

# COMUNE DI PARTANNA

PROVINCIA DI TRAPANI

Via XX Settembre n°15

LAVORI DI MIGLIORAMENTO E/O ADEGUAMENTO ALLE NORMATIVE ANTISISMICHE DELL'EDIFICIO DI PROPRIETA' COMUNALE ADIBITO A SCUOLA ELEMENTARE DENOMINATO PLESSO DI VIA MESSINA N. 4, NONCHE' ALL'ADEGUAMENTO IMPIANTISTICO ALLA NORMATIVA VIGENTE. CUP. I36E1800012001 IDENTIFICATO CON IL CODICE 0810152624. FINANZIAMENTO PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI "DIPARTIMENTO CASA ITALIA"



**Il Progettista:**

**Ing. Antonio Di Giovanni**

**IL R.U.P**

N° ELABORATO

**Elab. 41**

TITOLO

**PROGETTO ACUSTICO:  
Calcolo Tempo di Riverberazione  
Ambienti Scolastici**

SCALA

**1:100**

DATA

**Settembre 2020**

FILE :

## **CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE DI UN AMBIENTE**

**Ufficio tecnico**

**Richiedente:**

-----

**Cantiere:**

**Riqualificazione edificio scolastico "Luigi Capuana", Via Messina, 4  
comune di Partanna (TP)**

## INDICE

PREMESSA .....	2
ANALISI.....	2
MATERIALI UTILIZZATI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CORREZIONE ACUSTICA.....	3
<i>Aula scolastica tipo - 45,60 mq   Ipotesi progettuale .....</i>	<i>4</i>
<i>Aula scolastica tipo - 185,84 mq   Ipotesi progettuale .....</i>	<i>5</i>
<i>Aula scolastica ufficio tipo - 31,90 mq   Ipotesi progettuale .....</i>	<i>6</i>
<i>Aula scolastica ufficio tipo - 56,10 mq   Ipotesi progettuale .....</i>	<i>7</i>
ALLEGATO 1 – Teoria.....	8
ALLEGATO 2 – Metodo di calcolo .....	9

### PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di stimare con modalità analitica il tempo di riverberazione presente all'interno dell'ambiente proposto dal committente, dopo aver realizzato un rivestimento con pannelli CELENIT.

### ANALISI

- Le misure e le tipologie di superfici utilizzate per il calcolo del tempo di riverbero si basano sulle indicazioni fornite dal committente.
- I coefficienti di assorbimento utilizzati nei calcoli sono stati ricavati dalla letteratura e da dati sperimentali.
- A favore di sicurezza non è stata considerata la presenza di persone o arredo all'interno del locale analizzato
- Il metodo di calcolo utilizzato è descritto nell'Allegato 2.

## MATERIALI UTILIZZATI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CORREZIONE ACUSTICA



**CELENIT ABE** è un pannello isolante termico ed acustico, in lana di legno extra sottile di abete rosso mineralizzata e legata con cemento Portland bianco. Larghezza lana di legno: 1 mm.

Conforme alla norma UNI EN 13168 e UNI EN 13964.

I pannelli sono selezionati per l'applicazione a vista.

Certificato da ANAB-ICEA e natureplus per la eco-biocompatibilità dei materiali e del processo produttivo.

Il legno utilizzato proviene da foreste gestite in modo sostenibile (catena di custodia PEFC™ o FSC®).

**Dimensioni** 240x60 - 200x60 - 120x60 - 60x60 cm  
**Spessore** 15 - **25** - 35 mm

### Certificazioni Prodotto

- ANAB no. EDIL 2009\_004 Ed. 02 Rev. 00 | rev. 07.01.2015
- NATUREPLUS no. 1007-1511-134-1 | rev. 12.11.2015
- FSC® no. ICILA-COC-002789 | rev. 14.10.2014
- PEFC™ no. ICILA-PEFCCOC-000117 rev. 14.10.2014
- ICEA no. LEED 2015\_001 Ed. 00 Rev. 00 | rev. 19.01.2015
- ICEA no. REC 2015\_001 Ed. 00 Rev. 00 | rev. 19.01.2015

## Aula scolastica tipo - 45,60 mq | Ipotesi progettuale

Applicazione di superficie fonoassorbente a soffitto, con pannelli CELENIT ABE sp. 25 mm applicazione ad intercapedine vuota sp. 200 mm.

### SONO STATI CONSIDERATI I SEGUENTI DATI

Volume di calcolo stimato	<b>182,40</b>	mc
Superficie totale stimata	<b>198,56</b>	mq
Superficie fonoassorbente	<b>45,60</b>	mq

### CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

DESTINAZIONE D'USO: **Aula scolastica - ascolto del parlato**

### STRUTTURA E AREA DI ASSORBIMENTO EQUIVALENTE

<b>STRUTTURA MATERIALE</b>	<b>Sup.m<sup>2</sup></b>	<b>125Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>
Marmo, piastrelle smaltate, calcestruzzo liscio, o pavimento alla veneziana	45,60	0,46	0,46	0,91	0,91	0,91	0,91
Porte (legno)	2,64	0,37	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21
Finestre, facciata di vetro	10,00	1,20	0,80	0,50	0,40	0,30	0,20
Calcestruzzo, mattoni intonacati	94,72	0,95	0,95	0,95	1,89	1,89	2,84
Soffitto con <b>CELENIT ABE</b> sp. 25 mm, intercapedine d'aria sp. 200 mm	45,60	11,40	29,64	29,64	27,36	36,48	45,60

### RISULTATI

	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1 kHz</b>	<b>2 kHz</b>	<b>4 kHz</b>
T60	2,03 s	0,91 s	0,91 s	0,95 s	0,73 s	0,59 s
T60 ottimale (UNI 11367)	0,75 s					
T60 massimo (UNI 11367)	0,90 s					
<b>T60 medio (250 Hz - 2000 Hz)</b>	<b>0,87 s</b>					
T60 massimo (DPCM 5/12/97)	1,20 s					
	Limite verificato					

## Aula scolastica tipo - 185,84 mq | Ipotesi progettuale

Applicazione di superficie fonoassorbente a soffitto, con pannelli CELENIT ABE sp. 25 mm applicazione ad intercapedine vuota sp. 200 mm.

### SONO STATI CONSIDERATI I SEGUENTI DATI

Volume di calcolo stimato	<b>556,92</b>	mc
Superficie totale stimata	<b>541,22</b>	mq
Superficie fonoassorbente	<b>185,64</b>	mq

### CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

DESTINAZIONE D'USO: **Aula scolastica - ascolto del parlato**

### STRUTTURA E AREA DI ASSORBIMENTO EQUIVALENTE

<b>STRUTTURA MATERIALE</b>	<b>Sup.m<sup>2</sup></b>	<b>125Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>
Marmo, piastrelle smaltate, calcestruzzo liscio, o pavimento alla veneziana	185,84	1,86	1,86	3,72	3,72	3,72	3,72
Porte (legno)	12,00	1,68	1,20	0,96	0,96	0,96	0,96
Finestre, facciata di vetro	4,00	0,48	0,32	0,20	0,16	0,12	0,08
Calcestruzzo, mattoni intonacati	153,74	1,54	1,54	1,54	3,07	3,07	4,61
Soffitto con <b>CELENIT ABE</b> sp. 25 mm, intercapedine d'aria sp. 200 mm	185,64	46,41	120,67	120,67	111,38	148,51	185,64

### RISULTATI

	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1 kHz</b>	<b>2 kHz</b>	<b>4 kHz</b>
T60	1,71 s	0,71 s	0,70 s	0,75 s	0,57 s	0,46 s
T60 ottimale (UNI 11367)	0,91 s					
T60 massimo (UNI 11367)	1,09 s					
<b>T60 medio (250 Hz - 2000 Hz)</b>	<b>0,68 s</b>					
T60 massimo (DPCM 5/12/97)	1,20 s					
	Limite verificato					

## **Aula scolastica ufficio tipo - 31,90 mq | Ipotesi progettuale**

**Applicazione di superficie fonoassorbente a soffitto, con pannelli CELENIT ABE sp. 25 mm applicazione ad intercapedine vuota sp. 200 mm.**

### SONO STATI CONSIDERATI I SEGUENTI DATI

Volume di calcolo stimato	<b>128,27</b>	mc
Superficie totale stimata	<b>154,44</b>	mq
Superficie fonoassorbente	<b>31,90</b>	mq

### CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

DESTINAZIONE D'USO: **Aula scolastica - ascolto del parlato**

### STRUTTURA E AREA DI ASSORBIMENTO EQUIVALENTE

<b>STRUTTURA MATERIALE</b>	<b>Sup.m<sup>2</sup></b>	<b>125Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>
Marmo, piastrelle smaltate, calcestruzzo liscio, o pavimento alla veneziana	31,90	0,32	0,32	0,64	0,64	0,64	0,64
Porte (legno)	1,98	0,28	0,20	0,16	0,16	0,16	0,16
Finestre, facciata di vetro	17,50	2,10	1,40	0,88	0,70	0,53	0,35
Calcestruzzo, mattoni intonacati	71,16	0,71	0,71	0,71	1,42	1,42	2,13
Soffitto con <b>CELENIT ABE</b> sp. 25 mm, intercapedine d'aria sp. 200 mm	31,90	7,98	20,74	20,74	19,14	25,52	31,90

### RISULTATI

	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1 kHz</b>	<b>2 kHz</b>	<b>4 kHz</b>
T60	1,80 s	0,88 s	0,89 s	0,93 s	0,73 s	0,58 s
T60 ottimale (UNI 11367)	0,70 s					
T60 massimo (UNI 11367)	0,85 s					
<b>T60 medio (250 Hz - 2000 Hz)</b>	<b>0,86 s</b>					
T60 massimo (DPCM 5/12/97)	1,20 s					
	Limite verificato					

## **Aula scolastica ufficio tipo - 56,10 mq | Ipotesi progettuale**

**Applicazione di superficie fonoassorbente a soffitto, con pannelli CELENIT ABE sp. 25 mm applicazione ad intercapedine vuota sp. 200 mm.**

### SONO STATI CONSIDERATI I SEGUENTI DATI

Volume di calcolo stimato	<b>226,40</b>	mc
Superficie totale stimata	<b>238,12</b>	mq
Superficie fonoassorbente	<b>56,10</b>	mq

### CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

DESTINAZIONE D'USO: **Aula scolastica - ascolto del parlato**

### STRUTTURA E AREA DI ASSORBIMENTO EQUIVALENTE

<b>STRUTTURA MATERIALE</b>	<b>Sup.m<sup>2</sup></b>	<b>125Hz</b>	<b>250Hz</b>	<b>500Hz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>4kHz</b>
Marmo, piastrelle smaltate, calcestruzzo liscio, o pavimento alla veneziana	56,10	0,56	0,56	1,12	1,12	1,12	1,12
Porte (legno)	2,64	0,37	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21
Finestre, facciata di vetro	11,00	1,32	0,88	0,55	0,44	0,33	0,22
Calcestruzzo, mattoni intonacati	112,28	1,12	1,12	1,12	2,25	2,25	3,37
Soffitto con <b>CELENIT ABE</b> sp. 25 mm, intercapedine d'aria sp. 200 mm	56,10	14,03	36,47	36,47	33,66	44,88	56,10

### RISULTATI

	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1 kHz</b>	<b>2 kHz</b>	<b>4 kHz</b>
T60	2,08 s	0,92 s	0,92 s	0,96 s	0,74 s	0,59 s
T60 ottimale (UNI 11367)	0,78 s					
T60 massimo (UNI 11367)	0,94 s					
<b>T60 medio (250 Hz - 2000 Hz)</b>	<b>0,89 s</b>					
T60 massimo (DPCM 5/12/97)	1,20 s					
	Limite verificato					



## **ALLEGATO 1 – Teoria**

### **La riverberazione**

Quando una sorgente di rumore attiva in un locale viene spenta, il livello di pressione sonora presente all'interno della stanza non si annulla istantaneamente.

Questo fenomeno è causato dal fatto che le superfici delimitanti l'ambiente, riflettendo parzialmente le onde sonore ancora presenti nella stanza, generano una "coda sonora".

Tale fenomeno è noto con il nome di riverberazione.

La capacità di una sala di risultare più o meno riverberante dipende principalmente dalle sue dimensioni (e quindi dal suo volume) e dalla capacità delle superfici delimitanti di assorbire o meno i suoni.

Visto che le superfici assorbono i suoni alle varie frequenze in maniera differente, i locali possono risultare molto riverberanti a certe frequenze e poco ad altre.

### **Tempo di riverberazione ( $T_{60}$ )**

Per quantificare la capacità di riverberare di un locale è stata definita la grandezza tempo di riverberazione ( $T_{60}$ ).

In termini analitici per  $T_{60}$  si intende il tempo necessario affinché, dopo aver spento la sorgente di rumore, il livello di pressione sonora all'interno di una stanza diminuisca di 60 dB.

Ciò significa una perdita di livello di potenza sonora, o di intensità, pari a 1.000.000 di volte.

In termini approssimati, quindi, il tempo di riverberazione può essere definito come quel tempo, a partire dall'istante di spegnimento della sorgente sonora, necessario perché il suono divenga impercettibile.

Il tempo di riverberazione di un locale varia in base alla frequenza considerata, a causa della differente capacità delle superfici delimitanti il locale di assorbire o riflettere i suoni.

### **Tempo di riverberazione ottimale ( $T_{60\text{ ott}}$ )**

Il tempo di riverberazione è quindi un parametro che consente di definire la qualità acustica di una sala.

Locali con  $T_{60}$  molto lunghi (>1,5 sec) risulteranno "molto riverberanti" mentre locali con  $T_{60}$  ridotto (<0,3 sec) risulteranno "sordi".

Il tempo di riverberazione ottimale per un locale definisce il  $T_{60}$  che teoricamente sarebbe opportuno avere nella sala analizzata. Esso dipende quindi dalla destinazione d'uso e dal volume della stessa. Ad esempio locali troppo riverberanti non sono adatti per l'ascolto del parlato, in quanto la coda sonora non permette di distinguere chiaramente le sillabe che compongono le parole, ma potrebbero risultare adeguati per l'ascolto di determinati tipi di musica.

## ALLEGATO 2 – Metodo di calcolo

### Metodo di calcolo del tempo di riverberazione di un locale

Il tempo di riverberazione caratteristico di un determinato locale può essere calcolato con la formula di Sabine:

$$T_{60} = \frac{0,16 \cdot V}{A}$$

dove:

$V$  = volume del locale [ $m^3$ ]

$A$  = area di assorbimento equivalente totale dell'ambiente [ $m^2$ ]

Il parametro  $A$ , caratterizzante la capacità dell'ambiente di assorbire le onde sonore, dipende dalle superfici considerate e dagli elementi (umani o di arredo) presenti nel locale.

$$A = \sum_{i=1}^k S_i \cdot \alpha_i + \sum_{j=1}^m n_j \cdot A_j$$

dove:

$S_i$  è la superficie i-esima [ $m^2$ ];

$\alpha_i$  è il coefficiente di assorbimento della superficie i-esima;

$n_j$  è il numero di elementi del j-esimo tipo;

$A_j$  è l'assorbimento totale di un elemento del j-esimo tipo.

I coefficienti di assorbimento variano in base alla frequenza considerata.

### Metodo di calcolo del T60 ottimale di un locale

Per il calcolo del tempo di riverberazione ottimale, il quale risulta essere comunque una caratteristica estremamente soggettiva, sono stati proposti vari algoritmi.

Di seguito si riporta un possibile metodo di calcolo.

Viene definito il T60 ottimale alla frequenza di 1000 Hz con la formula:

$$T_{60ott1000Hz} = k \sqrt[9]{V}$$

dove:

$k$  coefficiente correttivo

$V$  volume del locale [ $m^3$ ]

Il coefficiente "k" varia in base alla destinazione d'uso del locale:

Per locali destinati a conferenze (parlato)  $k = 0,30$

Per locali destinati a cinema  $k = 0,40$

Per locali destinati a rappresentazioni teatrali  $k = 0,50$

Per locali destinati all'ascolto di musica (classica)  $k = 0,55$

Si ricava il valore di T60 ottimale alle varie frequenze moltiplicando il valore a 1000 Hz con i seguenti coefficienti di proporzionalità.

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1,75	1,30	1,10	1,00	1,05	1,10

Considerato il fatto che l'adeguatezza del tempo di riverbero è una caratteristica molto soggettiva, i valori calcolati per il tempo di riverbero ottimale andranno utilizzati con le dovute cautele.