



Facoltà di Architettura  
prof. arch. Francesco Bianchi



EuroAcustici  
prof. Mario Mattia Ph. D.

**UNIVERSITA' ROMA TRE**  
**in collaborazione con EUROACUSTICI**  
*Corso di Formazione per Tecnico Competente in Acustica Ambientale*

Validato dalla REGIONE LAZIO

Anno 2011 - 12

# **Tempo di riverbero e progetto di risanamento acustico Scuola "Sant'Andrea Umberto" (Sette Nani)**



**Direttori del Corso:**

Prof. Dott. Mario Mattia  
Prof. Arch. Francesco Bianchi

**Relatori:**

Geom. Roberto De Nicola  
Ing Alessandro Bassotti  
Ing Remo Mancini  
Dott. Antonio Ianora

Roma, lì 5 maggio 2012

Il Corso per TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA AMBIENTALE è finalizzato al conseguimento di *Attestato abilitante* per Tecnico competente in Acustica Ambientale, figura professionale idonea ad effettuare misurazioni, verificare l'ottemperanza ai valori definiti dalle vigenti norme, redigere piani di risanamento acustico, svolgere le relative attività di controllo; si colloca all'interno di studi professionali di progettazione, uffici tecnici comunali, provinciali e regionali, imprese operanti nel campo dell'ambiente e sicurezza, enti di ricerca e sviluppo prodotti.

Il corso ha fornito una solida formazione teorica sui fondamentali principi fisici, tecnici e metrologici relativi all'acustica. In particolare, al termine dell'iter formativo, siamo in grado di applicare le conoscenze tecniche sulle tematiche relative all'acustica e sugli aspetti ad essa connessi, nonché di realizzare le misure fonometriche in ottemperanza ai dettati normativi in materia di inquinamento acustico.

**SOMMARIO**

1	<u>PREMESSA</u> .....	4
2	<u>CONCETTI BASE DI ACUSTICA</u> .....	5
	2.1 IL SUONO E LA SUA PERCEZIONE .....	5
	2.2 PROPAGAZIONE DEL RUMORE ALL'INTERNO DEGLI EDIFICI.....	6
3	<u>ACUSTICA GEOMETRICA ED ACUSTICA STATISTICA</u> .....	6
4	<u>RIVERBERO E ASSORBIMENTO</u> .....	7
5	<u>L'ESPERIENZA DI SABINE</u> .....	8
6	<u>QUALITÀ ACUSTICA DELLE SALE</u> .....	9
7	<u>LA TEORIA DI SABINE</u> .....	10
8	<u>INQUADRAMENTO NORMATIVO</u> .....	12
9	<u>DESCRIZIONE DEL LOCALE</u> .....	14
10	<u>TEMPO DI RIVERBERO ANALITICO ANTE OPERA</u> .....	19
	10.1 FASI ESECUTIVE .....	19
	10.2 RIEPILOGO DATI .....	20
	10.3 CALCOLO TEMPO DI RIVERBERAZIONE.....	21
	10.4 IPOTESI PROGETTUALE E STIMA DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE .....	24
11	<u>CONCLUSIONI</u> .....	27

## 1 PREMESSA

La qualità acustica degli edifici scolastici e le conseguenti condizioni di benessere per insegnanti e studenti sono tra gli aspetti forse più trascurati nella progettazione e realizzazione delle scuole. Il D.M. 18/12/75 che norma tale materia ha infatti trovato a tutt'oggi scarsa applicazione mentre riscontri oggettivi hanno mostrato la necessità di intervenire urgentemente in questo senso. In particolare è opportuno evidenziare tre diversi aspetti che comportano effetti distinti sugli studenti e sugli insegnanti:

- **il livello di isolamento acustico nei confronti del rumore esterno** che compromette l'intelligibilità delle relazioni didattiche insegnante-allievo secondo due meccanismi distinti che sono il mascheramento della parola ed il basso livello di attenzione degli allievi. Da ciò deriva la fissazione di livelli minimali d'isolamento delle facciate;
- **il tempo di riverberazione dei locali** condiziona in modo sensibile la regolazione della voce dell'insegnante (forza e ritmo) con conseguente affaticamento. Per i locali scolastici esistono raccomandazioni sui valori ottimali del tempo di riverberazione;
- **il rumore generato all'interno delle scuole**, nelle classi, nelle mense e negli spazi comuni è causa di fatica e/o eccitazione degli allievi che sono condizioni sfavorevoli per l'apprendimento. Questo rumore può essere limitato con l'impiego di idonei materiali.

La perturbazione dell'intelligibilità del parlato, fenomeno associato per eccellenza al rumore, può avere gravi ripercussioni allorché si tratta della formazione di allievi.

La mancanza di una sufficiente conoscenza non permette loro, in effetti, di ricostruire le parti del messaggio verbale eventualmente mascherate dal rumore.

Per questo il rumore ha effetti negativi sullo sviluppo del linguaggio e l'acquisizione della lettura, sia nei soggetti più piccoli (da 1 a 6 anni), sia in quelli della scuola primaria (5 - 7 anni), fasce di età che sono cruciali per lo sviluppo intellettuale.

Uno studio recente ha permesso di ponderare l'incidenza del fattore "**rumore alla mensa**" sui risultati ottenuti da test condotti a scuola.

Sono stati constatati dei ritardi nell'apprendimento della lettura ed errori di disattenzione più frequenti negli allievi che pranzano a scuola.

I livelli sonori rilevati nelle mense si aggirano mediamente intorno agli 85 dB(A) con casi intorno ai 100 dB(A), l'equivalente cioè di ambienti industriali rumorosi.

Dopo 30 minuti di esposizione a tali livelli sonori occorre un'ora di recupero sotto l'aspetto nervoso.

Alcune esperienze di insonorizzazione delle mense scolastiche con riduzione del livello di rumorosità di 13 dB(A) hanno dimostrato un comportamento dei ragazzi totalmente modificato.

(es. conversazioni più frequenti ad ogni tavolo, pasti più lunghi ecc.)<sup>1</sup>

Il caso studio di questa tesi riguarda la correzione acustica di un ambiente polivalente di una scuola dell'infanzia sita in via Filippo Re in Pomezia in provincia di Roma.

Si prende per assunto che il livello di isolamento acustico nei confronti del rumore esterno e di quello tra ambienti confinanti all'interno della scuola sia ottimale; pertanto si andrà a valutare per via analitica e statistica esclusivamente il tempo di riverberazione del locale rimandando la verifica strumentale, per la calibrazione dei calcoli e per il collaudo delle opere, al momento di un successivo reale intervento.

---

<sup>1</sup> F. Gerola; L. Mattevi Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente - Provincia autonoma di Trento - Ottobre 2002

## 2 CONCETTI BASE DI ACUSTICA

Prima di entrare nella descrizione dei fenomeni che regolano la propagazione del rumore all'interno delle strutture edilizie sarà utile fornire un breve cenno ad alcuni concetti base di acustica legati alla percezione umana al rumore.

### 2.1 Il suono e la sua percezione

Il fenomeno acustico, consiste in una perturbazione della pressione atmosferica di carattere oscillatorio che si propaga attraverso un mezzo elastico (gas, liquido o solido). Tali perturbazioni possono venir generate da vibrazioni meccaniche e/o turbolenze aerodinamiche. Le oscillazioni sono caratterizzate, oltre che dalla loro ampiezza, anche dalla loro rapidità o frequenza. Solo un campo definito di ampiezze e frequenze può diventare ciò che noi comunemente sperimentiamo come suono. Possiamo pertanto affermare che una sorgente sonora è un fenomeno fisico che, attraverso le vibrazioni meccaniche o la turbolenza dell'aria, genera dell'energia acustica nel campo di frequenze e ampiezze udibili. Per quantificare il tipo di risposta umana all'energia sonora, in termini di sonorità, di disturbo e di rischio, occorre misurare la pressione sonora, la quale è di per sé relativamente facile da misurare, poiché le variazioni di pressione sul timpano, che vengono percepite come suono, sono le stesse variazioni che agiscono sul diaframma del microfono di un fonometro, consentendone la misura. L'orecchio umano è un organo sensibile a variazioni di pressione sonora comprese fra i 0,000002 Pa (20  $\mu$ Pa) e 100 Pa, in una gamma di frequenze comprese fra 20 Hz e 20.000 Hz. Le grandezze acustiche sono espresse in deciBel (dB). Il deciBel non è un'unità di misura, ma un'unità di relazione logaritmica. Più precisamente, il livello della pressione sonora, espresso in dB, è uguale a:

$$LP = 20 \log p/p_0 \text{ dB}$$

dove  $p$  è la pressione acustica misurata e  $p_0$  è la pressione di riferimento, pari a 20  $\mu$ Pa.

Il valore di riferimento (20  $\mu$ Pa), corrisponde al valore della pressione sonora minimo, percepito da un individuo normoudente alla frequenza di 1000 Hz, ossia 0 dB.

Ciò nonostante, non è sufficiente considerare esclusivamente il livello della pressione sonora, in quanto il nostro apparato uditivo presenta una diversa sensibilità ai suoni caratterizzati da una diversa composizione in frequenza; ossia ha una sensibilità maggiore alle alte frequenze ed una minore a quelle basse. Nella tecnica fonometrica è perciò impiegato un filtro che simula tale risposta, indicato come curva di ponderazione "A". Tale curva è stata ottenuta a seguito di alcune indagini condotte su differenti gruppi di popolazione, distinti per età e sesso, che hanno portato all'individuazione delle "proprietà medie" dell'orecchio; in particolare, la curva "A" approssima l'inverso della isofonica a 40 phon (il phon è l'unità di misura del livello di intensità soggettiva del suono). I risultati di tale sperimentazione sono riportati nella famiglia di curve isofoniche normalizzate dalla ISO 226, indicata di seguito.

### 2.2 Propagazione del rumore all'interno degli edifici

I rumori possono trasmettersi sia per via aerea che per via solida. Nel primo caso, il rumore si propaga nell'aria senza incontrare ostacoli solidi (ad es. condotte d'aria o aperture) mentre, nel

secondo caso, la propagazione avviene attraverso le strutture solide dell'edificio, tramite vibrazioni elastiche.

Quindi negli edifici il rumore non si trasmette solo attraverso la struttura di separazione tra gli ambienti considerati, la propagazione del suono avviene anche tramite le strutture laterali. Di norma, la trasmissione del rumore attraverso due ambienti interessa entrambi i meccanismi anche se, per ciascun componente edilizio, bisogna distinguere tra:

- **Trasmissione diretta:** quando la trasmissione del rumore nell'ambiente ricevente avviene attraverso il solo elemento strutturale considerato (parete divisoria o solaio);
- **Trasmissione laterale:** quando la trasmissione del rumore nell'ambiente ricevente avviene attraverso gli altri elementi strutturali adiacenti a quella considerata.

Se consideriamo ad esempio la propagazione del suono tra due locali confinanti possiamo individuare tredici percorsi di trasmissione di cui uno diretto (attraverso il divisorio in esame) e dodici di trasmissione laterale (tre per ogni lato della parete).

Nella figura seguente vengono raffigurati il percorso diretto (Dd) e i tre percorsi laterali (Ff, Fd, Df) per uno dei lati dell'elemento divisorio dove:

D: elemento divisorio lato locale sorgente

d: elemento divisorio lato locale ricevente

F: struttura laterale lato locale sorgente

f: struttura laterale lato locale ricevente

Lo stesso tipo di considerazione ovviamente può essere fatto per la trasmissione dei rumori di calpestio. I suoni si propagano sia attraverso il solaio in esame che attraverso le pareti laterali.

Risulta pertanto evidente che l'isolamento acustico di pareti, infissi od altro, certificato attraverso misurazioni di laboratorio, offrono un valore che, nella maggior parte dei casi, è notevolmente superiore a quello ottenibile in opera, a causa della mancanza di trasmissione laterale del rumore attraverso i diversi percorsi strutturali ed aerei presenti all'interno di un edificio.

### 3 ACUSTICA GEOMETRICA ED ACUSTICA STATISTICA

La conoscenza del campo sonoro, espresso dalla funzione della pressione acustica  $p(x, y, z, t)$  in ogni punto dello spazio ed in ogni istante di tempo, all'interno dell'ambiente confinato potrebbe essere assicurata, in linea teorica, dalla soluzione dell'equazione di Laplace – d'Alambert che in forma generale si scrive

$$\nabla^2 p(x, y, z, t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(x, y, z, t)}{\partial t^2}$$

La complessità di studio limita le applicazioni dell'equazione a situazioni particolarmente semplici; nel caso delle piccole cavità, ad esempio, la soluzione può essere agevolmente trovata, grazie alle seguenti circostanze: le dimensioni della cavità sono paragonabili alla lunghezza d'onda del suono, la forma geometrica è regolare, le proprietà acustiche delle superfici sono omogenee.

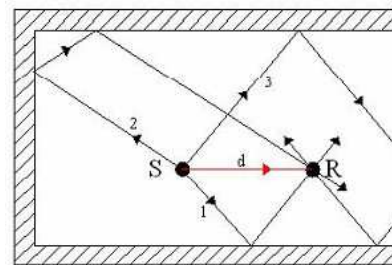
Al contrario, negli ambienti confinati, le lunghezze d'onda del suono risultano, in genere, molto inferiori rispetto alle dimensioni del locale; la forma delle superfici è particolarmente complessa a causa della presenza di infissi, nicchie, oggetti ed arredi che costituiscono elementi di diffrazione,

diffusione o concentrazione del suono; le proprietà acustiche delle diverse superfici presenti non sono omogenee: la soluzione dell'equazione risulta pertanto molto difficoltosa.

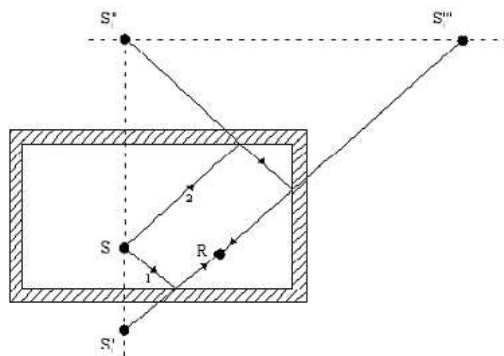
Tali difficoltà, per gli ambienti confinati di grandi dimensioni, sono superate da altri approcci, basati su ipotesi semplificative:

- approccio geometrico (acustica geometrica)
- approccio energetico - statistico (acustica statistica).

L'acustica geometrica come l'ottica geometrica considera la potenza del suono concentrata in raggi, trascurando la natura ondulatoria del fenomeno. Tale ipotesi semplificativa è ben verificata solo se la lunghezza d'onda del suono è molto minore della minima dimensione del locale e/o degli ostacoli presenti. I raggi acustici che partono dalla sorgente si riflettono sulle superfici seguendo le leggi della riflessione: il raggio incidente quello riflesso e la normale alla superficie di riflessione giacciono sullo stesso piano; l'angolo tra il raggio incidente e la normale alla superficie è uguale all'angolo tra la stessa normale e il raggio riflesso.



Nell'ambito dell'acustica geometrica nasce e si sviluppa anche il metodo delle sorgenti immagine. Con riferimento alla figura 2, per stimare il contributo dei raggi che giungono dalla sorgente al punto di ascolto attraverso riflessioni con le pareti, si possono sostituire i raggi riflessi dalle pareti stesse con i raggi diretti provenienti da sorgenti fittizie, immagini della sorgente reale situate al di là della parete.



#### 4 RIVERBERO E ASSORBIMENTO

Gli elementi presenti all'interno di un ambiente chiuso (pareti, arredamenti, persone, ecc.) condizionano la propagazione acustica, poiché assorbono in diversa misura l'energia sonora che incide su di loro. Tali fenomeni possono alterare e deteriorare la qualità del suono percepito dal ricevitore, causando ad esempio il degrado della comunicazione verbale o dell'ascolto della musica. Il Tempo di Riverbero rappresenta l'indicatore fondamentale della qualità acustica di una sala. La riverberazione è infatti una condizione naturale della fruizione acustica di un ambiente chiuso, ma essa va, per così dire, opportunamente "dosata" per evitare effetti indesiderati.

Col termine riverbero quindi si intende la persistenza del suono in un ambiente chiuso, dopo che la sorgente sonora ha cessato di irradiare, a causa della riflessione continuata dell'onda sonora sulle pareti

Ogni volta che il suono colpisce una superficie nasce una riflessione che inizia un suo percorso all'interno della stanza. Questa riflessione a sua volta darà vita ad altre riflessioni e così via. Dato che il suono si propaga nell'aria ad una velocità non indifferente (circa 340 m/s) e che le stanze in cui viviamo hanno dimensioni di pochi metri si può capire come nella frazione di pochi centesimi di secondo dall'uscita del suono dagli altoparlanti (o da qualsiasi altra sorgente sonora) la stanza sia letteralmente riempita dalle riflessioni che vanno ad aggiungersi e a modificare il suono diretto, quello originario. Questo insieme di riflessioni viene chiamato riverbero.

Il riverbero è un fenomeno acustico legato alla riflessione del suono da parte di un ostacolo posto davanti alla fonte sonora: per esempio, se in una stanza una sorgente sonora cessa di irradiare, il livello sonoro diminuisce tanto più lentamente quanto minore è l'assorbimento acustico delle pareti.

Il riverbero ha aspetti negativi, come il rischio di mascheramento delle sillabe del parlato o del fraseggio musicale, e positivi, come il rinforzo dell'intensità della sorgente.

In uno spazio aperto si può parlare di riverbero quando l'ostacolo si trova a meno di 17 metri dalla fonte del suono. Fino a tale distanza, infatti, il percorso dell'onda sonora (dalla fonte all'ostacolo e ritorno) sarà inferiore a 34 metri e quindi il suono impiegherà meno di 1/10 di secondo per tornare al punto di partenza confondendosi nell'orecchio dell'ascoltatore con il suono originario. Se l'ostacolo si trova a più di 17 metri di distanza dalla fonte, allora suono diretto e suono riflesso distano tra loro di più di 1/10 di secondo risultando quindi come due suoni distinti. In questo caso si parla di eco.

In uno spazio chiuso ampio come ad esempio una chiesa, a seguito di un suono secco si possono udire le innumerevoli riflessioni delle estese pareti che decrescono di intensità fino al silenzio. La riverberazione dipende dalla dimensione dell'ambiente e dalla natura delle pareti investite dal suono. Materiali diversi hanno coefficienti di assorbimento diversi. Inoltre, le riflessioni su pareti di tipo diverso hanno intensità diverse a frequenze diverse.

Il sistema più comune per cambiare il tempo di riverbero è quello di variare le unità assorbenti presenti nell'ambiente, e importante valutare in sede di progettazione, che questi materiali hanno dei coefficienti di assorbimento che variano alle varie frequenze e che, di conseguenza, assorbono il suono più per quelle frequenze ove hanno alto il loro valore di coefficiente di assorbimento.

I materiali porosi risultano essere particolarmente assorbenti per le frequenze medio alte ed invece molto poco per le frequenze basse.

Poiché non esistono materiali che assorbono efficacemente le basse frequenze, si ricorre, in questi casi, a particolari tecnologie costruttive rappresentate dai risonatori acustici o dai pannelli vibranti.

## 5 L'ESPERIENZA DI SABINE

Fra il 1895 e il 1915 Wallace Clement Sabine, Professore di Matematica e Filosofia all'Università di Harvard, gettò le fondamenta di una nuova scienza, l'acustica architettonica. Prima di Sabine, nella progettazione architettonica ci si limitava ad imitare le sale in cui l'acustica era buona. Inoltre erano in vigore una serie di pratiche superstiziose, come quella di tendere degli inutili fili nelle parti alte di chiese o sale da concerto. Nel 1895, l'Università di Harvard chiese a Sabine di trovare un rimedio all'impossibilità di capire i conferenzieri nella sala del Fogg Art Museum, che era stato appena aperto.

Sabine avvicinò i problemi dell'acustica architettonica munito di una mente acuta e indagatrice, un buon orecchio, un cronometro, un organo a canne con un serbatoio di aria compressa come fonte



sonora. Egli identificò il motivo per il quale i discorsi nella sala del Fogg Art Museum erano inintelligibili: il suono persisteva troppo a lungo (cioè la riverberazione era eccessiva). Sabine ridusse la riverberazione ricoprendo di feltro alcuni muri. Dopo di che, egli scrisse, la sala divenne "non eccellente, ma del tutto atta allo scopo".

Sabine fu il primo a definire il tempo di riverberazione. Secondo la definizione di Sabine, questo era il tempo impiegato da un suono riverberante per divenire appena udibile. Molti anni dopo, quando divenne possibile eseguire misurazioni elettroniche del livello di intensità sonora, il tempo di riverberazione venne definito come il tempo impiegato da un suono, dopo il suo spegnimento, per decrescere di 60 dB di livello di intensità; questa è la definizione accettata oggi. Musiche e teatri diversi richiedono tempi differenti di riverberazione.

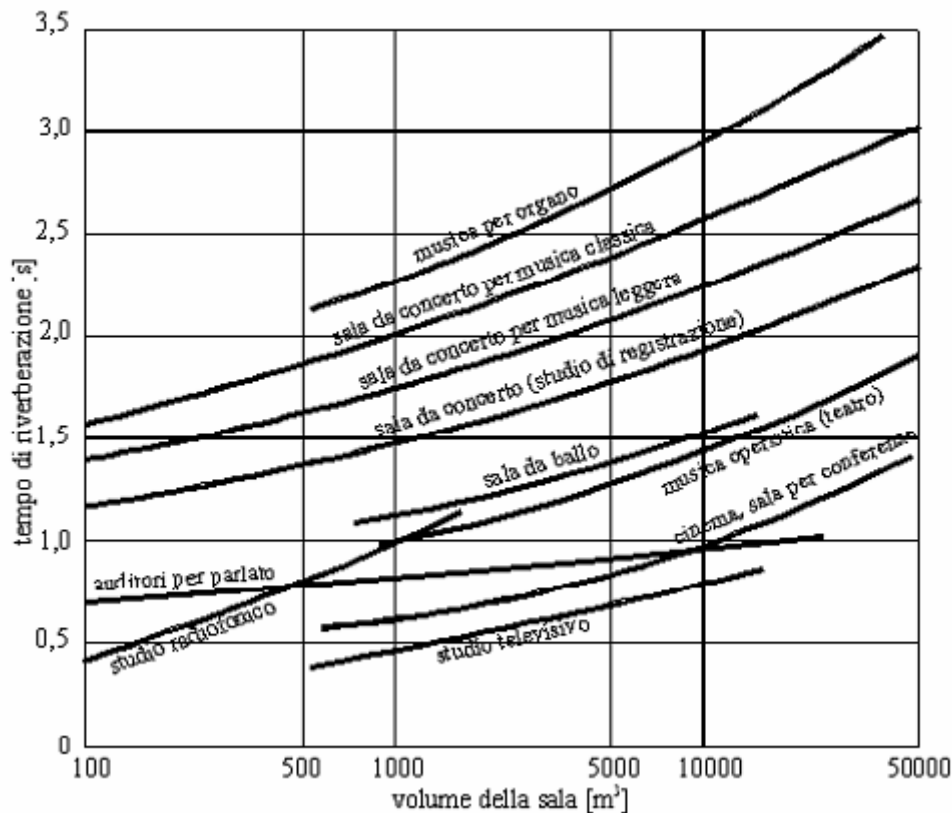
## 6 QUALITÀ ACUSTICA DELLE SALE

Il tempo di riverberazione T60 rappresenta senza dubbio l'indicatore di qualità acustica di una sala più conosciuto ed utilizzato.

L'esperienza dimostra che, affinché si verifichino in una sala condizioni di ascolto soddisfacenti, il tempo di riverberazione deve assumere valori il più possibile prossimi a valori ottimali che dipendono dal volume e dalla tipologia di impiego della sala distinguendo, in prima istanza, tra sale destinate all'ascolto della parola (aula scolastica, sala per conferenze, teatro di prosa, cinema, ecc.) e sale destinate all'ascolto della musica (sala per concerti, teatro d'opera, ecc.).

Valori di T60 eccessivamente bassi rispetto al valore ottimale sono indice di sala "sorda", ovvero di una sala in cui i singoli suoni vengono percepiti in modo staccato e in cui, essendo limitato l'apporto del campo riverberante, si verificano notevoli disuniformità del livello di pressione sonora da punto a punto. Valori eccessivamente alti determinano invece condizioni di ascolto poco "nitide": il nostro sistema nervoso è infatti in grado di ricondurre ad un medesimo evento emissivo (e quindi ad un medesimo "significato") due segnali acustici percepiti in tempi diversi, a patto che il ritardo tra essi non sia maggiore di alcune decine di millisecondi.

Sono disponibili in letteratura numerosi risultati, frutto di studi sperimentali, che forniscono i valori ottimali del tempo di riverberazione per le tipiche categorie di sale destinate all'ascolto della parola o della musica (figura 5); il valore T60,ott e generalmente indicato per una frequenza di riferimento (tipicamente pari a 500 Hz o 1kHz) e ad esso viene associata una curva di correzione che permette di ottenere i valori alle altre frequenze di interesse.



## 7 LA TEORIA DI SABINE

Le condizioni per un'ottimale trasmissione di messaggi sonori in un ambiente chiuso, sia che si tratti di parlato o di musica, sono state riassunte da Sabine in queste semplici regole:

- il suono deve giungere sufficientemente intenso in tutti i punti di ascolto della sala;
- i suoni che si succedono con rapida emissione devono arrivare all'ascoltatore chiari e distinti mantenendo la loro individualità;
- le componenti spettrali di un suono complesso devono mantenere in modo inalterato le loro intensità relative.

La presenza delle pareti fa incrementare la potenza acustica ricevuta dall'ascoltatore rispetto al caso del campo sonoro libero; oltre al suono diretto, infatti, in ciascun punto della sala giunge, sebbene con un certo ritardo anche il suono riflesso dalle pareti.

Come già anticipato tale fenomeno è noto con il nome di riverberazione e, come già detto, esso dipende dalla capacità complessiva di assorbire energia acustica da parte dell'ambiente; maggiore è l'assorbimento, di minore è il tempo di riverberazione. La capacità complessiva di assorbire energia acustica di un ambiente viene quantificata mediante la grandezza  $A$  detta assorbimento globale:

$$A = \sum_{i=1}^M \alpha_i S_i$$

Il procedimento teorico di Sabine è basato sulla assunzione di tre ipotesi:

- 1) densità di energia acustica uniforme
- 2) acustica statistica
- 3) ipotesi di continuità.

**L'ipotesi 1)** prevede che la densità di energia acustica  $D(x, y, z)$ , in genere variabile da punto a punto, sia uniforme all'interno dell'ambiente. Tale ipotesi è tanto più verificata quanto maggiore è la riverberazione.

**L'ipotesi 2)** riguarda la metodologia di approccio al problema basata su relazioni di carattere statistico. In particolare Sabine fa uso del libero cammino medio  $L_{med}$ , corrispondente alla distanza che un'onda acustica percorre in media fra due riflessioni successive.

**L'ipotesi 3)** consiste nel supporre che in ogni istante vi è assorbimento di energia acustica da parte di ogni elemento infinitesimo di parete.

Per mezzo di queste ipotesi Sabine elaborò la nota formula per il calcolo del T60:

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

La formula di Sabine fu ricavata assumendo ipotesi di lavoro che spesso non sono identicamente verificate; tale circostanza conduce a valori del tempo di riverberazione che non sono uguali a quelli reali e, in certe condizioni, possono discostarsi da questi ultimi anche sensibilmente. In particolare, nella situazione limite di un ambiente avente pareti con coefficiente di assorbimento pari all'unità (situazione tecnicamente non realizzabile) il T60 è pari a zero, ma tale valore non si ottiene dalla formula di Sabine.

È pertanto intuibile che, quando i coefficienti di assorbimento sono elevati, la formula di Sabine produce scostamenti sensibili dalla realtà. L'esperienza mostra che gli errori commessi dalla formula di Sabine sono trascurabili quando i coefficienti di assorbimento sono compresi nell'intervallo  $0,1 \div 0,7$ .

8 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Le recenti ricerche nel campo dell'acustica degli ambienti scolastici hanno dato luogo alla redazione e/o alla revisione di una serie di raccomandazioni, linee guida, norme tecniche, direttive e leggi che ne recepiscono i risultati.

Nella tabella seguente sono elencate le principali norme a livello Nazionale e Internazionale:

<b>N</b>	<b>NAZIONE</b>	<b>TITOLO</b>	<b>ANNO</b>
<b>1</b>	OMS, Ufficio Regionale per l'Europa	Noise in schools	2001
<b>2</b>	Stati Uniti	ANSI S12.60, Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools	2002
<b>3</b>	Regno Unito	Building Bulletin 93, Acoustic design of schools, a design guide	2003
<b>4</b>	Svezia	Swedish Standard SS 02 52 68, "Acoustics – sound classification of spaces in buildings – Institutional (healthcare) premises, rooms for education, day centres and after school centres, rooms for office work and hotels"	2002
<b>5</b>	Francia	Decreto 25. 04. 2003	2003
<b>6</b>	Svizzera	Società Svizzera per l'Acustica SGA-SSA – Direttive per l'acustica di aule scolastiche ed altri ambienti per il parlato, si basano sulla norma tedesca DIN 18041 "Udibilità in spazi piccoli e di media grandezza	2004
<b>ITALIA</b>			
<b>7</b>	<u>Circolare 3150 del 22/05/67</u> "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici"		1967
<b>8</b>	<u>DM 18/12/75</u> "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nell'esecuzione di un'opera di edilizia scolastica "		1975
<b>9</b>	<u>DM 13/9/77</u> "Modificazione alle norme tecniche relative alla costruzione degli edifici scolastici"		1977
<b>10</b>	<u>DPCM 5/12/97</u> "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"		1997

Nei diversi documenti normativi, i requisiti possono essere suddivisi in requisiti del sistema ambientale e tecnologico, riferiti cioè all'ambiente nel suo complesso o ad una determinata unità tecnologica.

Per il sistema ambientale i parametri di riferimento sono:

- il livello di pressione sonora del rumore di fondo;
- il tempo di riverberazione.

Il decreto italiano, a differenza degli altri paesi, pone limiti alla sola rumorosità degli impianti stabilendo però valori minimi di isolamento acustico di facciata.

Il tempo di riverberazione è variabile in frequenza ed i valori limite riportati sui documenti normativi sono relativi, a seconda dei casi, a particolari frequenze di banda di ottava o a valori ottenuti dalla media dei tempi di riverberazione su alcune frequenze.

In quasi tutti i documenti normativi si fa riferimento ad ambienti arredati e non occupati.<sup>2</sup>

La circolare 3150/67, nel nostro specifico, prevede i seguenti limiti per i tempi di riverbero:

- 1.2 secondi per aule ad aula arredata con presenza massima di n. 2 persone;
- 2.2 secondi per le palestre (qualora non debbano essere utilizzate come auditorio);
- Non esiste prescrizione per i locali mensa.

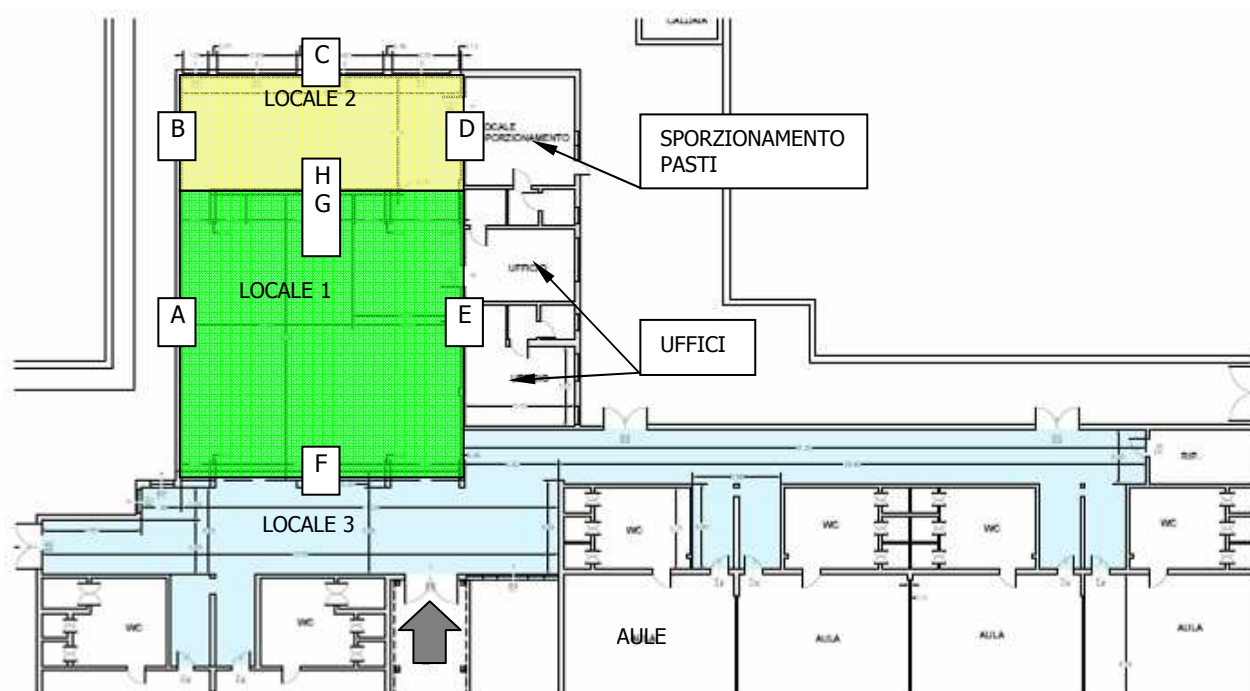
---

<sup>2</sup> A. Astolfi e M. Giovannini – Acustica delle Aule Scolastiche – Rockwool Rockfon

## 9 DESCRIZIONE DEL LOCALE

Realizzata nel 1998 con tecnologia tradizionale in c.a. e tamponature intonacate internamente e rivestite esternamente con mattoni posti a cortina, la scuola è composta da:

- n. 6 aule che ospitano 24 bambini ciascuna;
- n. 2 locali ad uso ufficio;
- n. 1 locale per lo sporzionamento dei pasti, forniti da ditta esterna con accesso indipendente dall'esterno;
- n. 1 spazio polivalente (Locale 1);
- n. 1 spazio refettorio (Locale 2);
- n. 1 spazio connettivo (Locale 3).



**Figura 1**

Questi ultimi tre spazi, non essendoci tra loro elementi di separazione fisica se non pilastri o muretti, costituiscono acusticamente un unico ambiente dalla forma in pianta piuttosto articolata.

Ad esclusione dello spazio polivalente, l'intero complesso è chiuso orizzontalmente con copertura piana con intradossi ad altezze variabili.

Lo spazio polivalente, invece, è coperto con due falde ad inclinazioni variabili, con altezze medie di m 5.30 da un lato e m 4.80 dall'altro, sorrette da travi reticolari in acciaio; proprio questa caratteristica ha reso necessario, a seguito di prescrizione dei vigili del fuoco, la loro protezione con un controsoffitto REI 120.

Questa operazione, realizzata nel 2008, ha comportato una riduzione dell'altezza (a 3.95 m) e la creazione di una superficie di circa 170 mq parallela al pavimento e completamente riflettente da un punto di vista acustico arrecando, allo stato attuale, un serio disturbo sia agli educatori sia ai piccoli utenti.

Lo spazio polivalente indicato come "Locale 1" è utilizzato alternativamente per attività ricreative, sportive, musicali e ginniche nonché per eventuali rappresentazioni teatrali (con presenza anche dei genitori); pertanto questo è il luogo nel quale si può concentrare, più o meno contemporaneamente, un notevole numero di sorgenti sonore.

Di tale situazione il gruppo di lavoro ha fatto esperienza diretta in occasione del sopralluogo effettuato in data 7 aprile 2012, mentre nel locale si svolgeva un'attività ginnica e nel locale 2 (refettorio) due inservienti preparavano i tavoli "posando" le seggiole a terra.

Dopo un'esposizione di circa 45 minuti e con la sala occupata da 40 bambini e 7 tra educatori ed inservienti (circa ¼ dell'affollamento massimo ipotizzabile) siamo usciti letteralmente con le orecchie dolenti.

In effetti, al momento del sopralluogo era in funzione un altoparlante con il duplice scopo di diffondere la musica per gli esercizi e consentire all'educatore di farsi ascoltare; con questa sorgente attiva più il vociare diffuso ed i rumori prodotti dal movimento delle persone si sono misurati, usando un applicativo per i-phone (quindi non uno strumento professionale), i seguenti livelli, comunque indicativi di un reale disagio acustico:

SITUAZIONE	Leq dB(A)	Picco dB(A)	misurazione
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 classi (40 bambini);</li> <li>• 1 educatore (amplificato);</li> <li>• 6 persone (personale);</li> <li>• musica (amplificata)</li> </ul>	97	112	filtro impulse
Come sopra senza <ul style="list-style-type: none"> <li>• amplificazione</li> </ul>	91	106	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Senza nessuna classe</li> </ul>	68 ÷ 71	-	

Se a questo punto immaginassimo la situazione in cui potremmo avere, ed in effetti si hanno<sup>3</sup>, contemporaneamente presenti:

- un gruppo di bambini nel locale refettorio (locale 2);
- un secondo gruppo di bambini nel locale 1;
- gli educatori e gli inservienti in entrambi,

si può confermare, se pur empiricamente, l'esattezza dei livelli di cui in premessa di questo lavoro<sup>4</sup>.

Per quanto riguarda i rivestimenti ed i materiali, generalmente le parti opache di tutte le pareti e dei soffitti dei locali sono intonacate a calce; dal momento che in acustica quello che conta è ciò che si vede, occorre descrivere singolarmente tutte le pareti presenti avvalendoci della seguente tabella (riferimento Figura 1):

<sup>3</sup> Durante il primo turno del pranzo, il gruppo del secondo rimane nelle aule. Al momento del cambio il primo turno non può tornare nelle aule (soprattutto in inverno o se piove) in quanto nel mentre il personale ausiliario provvede alla loro pulizia ed al lavaggio dei pavimenti..

<sup>4</sup> Vedi nota 1

<b>LOCALE 1</b>	
<b>PARETE</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
"A"	La parete è coperta, per circa il 50%, da disegni a tempera su cartoncino
"G"	Parete "aperta" formata da tre pilastri che includono centralmente un muretto in mattoncini di 1.20 m di altezza; Tra i pilastri sono presenti tendine avvolgibili in materiale semi-rigido riflettente
"E"	Accessi degli uffici
"F"	Parete "aperta" formata esclusivamente da tre pilastri. Rappresenta il lato di connessione del "locale 1" con il "locale 3"
Soffitto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controsoffitto "SUPALUX-S" 600 x 600 mm sp. 6 mm con lana di roccia sp. 50 mm della Eraclit, a base di calce – REI 120</li> <li>n. 15 apparecchi illuminanti da incasso per controsoffitti</li> </ul>
Pavimento	Gres ceramico
<b>LOCALE 2</b>	
<b>PARETE</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
"B"	La parete presenta solo la superficie intonacata
"C"	La parete ospita quattro finestre
"D"	La parete ospita una finestra passa vivande ed una porta di accesso con specchiature in vetro
"H"	Vedi parete "G"
Soffitto	Intonaco a calce
Pavimento	Gres ceramico
<b>LOCALE 3</b>	
-	Nel locale affacciano le porte delle aule, le porte d'ingresso e di sicurezza, le finestre. In prossimità delle aule, nelle rientranze, trovano posto gli appendi abiti
Soffitto	Intonaco a calce
Pavimento	Gres ceramico

Gli arredi, infine, sono costituiti dai tavolini del refettorio, dalle seggiole, da panche in legno e giochi di vario tipo (scivoli, casette, sedie, ecc.) in materiale plastico con caratteristiche riflettenti posti nei pressi delle pareti "A" e "G".





LOCALE 1



LOCALE 2



Nella foto è mostrato il controsoffitto del "Locale 1" costituito da pannelli antincendio Eraclit denominati: SUPALUX-S composti da lastre in calciosilicato idrato non fonoassorbenti intervallati dagli apparecchi illuminanti ad incasso.

## 10 TEMPO DI RIVERBERO ANALITICO ANTE OPERA

Come accennato in premessa, diamo per assunto che il livello di isolamento acustico in facciata e di quello generato all'interno degli ambienti scolastici sia ottimale; pertanto sorvoleremo sulla disamina degli accorgimenti tecnici e dei materiali da adottare (come ad esempio pavimenti galleggianti, pareti disgiunte meccanicamente dai solai mediante strisce sottoparete composte da granuli di gomma SBR della ISOLGOMMA o antivibrante elastomerico a base di gomma stirolica non porosa quale ad esempio il "SUBMASTER" della Acustica Sistemi) per passare decisamente ad affrontare l'evidente problematica del riverbero.

### 10.1 FASI ESECUTIVE

Si schematizzano di seguito le fasi in cui si suddivide un intervento di correzione acustica:

<b>FASE</b>	<b>AZIONE</b>
<b>1</b>	Rilievo geometrico dei locali
<b>2</b>	Rilievo qualitativo dei componenti di finitura degli ambienti
<b>3</b>	Raccolta delle schede tecniche dei materiali utilizzati
<b>4</b>	Rilievo sperimentale del tempo di riverbero
<b>5</b>	Predisposizione del modello di calcolo statistico con l'introduzione dei dati geometrici degli ambienti e qualitativi delle finiture
<b>6</b>	Inserimento, per ogni materiale, dei coefficienti di assorbimento alfa alle varie frequenze da reperire dalla letteratura e/o da schede tecniche
<b>7</b>	Taratura del modello statistico mediante i risultati del rilievo sperimentale
<b>8</b>	Individuazione delle criticità
<b>9</b>	Individuazione delle soluzioni più idonee in termini di assorbimento per natura del materiale o per tecnologia di costruzione
<b>10</b>	Verifica, prima della fine dell'intervento di risanamento, con nuovo rilievo strumentale per ulteriori ed eventuali aggiustamenti finali

## 10.2 RIEPILOGO DATI

Nell'ottica di avere una maggiore possibilità di controllo e verifica, abbiamo computato i 3 locali separatamente non considerando l'apporto del locale 3 perché ritenuto di scarsa attendibilità in sede di stima teorica. Di seguito si riporta il riepilogo dei dati inseriti nel modello di calcolo.

<b>DENOMINAZIONE</b>	Scuola materna "SETTE NANI"
----------------------	-----------------------------

<b>UBICAZIONE</b>
-------------------

Indirizzo	via Filippo Re
Civico	s.n.c.
C.A.P.	00040
Città	Pomezia
Provincia	RM
Località	Centrale

<b>INQUADRAMENTO ACUSTICO</b>
-------------------------------

<b>Classificazione Acustica</b>	<b>I</b>	aree particolarmente protette	
Emissione TR Diurno		45 dB(A)	
Emissione TR Notturno		35 dB(A)	
Immissione TR Diurno		50 dB(A)	
Immissione TR Notturno		40 dB(A)	

<b>Classificazione Edificio</b>	<b>E</b>	edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
R'w		50 dB(A)
D2m,nT,w		48 dB(A)
L'n,w		58 dB(A)
LASmax		35 dB(A)
Laeq		25 dB(A)

<b>Tempo di riverbero ottimale</b>	ai sensi del D.M. 18-12-1975
T60 a 2kHz =	$K \times (-0,2145 + 0,45 \times \log V)$ [s]
K =	1
V =	volume in mc

<b>DESTINAZIONE LOCALI OGGETTO DI INTERVENTO</b>
--

		Mq	Mc	considerato
LOCALE 1	area polivalente	478,35	670,63	si
LOCALE 2	refettorio	212,57	195,84	si
LOCALE 3	connettivo	729,39	526,75	no

<b>DATI DI PROGETTO</b>
-------------------------

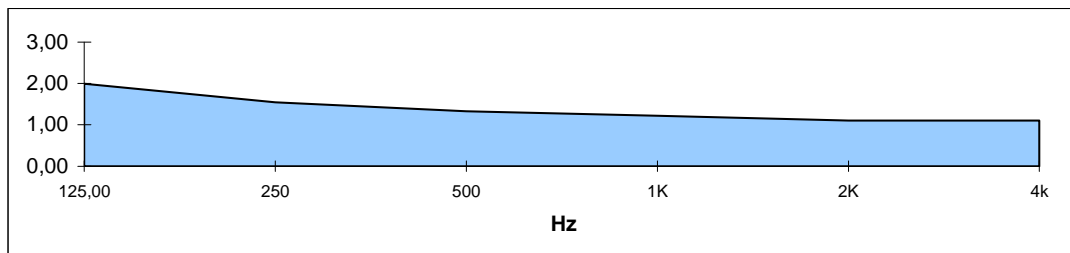
Anno di costruzione	1998	
Anno di ristrutturazione	2008	
Volume	mc 866,47	
Superficie	mq 690,92	S/V ==> 0,80
Numero di persone	n 169	
bambini	n 144	
insegnanti	n 16	
assistenti aec (sostegno)	n 3	
personale ausiliario	n 4	
inservienti pranzo (ditta esterna)	n 2	
Arredi	n 170	
tavoli	n 15	
sedie	n 75	
panche	n 80	
divani	n -	

10.3 CALCOLO TEMPO DI RIVERBERAZIONE

(modello di calcolo di R. Carratù e F. Bianchi)

Tempi di riverberazione ottimali per Hz:

Frequenza:	125,00	250	500	1K	2K	4k
sec:	1,99	1,55	1,33	1,22	1,11	1,11



Calcolo unità assorbenti fisse:

Frequenza:	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$

Ambiente:	mq:	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz	
		$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	
<b>LOCALE 1 [H: 3,95]</b>	<b>considerato</b>							
pavimento 1	169,78	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	marmo
parete A	51,39	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
parete G	12,4	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
muretto	9,86	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	muratura mattoni
pilastrì	1,35	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
parete E	49,29	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
porta tipo 6	2,1	0,30	0,20	0,10	0,07	0,06	0,07	legno porte
parete F	12,4	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
soffitto 1	169,78	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
<b>LOCALE 2 [H: 3,00]</b>	<b>considerato</b>							
pavimento	65,28	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	marmo
parete B	16,2	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
parete C	12,07	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
finestre	26,34	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
parete D	12,15	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
finestre	4,05	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
parete H (muretto)	9,86	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	muratura mattoni
parete H (pilastrì)	1,35	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
soffitto	65,28	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
<b>LOCALE 3 [H: 2,45]</b>	<b>non considerato</b>							
pavimento		0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	marmo
pareti		0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
finestre		0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
porte		0,30	0,20	0,10	0,07	0,06	0,07	legno porte
soffitto		0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
<b>totale mq</b>	<b>690,93</b>							

materiali

Totale unità assorbenti fisse:	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
	12.16	17.01	22.24	24.49	40.32	73.99

Calcolo unità assorbenti mobili

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz	
<b>n. poltrone</b>							
Ambiente pieno	0	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente pieno a 3/4	43	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente pieno a 2/4	85	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente pieno a 1/4	128	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente vuoto	170	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
<b>n. persone</b>							
Ambiente pieno	169	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente pieno a 3/4	127	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente pieno a 2/4	85	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente pieno a 1/4	42	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente vuoto	0	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60

sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.  
  
persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.

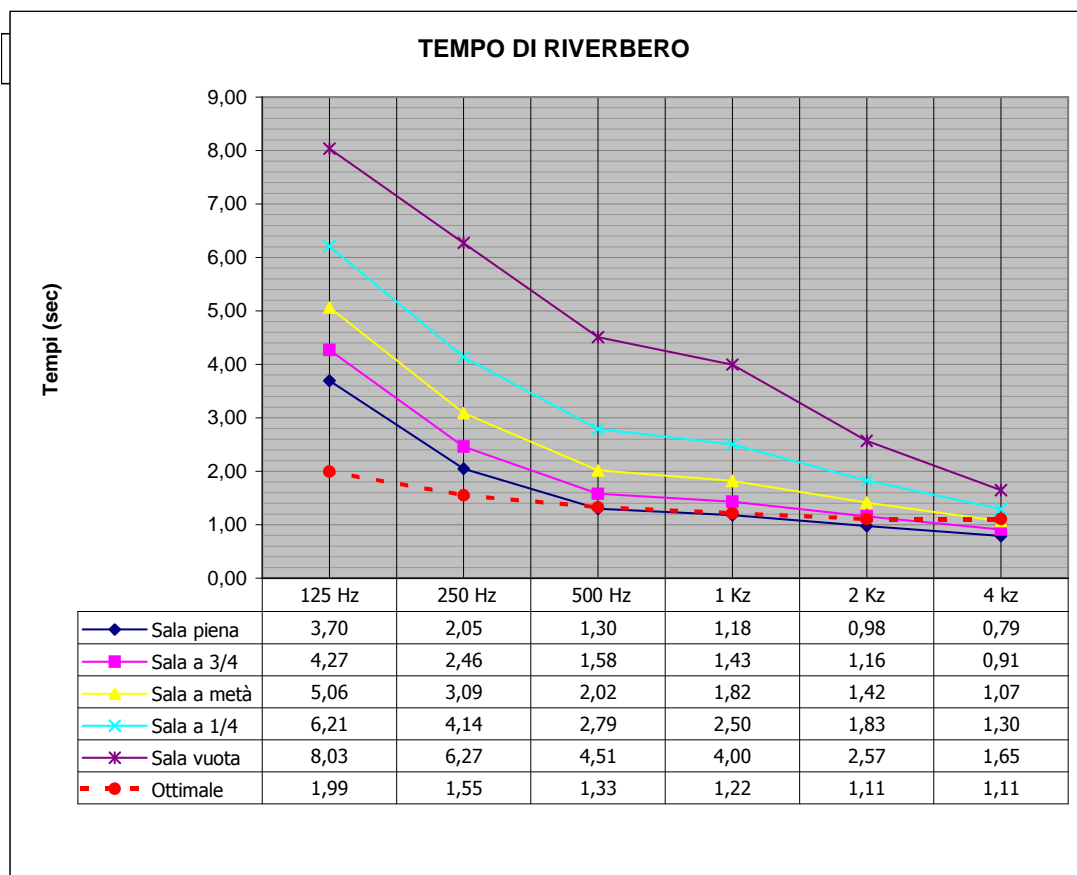
Totale unità assorbenti mobili:	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
Ambiente pieno	25.35	50.70	84.50	92.95	101.40	101.40
Ambiente pieno a 3/4	20.29	39.30	65.50	72.26	79.45	78.60
Ambiente pieno a 2/4	15.23	27.90	46.50	51.58	57.50	55.80
Ambiente pieno a 1/4	10.16	16.50	27.50	30.89	35.55	33.00
Ambiente vuoto	5.10	5.10	8.50	10.20	13.60	10.20

Totale unità assorbenti:	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
Ambiente pieno	37.51	67.71	106.74	117.44	141.72	175.39
Ambiente pieno a 3/4	32.45	56.31	87.74	96.76	119.77	152.59
Ambiente pieno a 2/4	27.38	44.91	68.74	76.07	97.82	129.79
Ambiente pieno a 1/4	22.32	33.51	49.74	55.38	75.87	106.99
Ambiente vuoto	17.26	22.11	30.74	34.69	53.92	84.19

Tempo di riverberazione = (0,16 x volume sala) / Tot. U.A

	T <sub>60medio</sub>	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
Ambiente pieno	1.67	3.70	2.05	1.30	1.18	0.98	0.79
Ambiente pieno a 3/4	1.97	4.27	2.46	1.58	1.43	1.16	0.91
Ambiente pieno a 2/4	2.41	5.06	3.09	2.02	1.82	1.42	1.07
Ambiente pieno a 1/4	3.13	6.21	4.14	2.79	2.50	1.83	1.30
Ambiente vuoto	4.50	8.03	6.27	4.51	4.00	2.57	1.65
ottimale =====>		1.99	1.55	1.33	1.22	1.11	1.11

T<sub>60</sub>



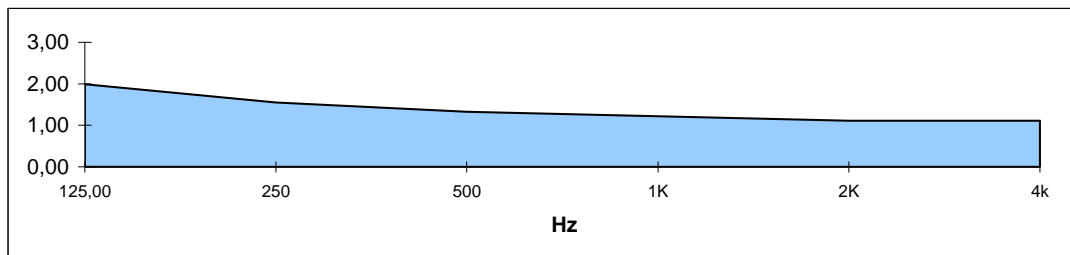
differenza di tempi T60 - T.ott [s]						
Ambiente pieno	1,70	0,50	-0,03	-0,04	-0,13	-0,32
Ambiente pieno a 1/4	2,28	0,91	0,25	0,21	0,05	-0,20
Ambiente pieno a 2/4	3,07	1,54	0,69	0,60	0,31	-0,04
Ambiente pieno a 3/4	4,22	2,59	1,46	1,29	0,72	0,19
Ambiente vuoto	6,04	4,72	3,18	2,78	1,46	0,54

$\Sigma x A_i$ [mq]		
Ambiente pieno	81,42	278,92
Ambiente pieno a 1/4	60,82	152,08
Ambiente pieno a 2/4	45,17	90,22
Ambiente pieno a 3/4	32,87	53,59
Ambiente vuoto	22,95	29,37

10.4 IPOTESI PROGETTUALE E STIMA DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

Tempi di riverberazione ottimali per Hz:

Frequenza:	125,00	250	500	1K	2K	4k
sec:	1,99	1,55	1,33	1,22	1,11	1,11



Calcolo unità assorbenti fisse:

Frequenza:	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$

Ambiente:	mq:	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz	
<b>LOCALE 1 [H: 3,95]</b>	<b>considerato</b>							
pavimento 1	169,78	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	marmo
parete A	25,695	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
parete G	12,4	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
muretto	9,86	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	muratura mattoni
pilastrini	1,35	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
parete E	49,29	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
porta tipo 6	2,1	0,30	0,20	0,10	0,07	0,06	0,07	legno porte
parete F	12,4	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
soffitto 1	101,868	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
soffitto 1	67,912	0,60	0,85	1,00	1,00	1,00	0,95	ROYAL A 40-200
parete A	25,695	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
<b>LOCALE 2 [H: 3,00]</b>	<b>considerato</b>							
pavimento	65,28	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	marmo
parete B	16,2	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
parete C	12,07	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
finestre	26,34	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
parete D	12,15	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
finestre	4,05	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
parete H (muretto)	9,86	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	muratura mattoni
parete H (pilastrini)	1,35	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
soffitto 1	32,64	0,50	0,80	1,00	0,90	0,90	0,85	ROYAL A 15-200
soffitto	32,64	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
<b>LOCALE 3 [H: 2,45]</b>	<b>non considerato</b>							
pavimento		0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	marmo
pareti		0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
finestre		0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	vetro
porte		0,30	0,20	0,10	0,07	0,06	0,07	legno porte
soffitto		0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,16	intonaco a calce
<b>totale mq</b>	<b>690,93</b>							

materiali

- marmo
- intonaco a calce
- intonaco a calce
- muratura mattoni
- intonaco a calce
- intonaco a calce
- legno porte
- vetro
- intonaco a calce
- ROYAL A 40-200
- intonaco a calce

- marmo
- intonaco a calce
- intonaco a calce
- vetro
- intonaco a calce
- vetro
- muratura mattoni
- intonaco a calce
- ROYAL A 15-200
- intonaco a calce

- marmo
- intonaco a calce
- vetro
- legno porte
- intonaco a calce



<b>Totale unità assorbenti fisse:</b>	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
	68.22	97.83	118.77	117.76	129.56	150.16

**Calcolo unità assorbenti mobili**

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz	
<b>n. poltrone</b>							
Ambiente pieno	0	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente pieno a 3/4	43	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente pieno a 2/4	85	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente pieno a 1/4	128	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
Ambiente vuoto	170	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06
<b>n. persone</b>							
Ambiente pieno	169	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente pieno a 3/4	127	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente pieno a 2/4	85	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente pieno a 1/4	42	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60
Ambiente vuoto	0	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.60

sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.  
sedia in legno u.a.

persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.  
persona in piedi u.a.

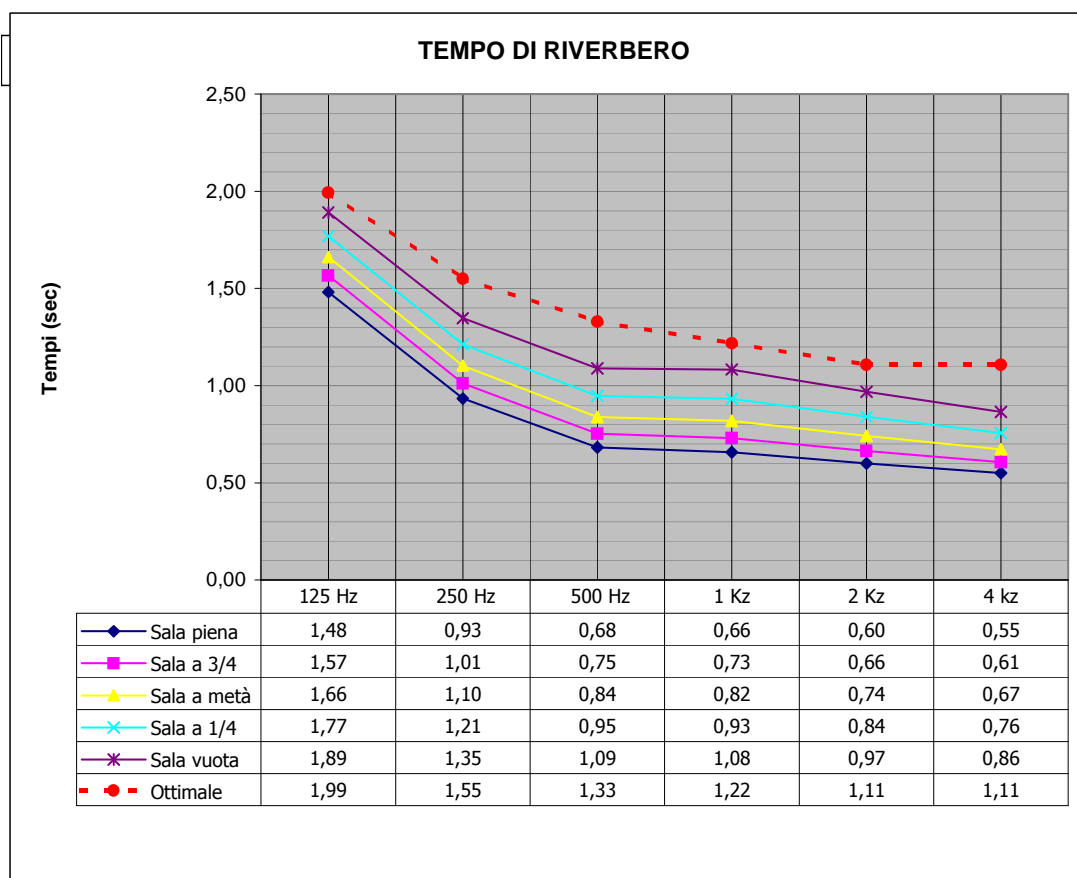
<b>Totale unità assorbenti mobili:</b>	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
Ambiente pieno	25.35	50.70	84.50	92.95	101.40	101.40
Ambiente pieno a 3/4	20.29	39.30	65.50	72.26	79.45	78.60
Ambiente pieno a 2/4	15.23	27.90	46.50	51.58	57.50	55.80
Ambiente pieno a 1/4	10.16	16.50	27.50	30.89	35.55	33.00
Ambiente vuoto	5.10	5.10	8.50	10.20	13.60	10.20

<b>Totale unità assorbenti:</b>	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
Ambiente pieno	93.57	148.53	203.27	210.71	230.96	251.56
Ambiente pieno a 3/4	88.51	137.13	184.27	190.02	209.01	228.76
Ambiente pieno a 2/4	83.44	125.73	165.27	169.33	187.06	205.96
Ambiente pieno a 1/4	78.38	114.33	146.27	148.65	165.11	183.16
Ambiente vuoto	73.32	102.93	127.27	127.96	143.16	160.36

**Tempo di riverberazione = (0,16 x volume sala) / Tot. U.A**

	T <sub>60medio</sub>	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Kz	2 Kz	4 kz
Ambiente pieno	0.82	1.48	0.93	0.68	0.66	0.60	0.55
Ambiente pieno a 3/4	0.89	1.57	1.01	0.75	0.73	0.66	0.61
Ambiente pieno a 2/4	0.97	1.66	1.10	0.84	0.82	0.74	0.67
Ambiente pieno a 1/4	1.08	1.77	1.21	0.95	0.93	0.84	0.76
Ambiente vuoto	1.21	1.89	1.35	1.09	1.08	0.97	0.86
ottimale =====>		1.99	1.55	1.33	1.22	1.11	1.11

T<sub>60</sub>



differenza di tempi T60 - T.ott [s]						
Ambiente pieno	-0,51	-0,62	-0,65	-0,56	-0,51	-0,56
Ambiente pieno a 1/4	-0,43	-0,54	-0,58	-0,49	-0,44	-0,50
Ambiente pieno a 2/4	-0,33	-0,45	-0,49	-0,40	-0,37	-0,43
Ambiente pieno a 3/4	-0,22	-0,34	-0,38	-0,29	-0,27	-0,35
Ambiente vuoto	-0,10	-0,20	-0,24	-0,13	-0,14	-0,24

$\Sigma x A_i$ [mq]		
Ambiente pieno	-270,85	-224,66
Ambiente pieno a 1/4	-324,59	-256,97
Ambiente pieno a 2/4	-417,48	-309,57
Ambiente pieno a 3/4	-616,78	-410,30
Ambiente vuoto	-1350,59	-680,97

## 11 CONCLUSIONI

Il D.M. 18/12/1975 all'articolo 5.1 indica i criteri di valutazione dei requisiti acustici dell'edilizia scolastica ed i limiti per il tempo di riverberazione sono quelli riportati nella circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967 come si evince dalla nota alla tabella B allegata al DPCM 5 dicembre 1997.

Detta circolare recante titolo "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici" prevede i seguenti limiti per i tempi di riverbero:

- 1.2 secondi per aule ad aula arredata con presenza massima di n. 2 persone;
- 2.2 secondi per le palestre (qualora non debbano essere utilizzate come auditorio);
- Non esiste prescrizione per i locali mensa.

Per ridurre i tempi di riverbero entro i limiti prescritti si andranno ad utilizzare materiali fonoassorbenti per assorbire parte delle onde riflesse e determinando così un abbattimento delle stesse e quindi un tempo di riverbero inferiore

Nell'ottica di utilizzare una tecnologia/materiali, a parità di rendimento, con caratteristiche di posa meno invasive possibili e di minimizzare la superficie assorbente necessaria, ci siamo orientati, in prima battuta, verso il prodotto denominato "ECOFIBRA" della ACUSTICA SISTEMI che essendo commercializzato sia in pannelli che in rotoli mostrava una elevata versatilità applicativa; tuttavia il prodotto, pur avendo fornito complessivamente dell'ottime risposte dai 250 hZ in su, risultava praticamente inefficace ai 125 hZ che rimanevano fissi su tempi superiori ai 3.70 secondi a sala piena.

Dopo varie prove con l'utilizzo dell'Ecofibra congiuntamente a pannelli vibranti, rimanendo eccessiva la superficie assorbente da recuperare, ci siamo rivolti, con successo, ai pannelli acustici denominati ROYAL della ROCKFON.

I pannelli, in lana di roccia da 15, 20 o 40 mm, sono rivestiti con un velo verniciato in bianco (finitura a buccia d'arancia) sulla faccia a vista che garantisce la perfetta tenuta, nel tempo, e con un controvelo sulla faccia superiore. Tra le altre caratteristiche, importanti per un locale scolastico, sono da sottolineare la facilità di pulizia ed una elevata riflessione della luce per un comfort visuale ottimale.

Nello specifico abbiamo usato:

- il pannello ROYAL 40A-200 per la sala polivalente ipotizzando la sostituzione del 40% della controsoffittatura esistente;
- il pannello ROYAL A 15-200 per il 50% della superficie del "locale 2".

Per un totale di circa 100 mq di pannellatura.

Il loro utilizzo ha permesso di ottenere una eccellente risposta a tutte le frequenze portando i tempi medi di riverberazione, a tutte le ipotesi di affollamento della sala, inferiori ad 1,2 secondi di cui alla circolare dei LL. PP. N. 3150/67.

Tuttavia, visto che i tempi di riverbero in caso di sala piena sono mediamente più bassi del t ottimale, si potrebbero generare problemi di poca intelligibilità (sala sorda) soprattutto in occasione delle rappresentazioni teatrali dei bambini dove è facile prevedere un affollamento maggiore di quello ipotizzato in relazione e quindi un maggior assorbimento; pertanto si consiglia, in questi casi, l'utilizzo di altoparlanti di rinforzo da collocare sul lato opposto a quello della rappresentazione.

In questo lavoro mancano le necessarie fasi n. 4, 7 e 10 della sequenza esecutiva di cui al cap. 10.1 importanti per una realistica stima delle prestazioni attese nonché per la successiva realizzazione; ciononostante il gruppo di lavoro ritiene che i risultati fin qui ottenuti siano da considerarsi soddisfacenti e vista la modesta quantità di materiale utilizzato, permane un ampio margine per ulteriori interventi correttivi.

Infine, Last but not least, il risultato di questo lavoro ci consente di concludere affermando, senza tema di smentita, (ipotizzando un costo di 25€/mq per la f/p dei pannelli più i costi per la progettazione) che con un'attenta ed integrata progettazione si possono ottenere risultati importanti sostenendo una spesa di poche migliaia di euro a fronte di costi sociali senz'altro più elevati.

I RELATORI