) e fenomeni di turbolenza**
- **campo acustico interno al condotto**

Per limitare il primo fenomeno

- **desolidarizzare gli organi rotanti dai condotti (es. con manicotti elastici)**
- **stabilire una configurazione delle canalizzazioni atta ad evitare turbolenze (es. evitando curve a gomito senza deflettori)**

Per limitare il secondo fenomeno

- **irrigidire la canalizzazione (preferibile la sezione circolare a quella rettangolare)**
- **aumentare la massa specifica delle pareti del canale**
- **Aggiungere sulle pareti materiale viscoelastico per aumentare lo smorzamento**
- **Rivestire con materiale fonoassorbente le pareti ricoprendolo con una membrana fonoisolante (il sistema è inefficace in presenza di basse frequenze)**

Silenziatori per scarichi di gas

Nel caso di rumore emesso da scarichi di aria compressa (tipicamente aria esausta scaricata da valvole pneumatiche), oppure da getti d'aria in pressione (utilizzati per pulizia e movimentazione di pezzi o per raffreddamento localizzato di materiali o parti di macchine), possono essere utilizzati particolari silenziatori di disegno molto più semplice e di dimensioni molto più contenute. In questo caso compito del silenziatore è principalmente quello di "regolarizzare" il getto di scarico dell'aria riducendone così la turbolenza a cui è associata la generazione di rumore in prossimità della sezione di uscita all'atmosfera.

Occorre però precisare che il silenziamento degli scarichi di gas esausti può essere molto consistente (anche maggiore di 30 dB) poiché può essere diminuita in modo drastico la velocità del gas, viceversa il silenziamento dei getti utili (che debbono cioè compiere un lavoro) consente benefici notevolmente più contenuti (in genere ampiamente al di sotto dei 10 dB)

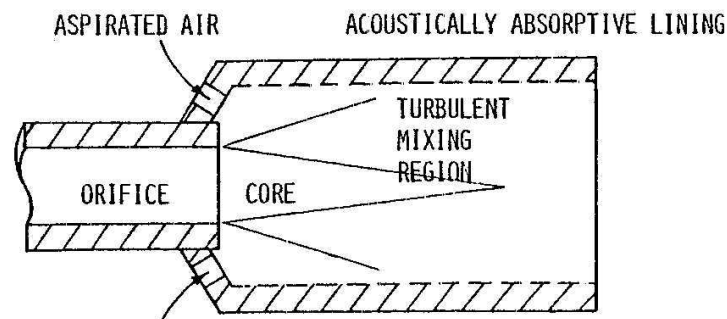
Silenziatori per scarichi rapidi di gas

Sorgente di rumore

Miscelazione turbolenta far il gas in uscita e l'aria ambiente, con predominanza di alte frequenze (4-8 kHz)

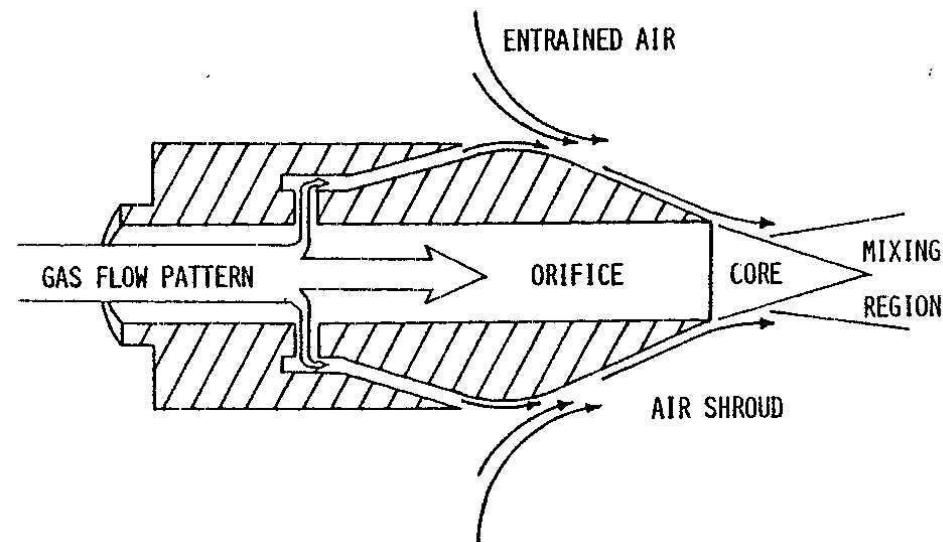
Criteri di silenziamento per scarichi che debbono compiere un lavoro (es. espulsione pezzi meccanici, raffreddamento) che richiede una determinata spinta:

- suddividere la portata del gas in più ugelli di piccolo diametro
- inserire nella parte terminale dell'ugello una rete o una maglia che riduce la velocità del getto (però si diminuisce anche la spinta)
- utilizzare un ugello dotato di alcune aperture alla base per aumentare il flusso d'aria e quindi la spinta



Silenziatori per scarichi rapidi di gas

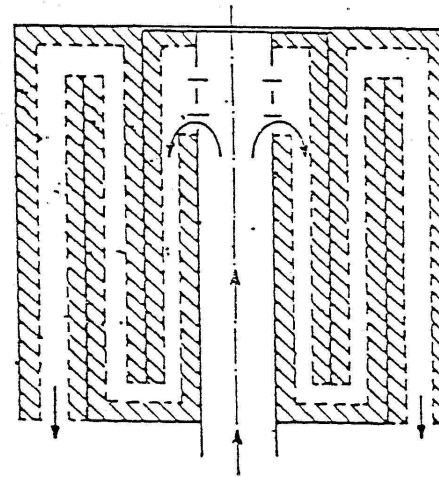
- utilizzare un ugello costituito da una corona di fori attraverso i quali si forma un velo d'aria che avvolge il getto riducendo la velocità relativa fra getto e aria circostante



Attenuazione acustica ottenibile: variabile da pochi dB e 10 dB

Criteri di silenziamento per getti liberi

- inserire materiali porosi (metalli sintetizzati, maglie metalliche, ecc...): il sistema è semplice e molto economico ma sono elevate le perdite di carico e vi è rischio di intasamento
- inserire una camera di espansione ove il getto si stabilizza e fuoriesce a velocità contenuta



Il silenziatore in figura utilizza questi due principi:

- espansione graduale (attraverso l'aumento progressivo della sezione di passaggio)
- passaggio dell'aria in canali fonoassorbenti

Attenuazione acustica ottenibile: fra 15 e 35 dB