

# La qualità acustica degli ambienti interni

## Soluzioni progettuali, materiali e metodi di verifica

Simone Secchi

Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini"  
*Laboratorio congiunto Università Impresa di Acustica Edilizia Ricerca & Sviluppo*

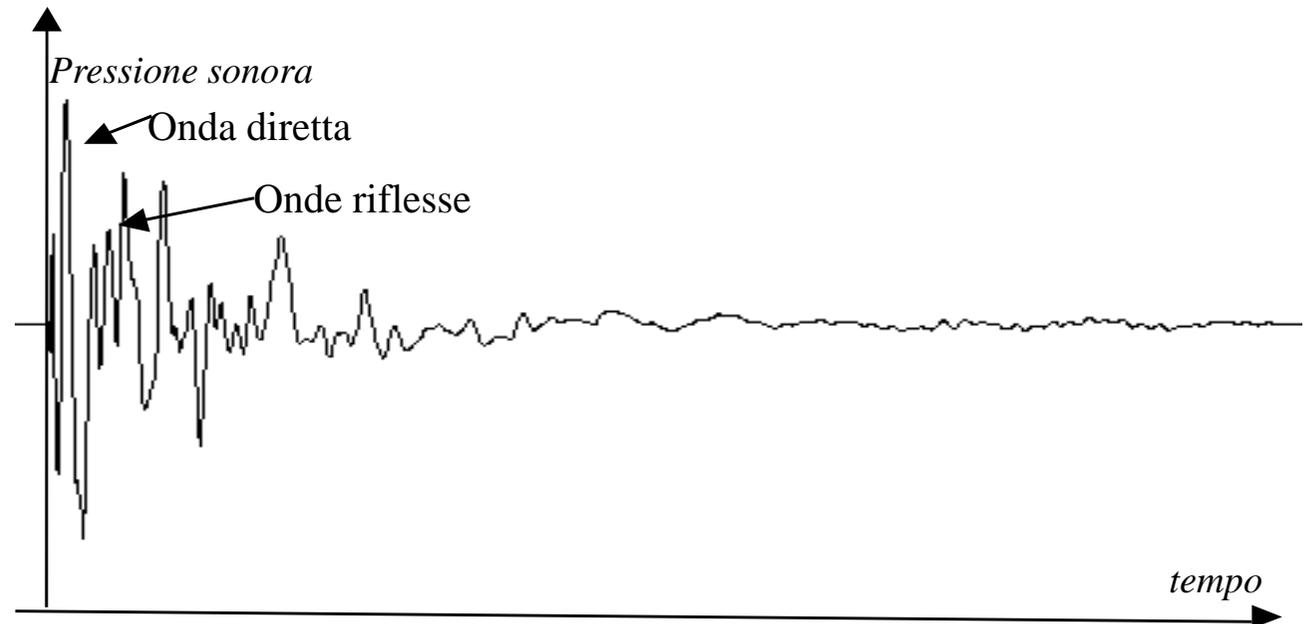
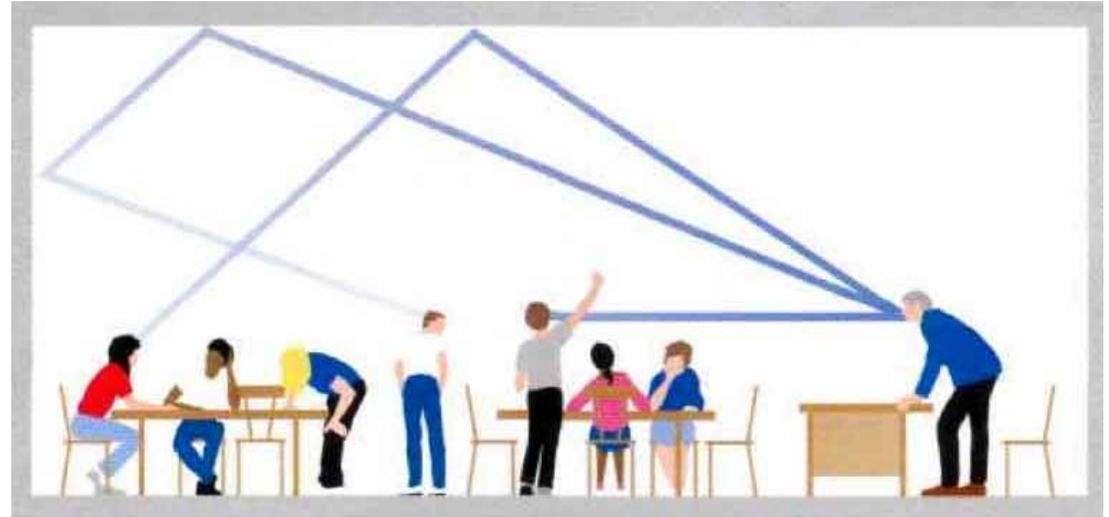
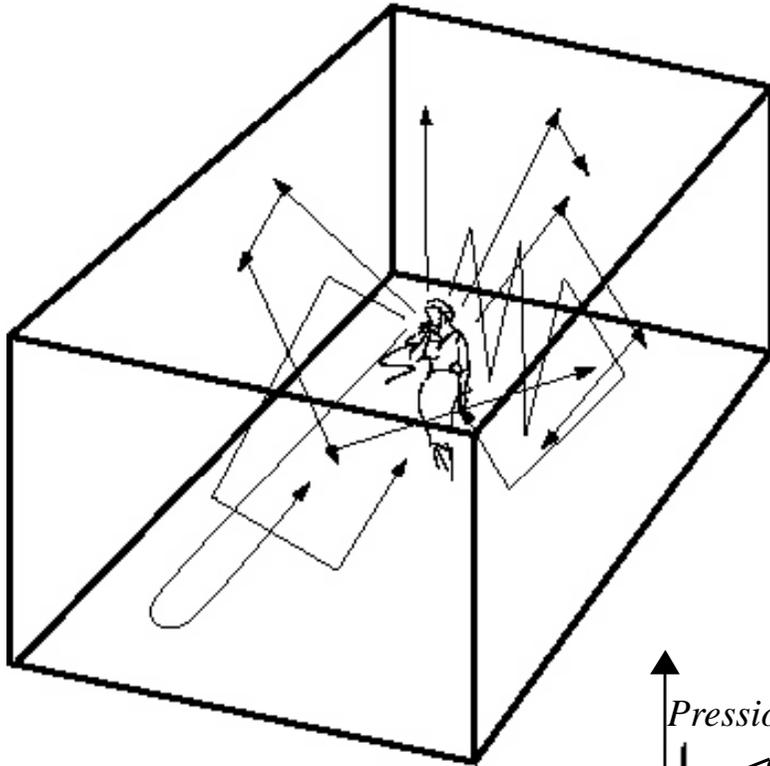


*Università degli Studi di Firenze*

simone.secchi@unifi.it

# Le riflessioni sonore

S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



# Le problematiche legate alla cattiva qualità acustica nelle scuole

*Sforzo vocale ed effetti sull'apprendimento*

APPARATO FONATORIO



*Insegnanti*

*Formazione di noduli, granulomi, polipi,  
rilassamento corde vocali, progressiva  
diminuzione della voce*



**IN ITALIA IL 59% DEGLI INSEGNANTI  
PRESENTA PATOLOGIE LEGATE  
ALLO SFORZO VOCALE**

DEFICIT COGNITIVI



*Studenti*

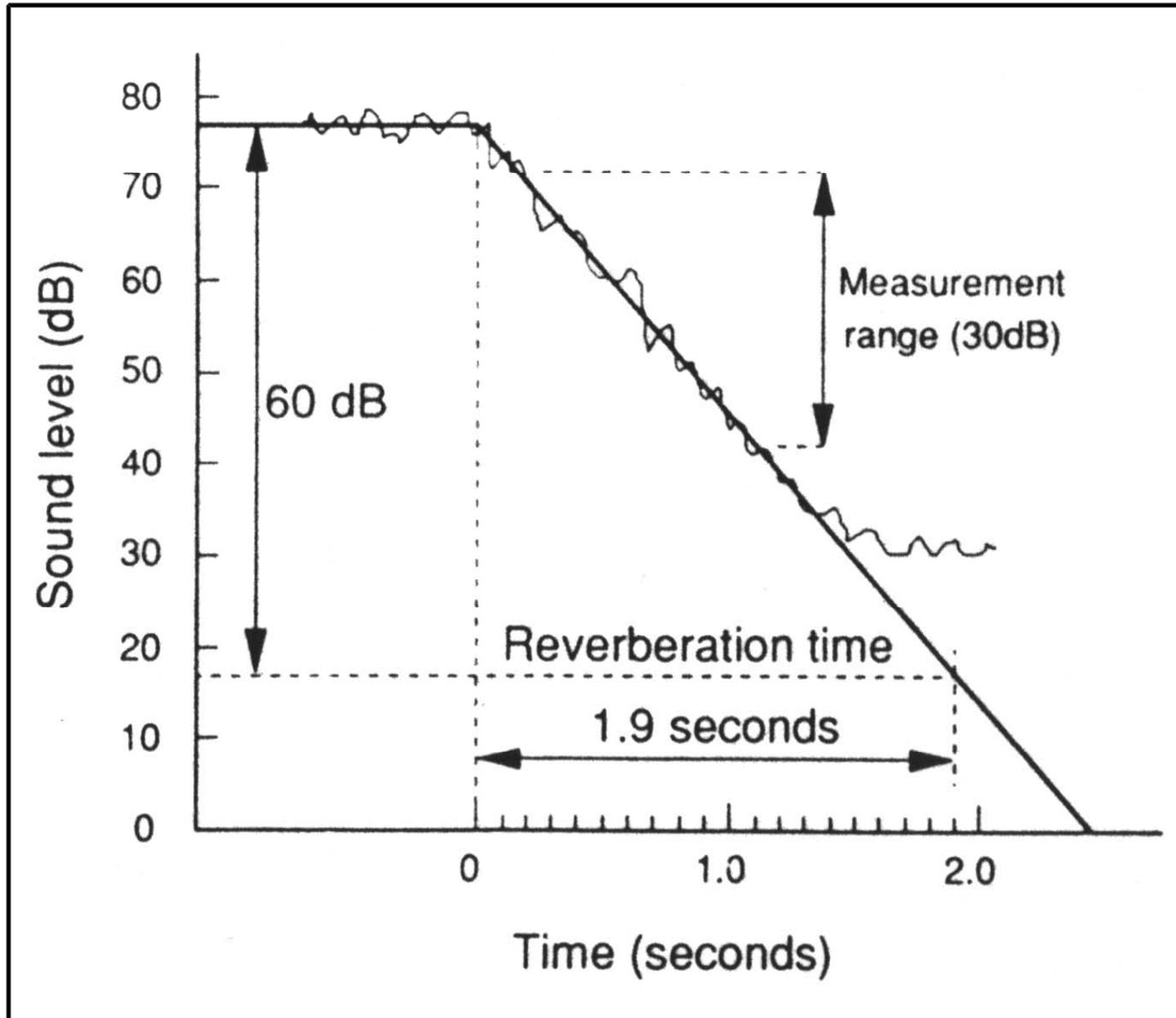
*Difficoltà nell'apprendimento e nell'attenzione,  
mal di testa, irritabilità, problemi di digestione*



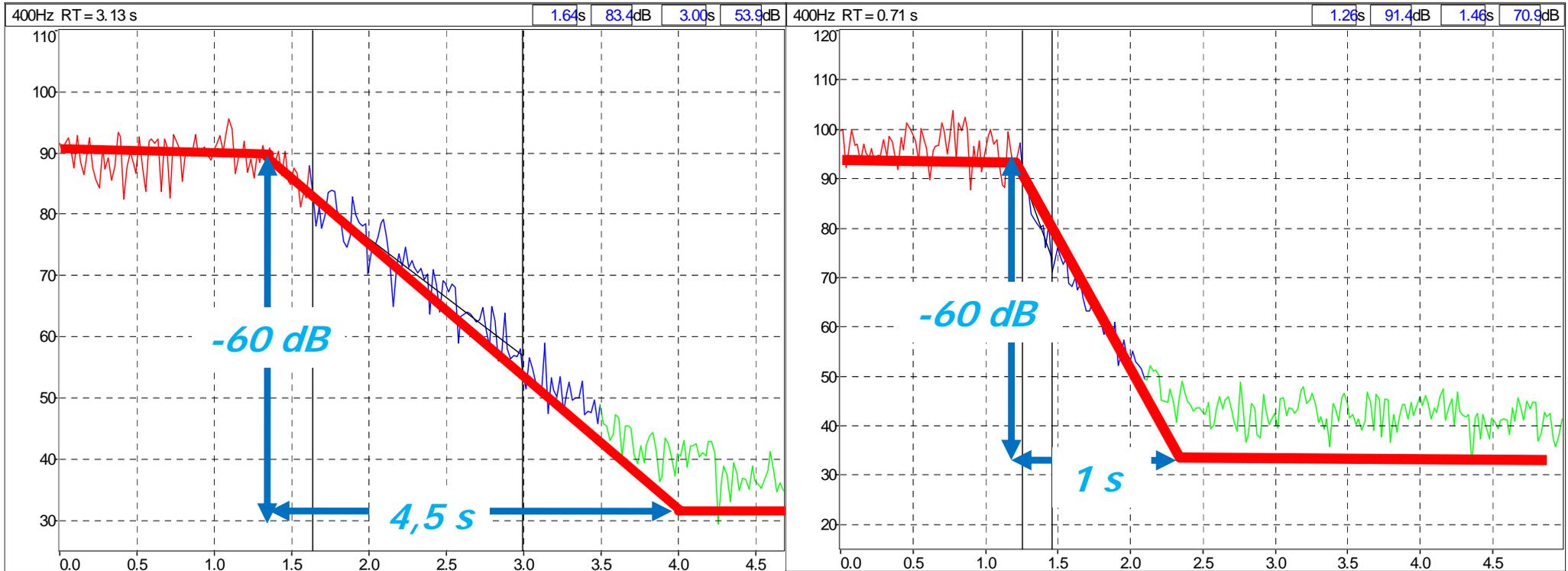
**MAGGIORE CRITICITA' IN SOGGETTI  
GIOVANI E CON DISABILITA'  
DELL'APPARATO Uditivo**

# Il tempo di riverberazione

Tempo impiegato al livello di pressione sonora per ridursi di 60 dB dopo che è cessata l'emissione da parte della sorgente sonora



# Il tempo di riverberazione



**Tempo di riverberazione lungo:**  
**Sala riverberante**

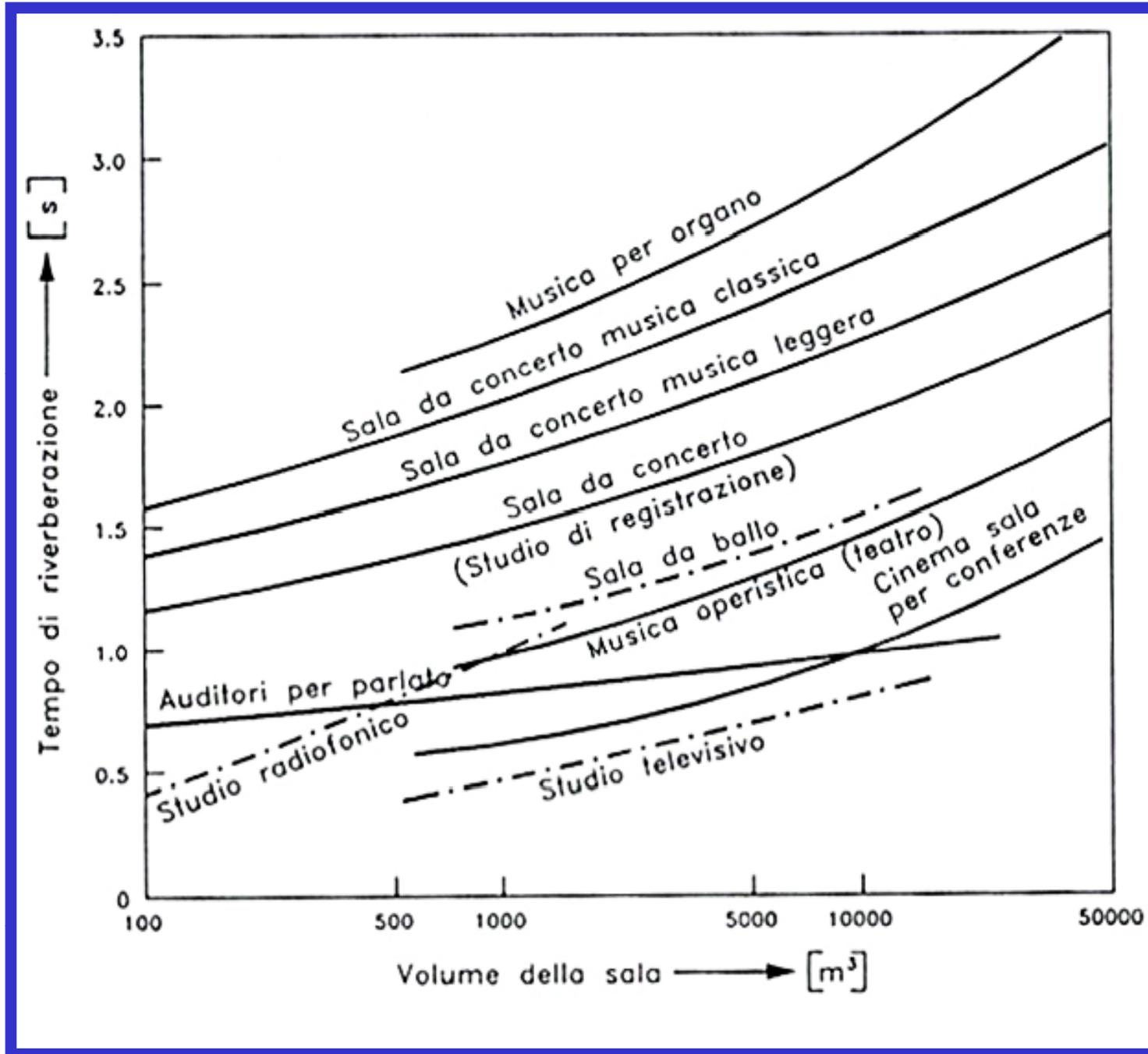
**Tempo di riverberazione corto:**  
**Sala sorda**

# Tempo di riverberazione ottimale (secondo Barron)

Musica per organo	Oltre 2.5 sec
Musica del periodo romantico	1.8 - 2.2 sec
Musica classica	1.6 - 1.8 sec
Opera	1.3 - 1.8 sec
Musica da camera	1.4 - 1.7 sec
Teatro	0.7 - 1.0 sec

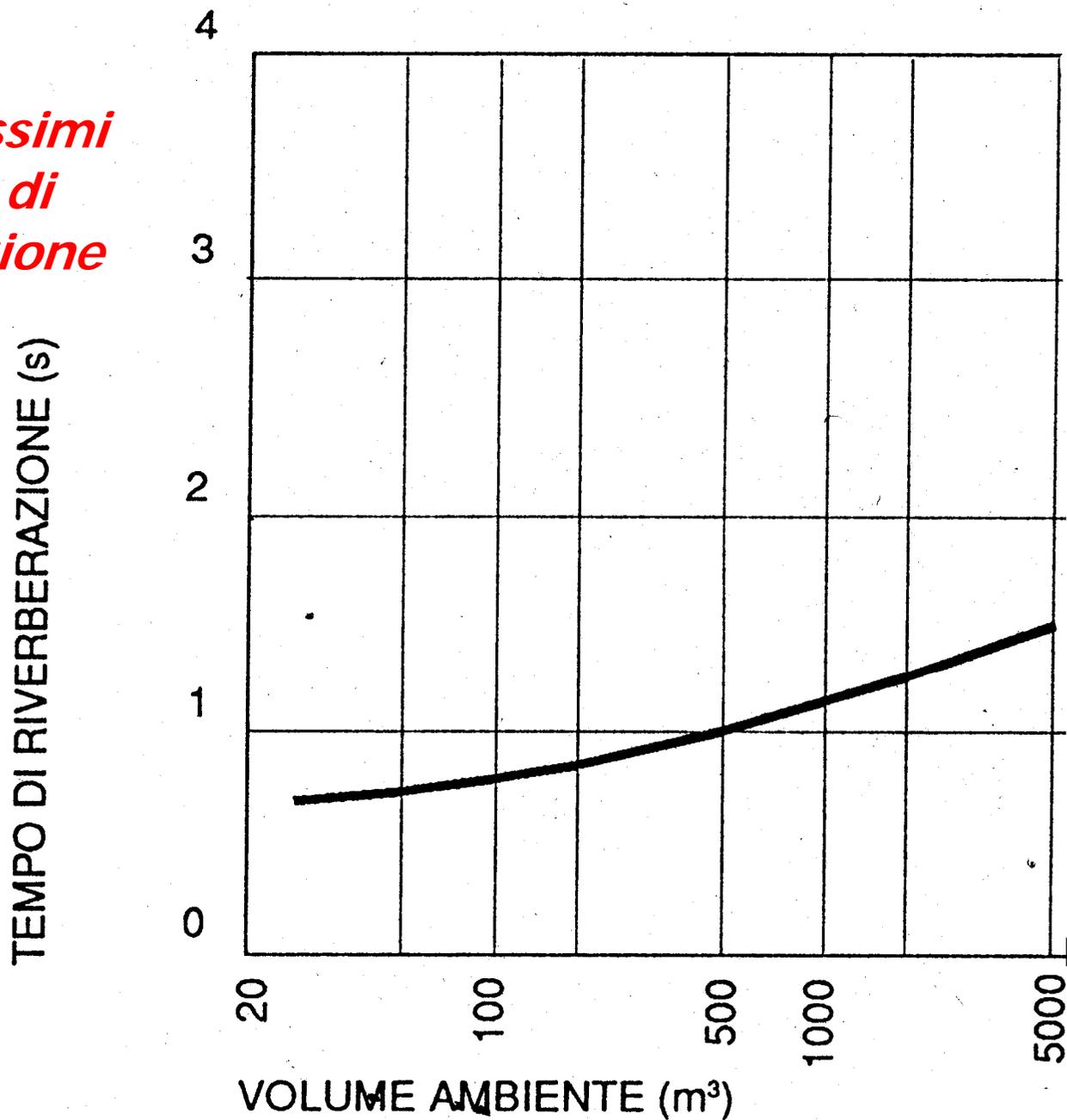
# Valori raccomandati del tempo di riverberazione

S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



# La valutazione secondo legge Il DM 18/12/75 per l'edilizia scolastica

*Valori massimi  
del tempo di  
riverberazione*

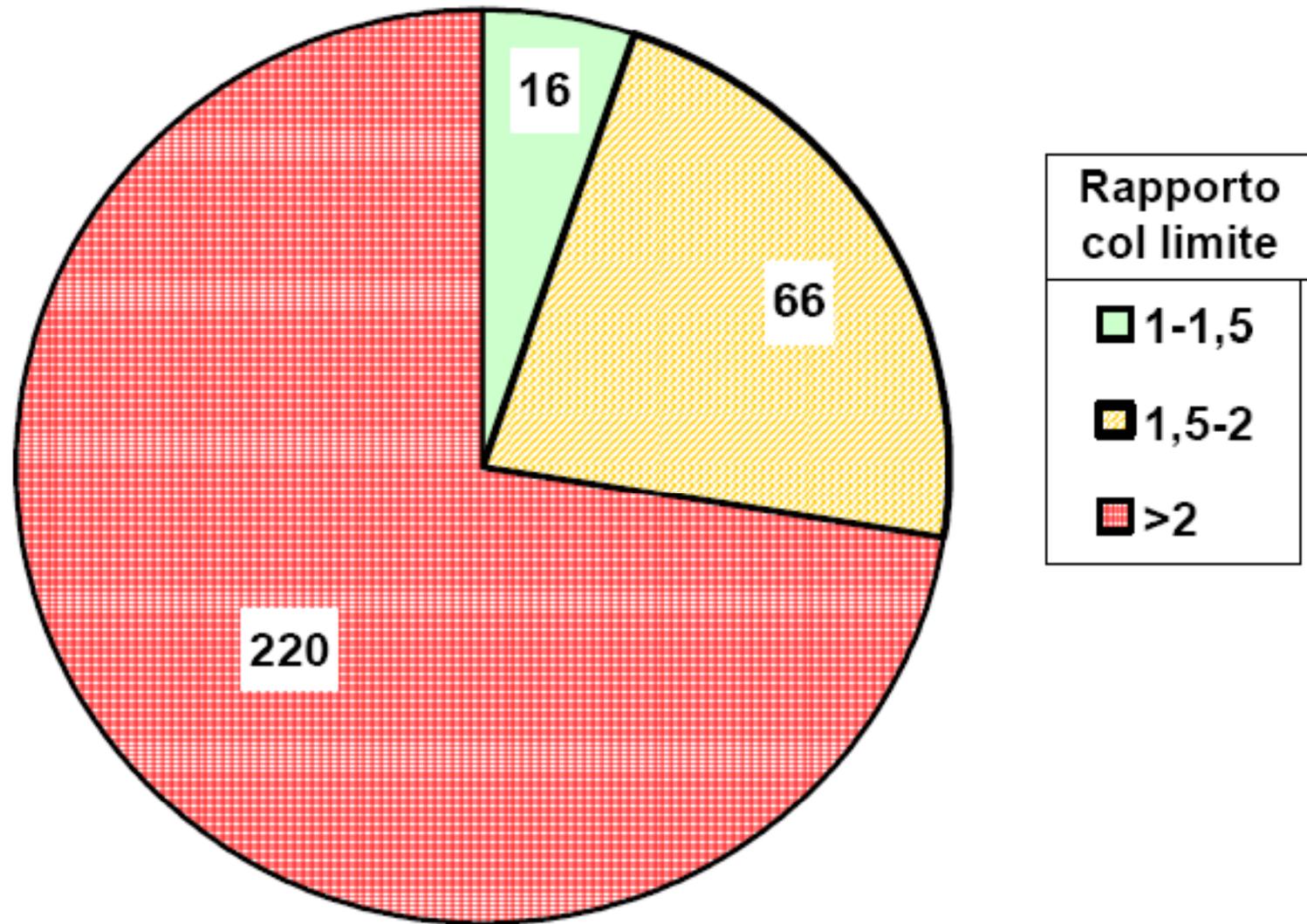


# La situazione delle scuole superiori nella provincia di Firenze

(dati ARPAT – ASL)

TEMPO DI RIVERBERO

numero di classi in cui si superano i limiti di legge



# La teoria della riverberazione secondo Sabine

$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{\sum (S \cdot \alpha)}$$

$\alpha$  = coefficiente di assorbimento acustico

Materiale	Coefficiente di assorbimento acustico $\alpha_s$ in bande di ottava, alla frequenza centrale in Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Calcestruzzo, mattoni intonacati	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Mattoni, non intonacati	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Coperture rigide per pavimenti (per esempio, PVC, parquet) su pavimenti pesanti	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Coperture morbide su pavimenti pesanti; $\leq 5$ mm	0,02	0,03	0,06	0,15	0,30	0,40
Coperture morbide su pavimenti pesanti; $\geq 10$ mm	0,04	0,08	0,15	0,30	0,45	0,55
Pavimento in legno, parquet su assi	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
Finestre, facciata di vetro	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
Porte (legno)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
Tendaggi traforati; da 0 mm a 200 mm di fronte a superficie rigida <sup>1)</sup>	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Tendaggi, $< 0,2$ kg/m <sup>2</sup> ; da 0 mm a 200 mm di fronte a superficie rigida; minimo tipico <sup>1)</sup>	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
Tendaggi, materiale intessuto $\approx 0,4$ kg/m <sup>2</sup> ; piegato o increspato $> 1:3$ , 0 - 200 mm di fronte a superficie rigida; massimo tipico	0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	1,00
Grandi aperture (dimensione minima $> 1$ m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Griglia dell'aria, area aperta al 50%	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Nota Questi dati sono basati su pubblicazioni utilizzate in Austria, Danimarca e nei Paesi Bassi.						
1) Di fronte a una finestra i valori della combinazione possono aumentare fino ai valori di una tale finestra da sola.						

# Materiali fonoassorbenti

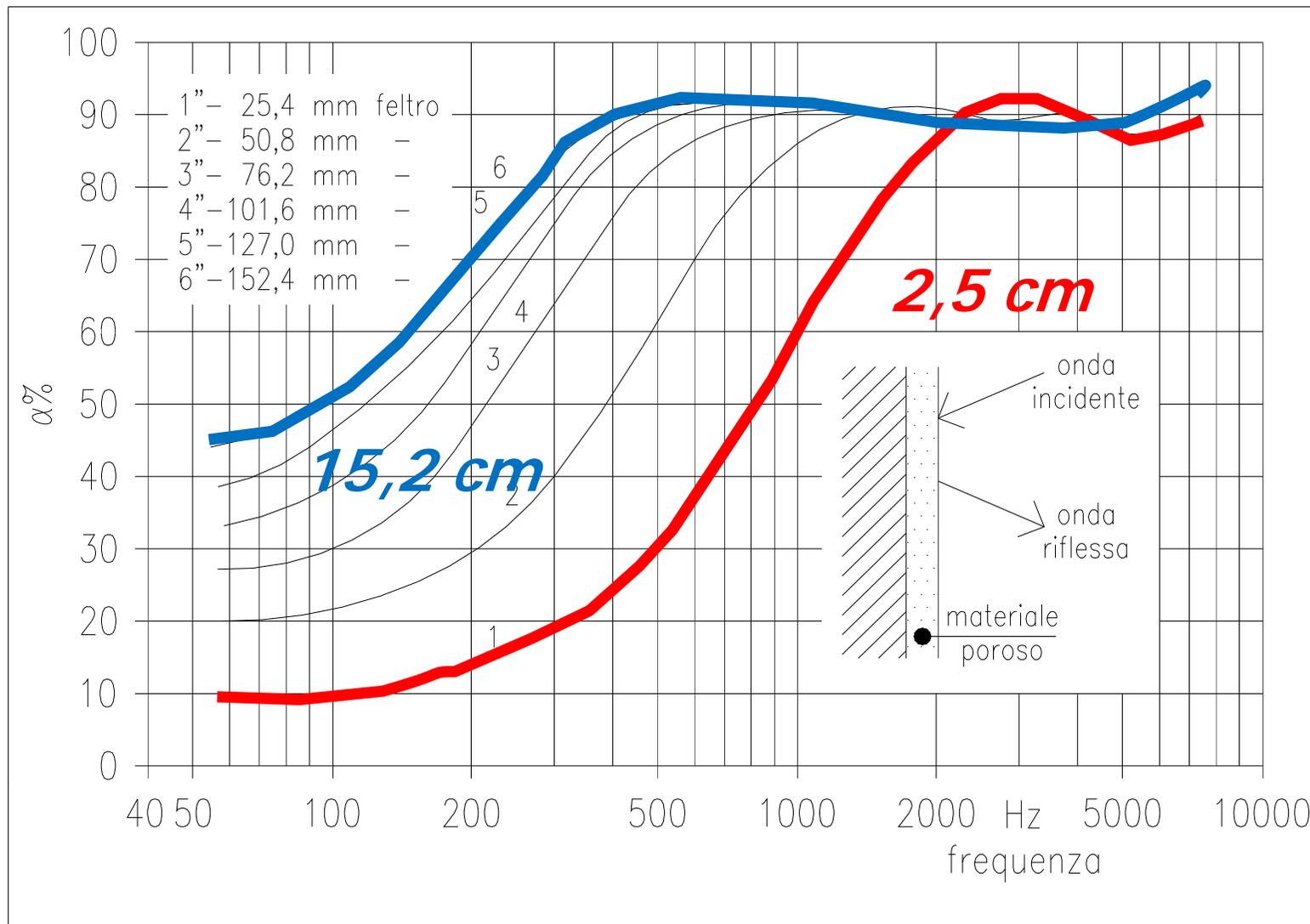
Si classificano in:

- materiali porosi
- risuonatori acustici (risonatori di Helmholtz)
- pannelli vibranti
- sistemi misti

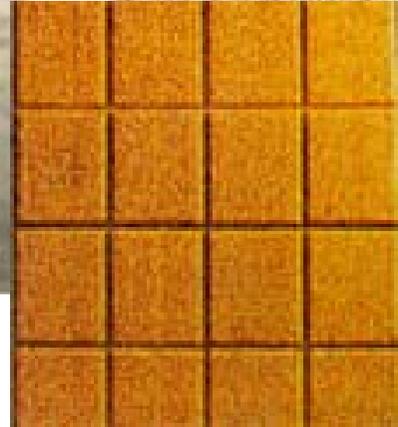
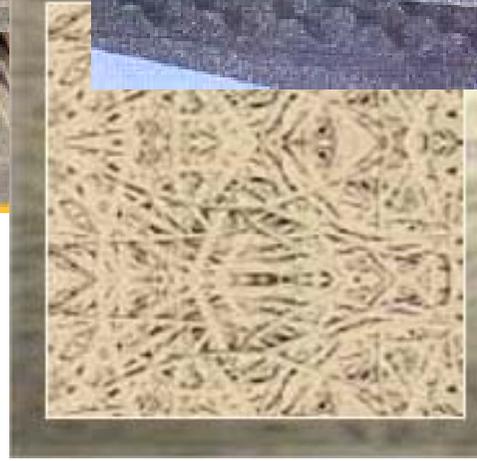
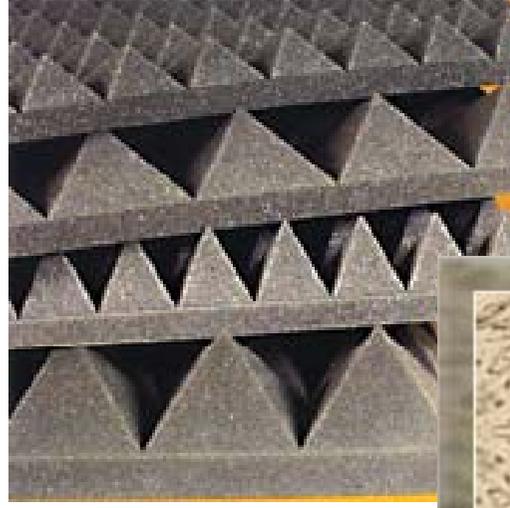
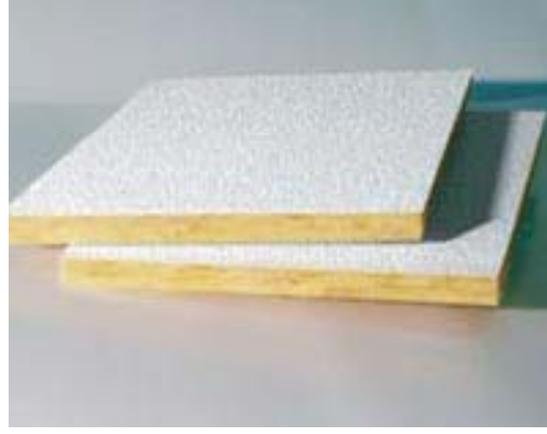
# Materiali porosi

Assorbimento acustico determinato dalla conversione in calore dell'energia meccanica dell'onda incidente.

L'assorbimento in genere aumenta con la frequenza e con lo spessore dello strato di materiale.

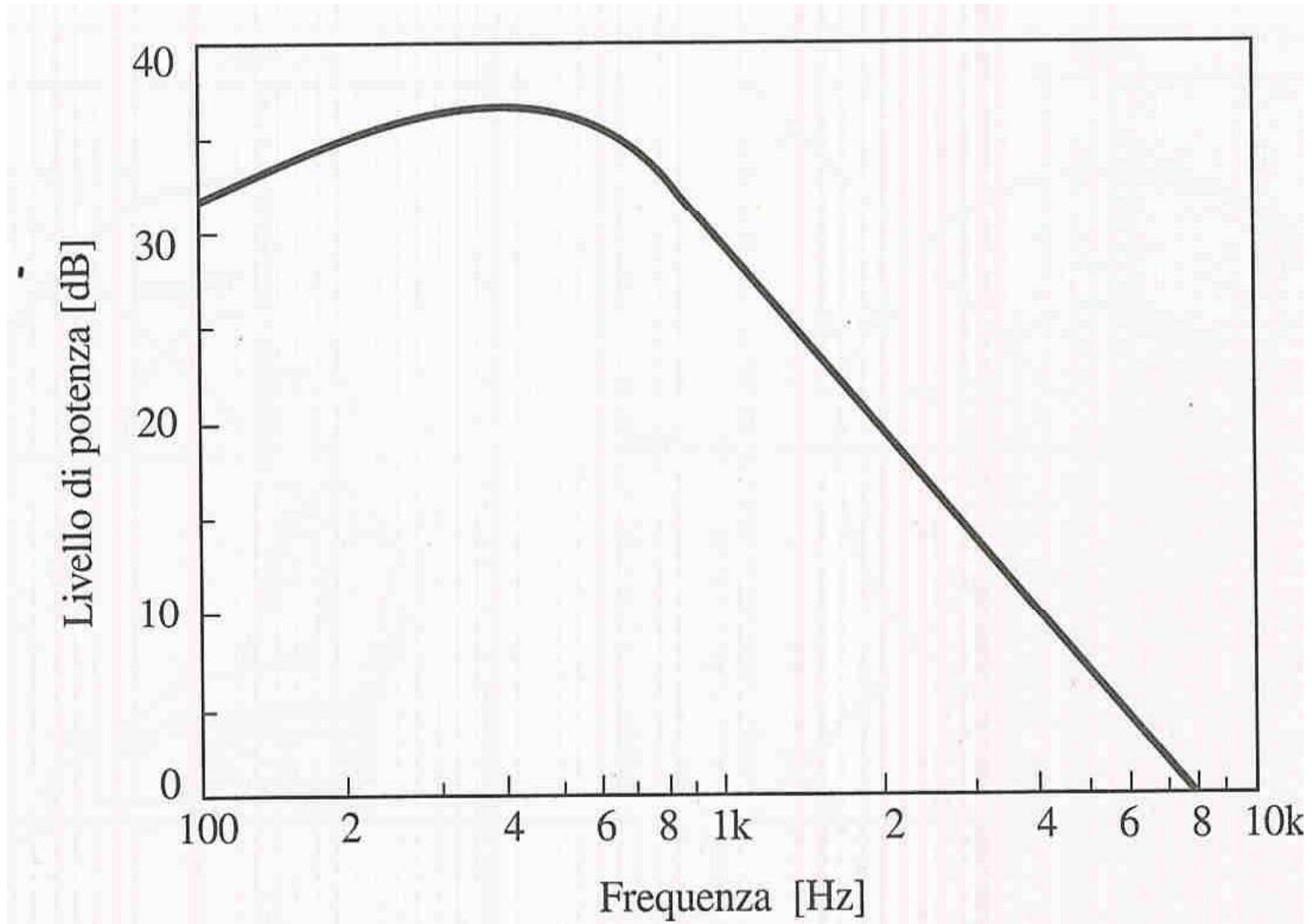


*S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni*



# La voce

S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



# Risuonatori acustici

Schematizzato come una cavità comunicante con l'esterno attraverso un foro praticato su di una parete non troppo sottile (collo del risuonatore).

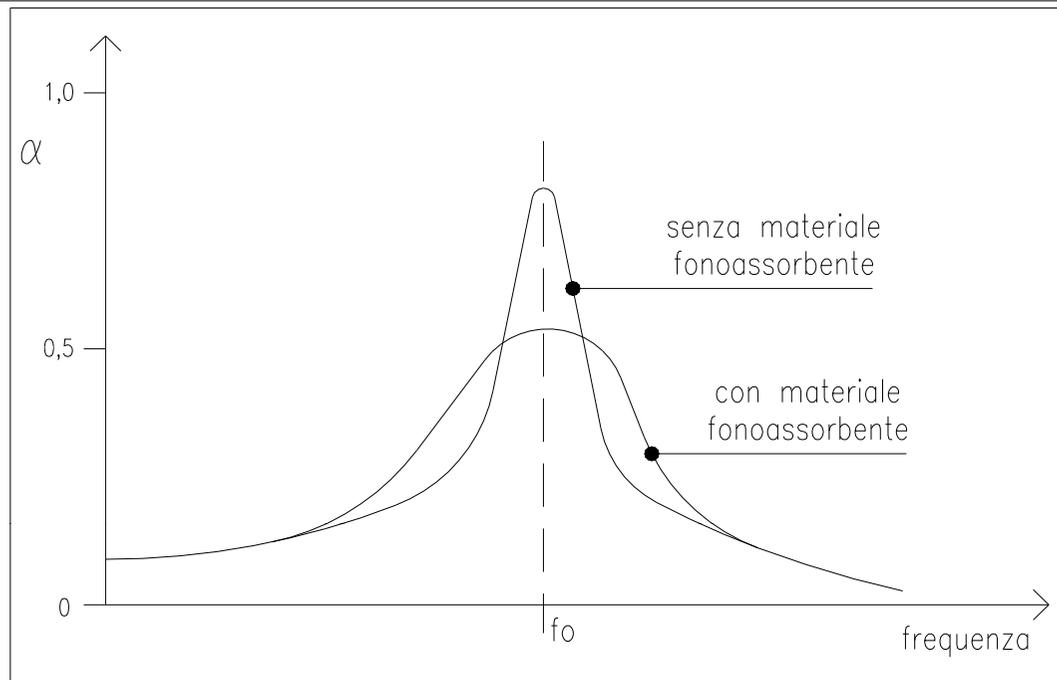
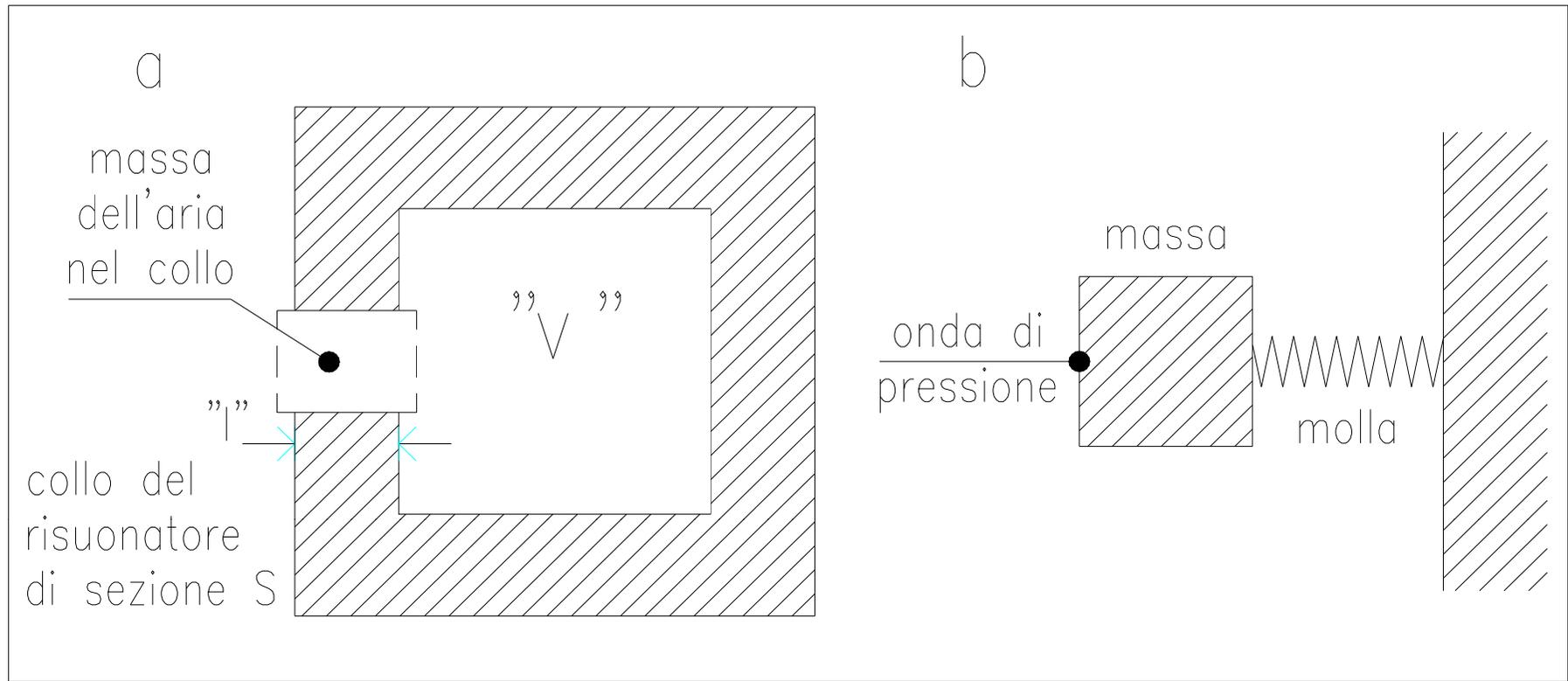
L'aria contenuta nel collo si comporta come un pistone oscillante; quella nella cavità costituisce l'elemento elastico del sistema.

Massimo assorbimento alla frequenza di risonanza

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{V(l + 1.6r)}}$$

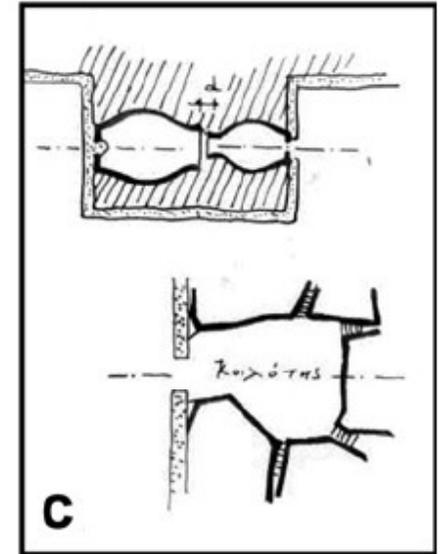
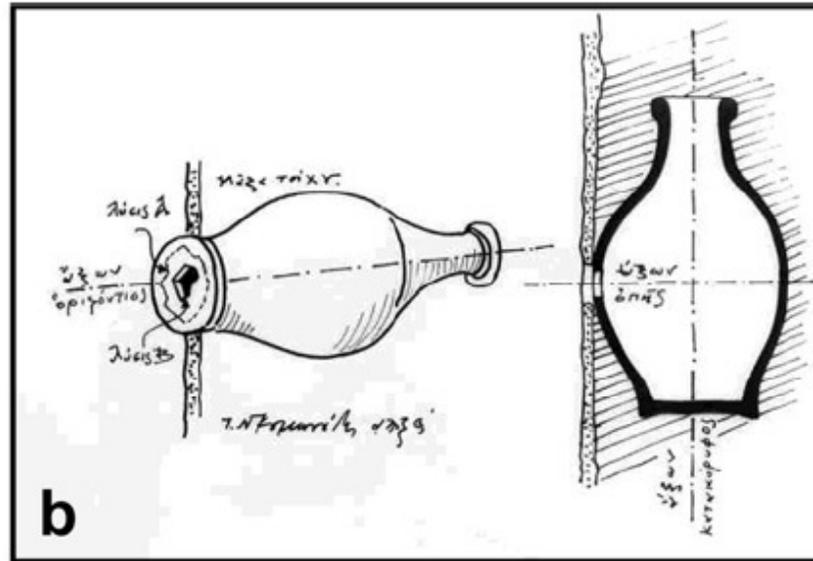
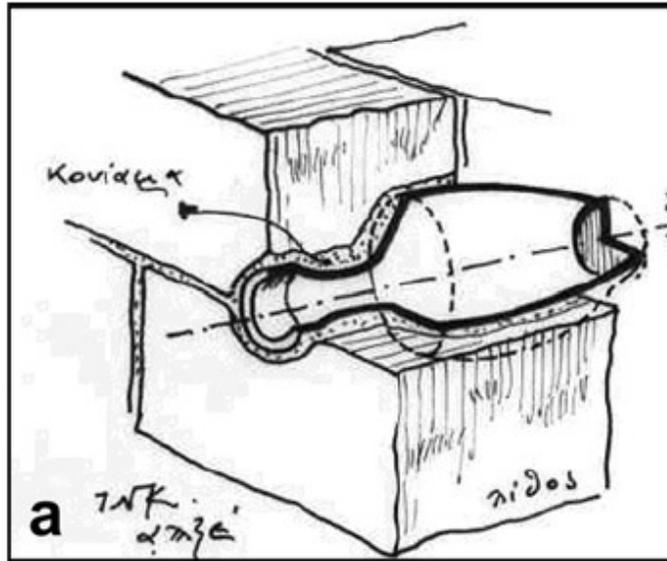


# Risuonatori acustici

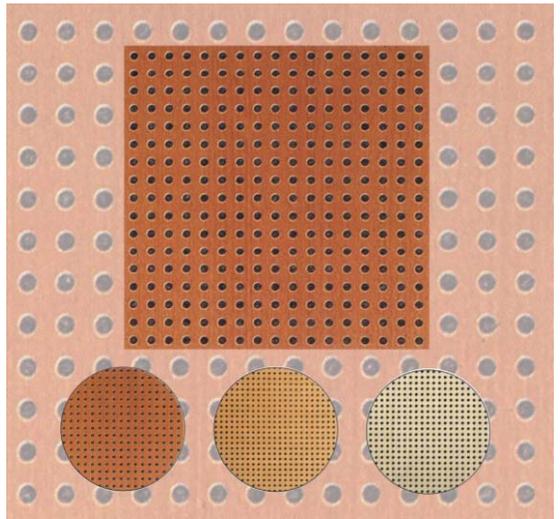
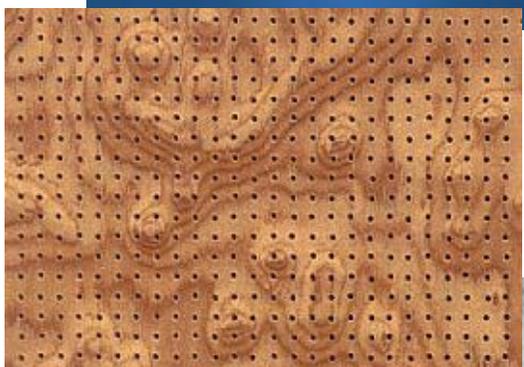
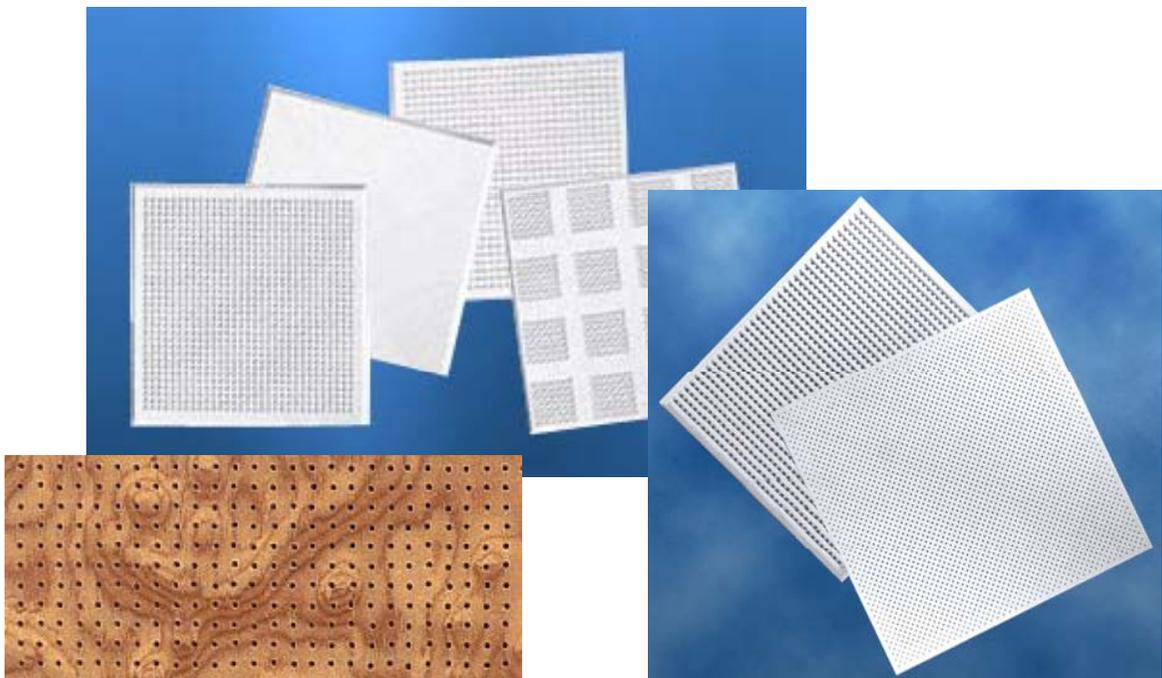


# I risuonatori acustici nella storia

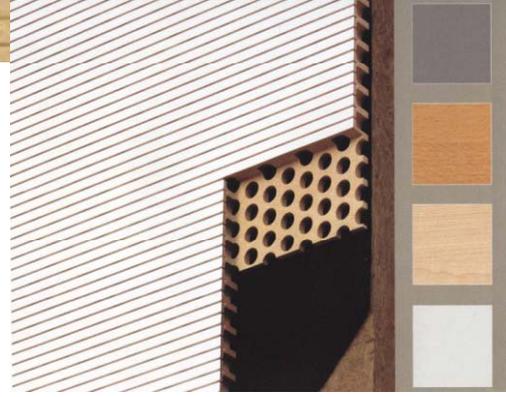
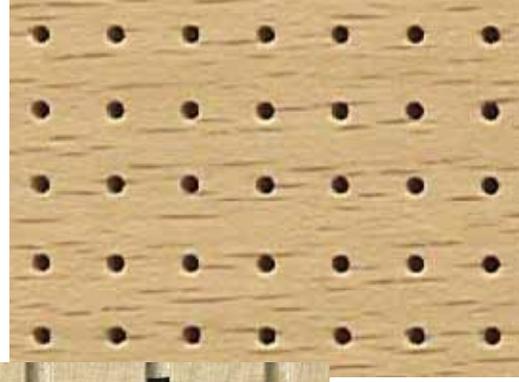
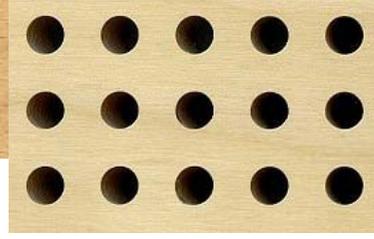
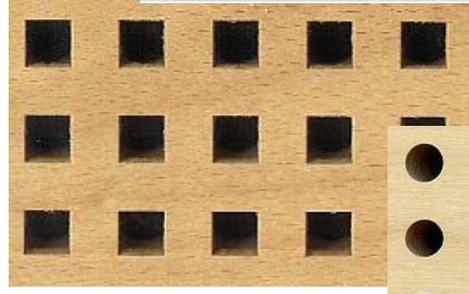
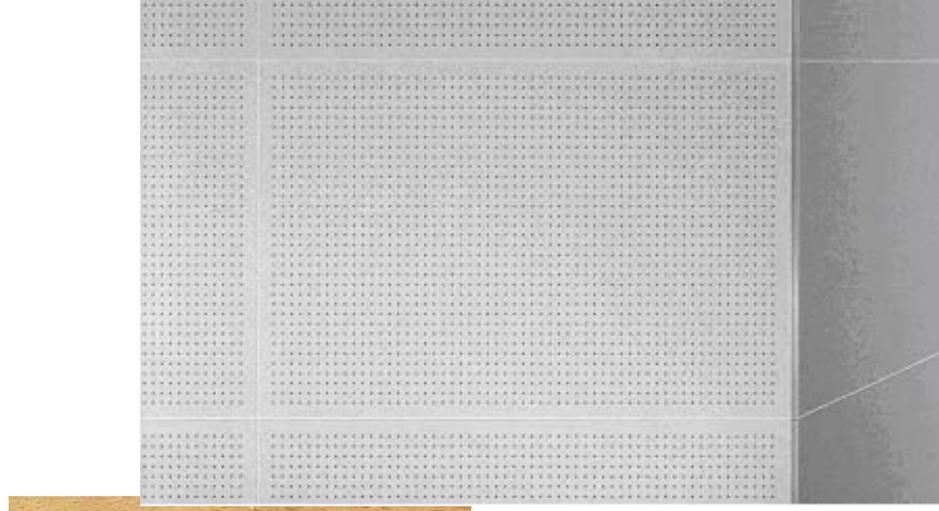
S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



*S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni*



# Pannelli vibranti

Costituiti da pannelli rigidi piani, disposti ad una certa distanza dalla parete.

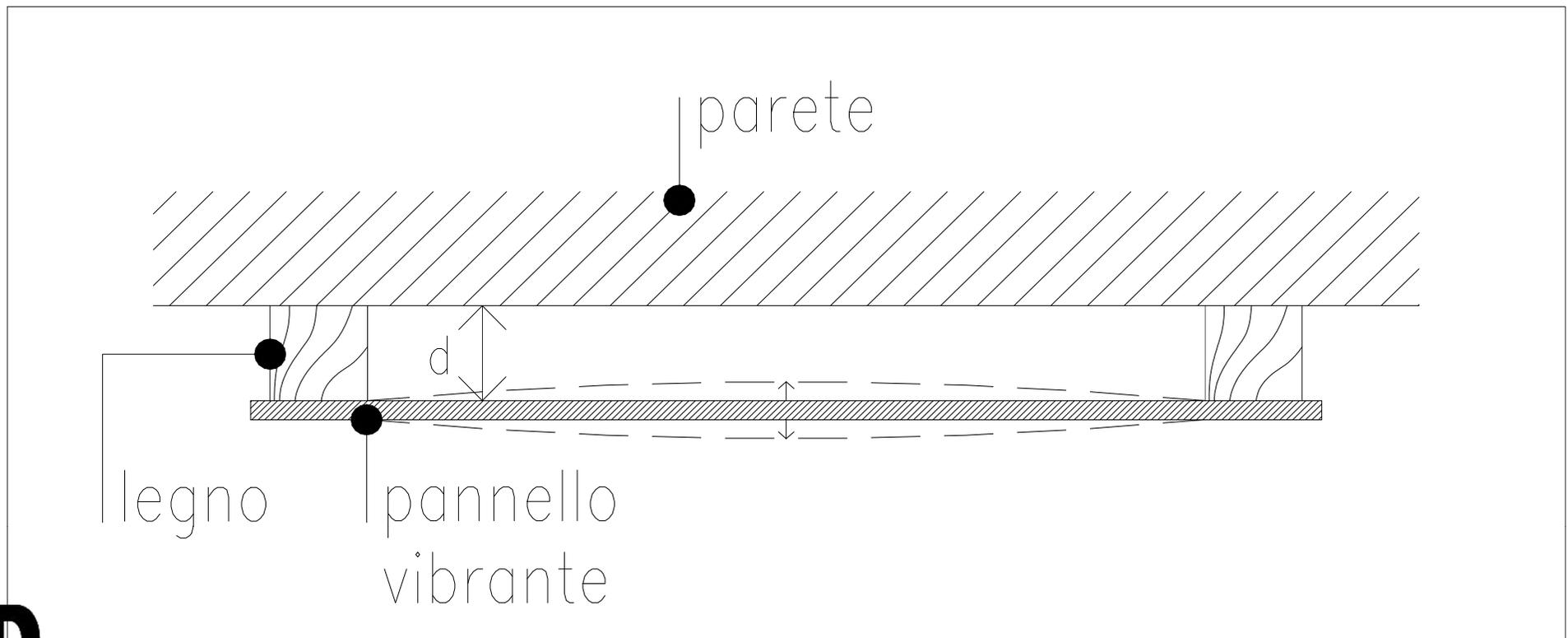
Possono essere assimilati a masse oscillanti (il pannello) accoppiata ad un elemento elastico (l'aria racchiusa nell'intercapedine).

Massimo assorbimento alla frequenza di risonanza

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{(\sigma d)}}$$

$\sigma$  = densità superficiale del pannello ( $\text{kg/m}^2$ );

$d$  = distanza del pannello dalla parete (m).



# Alcuni esempi di interventi

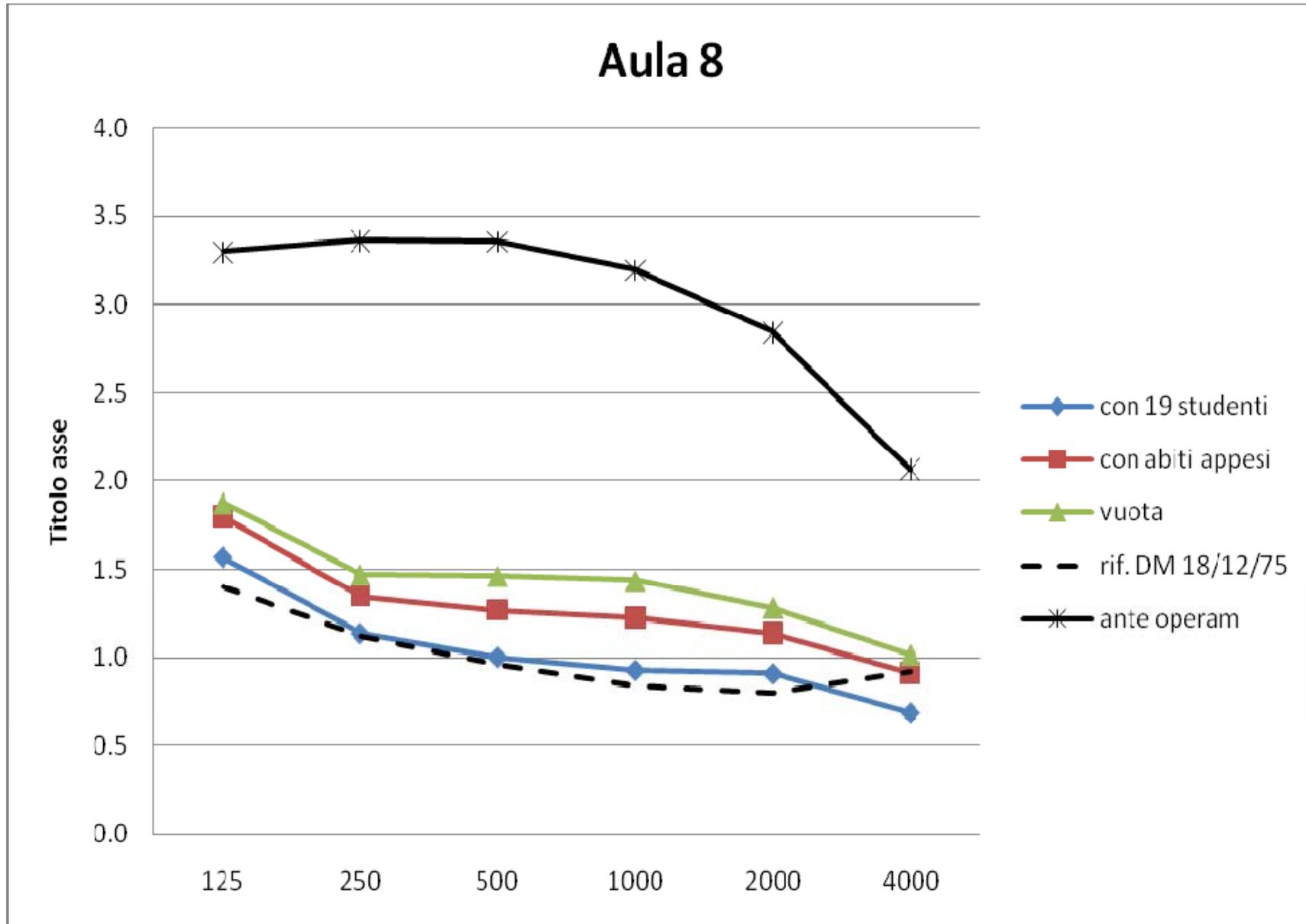
# Un esempio di intervento in una scuola



*S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni*

# Il tempo di riverberazione prima e dopo l'intervento

S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



*Auditorium di Roma di Renzo Piano*

S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni

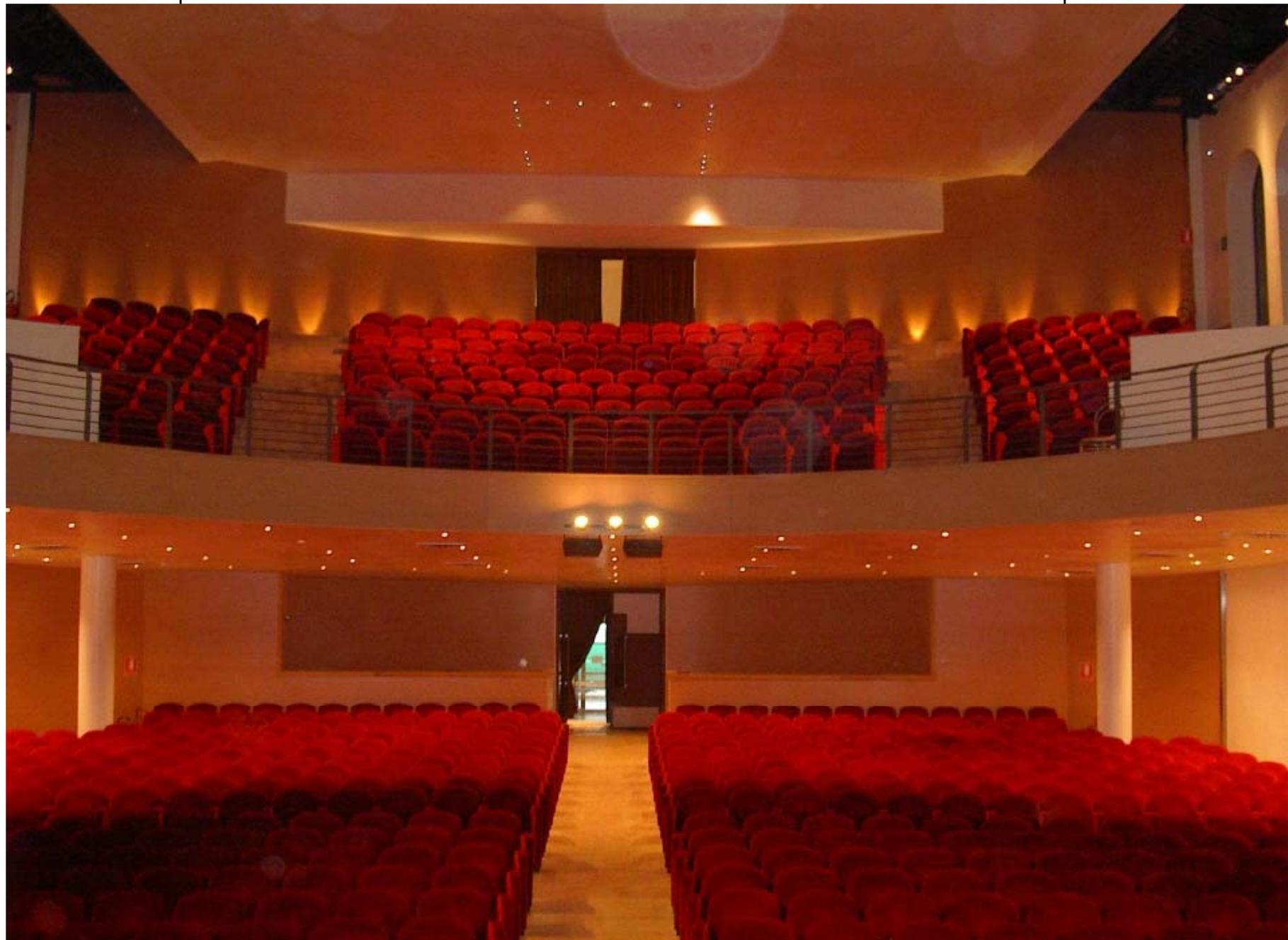


*Auditorium di Roma di Renzo Piano*

*S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni*



S. Secchi – La qualità acustica degli ambienti interni



*Teatro Toniolo – Mestre*