

---

Correzione acustica interna.

Il tema della riverberazione in ambienti acusticamente complessi

Ing. Dario D'Orazio – Università di Bologna

**Il tempo di riverberazione  
è il mezzo e non il fine**



Categoria		Requisito di <b>riverberazione</b>			Requisito di <b>intelligibilità</b>			
		Param.	range di rispetto		V < 250m3		V > 250 m3	
					Param.	range di rispetto	Param.	range di rispetto
A1	aule musica	T	125-4000 Hz	occup	--			
A2	aule magne	T	125-4000 Hz	occup	C <sub>50</sub>	500-2000 Hz	STI	125-8000 Hz
A3	aule didattiche	T	125-4000 Hz	occup	C <sub>50</sub>	500-2000 Hz	STI	125-8000 Hz
A4	aule speciali	T	125-4000 Hz	occup	C <sub>50</sub>	500-2000 Hz	STI	125-8000 Hz
A5	palestre	T	125-4000 Hz	non occup				
A6.1	vani scala	--		non occup				
A6.2	spogliatoi	A/V	250-2000 Hz	non occup				
A6.3	biblioteche	A/V	250-2000 Hz	non occup				
A6.4	mense	A/V	250-2000 Hz	non occup				
A6.5	s c u o l e materne	A/V	250-2000 Hz	non occup				



Quali sono allora i **fini** prescritti  
la norma UNI 11532-2:2020?



## 4.1

### Identificazione dell'ambiente in relazione alle destinazioni d'uso

Al fine di definire gli obiettivi da perseguire, è di fondamentale rilevanza determinare l'attività cui l'ambiente è destinato secondo le categorie identificate nel prospetto 1 e meglio dettagliate nei prospetti 2 e 3.

prospetto 1

#### Categorie degli ambienti in relazione all'attività

Categoria	Attività in ambiente	Modalità d'intervento
A1	Musica	Obiettivo raggiunto con progettazione integrata di geometrie, arredo, controllo del rumore residuo
A2	Parlato /conferenza	
A3	Lezione/comunicazione come parlato/ conferenza (aule grandi) interazione insegnante studente	
A4	Lezione/comunicazione, incluse aule speciali	
A5	Sport	
A6	Aree e spazi non destinati all'apprendimento e biblioteche	Obiettivo raggiunto con assorbimento acustico ed il controllo del rumore residuo

Intelligibilità del parlato

Controllo del rumore ambientale

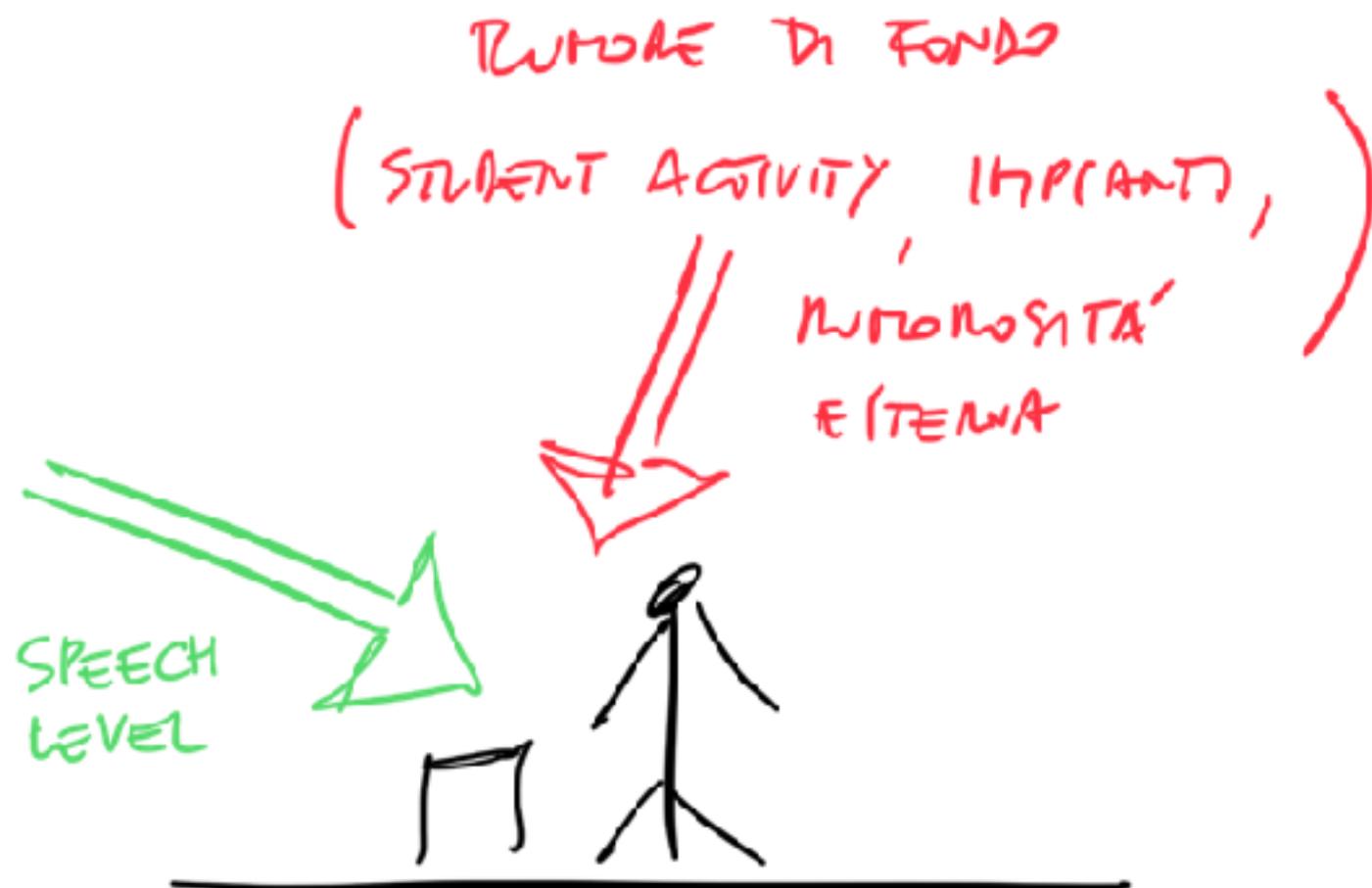


Categoria		Requisito di <b>riverberazione</b>			Requisito di <b>intelligibilità</b>			
		Param.	range di rispetto		V < 250m <sup>3</sup>		V > 250 m <sup>3</sup>	
					Param.	range di rispetto	Param.	range di rispetto
A1	aule musica	T	125-4000 Hz	occup				
A2	aule magne	T	125-4000 Hz	occup	<b>C<sub>50</sub></b>	<b>500-2000 Hz</b>	<b>STI</b>	<b>125-8000 Hz</b>
A3	aule didattiche	T	125-4000 Hz	occup	<b>C<sub>50</sub></b>	<b>500-2000 Hz</b>	<b>STI</b>	<b>125-8000 Hz</b>
A4	aule speciali	T	125-4000 Hz	occup	<b>C<sub>50</sub></b>	<b>500-2000 Hz</b>	<b>STI</b>	<b>125-8000 Hz</b>
A5	palestre	T	125-4000 Hz	non occup				
A6.1	vani scala	--		non occup				
A6.2	spogliatoi	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				
A6.3	biblioteche	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				
A6.4	mense	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				
A6.5	s c u o l e materne	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				

Intelligibilità del parlato

Controllo del rumore ambientale

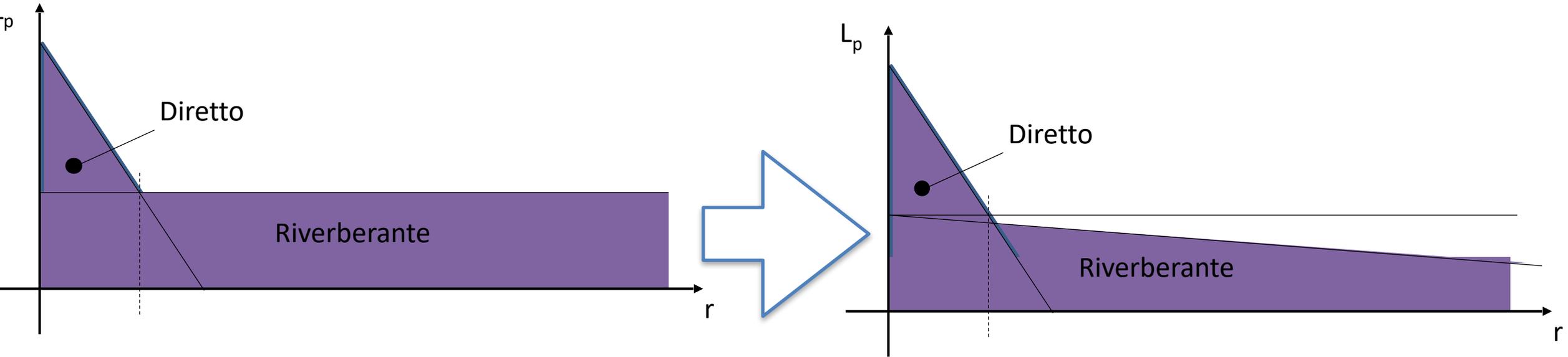




$$STI \propto \frac{\text{SPEECH LEVEL}}{\text{RUMORE DI FONDO}}$$



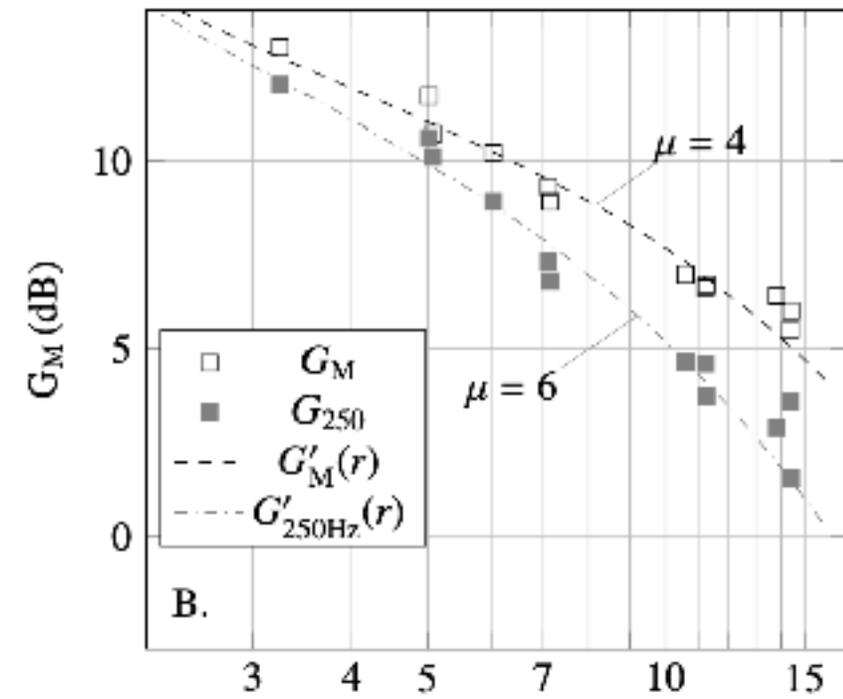
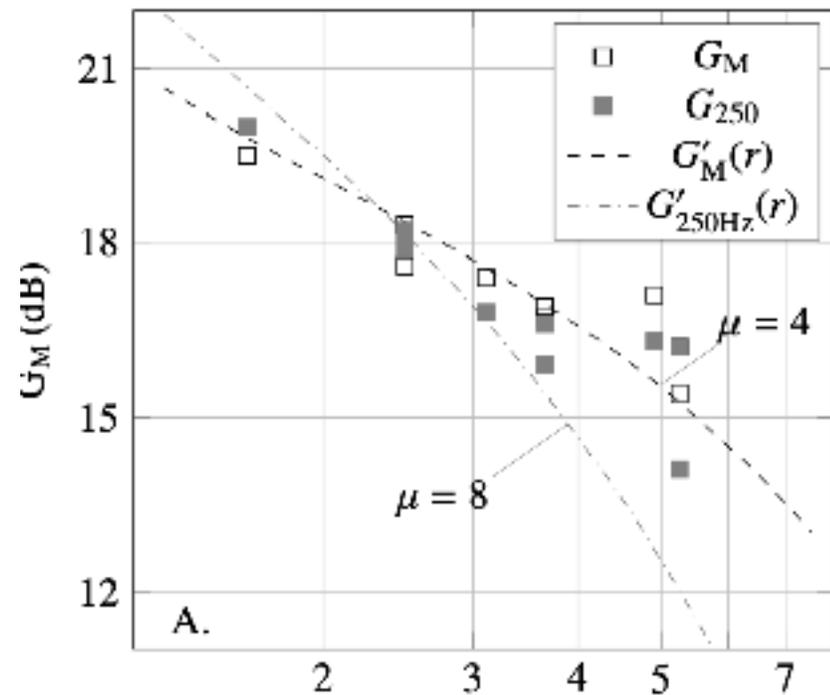
# Distribuzione spaziale dell'energia sonora



$$L_p = L_w + 10 \lg \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

Revised theory 1988  
Sato-Bradley 2008  
Harvie-Clark 2021





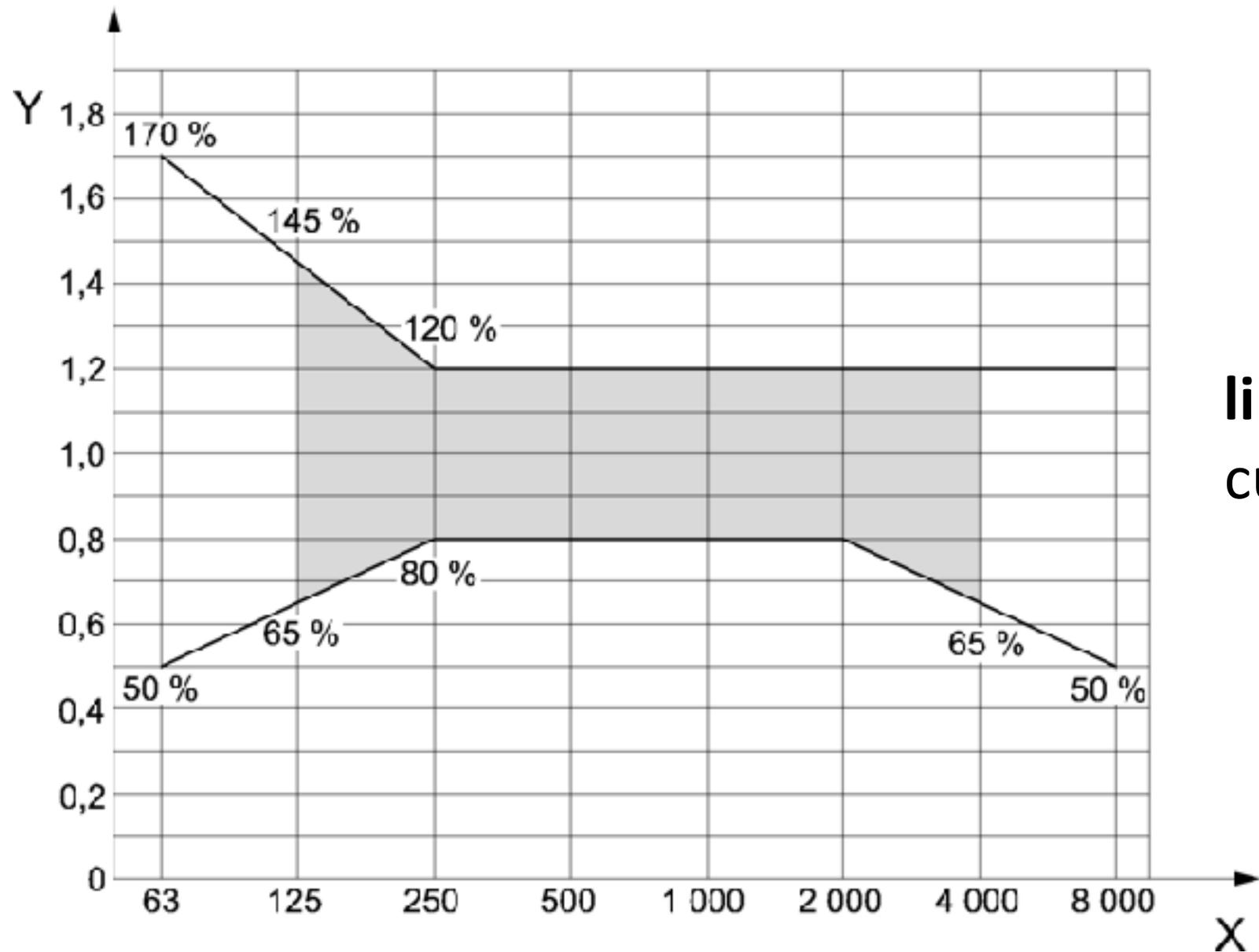
## AULA SECONDARIA

Speech Level  
 prima fila Vs ultima fila  
**-4 dB a 500-1000 Hz**  
**-6 dB a 250 Hz**

## AULA UNIVERSITARIA

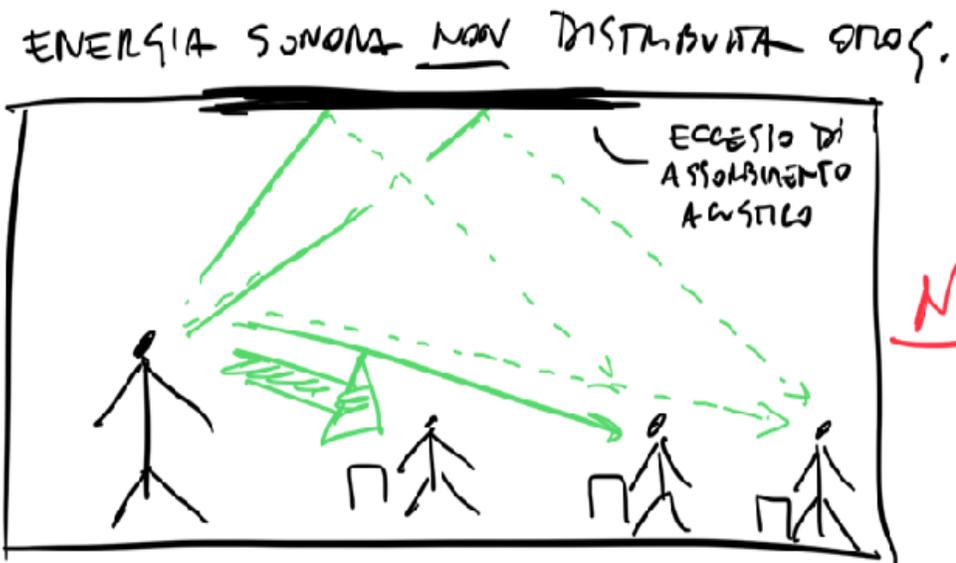
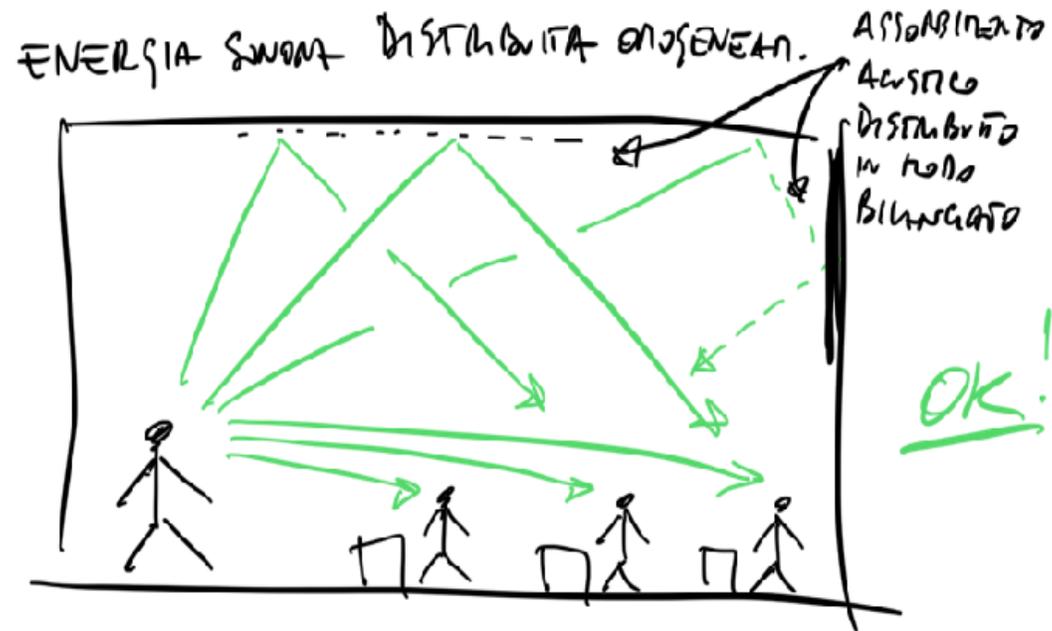
Speech Level  
 prima fila Vs ultima fila  
**-7 dB a 500-1000 Hz**  
**-10 dB a 250 Hz**





Il valore **minimo** di T  
**limita** la pendenza della  
 curva dello speech level





Bisogna **evitare** l'eccesso di assorbimento acustico nelle superfici interessate da prime riflessioni



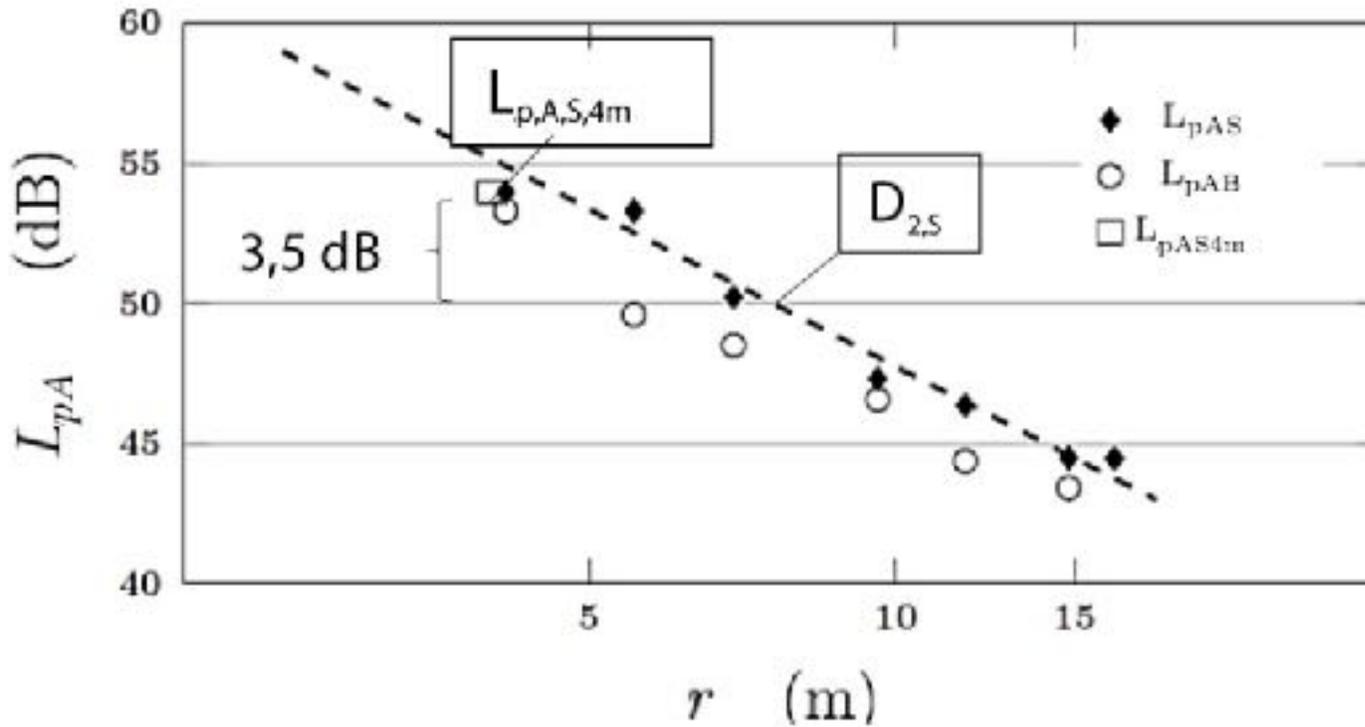


... e negli uffici?  
(SPOILER UNI 11532-3)

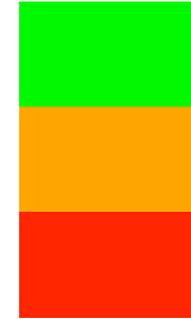


**Il fini prescritto dall UNI 11532-3  
è (per molte tipologie di ambienti)  
la speech privacy**





< 45 dB  
 45-49 dB  
 > 49 dB



Negli uffici si sfrutta lo stesso fenomeno!  
 (ma con una scala di valori **inversa**)

un'attenuazione elevata dello speech level è 'positiva'  
 (incrementa la **speech privacy**)

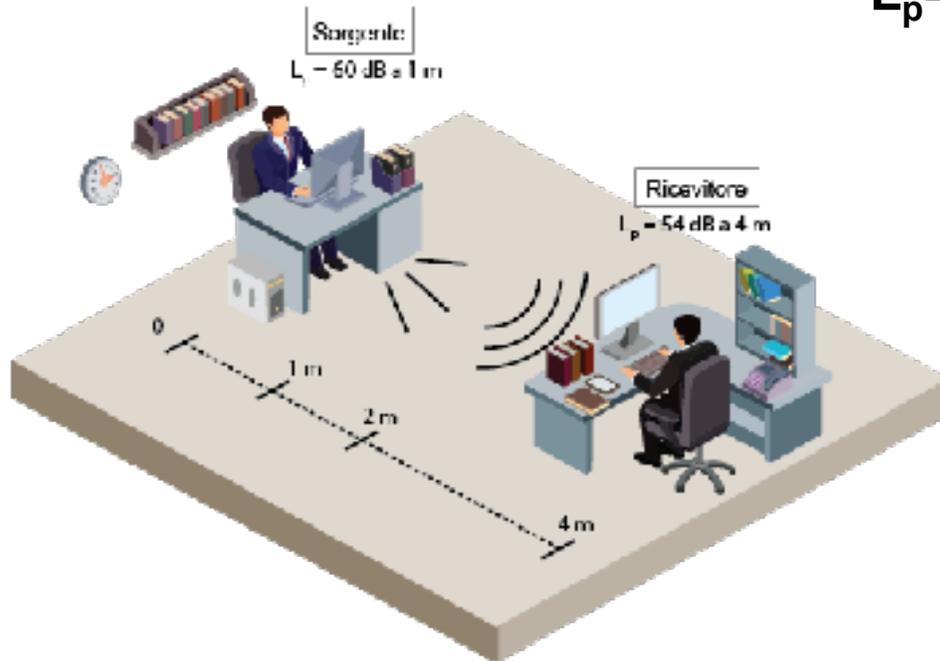


# Decadimento spaziale del parlato

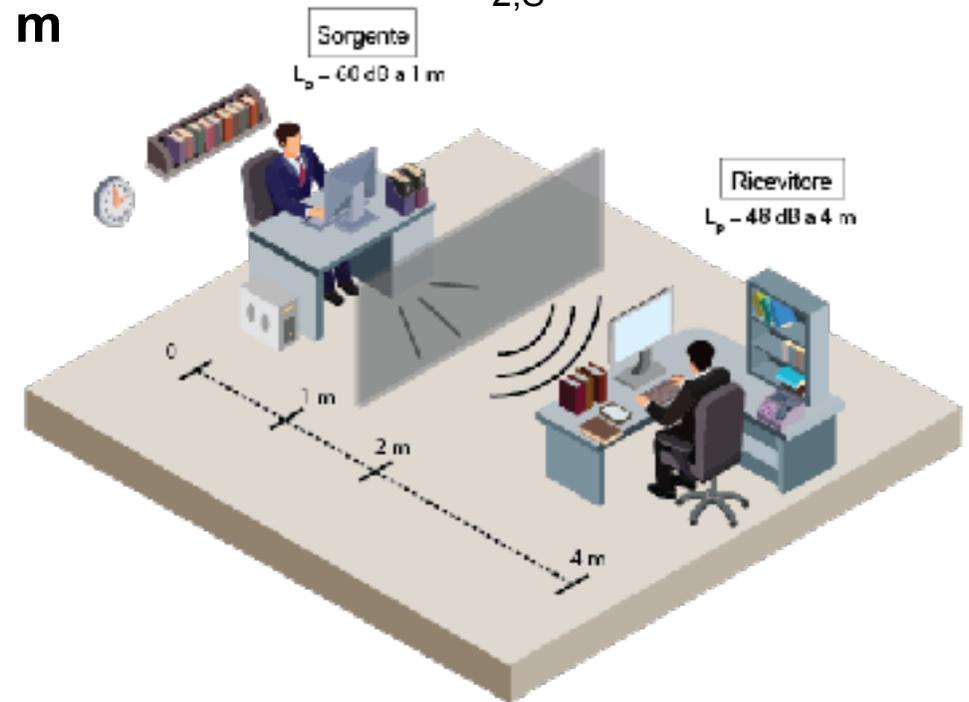
Senza screen  
 $D_{2,S} = 3 \text{ dB}$

Sorgente:  
 $L_p = 60 \text{ dB a } 1 \text{ m}$

Con screen  
 $D_{2,S} = 6 \text{ dB}$



Ricevitore:  $L_p = 54 \text{ dB a } 4 \text{ m}$

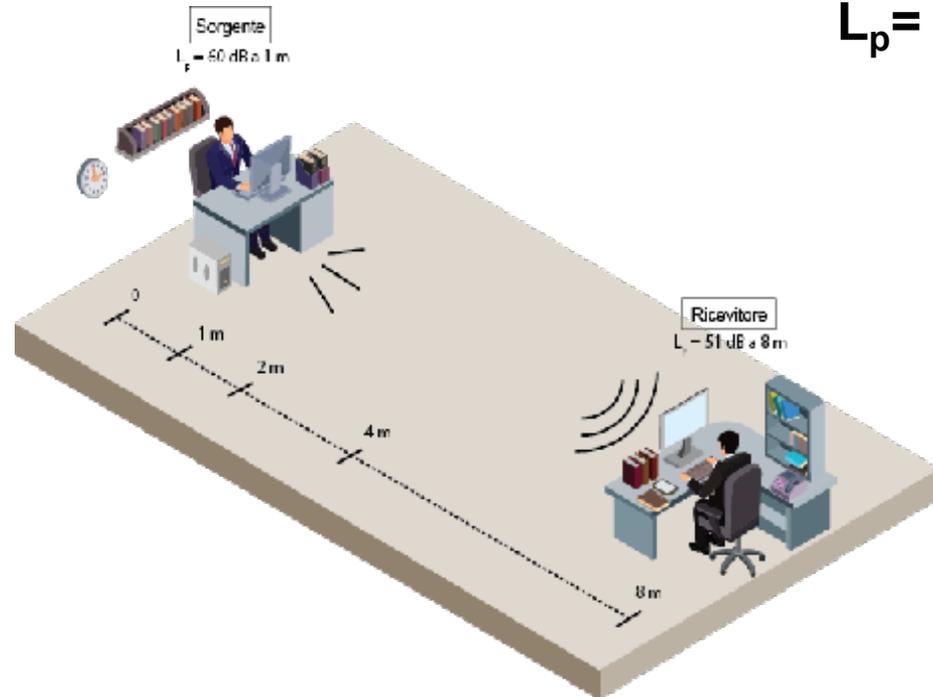


Ricevitore:  $L_p = 48 \text{ dB a } 4 \text{ m}$



# Decadimento spaziale del parlato

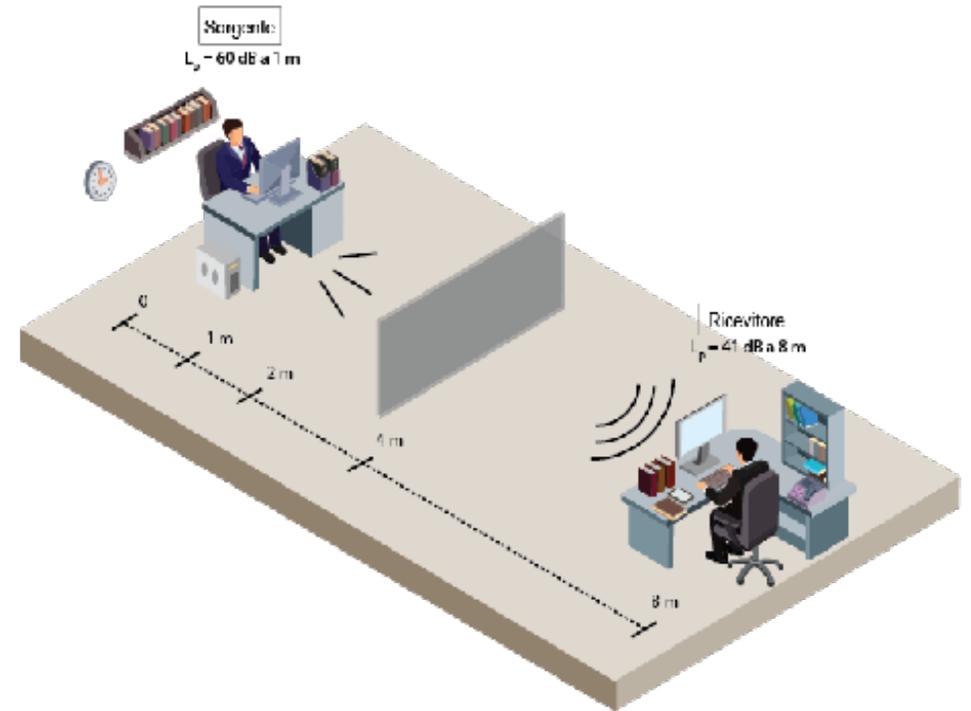
Senza screen  
 $D_{2,S} = 3 \text{ dB}$



Ricevitore:  $L_p = 51 \text{ dB a } 8 \text{ m}$

Sorgente:  
 $L_p = 60 \text{ dB a } 1 \text{ m}$

Con screen  
 $D_{2,S} = 6 \text{ dB}$



Ricevitore:  $L_p = 42 \text{ dB a } 8 \text{ m}$



... e per contenere  
il livello di rumore ambientale?



Categoria		Requisito di <b>riverberazione</b>			Requisito di <b>intelligibilità</b>			
		Param.	range di rispetto		V < 250m <sup>3</sup>		V > 250 m <sup>3</sup>	
					Param.	range di rispetto	Param.	range di rispetto
A1	aule musica	T	125-4000 Hz	occup				
A2	aule magne	T	125-4000 Hz	occup	<b>C<sub>50</sub></b>	<b>500-2000 Hz</b>	<b>STI</b>	<b>125-8000 Hz</b>
A3	aule didattiche	T	125-4000 Hz	occup	<b>C<sub>50</sub></b>	<b>500-2000 Hz</b>	<b>STI</b>	<b>125-8000 Hz</b>
A4	aule speciali	T	125-4000 Hz	occup	<b>C<sub>50</sub></b>	<b>500-2000 Hz</b>	<b>STI</b>	<b>125-8000 Hz</b>
A5	palestre	T	125-4000 Hz	non occup				
A6.1	vani scala	--		non occup				
A6.2	spogliatoi	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				
A6.3	biblioteche	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				
A6.4	mense	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				
A6.5	s c u o l e materne	<b>A/V</b>	250-2000 Hz	non occup				

Intelligibilità del parlato

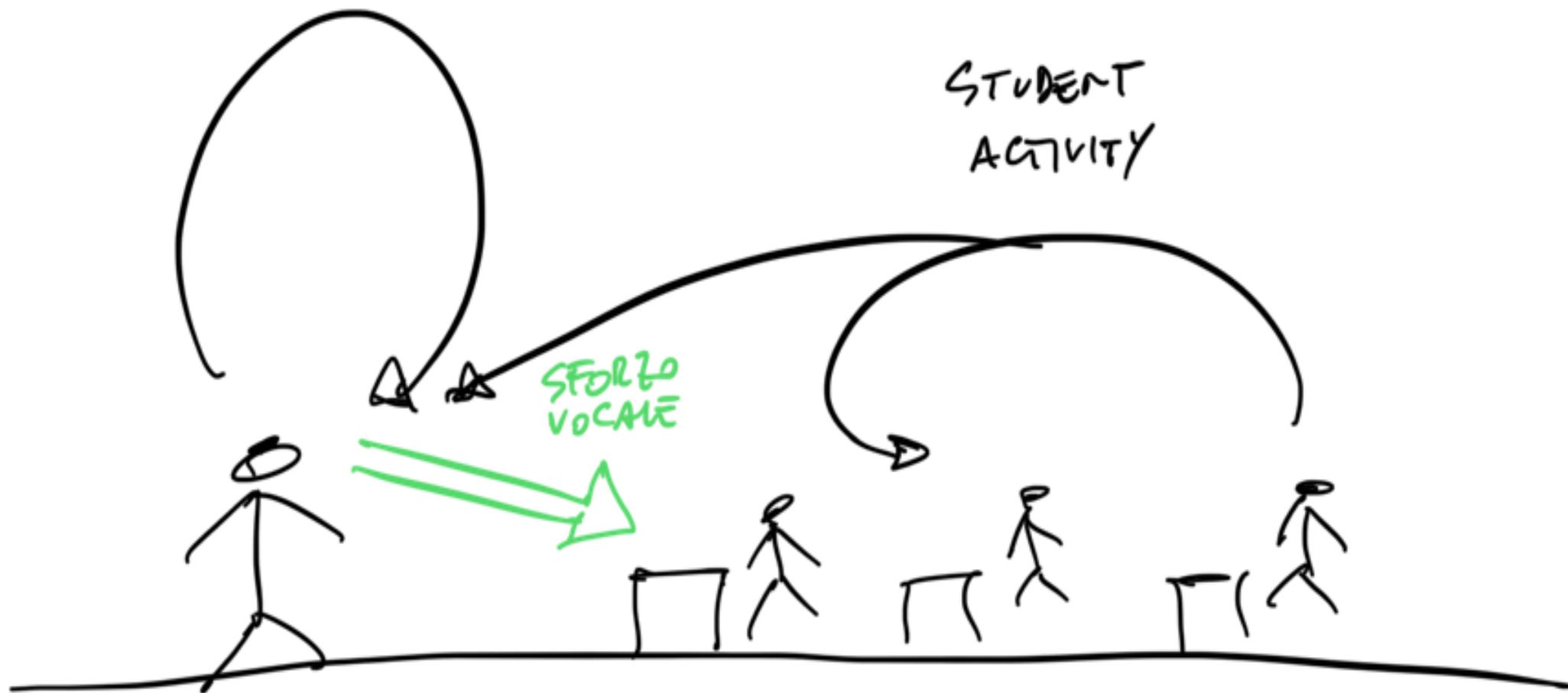
Controllo del ruore ambientale



VOICE  
SUPPORT

STUDENT  
ACTIVITY

SFORZO  
VOCALE





# Mense (UNI 11532-2 A6.4)

$$L_{N,A} = 81 + 20\log N - 20\log A$$

$$A > V / (2.13 + 4.69\log h)$$

$$L_{N,A} = 81 + 20\log N - 20\log(V / (2.13 + 4.69\log h))$$

Per un'altezza tipo ( $h=2.70$ ) diventa:

$$L_{N,A} = 81 + 20\log N - 20\log(V / 4.17)$$

Il rumore ambientale  **$L_n$**  è  
legato all'assorbimento  
equivalente dell'ambiente  **$A$**



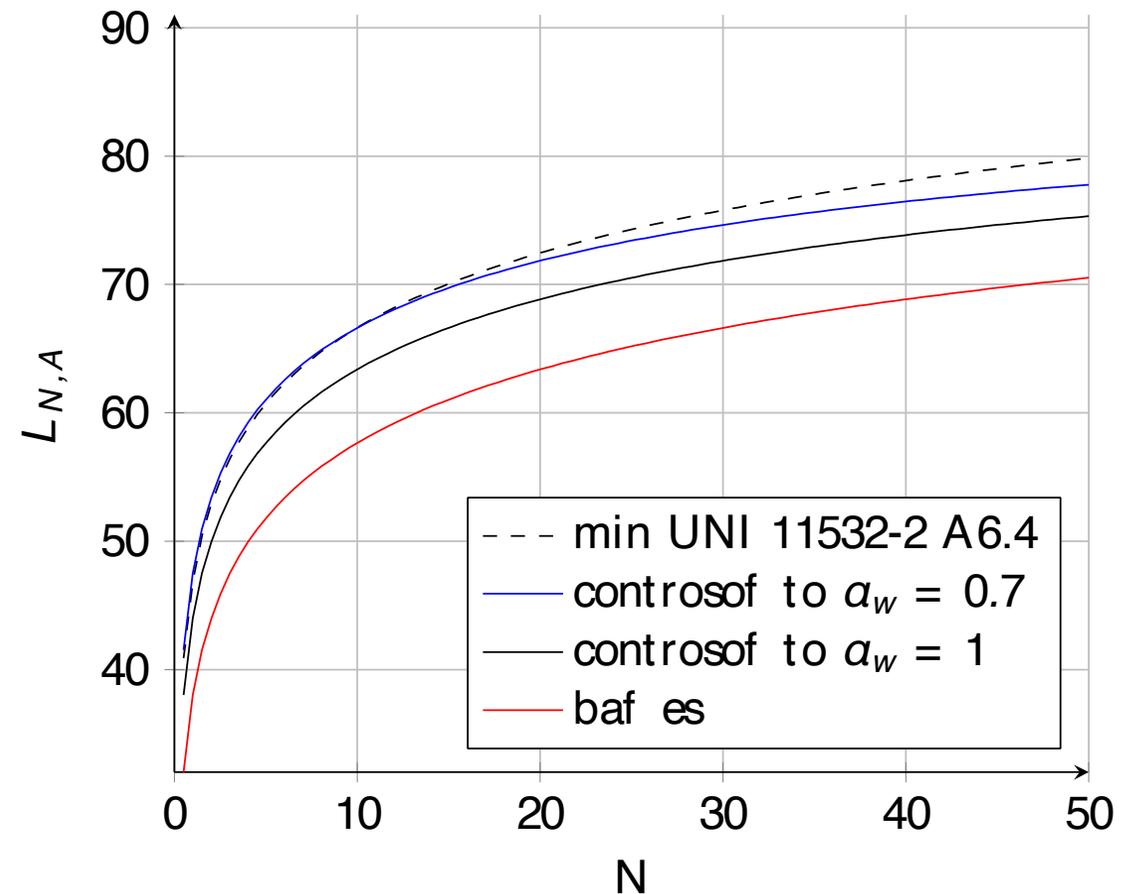
# Mensa di una scuola per l'infanzia

Volume  $V=212 \text{ m}^3$

Altezza  $h=2.7 \text{ m}$

Numero sedute  $N=50$

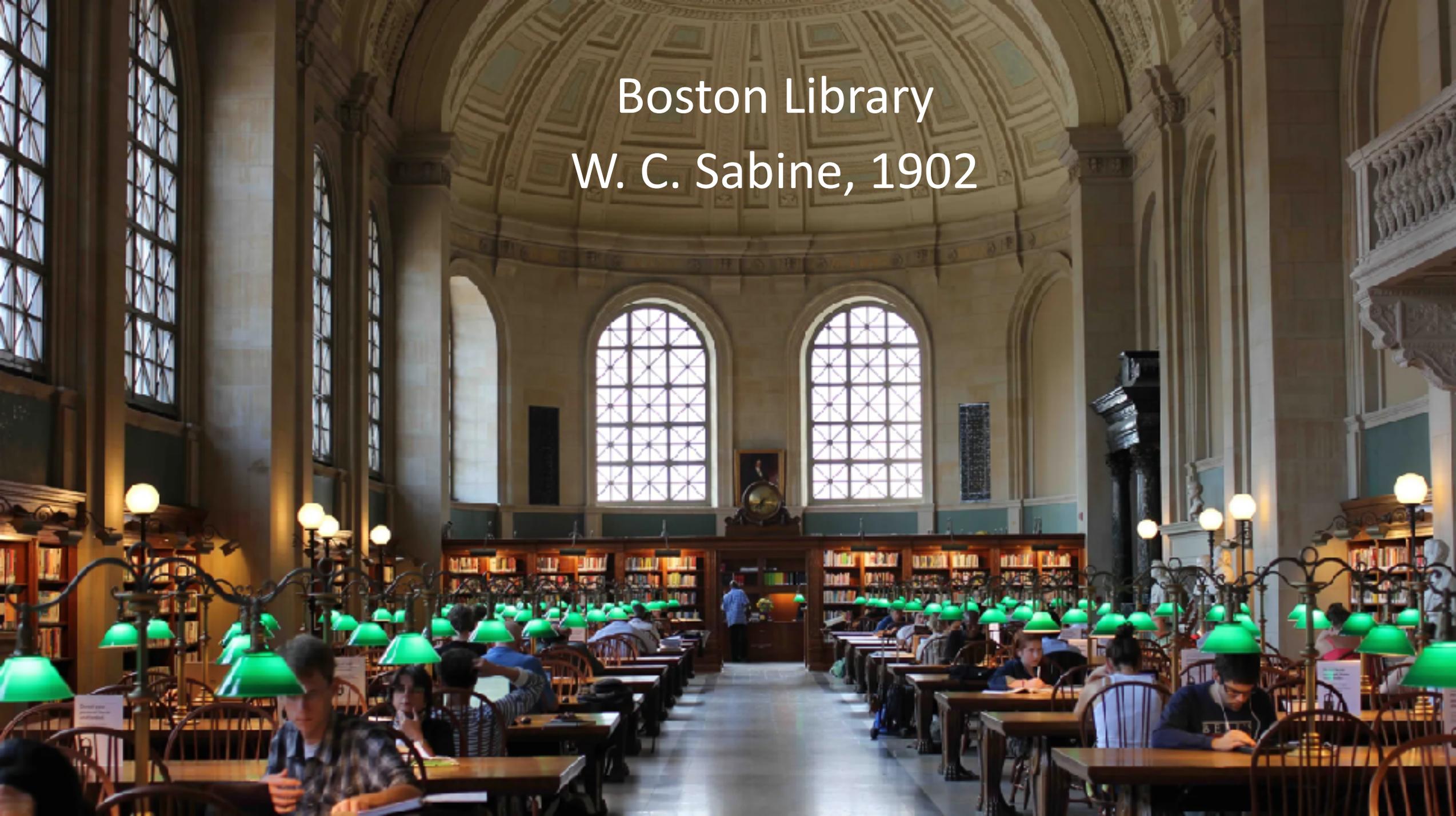
Superficie lorda del controsoffitto  $S_{\text{floor}}=78.5 \text{ m}^2$



Tipologia di progettazione	Superficie di assorbimento acustico dei materiali A (m <sup>2</sup> )	N <sub>0</sub> per cui L <sub>A,N</sub> <70 dB (Acoustic Capacity)	% totale
Prescrizione UNI 11532-2 A6.4			
Controsoffitto medie prestazioni*	47	15	30 %
Controsoffitto alte prestazioni*	70	23	46 %
Baffles*	141	47	94 %



Boston Library  
W. C. Sabine, 1902



---

Ing. Dario D'Orazio

[dario.dorazio@unibo.it](mailto:dario.dorazio@unibo.it)

**Grazie per l'attenzione**