



## **COMUNE DI BRISIGHELLA**

### **REDAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO DEI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA STRUTTURA SCOLASTICA A MARZENO ATTA AD OSPITARE I LOCALI DELLA SCUOLA PRIMARIA “GIACOMO LEOPARDI” E I LOCALI DELLA SCUOLA INFANZIA “CADUTI DI CEFALONIA”**

**Committente: COMUNE DI BRISIGHELLA**

**Ubicazione: fraz. Marzeno – via Ettore Bendandi**

### **RELAZIONE ACUSTICA**

Faenza, 24.10.2013



## Sommario

Sommario .....	1
1. Premessa.....	3
2. Riferimenti normativi.....	3
3. Prescrizioni previste dal DPCM 5/12/1997 .....	3
4. Analisi delle partizioni dell'edificio .....	5
4.1. Analisi delle pareti divisorie .....	5
4.2. Analisi delle facciate dell'edificio .....	5
4.3. Analisi dei solai.....	8
5. Impianti .....	8
6. Analisi del tempo di riverberazione degli ambienti .....	8
6.1. Cenni teorici sul tempo di riverberazione:.....	9
6.2. Valori ottimali di riferimento del tempo di riverberazione:.....	11
6.3. Analisi del tempo di riverberazione:.....	13
7. Conclusioni .....	13



## 1. Premessa

Lo scopo delle analisi è quello di verificare la rispondenza del progetto alle prescrizioni previste dal DPCM 5/12/1997 e individuare le soluzioni progettuali più adeguate a garantire una condizione di confort acustico ottimale per lo svolgimento delle attività previste.

## 2. Riferimenti normativi

Si riportano di seguito i principali riferimenti normativi considerati:

Legge n. 447 del 26 ottobre 1995 – “Legge quadro sull’inquinamento acustico”.

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 14 novembre 1997 – “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”.

**Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 5 dicembre 1997 – “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”.**

UNI EN 12354 – Acustica in edilizia – “valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti: parte 1, isolamento del rumore per via aerea tra ambienti; parte 2, isolamento acustico al calpestio tra ambienti; parte 3, isolamento acustico contro il rumore proveniente dall’esterno per via aerea”.

UNI EN ISO 140-4 – Acustica – “Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Misurazioni in opera dell’isolamento acustico per via aerea tra ambienti”

UNI EN ISO 140-7 – Acustica – “Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Misurazioni in opera del livello di rumore di calpestio”

UNI EN ISO 717-1 – Acustica: “Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio; isolamento acustico per via aerea”.

UNI EN ISO 717-2 – Acustica: “Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio; isolamento acustico del rumore di calpestio”.

Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975.

## 3. Prescrizioni previste dal DPCM 5/12/1997

Con riferimento alla tabella A del DPCM 5 dicembre 1997, i requisiti acustici passivi del nuovo fabbricato sono sotto riportati.

**TABELLA A - CLASSIFICAZIONI DEGLI AMBIENTI ABITATIVI (art. 2)**

categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili;

categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili;

categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili;



categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili;

categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;

categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili;

categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili.

TABELLA B: REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI, DEI LORO COMPONENTI E DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI

Categorie di cui alla Tab. A	Parametri				
	<u>R<sub>w</sub> (*)</u>	<u>D<sub>2m,nT,w</sub></u>	<u>L<sub>n,w</sub></u>	<u>L<sub>ASmax</sub></u>	<u>L<sub>Aeq</sub></u>
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

(\*) Valori di  $R_w$  riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.

Si deve precisare che i limiti sono riferiti alla singola unità immobiliare per la quale si riporta la definizione tratta dal DM 02/01/1998 n.28 – Catasto fabbricati- art.2 “ l’unità immobiliare è costituita da una porzione di fabbricato o da un fabbricato o da un insieme di fabbricati ovvero da un’area che, nello stato in cui si trova e secondo l’uso locale, presenta potenzialità di autonomia funzionale e reddituale”.

Il nuovo fabbricato è classificato nella categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili.

Pertanto i requisiti minimi sono:

- $R'_w \geq 50$  dB indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti, riguarda la capacità dell’elemento costruttivo di attenuare la propagazione del rumore aereo;
- $D_{2m,nT,w} \geq 48$  dB indice di valutazione dell’isolamento acustico standardizzato di facciata, riguarda l’involucro esterno dell’edificio, serramenti compresi, ed identifica la capacità di attenuare il rumore aereo;
- $L'_{nw} \leq 58$  dB indice di valutazione del livello di rumore di calpestio dei solai normalizzato, riguarda i solai ed identifica la capacità di attenuare i rumori impattivi;
- $L_{ASmax} \leq 35$  dB(A) livello massimo di pressione sonora, ponderata A con costante di tempo slow, riguarda il rumore degli impianti a funzionamento discontinuo (ascensore, sciacquone, scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici, la rubinetteria);
- $L_{Aeq} \leq 25$  dB(A) livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A, riguarda gli impianti a funzionamento continuo (impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento).



#### 4. Analisi delle partizioni dell'edificio

L'edificio in esame risulta costituito da più unità immobiliari (essendo un edificio scolastico nel quale ogni aula è da considerare come unità immobiliare distinta ai fini dell'isolamento acustico) disposte su di un piano fuori terra; ne consegue che le partizioni da esaminare risultano essere: le facciate e le partizioni verticali a divisione delle aule. Si deve inoltre considerare l'esame dell'isolamento acustico degli impianti e l'esame del tempo di riverberazione interno agli ambienti.

Si riportano di seguito le analisi eseguite:

##### 4.1. Analisi delle pareti divisorie

Il DPCM prevede per le pareti divisorie tra unità immobiliari distinte il seguente limite:

- $R'w > 50 \text{ dB}$

$R'w$  = indice di valutazione del potere fonoisolante apparente;

Le pareti a divisione delle unità immobiliari risultano essere costituite da:

Materiale	Spessore (cm)
Vidiwall Knauf	1,2
Vidiwall Knauf	1,2
Isoroccia 70	6,0
Aria	1,5
Vidiwall Knauf	1,2
Aria	1,5
Isoroccia 70	6,0
Vidiwall Knauf	1,2
Vidiwall Knauf	1,2

l'isolamento acustico risulta quindi essere funzione del comportamento in frequenza dell'intero pacchetto; si procede quindi ad esaminare l'isolamento della parete.

L'analisi viene eseguita sia mediante l'applicazione di software sia mediante la valutazione di soluzioni certificate aventi la stessa composizione:

Si osserva che l'analisi produce un valore di isolamento  $Rw$  pari a 58 dB.

Si può osservare che considerando una riduzione di 3 dB del valore di  $Rw$  per il passaggio in opera si ottiene un valore in opera di  $R'w > 50 \text{ dB}$ ; risulta quindi raggiunto e abbondantemente superato, in base all'analisi teorica eseguita, il valore richiesto dal DPCM del 5/12/1997.

##### 4.2. Analisi delle facciate dell'edificio

Il DPCM prevede per le facciate il seguente limite:

- $D2m,nT,w > 42 \text{ dB}$

$D2m,nT,w$  = indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata



Si è proceduto, mediante l'impiego di formule empiriche abitualmente utilizzate in acustica, alla verifica dell'isolamento di facciata considerando la medesima composta da una porzione in muratura e una porzione di serramento.

Si è definito il valore di  $R_w$  della porzione muraria della facciata, la quale risulta avere la seguente composizione:

Materiale	Spessore (cm)
Intonaco	1,0
Poroton P800	20,0
USB DS 65 PE retinato BV o sim	5,0
Isoray 200c o sim.	8,0
USB classic GT o sim.	0,05
Intonaco	1,0

l'isolamento acustico risulta quindi essere funzione del comportamento in frequenza dell'intero pacchetto; si procede quindi ad esaminare l'isolamento della parete.

L'analisi viene eseguita sia mediante l'applicazione di software sia mediante la valutazione di soluzioni certificate aventi la stessa composizione:

Si osserva che l'analisi produce un valore di isolamento  $R_w$  pari a 50dB.

Si è di conseguenza determinando il valore di  $R_w$  minimo da attribuire al serramento (vetro + telaio) al fine di garantire il valore di isolamento di facciata imposto dal DPCM 5/12/97. I calcoli sono stati eseguiti nei locali dell'edificio ritenuti significativi per volumetria e superficie finestrata per il calcolo del valore di isolamento di facciata.

Si riportano di seguito i calcoli eseguiti sui locali esaminati:

#### PIANO TERRA

##### Calcolo Isolamento di facciata:

##### AULA ATTIVITA' SPECIALI

Superficie complessiva =	9,24 mq	Superficie ambiente ricevente =	21,28 mq
Superficie finestre =	3,44 mq	Altezza ambiente ricevente =	3,28 m
Superficie muratura =	5,80 mq	Volume ambiente ricevente =	69,80 mc
$R_w$ muratura =	50,0 dB	$R_w$ serramento =	44,3 dB
$R'_w$ complessivo =	44,0 dB		
$D_{2m,nT,w}$ =	48 dB		



**Calcolo Isolamento di facciata:**

**AULA 1**

Superficie complessiva =	11,76 mq	Superficie ambiente ricevente =	27,09 mq
Superficie finestre =	3,44 mq	Altezza ambiente ricevente =	3,28 m
Superficie muratura =	8,32 mq	Volume ambiente ricevente =	88,86 mc
Rw muratura =	50,0 dB	Rw serramento =	43,5 dB
R'w complessivo =	44,0 dB		
D2m,nT,w =	48 dB		

**Calcolo Isolamento di facciata:**

**AULA MATERNA**

Superficie complessiva =	15,68 mq	Superficie ambiente ricevente =	36,12 mq
Superficie finestre =	6,32 mq	Altezza ambiente ricevente =	3,28 m
Superficie muratura =	9,36 mq	Volume ambiente ricevente =	118,47 mc
Rw muratura =	50,0 dB	Rw serramento =	44,6 dB
R'w complessivo =	44,0 dB		
D2m,nT,w =	48 dB		

**Calcolo Isolamento di facciata:**

**ATTIVITA' SPECIALI E LIBERE**

Superficie complessiva =	21,53 mq	Superficie ambiente ricevente =	45,00 mq
Superficie finestre =	6,32 mq	Altezza ambiente ricevente =	3,20 m
Superficie muratura =	15,21 mq	Volume ambiente ricevente =	144,00 mc
Rw muratura =	50,0 dB	Rw serramento =	44,4 dB
R'w complessivo =	44,5 dB		
D2m,nT,w =	48 dB		

**Calcolo Isolamento di facciata:**

**MENSA**

Superficie complessiva =	24,50 mq	Superficie ambiente ricevente =	52,50 mq
Superficie finestre =	8,00 mq	Altezza ambiente ricevente =	3,13 m
Superficie muratura =	16,50 mq	Volume ambiente ricevente =	164,33 mc
Rw muratura =	50,0 dB	Rw serramento =	44,7 dB
R'w complessivo =	44,5 dB		
D2m,nT,w =	48 dB		



Dai calcoli è emerso che il valore di isolamento minimo dei serramenti varia da un minimo pari a  $R_w = 43,5$  dB ad un massimo pari a  $R_w = 44,7$  dB.

Risulta pertanto necessario adottare un serramento con un  $R_w \geq 45$  dB, questo comporta l'impiego di vetrocamera avente un valore di  $R_w$  di circa 3 dB superiore ovvero  $R_w \geq 48$  dB.

Con questa soluzione si garantisce non solo il raggiungimento del valore richiesto nelle analisi e quindi il rispetto della normativa ma un isolamento di facciata elevato che comporta un livello di confort acustico ottimale.

#### **4.3. Analisi dei solai**

Il DPCM prevede per i solai a divisione delle unità immobiliari distinte il seguente limite:

- $L'_{nw} < 55$  dB

$L'_{nw}$  = indice di valutazione del livello di rumore di calpestio normalizzato

Essendo l'edificio ad un unico piano fuori terra non risulta necessario il rispetto di questo limite.

#### **5. Impianti**

In questa fase progettuale non è possibile effettuare analisi teoriche pienamente attendibili sui valori di rumorosità degli impianti una volta che saranno funzionanti in opera.

Gli impianti idraulici saranno collocati in punti poco sensibili ovvero si cercherà di predisporli in pareti o cavedi non a contatto con zone sensibili.

Si curerà anche l'insonorizzazione dei condotti di aerazione al fine di non superare i limiti di legge e non creare passaggi di rumore.

Si è tassativamente richiesto agli impiantisti il rispetto dei limiti imposti dal DPCM 5/12/1997.

Per i dettagli si vedano le relazioni degli impiantisti.

#### **6. Analisi del tempo di riverberazione degli ambienti**

Lo studio del tempo di riverberazione è stato eseguito considerando l'ambiente più rappresentativo per volumetria, individuando le soluzioni che consentono di raggiungere valori del tempo di riverbero alle varie frequenze il più vicino possibile ai valori ottimali.

L'ambiente preso in esame risulta essere l'aula attività speciali e libere in quanto presenta una volumetria elevata.

Si rende necessario prima di descrivere le analisi eseguite riportare alcuni brevi cenni teorici sul tempo di riverberazione necessari per poter meglio comprendere le motivazioni delle scelte progettuali adottate.





Per ben comprendere l'origine e la natura del fenomeno, si immagini che in un ambiente chiuso, di forma parallelepipedica, rappresentato nella figura 1, una sorgente sonora emetta nel punto S un suono puro di entità costante.

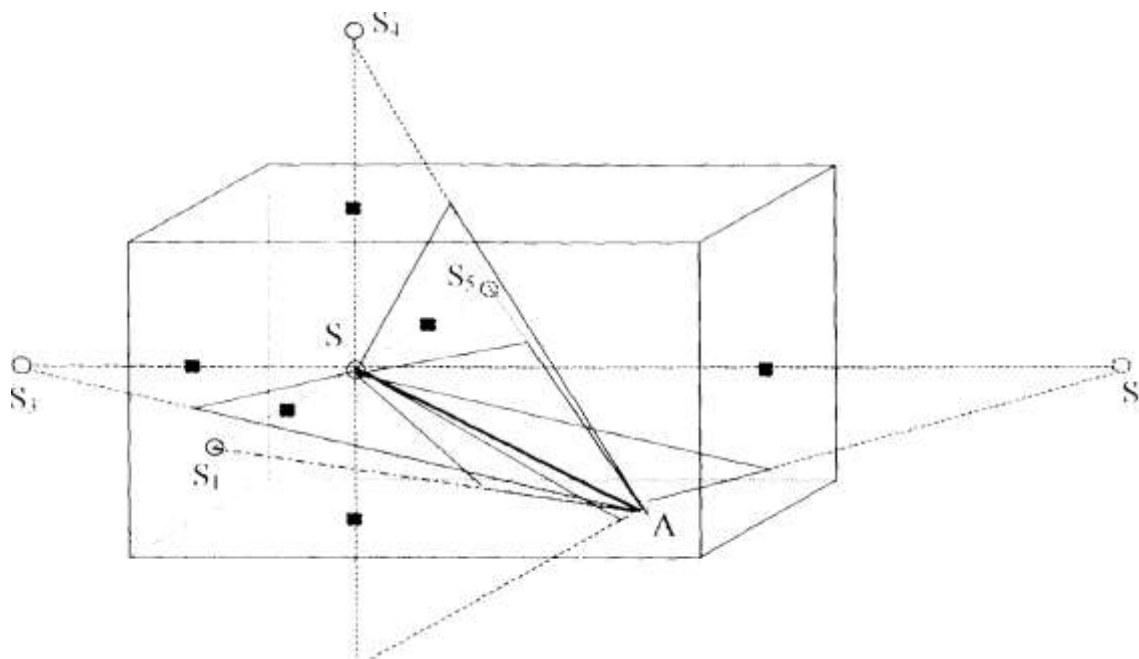


Figura 1

Si supponga che in A sia situato un ascoltatore. Nell'istante in cui la sorgente inizia il suo funzionamento, istante che sarà assunto come origine dei tempi, l'ascoltatore non avverte alcuna sensazione: deve trascorrere un tempo pari al rapporto  $SA/c$  [ $c$  velocità del suono e' nell'aria dell'ambiente), perché l'ascoltatore possa percepire il suono emesso, la cui intensità sonora nel punto considerato assumerà il valore:

$$I = W / (4\pi * SA^2)$$

dove  $W$  è la potenza sonora della sorgente emittente.

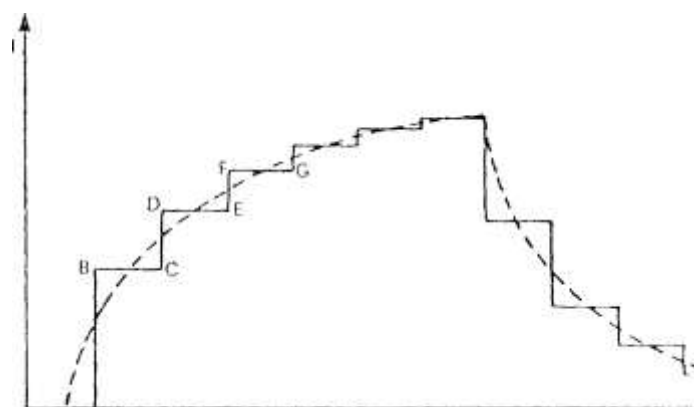


Figura 3

Il grafico della figura 3 indica come varia, nel tempo, l'intensità sonora del suono nel punto A; si può osservare che nel punto A giunge in prima battuta l'onda diretta emessa dalla sorgente e poi tutti i contributi delle riflessioni fino a quando cessa l'emissione della sorgente sonora.

Dal momento in cui la sorgente sonora cessa di funzionare il fenomeno si ripete al contrario.

Questo fenomeno è stato studiato da Sabine il quale ha formulato una nuova metodologia: misurare la rapidità con cui decresce l'intensità sonora in un punto dell'ambiente attraverso il tempo occorrente perché la densità di energia sonora, nel punto considerato, scenda ad un milionesimo del valore corrispondente a quello che aveva nell'istante in cui la sorgente sonora ha cessato di funzionare.

A tale intervallo di tempo il Sabine diede il nome di tempo di riverberazione, esso viene anche chiamato durata convenzionale della coda sonora.

Lo stesso Sabine, in base a numerose esperienze da lui iniziate nel 1898 riuscì a stabilire una semplice espressione analitica, che collega la durata convenzionale della coda sonora con le caratteristiche geometriche e d'assorbimento della sala medesima. L'espressione di cui sopra, espressa in unità del sistema S.I., assume la forma:

$$T_{60} = 0,16 \cdot V / (\sum \alpha_i S_i)$$

dove:

$T_{60}$  rappresenta la durata anzidetta espressa in secondi;

$V$  è il volume della sala in  $m^3$ ;

$\alpha_i$  è il valore del coefficiente d'assorbimento apparente;

$S_i$  è la corrispondente area, espressa in  $m^2$ , relativi alle diverse superfici delimitanti la sala stessa

Si deve ora precisare che non esiste un valore ottimale unico di tempo di riverbero applicabile in modo univoco su qualunque tipo di locale, si deve infatti considerare che vi sono numerosi fattori che influenzano il valore ottimale del tempo di riverbero.

Secondo quanto è già stato detto, la correzione acustica di una sala, in relazione al fenomeno della coda sonora, si effettua operando in modo da avvicinare il  $T_{60}$  della sala ai valori ritenuti ottimali per ambienti dello stesso tipo e destinazione.



Numerose indagini, eseguite da diversi ricercatori, hanno evidenziato che il valore ottimale del tempo di riverberazione varia:

- con il volume dell'ambiente: precisamente cresce con lo aumentare del volume stesso;
- a seconda che si tratti di una sala destinata a conferenza o per l'ascolto di musica da camera, o di musica orchestrale o di musica corale.

A tali diversi usi per uno stesso ambiente, corrispondono valori crescenti nel tempo di riverberazione ottimale.

In funzione di quanto esposto in precedenza ogni locale, in base alle caratteristiche geometriche, alla fonoassorbenza delle partizioni ed al tipo di destinazione d'uso avrà un proprio valore ottimale di tempo di riverberazione. Si deve inoltre considerare che, dato l'elevato assorbimento corrispondente alla presenza delle persone che usufruiranno degli ambienti in esame, il valore del tempo di riverberazione potrà variare in modo sensibile in funzione del numero di persone presenti; è un aspetto quindi da non trascurare.

La misura del tempo di riverberazione va effettuata in molte applicazioni dell'acustica. Il tempo di riverberazione è uno dei parametri utilizzati nella qualificazione acustica di diversi tipi di ambienti:

- ambienti scolastici;
- palestre e palazzi dello sport;
- sale per convegni e conferenze;
- teatri e sale per spettacoli in genere;

Sulla misura del tempo di riverberazione è basata la valutazione del coefficiente di assorbimento dei materiali in camera riverberante (ISO 354).

## **6.2. Valori ottimali di riferimento del tempo di riverberazione:**

Per quanto riguarda i valori ottimali del tempo di riverberazione, questi sono stati desunti dalle esperienze di molti studiosi arrivando a definire in base alla destinazione d'uso e ai dati geometrici dell'ambiente (volumetria); per quanto riguarda l'edilizia scolastica i valori ottimali del tempo di riverberazione sono definiti dal Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975, si riportano nel seguito le tabelle indicate nel decreto:

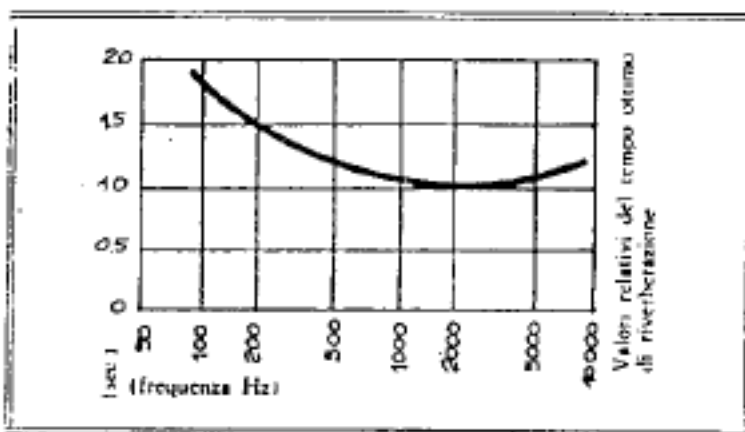


Fig. 4 - Dipendenza della frequenza del tempo ottimo di riverberazione

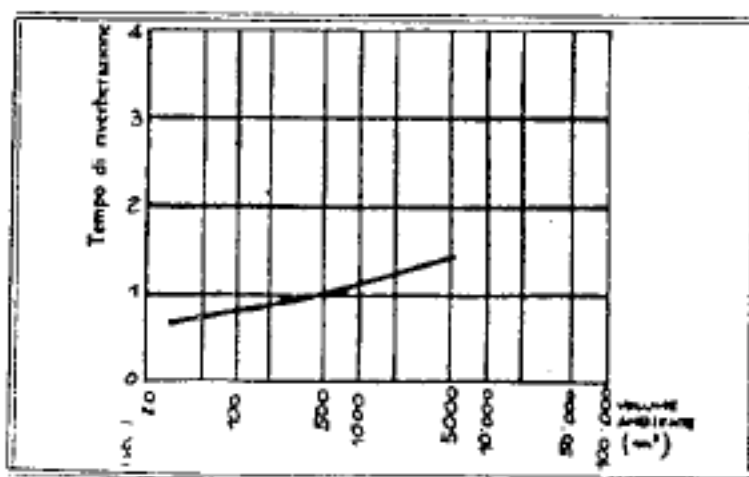


Fig. 5 - Valori ottimi del tempo di riverberazione

Le due tabelle indicano in funzione della volumetria dell'ambiente i valori ottimali del tempo di riverberazione che devono essere riferiti alle frequenze 250-500-1000-2000 Hz.

Tali valori possono essere assunti anche per i locali in esame e pertanto utilizzando le tabelle sopra riportate in base alla volumetria dell'ambiente preso come riferimento per le analisi è possibile ottenere il valore ottimale del tempo di riverberazione:

**Aula attività  
speciali e  
libere**

volume 144 mc

tempo ottimo di riverberazione

frequenze	250	500	1000	2000
T60	<b>0,64</b>	<b>0,87</b>	<b>0,72</b>	<b>0,52</b>

La progettazione acustica degli ambienti è stata effettuata cercando di trovare una soluzione tale da avvicinarsi il più possibile ai suddetti valori ottimali.



### 6.3. Analisi del tempo di riverberazione:

La destinazione d'uso dei locali ed il tipo di attività previste risultano essere tali da richiedere una particolare attenzione sul livello del tempo di riverbero in quanto l'intelligibilità del suono risulta essere una caratteristica fondamentale, pertanto l'analisi eseguita su di essa ha affrontato in primo luogo la verifica della conformazione delle superfici perimetrali dell'ambiente per valutare la riflessione delle onde sonore; successivamente in base ai risultati ottenuti si è considerato quali dovessero essere le superfici riflettenti e quali le superfici assorbenti. Mediante l'applicazione della formulazione di Sabine e considerando varie ipotesi con l'utilizzo di alcune tipologie di materiali fonoassorbenti sono state determinate con precisione le superfici delle zone assorbenti per avvicinarsi il più possibile ai valori ottimali di tempo di riverberazione.

Le scelte progettuali hanno evidenziato che la conformazione e la volumetria dell'area rapportata al numero di alunni ed agli arredi futuri permettono il raggiungimento di valori prossimi a quelli ottimali senza l'adozione di rivestimento con particolari caratteristiche fonoassorbenti come mostrano gli esiti dell'analisi di seguito riportate:

#### confronto dei tempi di riverbero calcolati con quelli ottimali

**Aula attività speciali e libere**

volume

144 mc

#### tempo ottimo di riverberazione

frequenze	250	500	1000	2000
T60	0,64	0,87	0,72	0,52

0,68 s

#### tempo di riverberazione ottenuto

frequenze	250	500	1000	2000
T60	0,65	0,86	0,92	0,76

0,80 s

Si osserva un valore contenuto del tempo di riverberazione in linea con i valori ottimali a garanzia di un confort acustico elevato in funzione dell'attività da svolgere.

## 7. Conclusioni

Analizzando il progetto si è potuto constatare l'adozione di soluzioni progettuali ottimali che hanno permesso l'ottenimento di valori di isolamento superiori a quanto richiesto dal DPCM 5/12/1997, lo stesso ottimo risultato lo si trova per il contenimento del valore del tempo di riverberazione.

Le soluzioni progettuali garantiscono quindi un livello di confort acustico ottimale necessario per il tipo di attività da esercitare all'interno dell'edificio.



Locali analizzati per la verifica dell'isolamento acustico di facciata:

