



Analisi di casi di studio

Ing. Dario D'Orazio

Diritti d'autore: la presentazione è proprietà intellettuale dell'autore e/o della società da esso rappresentata. Nessuna parte può essere riprodotta senza l'autorizzazione dell'autore.

Come si progetta T?

Come progettare T (UNI 11532)

4.2 Tempo di riverberazione, T

4.2.1 Valori di riferimento

I valori di riferimento per i diversi settori di applicazione sono forniti sotto forma tabellare e/o grafica nelle diverse parti della presente norma.

4.2.2 Metodi previsionali

Il metodo previsionale raccomandato per il calcolo del tempo di riverberazione è descritto dalla UNI EN 12354-6 che ne indica anche l'incertezza.

Nota: In sede progettuale, con l'ausilio di simulazioni, si può determinare la risposta all'impulso nei diversi punti di un ambiente. In questo modo è possibile modificare la forma e i materiali dell'ambiente al fine di ottimizzare il descrittore acustico in esame.

4.2.3 Metodo di verifica

Le procedure e le condizioni di misurazione del tempo di riverberazione per gli ambienti ordinari e le relative incertezze di misura sono descritti nelle norme della serie UNI EN ISO 3382.

Metodo previsionale EN 12354-6

4.3 Determination of the total equivalent absorption area

The total equivalent sound absorption area for an enclosed space follows from:

$$T_{60} = 0.161 \frac{V}{A}$$
$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + \sum_{k=1}^p \alpha_{s,k} S_k + A_{air}$$

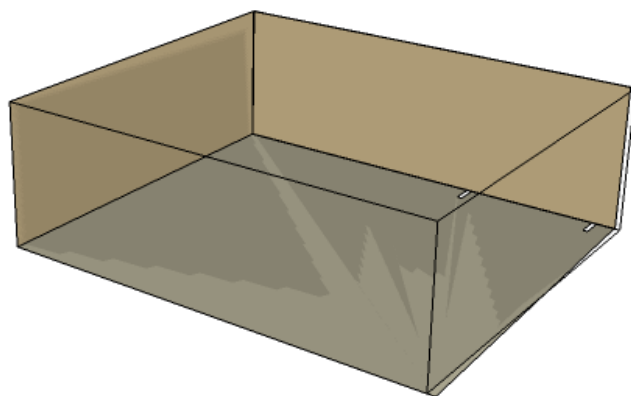
where

n is the number of surfaces i;

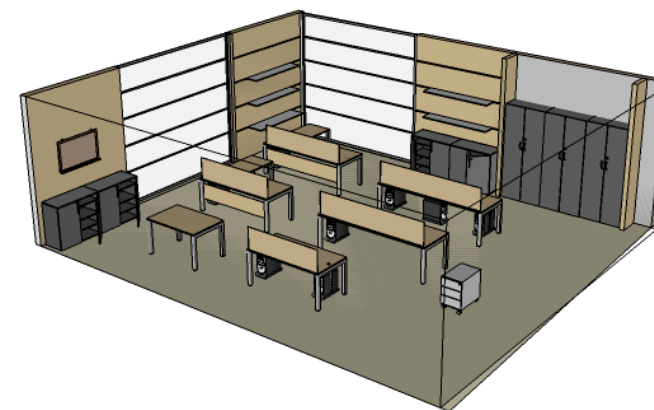
o is the number of objects j;

p is the number of object arrays k.

Arredi / Trattamenti

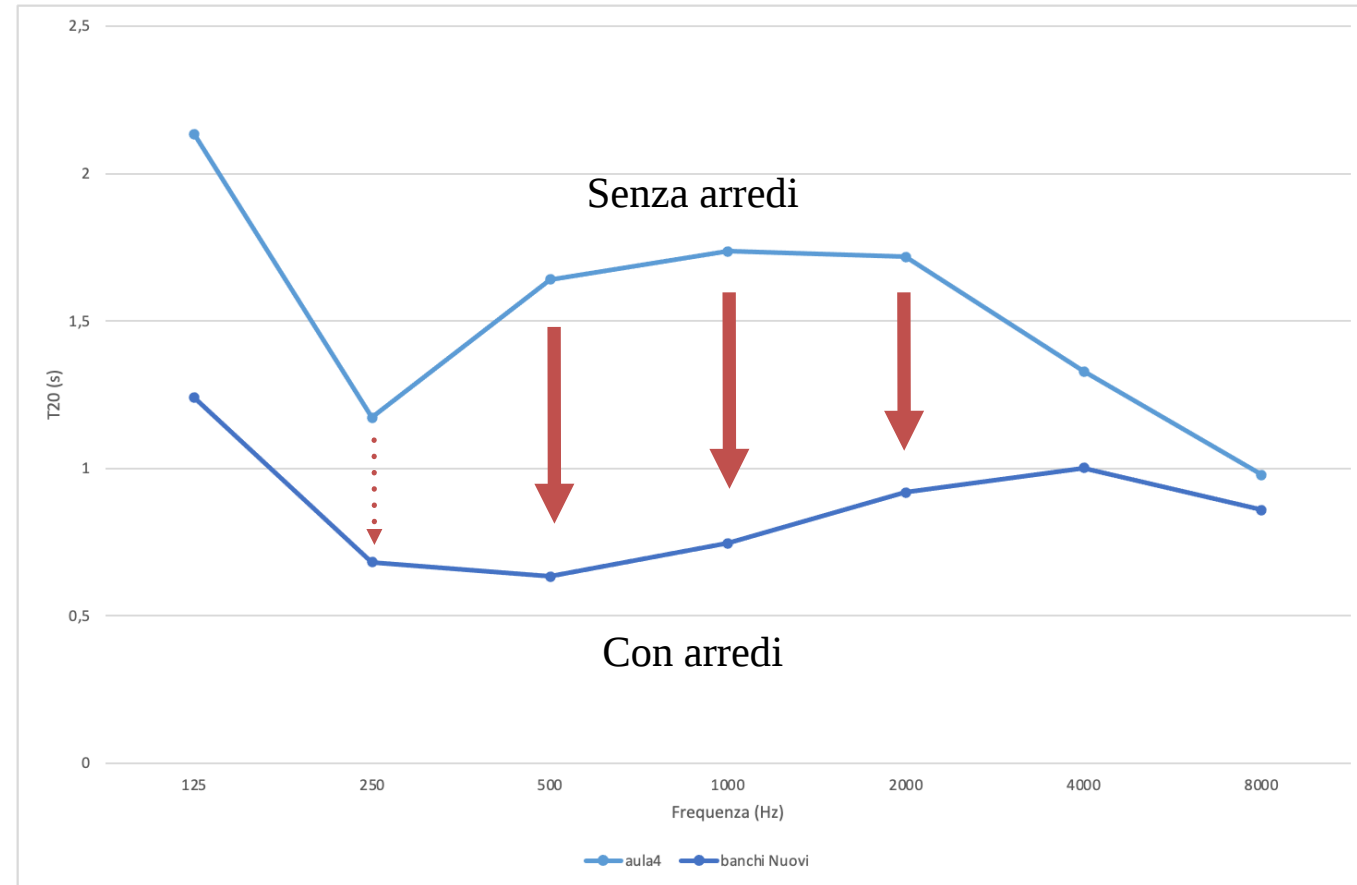
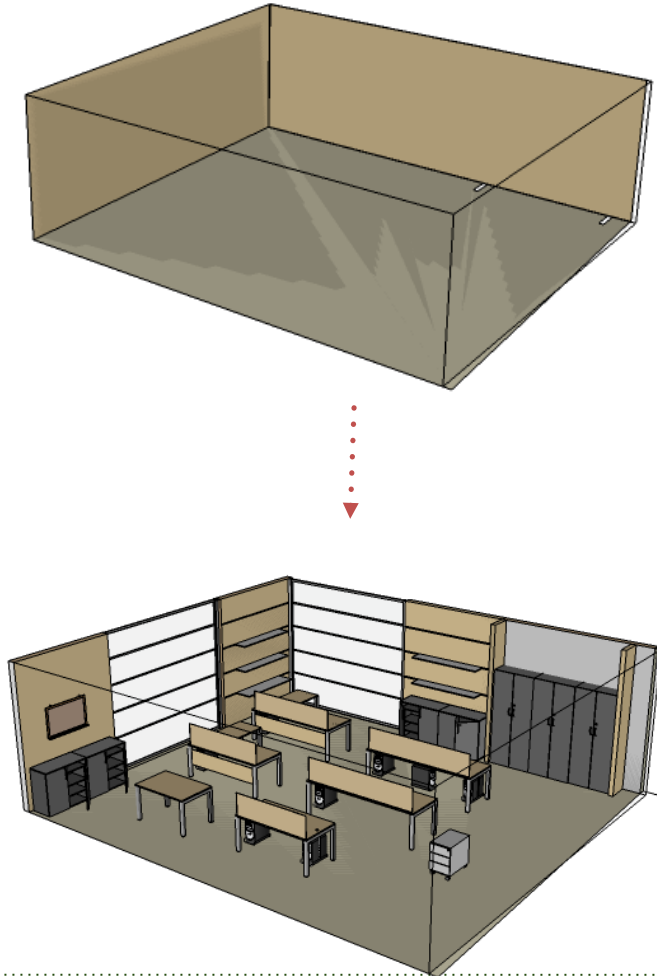


$$T = 0,16 \frac{V}{A} = 0,16 \frac{V}{S\alpha}$$



$$T = 0,16 \frac{V}{\sum_i A_i + \boxed{\sum_j A_{ob,j}}}$$

Adeguata diffusione acustica



Database alpha /A (UNI 11332-2:2020)

Prospetto C.3 — Esempi di area di assorbimento equivalente A_{obj} in m^2 per il dimensionamento in funzione della frequenza

Esempi		Frequenza (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
1	Armadio con ante fonoassorbenti, senza fondo, larghezza 1200 mm, 5 ante (altezza 1,75 m), distante dalle pareti	1,63	1,84	1,31	1,63	1,54	1,56
2	Armadio con ante lisce, senza fondo, larghezza 1200 mm, 5 ante (altezza 1,75 m), distante dalle pareti	0,83	0,76	0,52	0,48	0,41	0,45
3	Armadio a 5 ante, altezza 1,75 m, larghezza 1,2 m, profondità 0,435 m, con ante forate e fondo fonoassorbente, distante dalle pareti	1,95	2,00	2,44	2,85	2,84	2,43
4	Divisorio mobile poco assorbente, 1024 mm × 1590 mm × 63 mm, distante dalle pareti	0,51	0,78	1,22	1,72	2,43	2,83
5	Divisorio mobile molto assorbente, 1024 mm × 1590 mm × 63 mm, distante dalle pareti	0,43	1,13	1,99	2,96	2,73	2,56
6	Armadio a 4 ante, altezza 1,4 m, larghezza 1,4 m, profondità 0,435 m, con porta scorrevole e fondo fonoassorbenti, distante dalle pareti	1,93	2,10	1,60	1,59	1,32	1,31
7	Armadio a 4 ante, altezza 1,4 m, larghezza 1,4 m, profondità 0,435 m, con porta scorrevole e fondo fonoassorbenti, appoggiato al muro	1,55	1,19	0,82	0,91	0,76	0,74

Prospetto C.1 — Superficie aggiuntiva di assorbimento acustico equivalente ΔA_{pers} delle persone espressa in m^2

Descrizione		Frequenza (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
0	Individuo di un gruppo, in posizione eretta, 1 ogni 6 m^2 di area, minimo tipico	0,05	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65
1	Individuo di un gruppo, in posizione eretta, 1 ogni 6 m^2 di area, massimo tipico	0,12	0,45	0,80	1,20	1,30	1,40
2	Persona seduta su sedia non imbottita	0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55
3	Persona seduta su sedia leggermente imbottita	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25
4	Persona seduta su sedia altamente imbottita	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15
5	Bambino della scuola materna	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,25
6	Alunno della scuola primaria (fino a 11 anni) seduto al tavolo	0,05	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45
7	Alunno della scuola secondaria seduto al tavolo	0,10	0,15	0,35	0,50	0,50	0,55
8	0,5 m^2 / persona seduta su sedia in legno	0,12	0,2	0,39	0,49	0,48	0,4
9	1,0 m^2 / persona seduta su sedia in legno	0,18	0,26	0,55	0,68	0,78	0,78

Requisiti secondo UNI 11332-2:2020

Valori di riferimento:

Categorie A1-A5:

$$T_{ott} = c_1 \log(V) + c_2$$

Categorie A6:

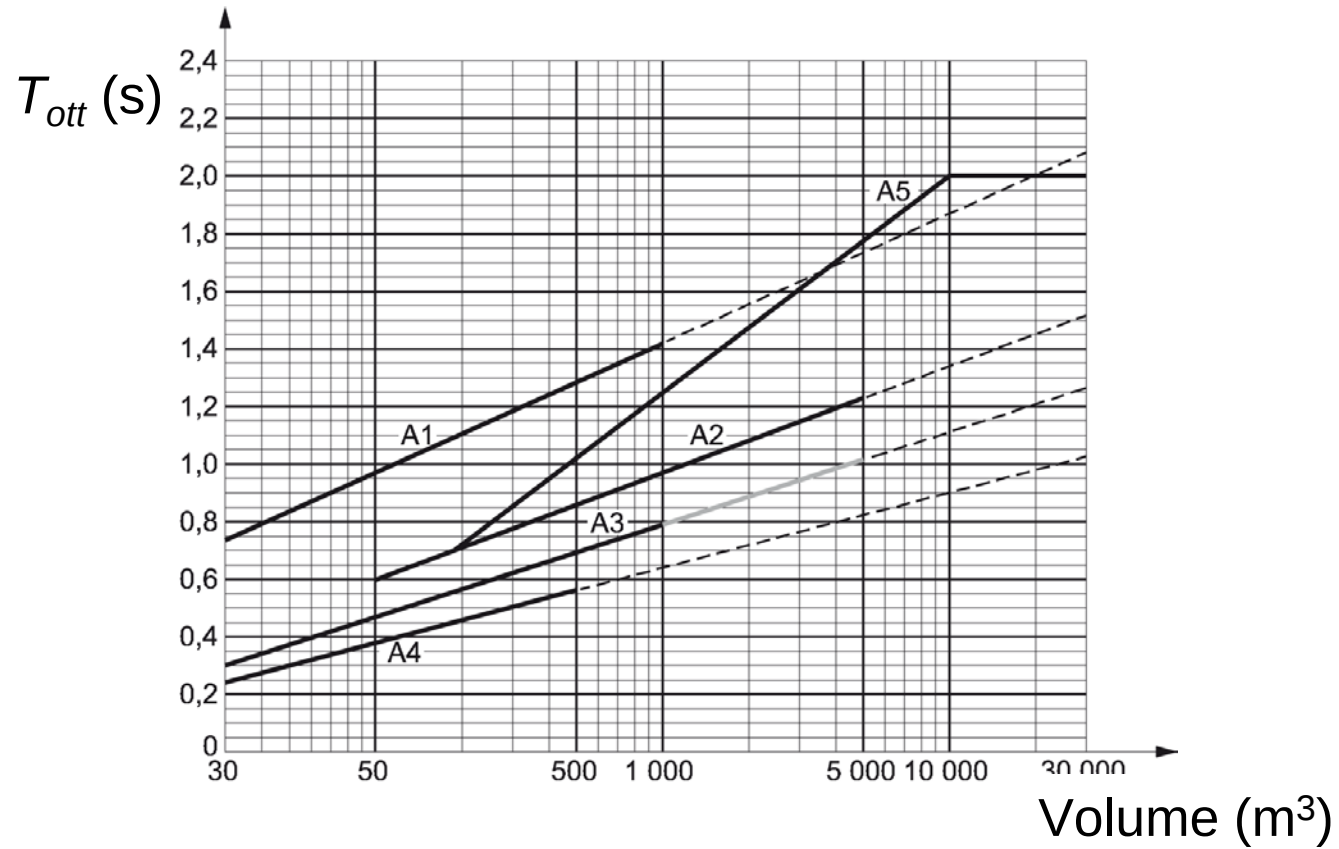
$$\frac{A}{V} = c_3 + c_4 \log(h)$$

Requisiti I secondo UNI 11532-2:2020

Prospetto 6: Formule di calcolo di T_{ott} per le categorie da A1 a A5

<u>Categoria</u>	<u>Ambiente occupato all'80%</u>	
<u>A1</u>	$T_{ott,A1} = (0,45\log V + 0,07)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 1000 \text{ m}^3$
<u>A2</u>	$T_{ott,A2} = (0,37\log V - 0,14)$	$50 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$
<u>A3</u>	$T_{ott,A3} = (0,32\log V - 0,17)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$
<u>A4</u>	$T_{ott,A4} = (0,26\log V - 0,14)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 500 \text{ m}^3$
<u>Categoria</u>	<u>Ambiente non occupato</u>	
<u>A5</u>	$T_{ott,A5} = (0,75\log V - 1,00)$ $T_{ott,A5} = 2,00$	$200 \text{ m}^3 \leq V < 10000 \text{ m}^3$ $V \geq 10000 \text{ m}^3$

Requisiti T secondo UNI 11532-2:2020



T in condizioni occupate

Valori di riferimento: calcolati come nella **DIN 18041:2016**

$$T_{ott} = c1 \log(V) + c2$$

Metodo progettuale: ambienti considerati arredati e **occupati**

*“sul tempo di riverberazione infine **ha grande influenza il numero delle persone** componenti l'uditorio, dato il sensibile assorbimento da esse presentato, così che il calcolo va fatto per due condizioni almeno: di uditorio al completo o presente per i 3/4; e l'optimum d'anzì detto dev'essere verificato per il caso intermedio, ovvero per il secondo”*

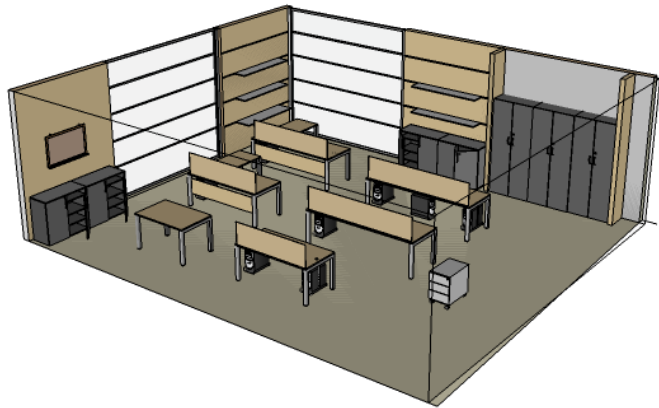
(D. Faggiani: Lineamenti di acustica, Politecnica C. Tamburini, Milano, 1946)



Requisiti secondo UNI 11532-2:2020

$$T = 0,16 \frac{V}{\sum_i A_i + \sum_j A_{ob,j}}$$

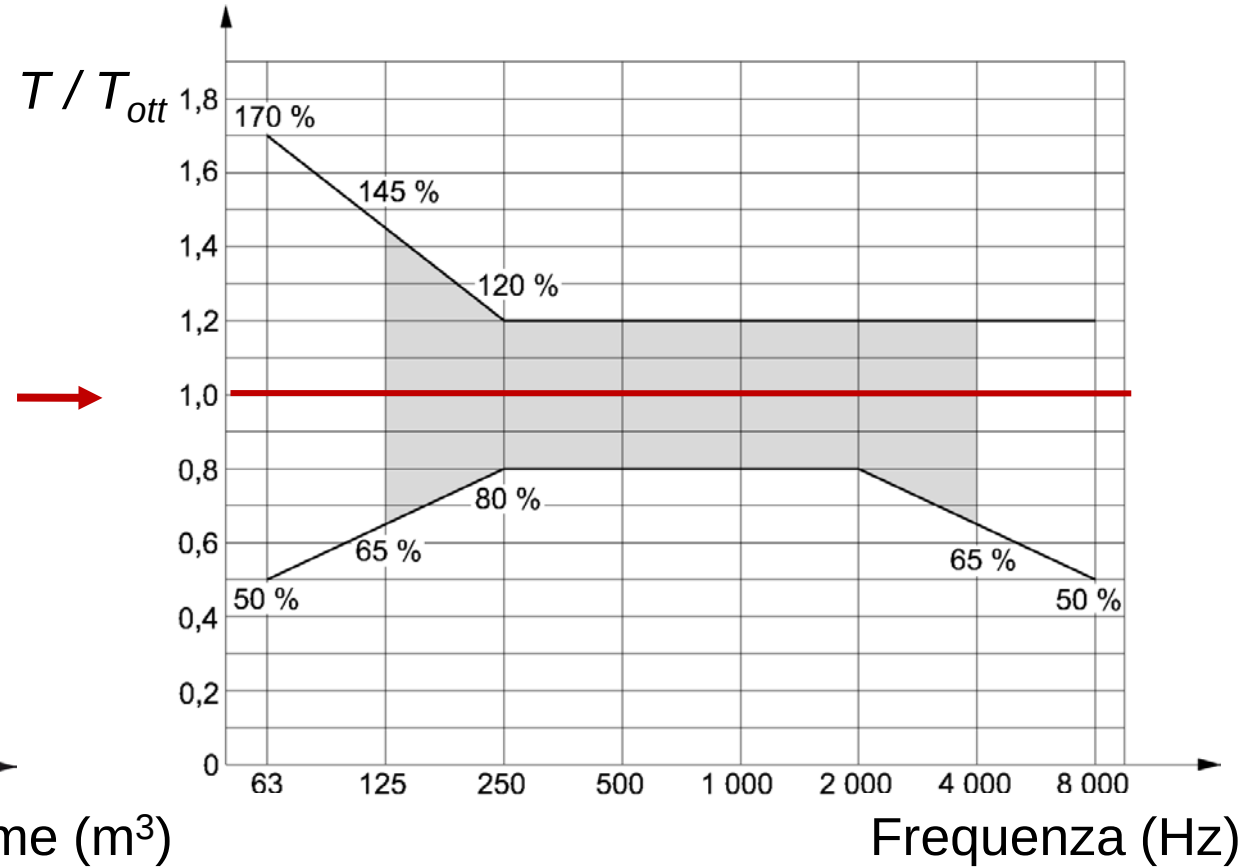
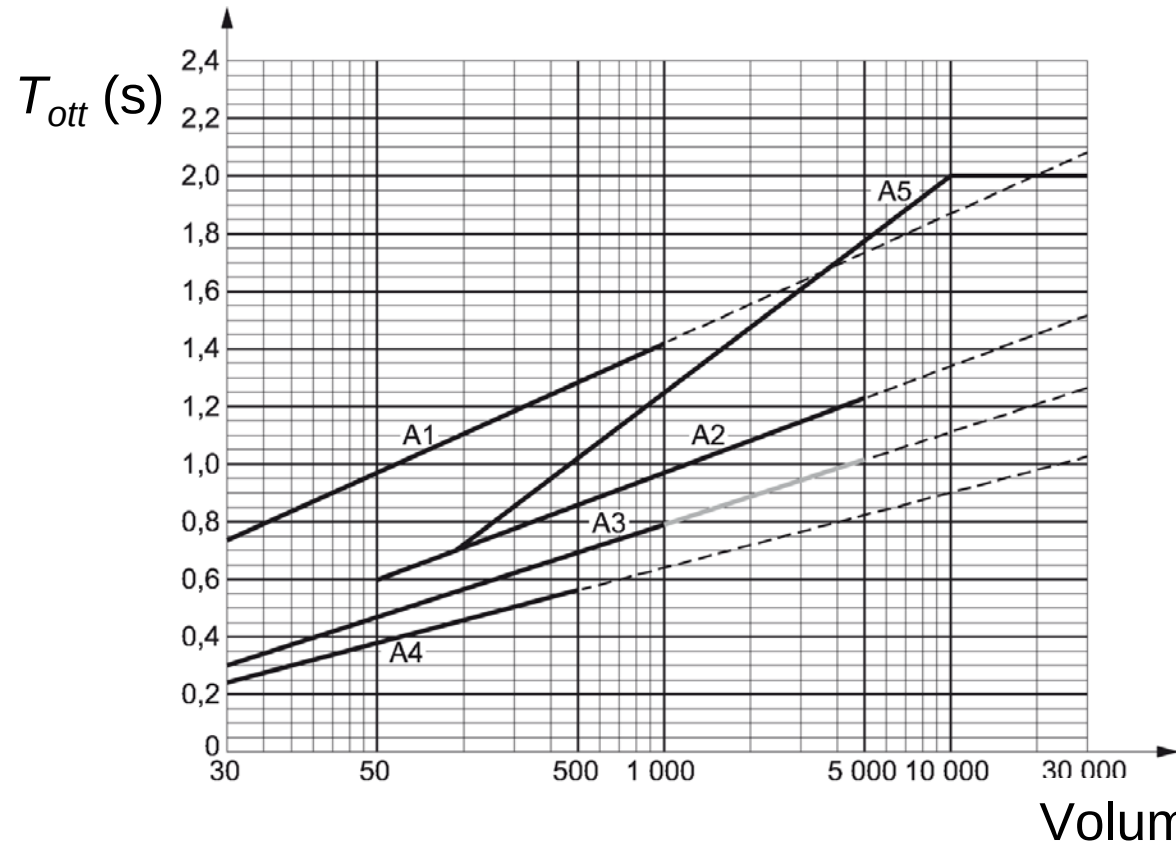
$$T_{unocc} = \frac{0.16 V}{\frac{0.16 V}{T_{ott}} - 0.8N\Delta A_{pers}} = \frac{T_{ott}}{1 - \frac{T_{ott}\Delta A_{persone}}{0.16 V}} \quad (s)$$



Incremento di area di assorbimento equivalente per persona (in m²)

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Persona seduta su sedia non imbottita	0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55
Persona seduta su sedia altamente imbottita	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15
Alunno della scuola primaria (fino a 11 anni) seduto al tavolo	0,05	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45
Alunno della scuola secondaria seduto al tavolo	0,10	0,15	0,35	0,50	0,50	0,55

Requisiti secondo UNI 11532-2:2020



Requisiti secondo UNI 11532-2:2020

Prospetto 3: Descrizione dettagliata di utilizzo per le sottocategorie della categoria A6

Categoria	Descrizione dell'utilizzo	Esempi
A6.1	Spazi senza permanenza	Vani scala
A6.2	Spazi con permanenza ridotta	Spogliatoi palestre e similari
A6.3	Ambienti per la permanenza a lungo termine e/o di collegamento	Ambienti espositivi con interattività oppure sorgente di rumore elevata (Multimedia, arte visive e suoni, ecc) Spazi di studio, spazi/corridoi per attività didattiche alternative/ricreative, in scuole di ogni ordine e grado. Laboratorio, Biblioteche
A6.4	Ambienti con necessità di riduzione del rumore e di comfort nell'ambiente	Reception / area desk (bidelleria) con postazione di lavoro fissa Laboratorio con postazione di lavoro fissa, mense in scuole di ogni ordine e grado. Area distribuzione nelle mense
A6.5	Ambienti con particolare necessità di riduzione del rumore e di comfort nell'ambiente	Sale da pranzo. Aule e spogliatoi nelle scuole materne e nido

Requisiti secondo UNI 11332-2:2020

Prospetto 7: Valori di riferimento del rapporto A/V per le sottocategorie da A6.1 ad A6.5

	Per altezza dell'ambiente $h \leq 2,5$ m Rapporto A/V, in m^2/m^3	Per altezza dell'ambiente $h > 2,5$ m Rapporto A/V, in m^2/m^3
A6.1	Nessuna richiesta	
A6.2	$A/V \geq 0,15$	$A/V \geq [4,80 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$
A6.3	$A/V \geq 0,20$	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$
A6.4	$A/V \geq 0,25$	$A/V \geq [2,13 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$
A6.5	$A/V \geq 0,30$	$A/V \geq [1,47 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$

Legenda

A = Area di assorbimento equivalente, in metri quadrati

V = volume dell'ambiente, in metri cubi

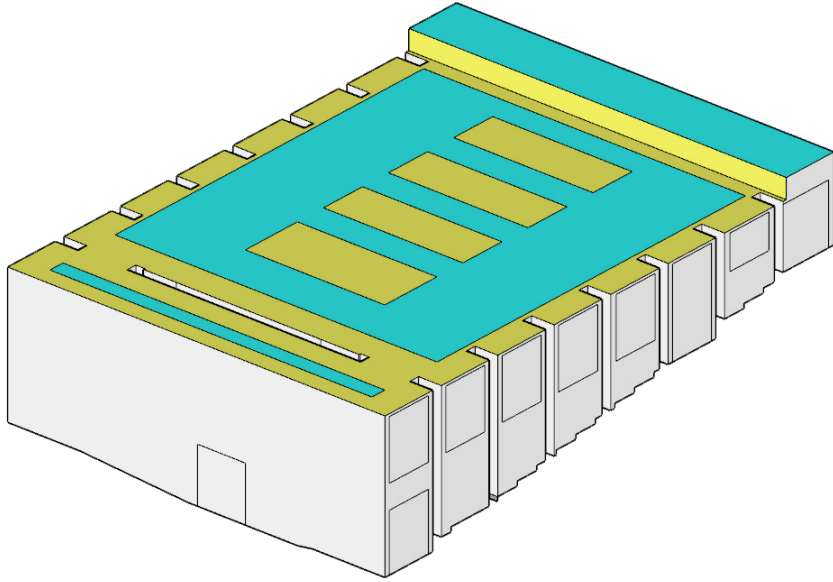
h = altezza dell'ambiente, in metri

I valori di riferimento per il rapporto minimo A/V richiesto per le categorie A6.2, A6.3, A6.4 e A6.5 si applicano nelle singole ottave da 250 Hz a 2000 Hz senza considerare l'assorbimento acustico delle persone.

In ambienti a doppia altezza, h si riferisce all'altezza media. L'altezza media dell'ambiente può essere calcolata dividendo il volume dello spazio per l'area netta in pianta dell'ambiente.

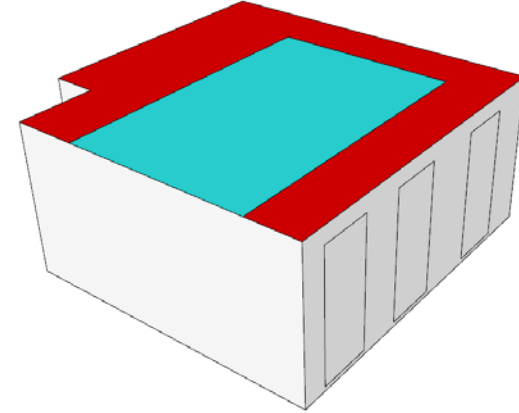
2 casi di studio

Interventi su controsoffitto modulare



Aula universitaria
 $V=1250 \text{ m}^3$

- Cartongesso forato
- Cartongesso liscio



Aula scuola secondaria
 $V=200 \text{ m}^3$

- Cartongesso forato
- Fibra porosa



Scuola Chimica Industriale
Bologna

Aula 5C

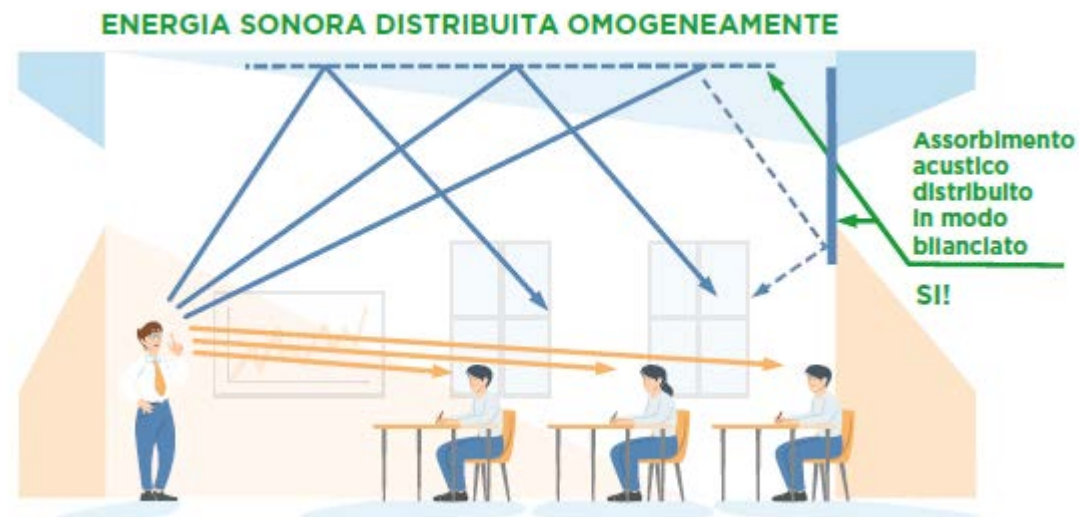
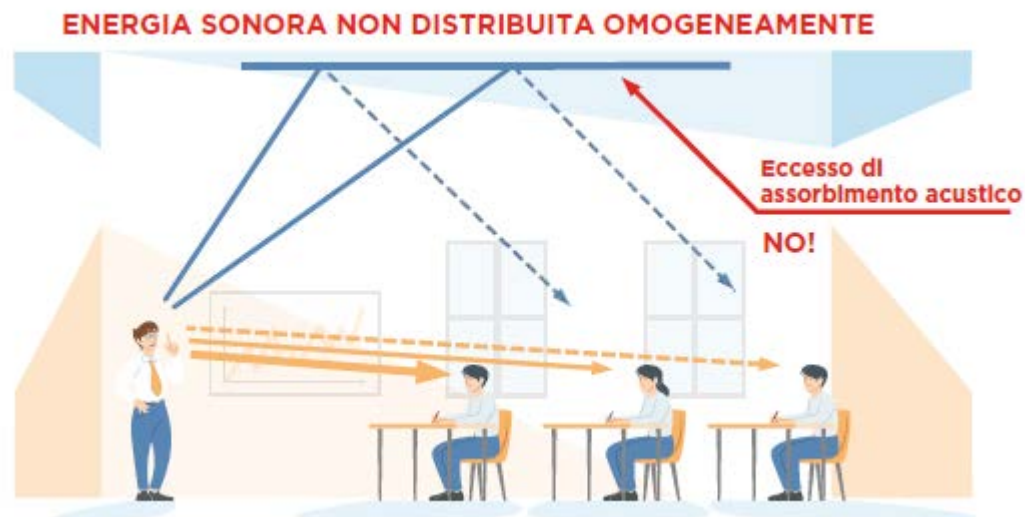


Scuola "A. Brancati"
Pesaro

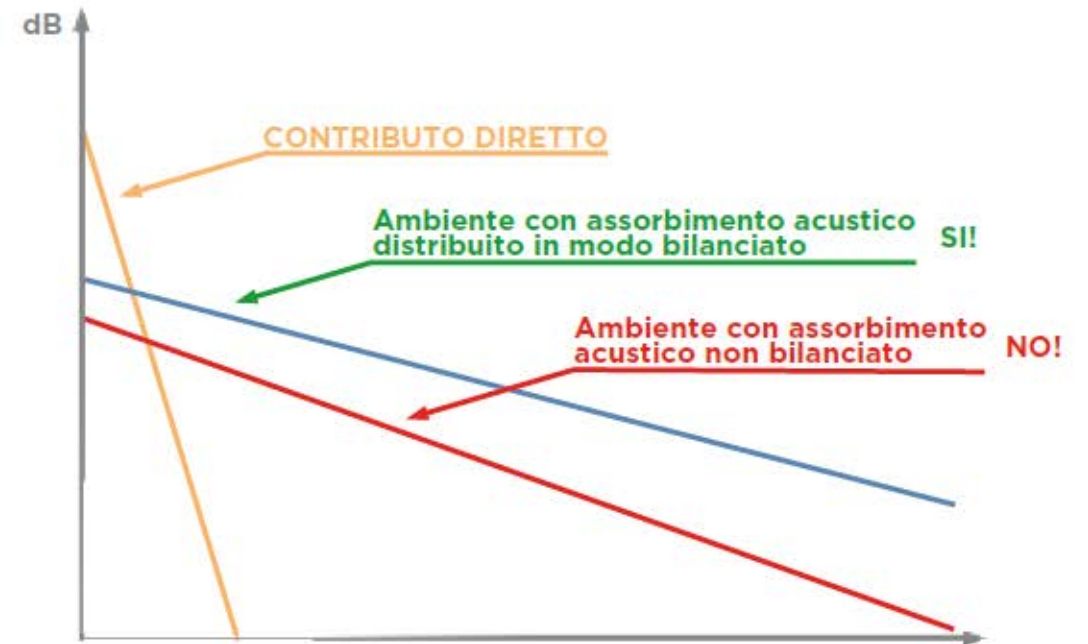


BD+C Platinum

Criteri di buona progettazione

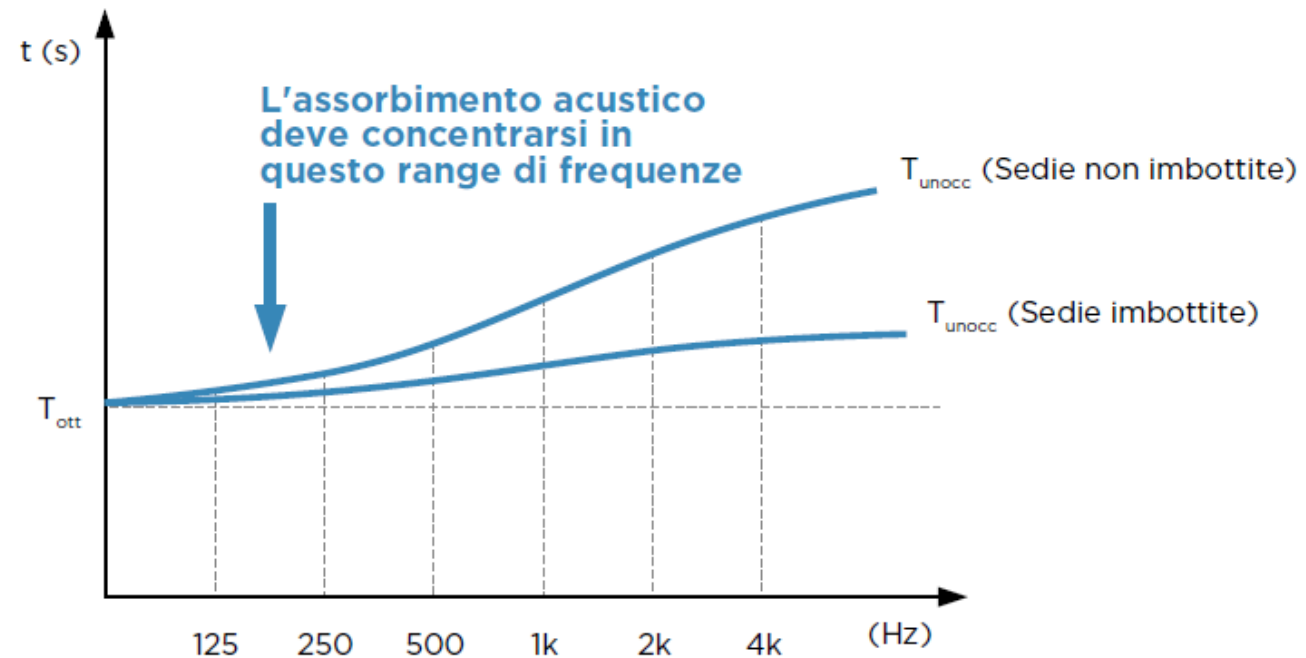


Criteri di buona progettazione



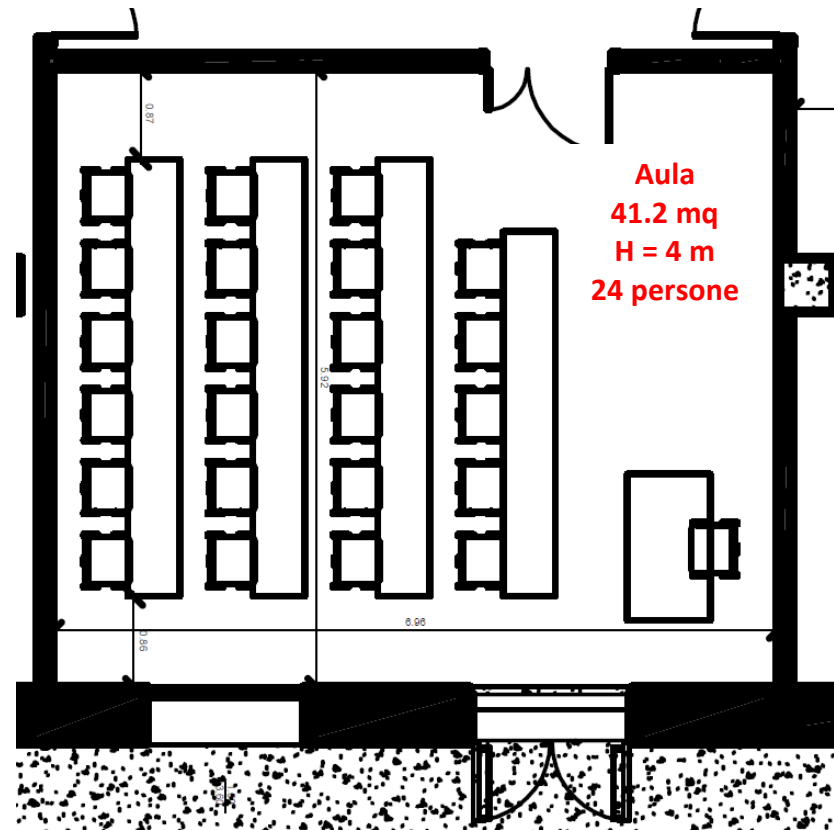
Criteri di buona progettazione

Ma quali materiali inserire in ambienti con alta percentuale di occupazione?



Caso 1: Aula di piccole dimensioni ($< 250 \text{ m}^3$)

Caso 1: Aula di piccole dimensioni



$$V = 165 \text{ m}^3$$

$$N = 24 \text{ persone}$$

$$S_{\text{ceiling}} = 41 \text{ m}^2$$

Caso 1: Aula di piccole dimensioni

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

Caso 1: Aula di piccole dimensioni

A3	A3.1	Ambienti della categoria A2 per persone che hanno problemi di deficit uditivi o parlano una lingua diversa ovvero aule speciali	Elevato grado di intelligibilità del parlato anche per persone con deficit uditivi o non madrelingua oppure con differenze linguistiche	Aule didattiche, Aule magne
	A3.2	Parlato Comunicazione con la presenza contemporanea di più persone parlanti nell'aula	Elevato grado di intelligibilità del parlato anche con più oratori contemporaneamente	Aule didattiche, aule per colloqui, aule per seminari, aule per gruppi studio o di lavoro, laboratori, uffici amministrativi, aula insegnanti e simili

Caso 1: Aula di piccole dimensioni

Categoria		Requisito di riverberazione	Requisito di intelligibilità		
			V < 250m3	V > 250 m3	
					P.A.*
A1	aule musica	$T_{ott}=0.45\log V+0.07$	--		
A2	aule magne	$T_{ott}=0.37\log V-0.14$	$C_{50}>2$ dB	$STI>0.50$	$STI>0.6$
A3	aule didattiche	$T_{ott}=0.32\log V-0.17$	$C_{50}>2$ dB	$STI>0.50$	$STI>0.6$
A4	aule speciali	$T_{ott}=0.26\log V-0.14$	$C_{50}>2$ dB	$STI>0.50$	$STI>0.6$
A5	palestre	$T_{ott}=0.75\log V-1.00$	--	--	--
A6.1	vani scala	--	--		
A6.2	spogliatoi	$A/V>(4.80+4.69\log h)^{(-1)}$			
A6.3	biblioteche	$A/V>(3.13+4.69\log h)^{(-1)}$			
A6.4	mense	$A/V>(2.13+4.69\log h)^{(-1)}$			
A6.5	scuole materne	$A/V>(1.47+4.69\log h)^{(-1)}$			

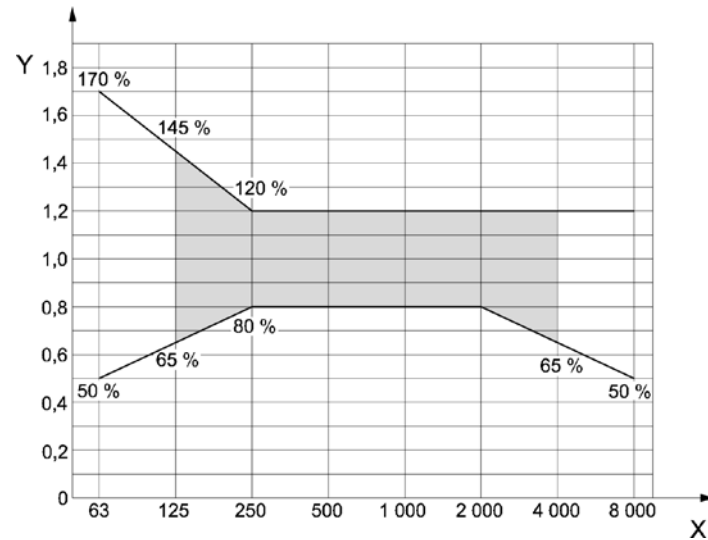
STATO OCCUPATO

STATO NON OCCUPATO

Caso 1: Aula di piccole dimensioni

$T_{ott} = 0.54$ s Stato arredato e occupato (80%)

		Bande d'ottava (Hz)					
Range in frequenza		125	250	500	1000	2000	4000
T=Tott*percentuale	MAX	0.78	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	min	0.35	0.43	0.43	0.43	0.43	0.35



Caso 1: Aula di piccole dimensioni

$T_{ott} = 0.54$ s Stato arredato e occupato (80%)

		Bande d'ottava (Hz)					
Range in frequenza		125	250	500	1000	2000	4000
T=Tott*percentuale	MAX	0.78	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	min	0.35	0.43	0.43	0.43	0.43	0.35

Prospetto C.1 — Superficie aggiuntiva di assorbimento acustico equivalente ΔA_{pers} delle persone espressa in m^2

$$T_{inocc} = \frac{T_{occ}}{\left[1 - T_{occ} \frac{\Delta A_{pers}}{0.16V}\right]} \text{ [s]}$$

	Descrizione	Frequenza (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
0	Individuo di un gruppo, in posizione eretta, 1 ogni 6 m ² di area, minimo tipico	0,05	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65
1	Individuo di un gruppo, in posizione eretta, 1 ogni 6 m ² di area, massimo tipico	0,12	0,45	0,80	1,20	1,30	1,40
2	Persona seduta su sedia non imbottita	0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55
3	Persona seduta su sedia leggermente imbottita	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25
4	Persona seduta su sedia altamente imbottita	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15
5	Bambino della scuola materna	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,25
6	Alunno della scuola primaria (fino a 11 anni) seduto al tavolo	0,05	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45
7	Alunno della scuola secondaria seduto al tavolo	0,10	0,15	0,35	0,50	0,50	0,55
8	0,5 m ² / persona seduta su sedia in legno	0,12	0,2	0,39	0,49	0,48	0,4
9	1,0 m ² / persona seduta su sedia in legno	0,18	0,26	0,55	0,68	0,78	0,78

Caso 1: Aula di piccole dimensioni

		Bande d'ottava (Hz)					
ΔA_{1pers} (riga 2, prospetto C1)		0.15	0.30	0.40	0.45	0.55	0.55
$\Delta A_{pers} = \Delta A_{1pers} 80\% N$		2.88	5.76	7.68	8.64	10.56	10.56
$T_{Inocc} = T_{ott} / (1 - T_{ott} (80\% N * \Delta A_{pers} / (0.16 * V)))$							
Range in frequenza		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
inocc (80%)	MAX	0.86	0.75	0.80	0.82	0.87	0.87
	min	0.36	0.48	0.49	0.50	0.52	0.41
A ottimale da UNI		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
inocc (80%)	min	31	35	33	32	30	30
	MAX	72	55	53	52	51	65

Caso 1: Aula di piccole dimensioni

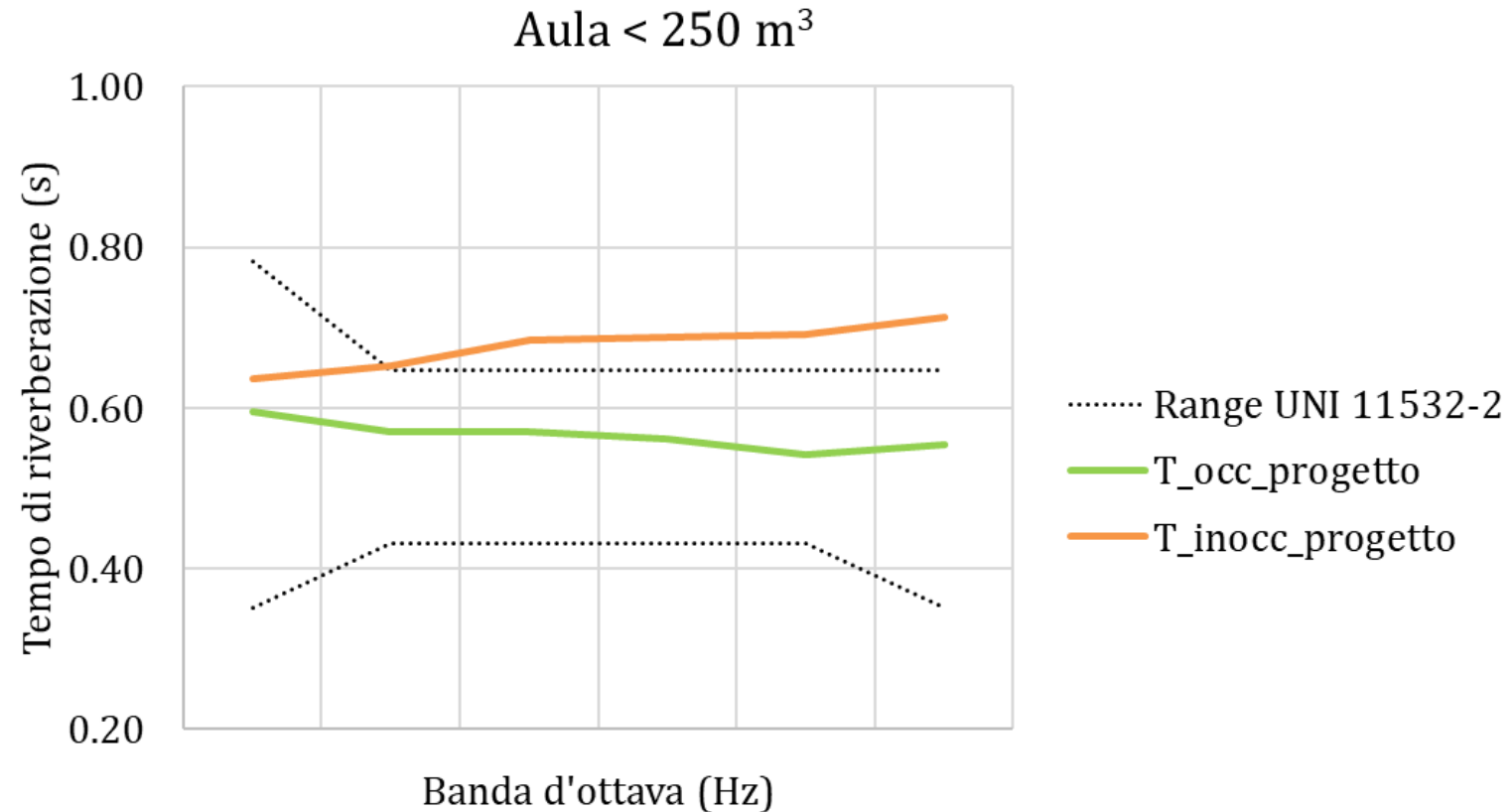
		Bande d'ottava (Hz)							
	S (m²)	125	250	500	1000	2000	4000		
Pareti cartongesso	60	0.30	0.10	0.05	0.07	0.09	0.08	alpha	Prospetto C.2 Linea 26
		18.0	6.0	3.0	4.2	5.4	4.8	A (m2)	
Sedute	24	0.07	0.06	0.07	0.07	0.04	0.06	A (m2)	Prospetto C.1 Linea 12
		1.68	1.44	1.68	1.68	0.96	1.44	A (m2)	
Controsoffitto TRATTATO 1	12	0.55	0.92	0.89	0.90	0.78	0.69	alpha	
		5.8	9.7	9.4	9.5	8.2	7.3	A (m2)	gesso forato rivestito
Controsoffitto TRATTATO 2	27	0.52	0.86	0.94	0.90	0.94	0.94	alpha	
		12.9	21.1	23.2	22.3	23.2	23.2	A (m2)	lana di roccia ad alta densità
Vetri	11	0.28	0.20	0.11	0.06	0.03	0.02	alpha	Prospetto C.2 Linea 10
		3.0	2.2	1.2	0.6	0.3	0.2	A (m2)	
Atot di Progetto		41.4	40.4	38.5	38.3	38.1	37.0		
Tunocc di progetto		0.64	0.65	0.68	0.69	0.69	0.71	senza stu	
Tocc di progetto		0.60	0.57	0.57	0.56	0.54	0.55	con 80%	

Caso 1: Aula di piccole dimensioni

		Bande d'ottava (Hz)							
	S (m²)	125	250	500	1000	2000	4000		
Pareti cartongesso	60	0.30	0.10	0.05	0.07	0.09	0.08	alpha	Prospetto C.2 Linea 26
		18.0	6.0	3.0	4.2	5.4	4.8	A (m2)	
Sedute	24	0.07	0.06	0.07	0.07	0.04	0.06	A (m2)	Prospetto C.1 Linea 12
		1.68	1.44	1.68	1.68	0.96	1.44	A (m2)	
Controsoffitto TRATTATO 1	12	0.55	0.92	0.89	0.90	0.78	0.69	alpha	gesso forato rivestito
		5.8	9.7	9.4	9.5	8.2	7.3	A (m2)	
Controsoffitto TRATTATO 2	27	0.52	0.86	0.94	0.90	0.94	0.94	alpha	lana di roccia ad alta densità
		12.9	21.1	23.2	22.3	23.2	23.2	A (m2)	
Vetri	11	0.28	0.20	0.11	0.06	0.03	0.02	alpha	Prospetto C.2 Linea 10
		3.0	2.2	1.2	0.6	0.3	0.2	A (m2)	
Atot di Progetto		41.4	40.4	38.5	38.3	38.1	37.0		
Tunocc di progetto		0.64	0.65	0.68	0.69	0.69	0.71	senza stu	
Tocc di progetto		0.60	0.57	0.57	0.56	0.54	0.55	con 80%	

Trattare il 30% della soffitto disponibile (che è la totale ridotta del 5-10% per via di impianti di illuminazione e di ventilazione) con un materiale e il restante 70% con un altro materiale aumenta la diffrazione da discontinuità materica e dunque la diffusione del campo sonoro

Caso 1: Aula di piccole dimensioni



Caso 2: Aula di grandi dimensioni ($> 250 \text{ m}^3$)

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

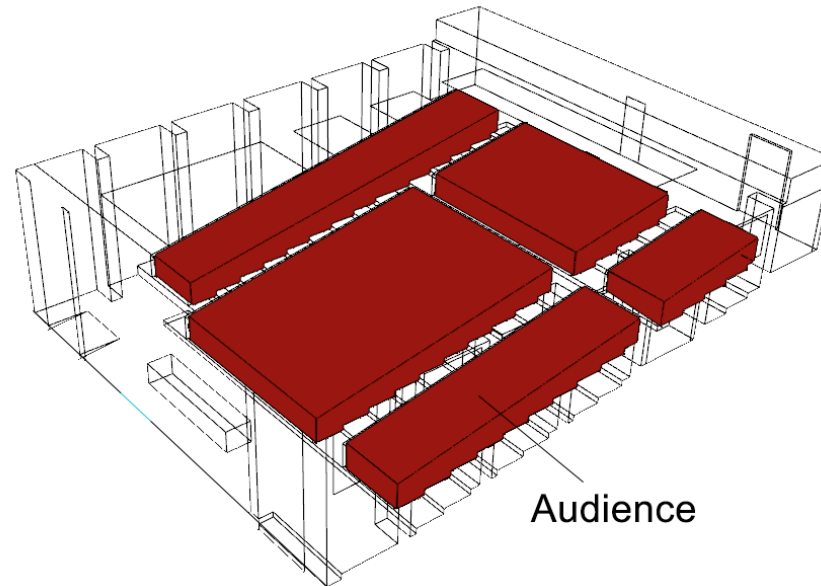
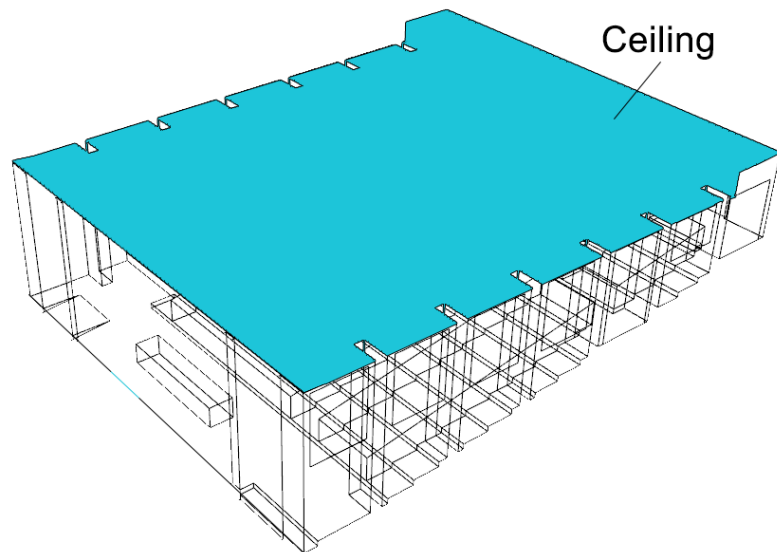


$$V = 1200 \text{ m}^3$$

$$N = 260 \text{ persone}$$

$$S_{\text{ceiling}} = 270 \text{ m}^2$$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

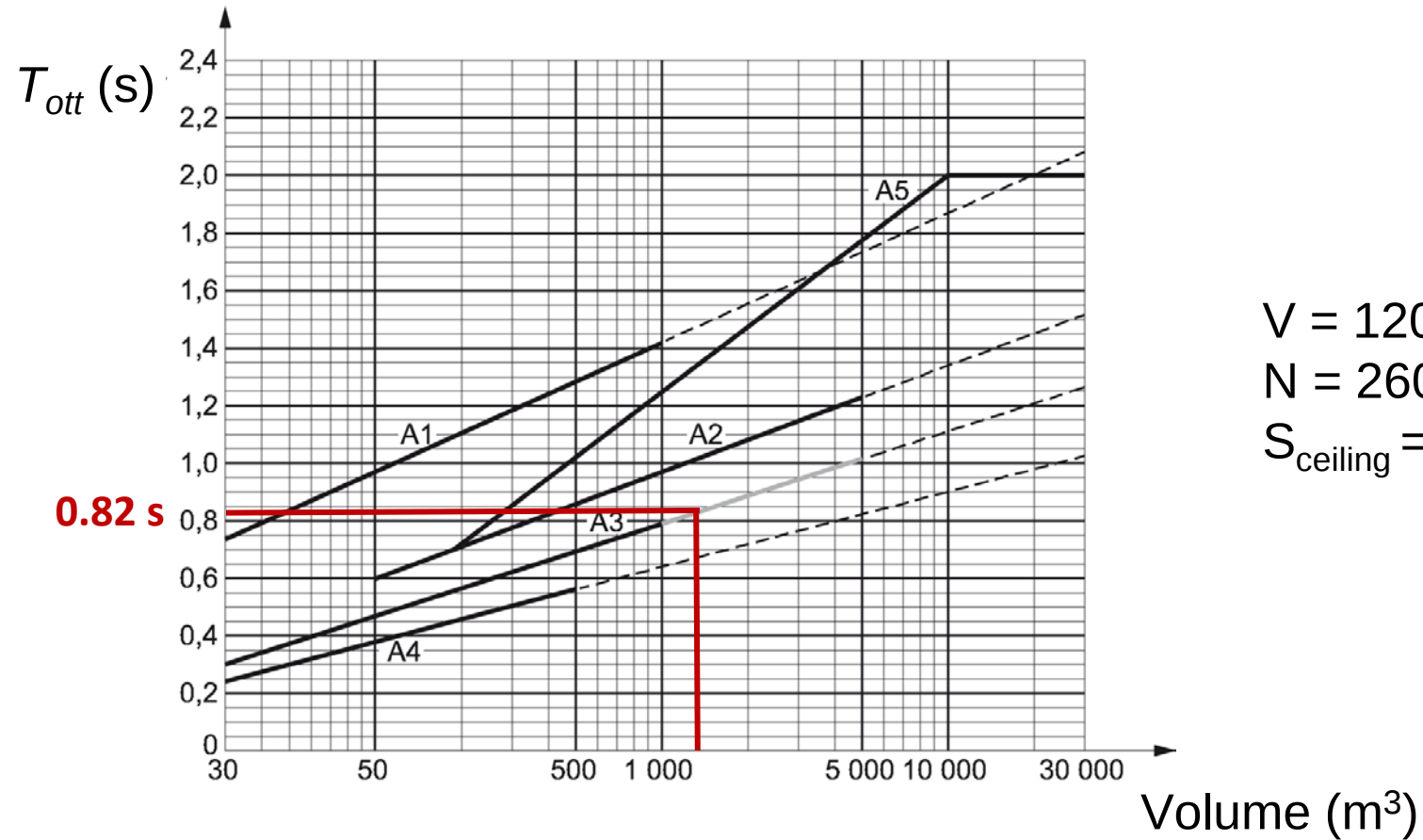


$$\begin{aligned} V &= 1200 \text{ m}^3 \\ N &= 260 \text{ persone} \\ S_{\text{ceiling}} &= 270 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

Categoria		Requisito di riverberazione	Requisito di intelligibilità		
			V < 250m3	V > 250 m3	
					P.A.*
A1	aule musica	$T_{ott}=0.45\log V+0.07$	--		
A2	aule magne	$T_{ott}=0.37\log V-0.14$	$C_{50}>2$ dB	$STI>0.50$	$STI>0.6$
A3	aule didattiche	$T_{ott}=0.32\log V-0.17$	$C_{50}>2$ dB	$STI>0.50$	$STI>0.6$
A4	aule speciali	$T_{ott}=0.26\log V-0.14$	$C_{50}>2$ dB	$STI>0.50$	$STI>0.6$
A5	palestre	$T_{ott}=0.75\log V-1.00$	--	--	--
A6.1	vani scala	--	--		
A6.2	spogliatoi	$A/V>(4.80+4.69\log h)^{(-1)}$			
A6.3	biblioteche	$A/V>(3.13+4.69\log h)^{(-1)}$			
A6.4	mense	$A/V>(2.13+4.69\log h)^{(-1)}$			
A6.5	scuole materne	$A/V>(1.47+4.69\log h)^{(-1)}$			

Caso 2: Aula di grandi dimensioni



$V = 1200 \text{ m}^3$
 $N = 260 \text{ persone}$
 $S_{\text{ceiling}} = 270 \text{ m}^2$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

$$T_{ott} = 0.32 \log(1200) - 0,17 = 0.82(s)$$

Calcolo di A_{ott} :

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(m^2)$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

$$N = 260 \text{ persone}$$

$$S_{\text{ceiling}} = 270 \text{ m}^2$$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

$$T_{ott} = 0.32 \log(1200) - 0,17 = 0.82(s)$$

Calcolo di A_{ott} :

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(m^2)$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

$$N = 260 \text{ persone}$$

$$S_{ceiling} = 270 \text{ m}^2$$

In prima approssimazione:

$$A_{ott} = A_{seats} + A_{ceiling} + A_{occupancy} = NA_{1sedia} + S_{ceiling} \alpha_{ceiling} + 0.8N \Delta A_{1persona}$$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

10	6 m ² / persona, seduta	0,12	0,18	0,35	0,56	0,68	0,74
11	6 m ² / persona, in piedi	0,12	0,19	0,42	0,66	0,85	0,94
12	Sedia ribaltabile in legno non occupata	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
13	Singola sedia imbottita con rivestimento in tessuto	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	0,40
14	Singola sedia imbottita con rivestimento in pelle	0,05	0,15	0,20	0,10	0,03	0,03
15	Sedia ribaltabile da teatro imbottita	0,25	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
16	Musicista con strumento: 1,1 m ² /persona	0,16	0,42	0,87	1,07	1,04	0,94
17	Musicista con strumento: 2,3 m ² /persona	0,03	0,13	0,43	0,70	0,85	0,99
18	Cantore < 0,5 m ² /persona	0,15	0,25	0,40	0,50	0,60	0,60
19	Studenti in un'aula ai tavoli di legno 3 m ² / persona	0,05	0,33	0,43	0,32	0,38	0,37
20	Bambini della scuola materna, seduti 2 m ² / persona	-	0,14	0,17	0,20	0,30	0,30

I valori delle righe 2 fino a 4 si basano su una fila di sedie con circa 0,5 m² / persona. I valori delle righe 5 fino a 7 si basano su una disposizione di posti a sedere tipica delle aule con tavoli e con sedie non imbottite.

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

$$T_{ott} = 0.32 \log(1200) - 0,17 = 0.82(s)$$

Calcolo di A_{ott} :

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(m^2)$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

$$N = 260 \text{ persone}$$

$$S_{ceiling} = 270 \text{ m}^2$$

In prima approssimazione:

$$A_{ott} = A_{seats} + A_{ceiling} + A_{occupancy} = NA_{1sedia} + S_{ceiling} \alpha_{ceiling} + 0.8N \Delta A_{1persona}$$

$$0.04 (m^2) \text{ a } 1000 \text{ Hz}$$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

$$T_{ott} = 0.32 \log(1200) - 0,17 = 0.82(s)$$

Calcolo di A_{ott} :

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(m^2)$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

$$N = 260 \text{ persone}$$

$$S_{ceiling} = 270 \text{ m}^2$$

In prima approssimazione:

$$A_{ott} = A_{seats} + A_{ceiling} + A_{occupancy} = NA_{1sedia} + S_{ceiling} \alpha_{ceiling} + 0.8N\Delta A_{1persona}$$

80 % dell'occupazione massima

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

Prospetto C.1 — Superficie aggiuntiva di assorbimento acustico equivalente ΔA_{pers} delle persone espressa in m^2

	Descrizione	Frequenza (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
0	Individuo di un gruppo, in posizione eretta, 1 ogni 6 m ² di area, minimo tipico	0,05	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65
1	Individuo di un gruppo, in posizione eretta, 1 ogni 6 m ² di area, massimo tipico	0,12	0,45	0,80	1,20	1,30	1,40
2	Persona seduta su sedia non imbottita	0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55
3	Persona seduta su sedia leggermente imbottita	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25
4	Persona seduta su sedia altamente imbottita	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15
5	Bambino della scuola materna	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,25
6	Alunno della scuola primaria (fino a 11 anni) seduto al tavolo	0,05	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45
7	Alunno della scuola secondaria seduto al tavolo	0,10	0,15	0,35	0,50	0,50	0,55
8	0,5 m ² / persona seduta su sedia in legno	0,12	0,2	0,39	0,49	0,48	0,4
9	1,0 m ² / persona seduta su sedia in legno	0,18	0,26	0,55	0,68	0,78	0,78

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

$$T_{ott} = 0.32 \log(1200) - 0,17 = 0.82(s)$$

Calcolo di A_{ott} :

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(m^2)$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

$$N = 260 \text{ persone}$$

$$S_{ceiling} = 270 \text{ m}^2$$

In prima approssimazione:

$$A_{ott} = A_{seats} + A_{ceiling} + A_{occupancy} = NA_{1sedia} + S_{ceiling} \alpha_{ceiling} + 0.8N\Delta A_{1persona}$$

0.45(m²) a 1000 Hz

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(\text{m}^2)$$

$$A_{ott} = A_{seats} + A_{ceiling} + A_{occupancy} = NA_{1sedia} + S_{ceiling}\alpha_{ceiling} + 0.8N\Delta A_{1persona}$$

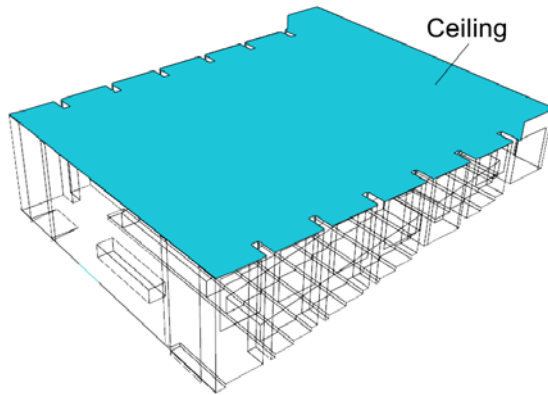
$$A_{ott} = 260 \cdot 0.04 + 270\alpha_{ceiling} + 0.8 \cdot 260 \cdot 0.45 = 10.4 + 270\alpha_{ceiling} + 93.6 = 234(\text{m}^2)$$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(\text{m}^2)$$

$$A_{ott} = A_{seats} + A_{ceiling} + A_{occupancy} = NA_{1sedia} + S_{ceiling}\alpha_{ceiling} + 0.8N\Delta A_{1persona}$$

$$A_{ott} = 260 \cdot 0.04 + 270\alpha_{ceiling} + 0.8 \cdot 260 \cdot 0.45 = 10.4 + 270\alpha_{ceiling} + 93.6 = 234(\text{m}^2)$$



$$\alpha_{ceiling} = \frac{A_{ceiling}}{S_{ceiling}} = \frac{234 - 93.6 - 10.4}{270} = \frac{130}{270} \simeq 0.48$$

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

Modello di calcolo semplificato T_{occ}

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
valore massimo T_{occ} (s)	1,18	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
valore minimo T_{occ} (s)	0,53	0,65	0,65	0,65	0,65	0,53
A_{1sedia} (m ²)	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
$\Delta A_{1persona}$ (m ²)	0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55
A_{Nsedia} (m ²)	5,2	5,2	5,2	10,4	10,4	7,8
$\Delta A_{0,8Npersone}$ (m ²)	31,2	62,4	83,2	93,6	114,4	114,4
α_{celing}	0,73	0,62	0,54	0,48	0,40	0,41

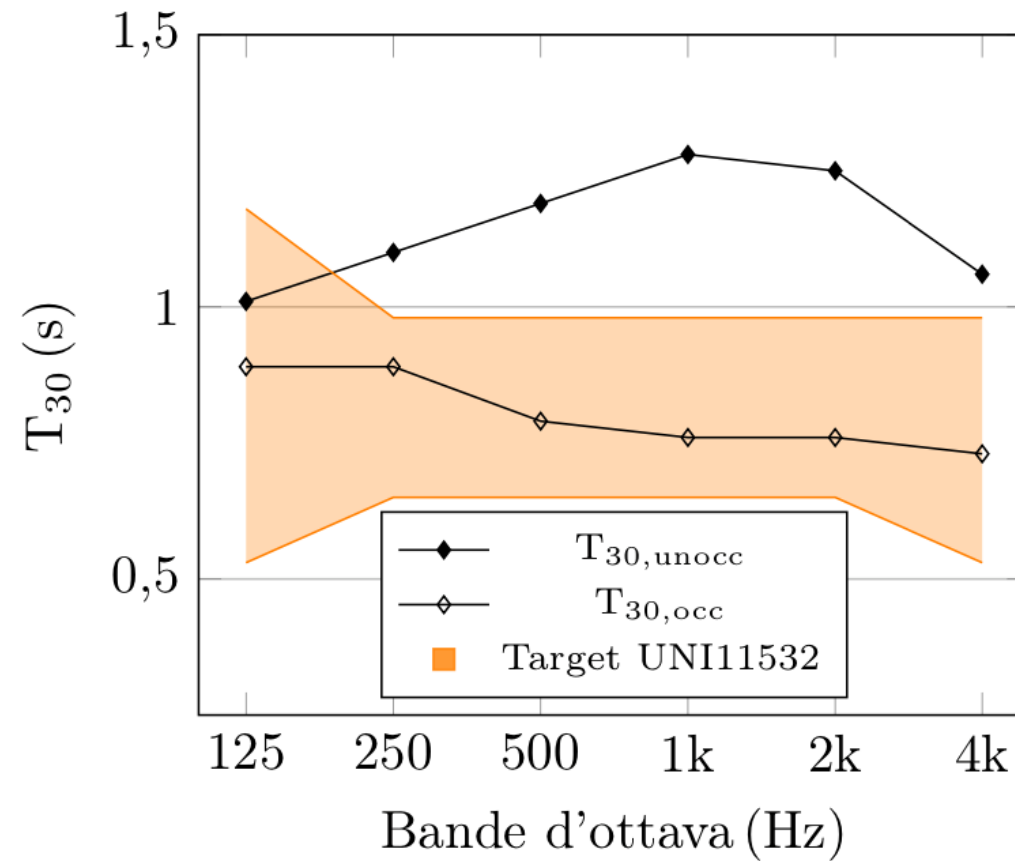
Caso 2: Aula di grandi dimensioni



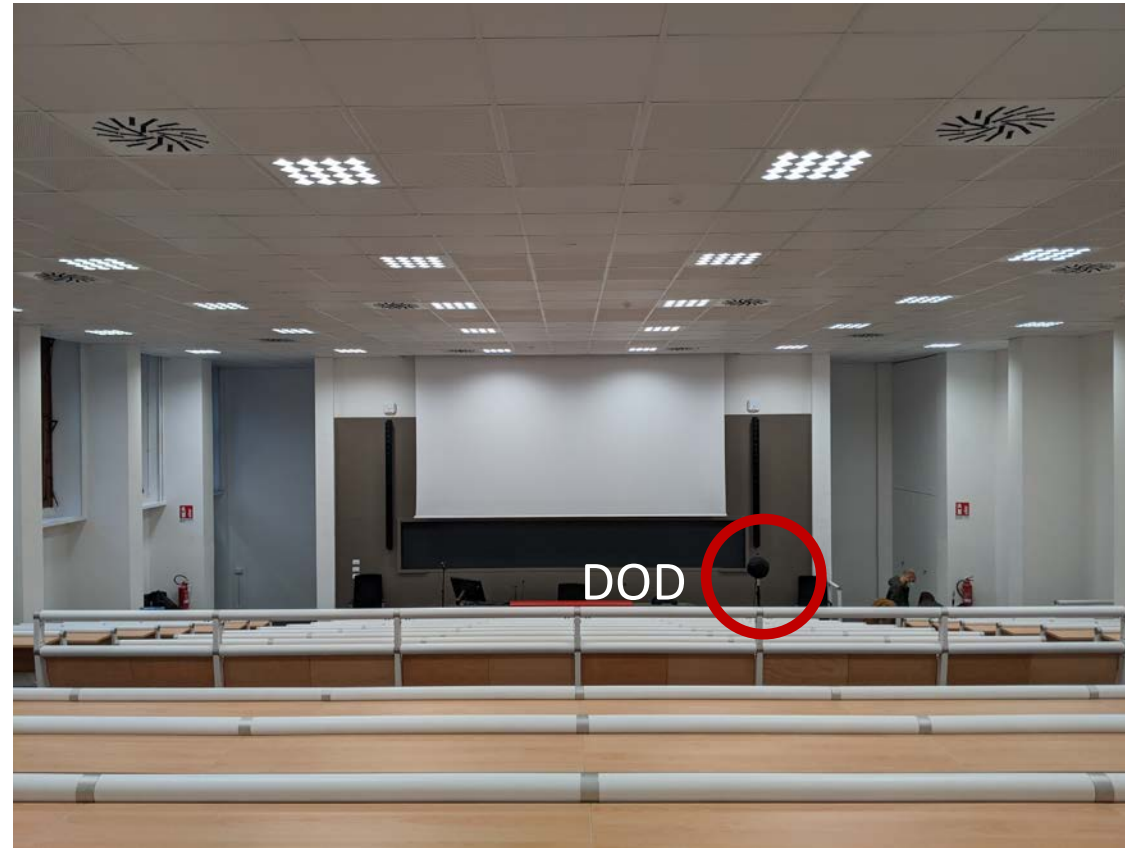
Cartongesso forato che lavora da risonatore sulla fascia perimetrale

Cartongesso non forato in forma di isole al centro dell'ambiente, in modo da incrementare le riflessioni su queste superfici

Caso 2: Aula di grandi dimensioni

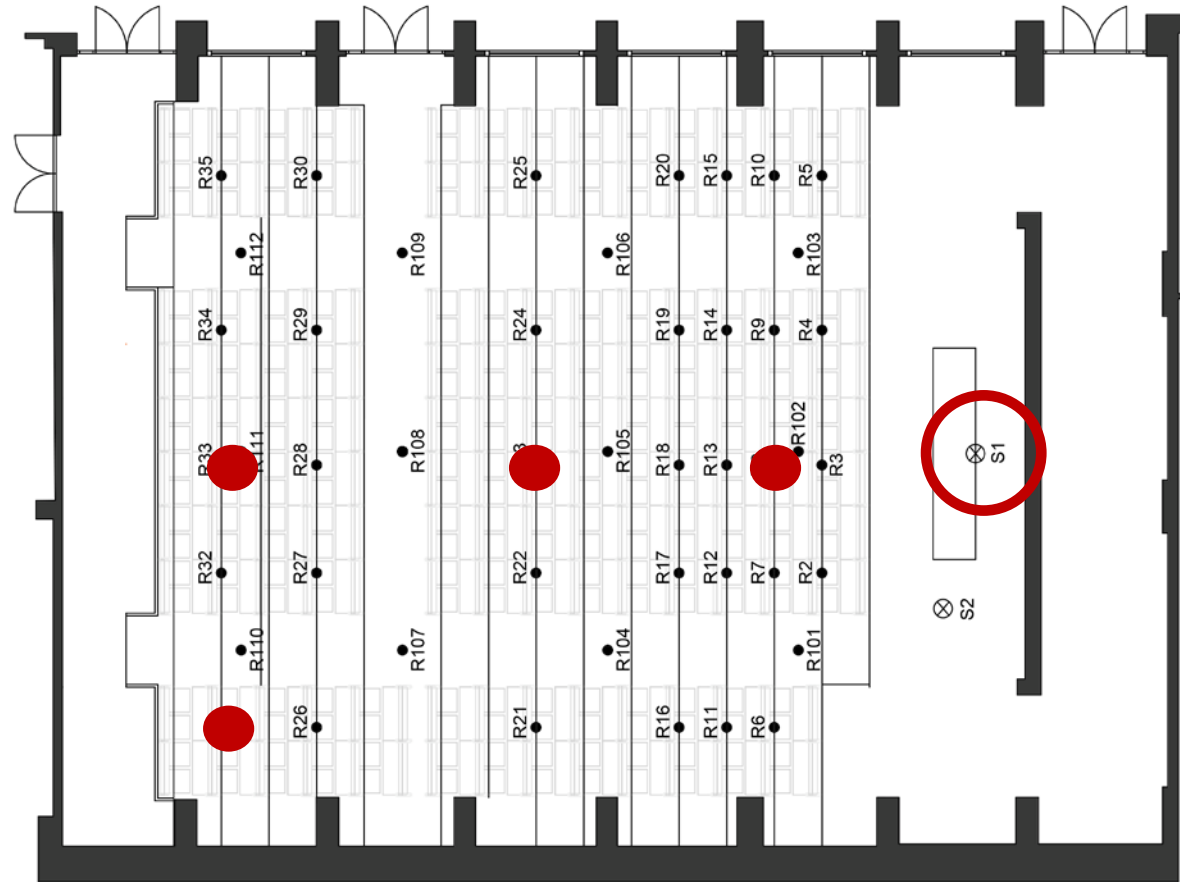


Caso 2: Aula di grandi dimensioni



Caso 2: Aula di grandi dimensioni

Collaudo

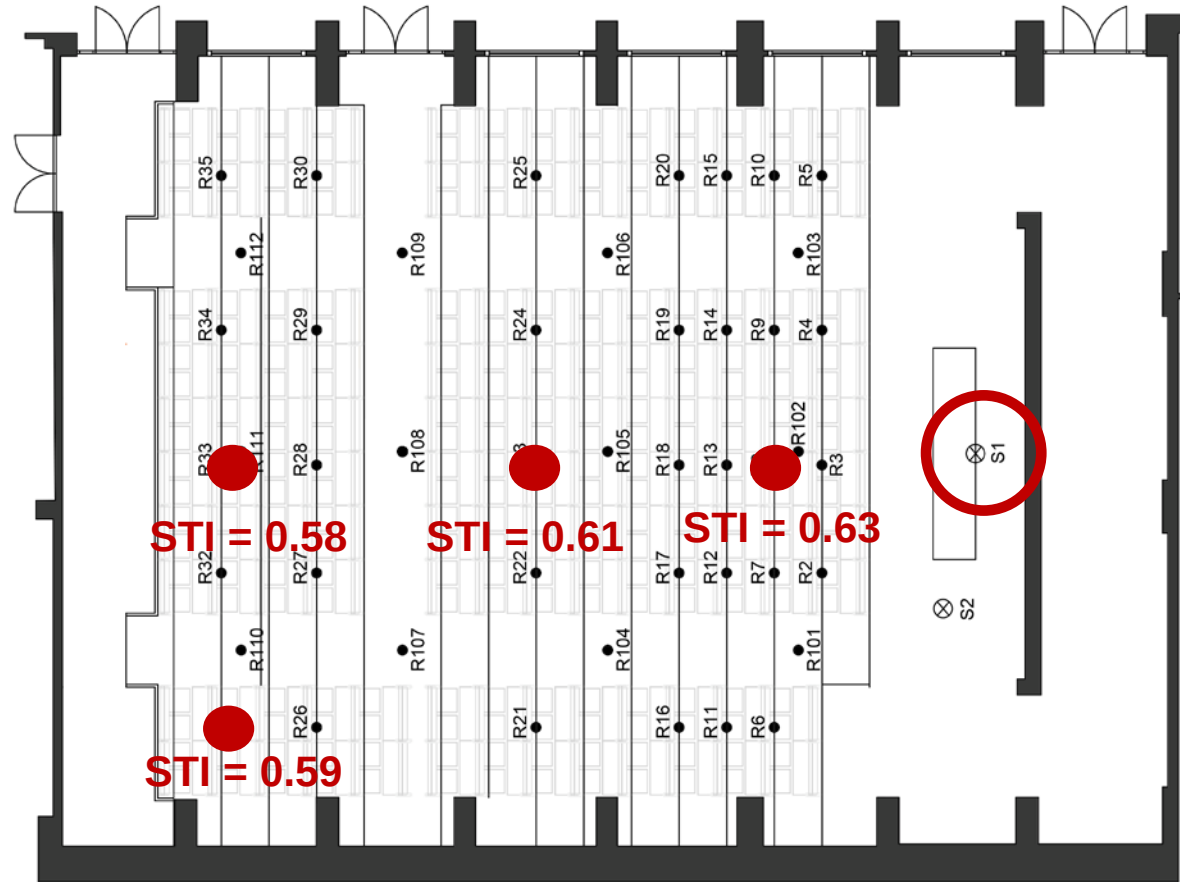


Caso 2: Aula di grandi dimensioni

Collaudo

STI misurato:

$$STI_m = 0.60$$



Caso 2: Aula di grandi dimensioni

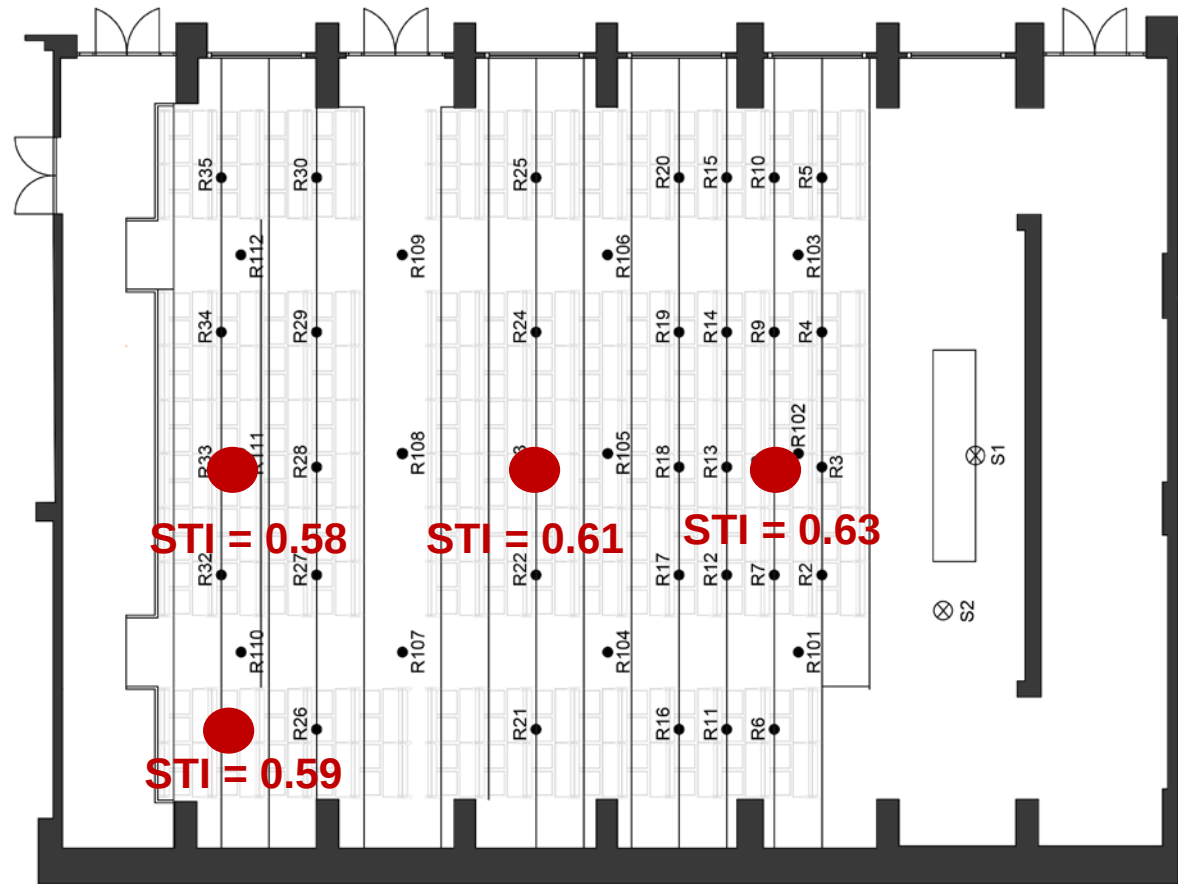
Collaudo

STI misurato:

$$STI_m = 0.60$$

Con incertezza di
misura:

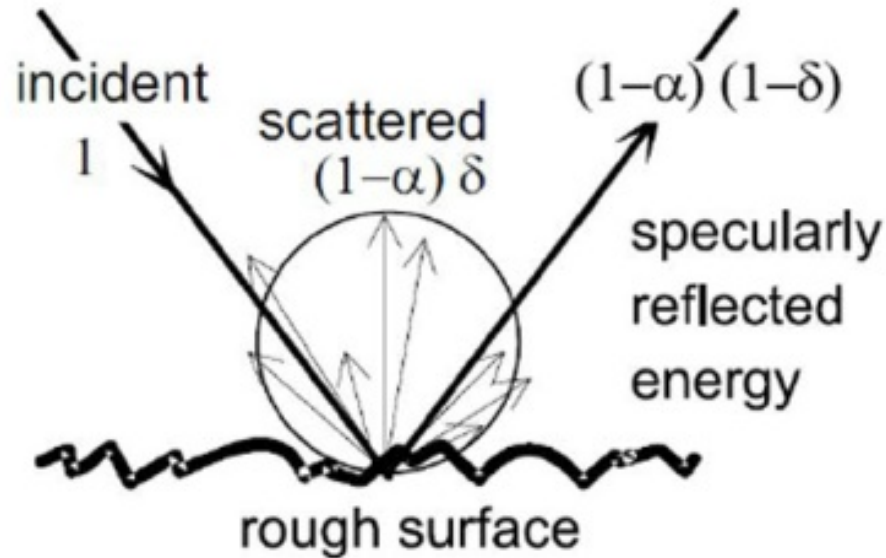
$$STI_m = 0.60 - 0.05 \\ = 0.55 > 0.50$$



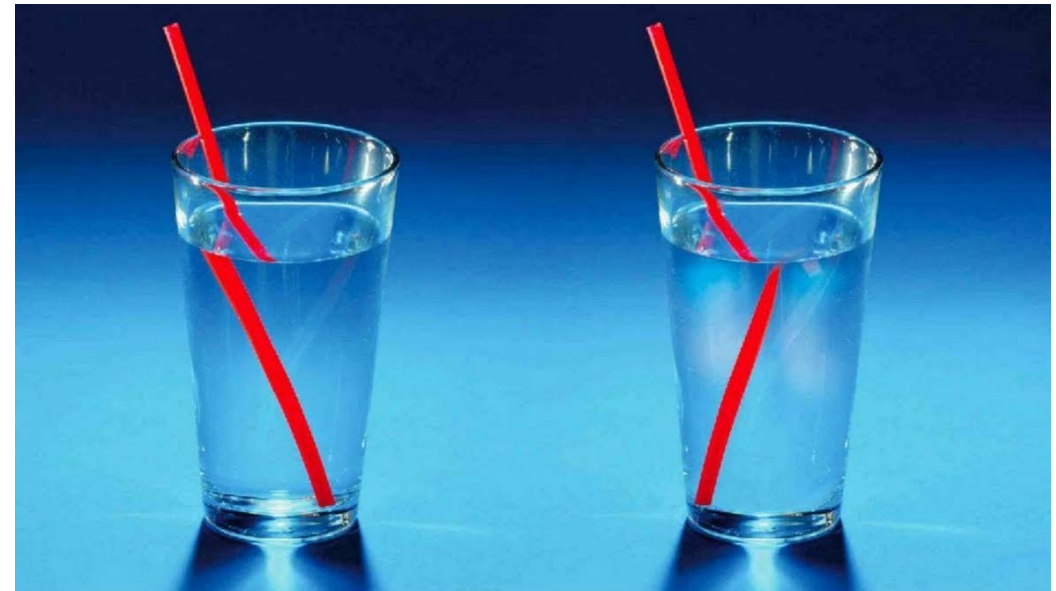
Approfondimenti

Discontinuità di impedenza acustica

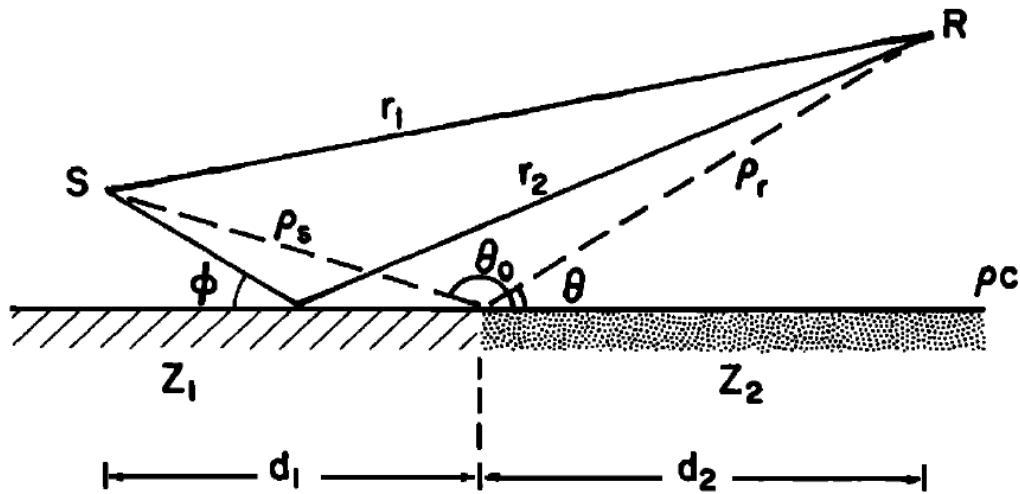
Quantità di energia riflessa in maniera **NON speculare**.



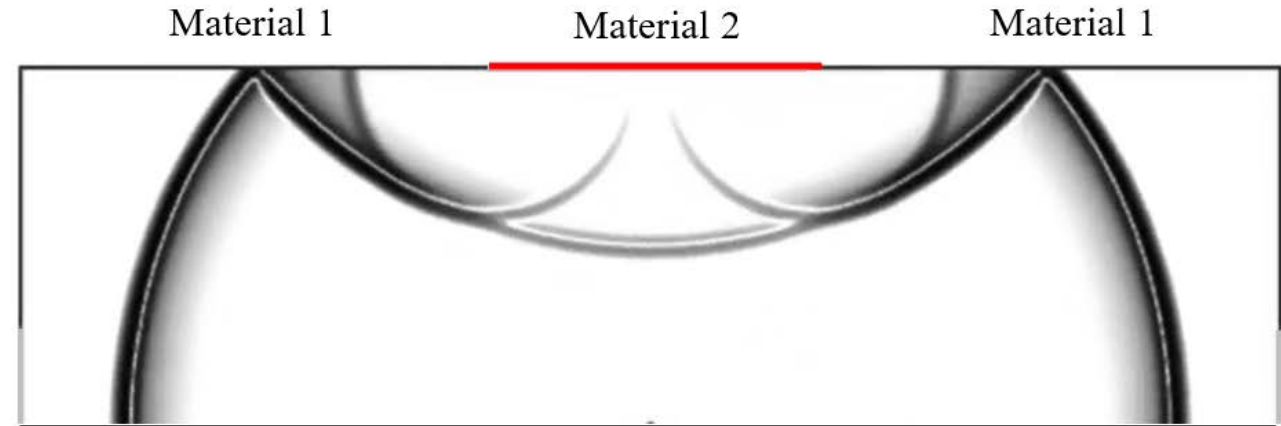
Vettore d'onda 'modificato' dalla discontinuità tra impedenze differenti



Discontinuità di impedenza acustica



(Chandler-Wilde and Hothersall, *JSV*, 1985)



Ceiling mix

CONTATTI

Ing. Dario D'Orazio

Email: ddorazio@gmail.com

Tel: 3319914001

Grazie per l'attenzione