

## Acustica: “La qualità del suono”

### INDICE della lezione del 21/05/2014

- Tempo di riverberazione	1
- La risposta all'impulso	5
- Dal T60 al T20	5
- Le fasi dell'impulso sonoro	7
- I metodi di misurazione tradizionali	8
- Esercizio	9
- Considerazioni sui tempi di riverbero	12
- Un cenno alla giusta collocazione dei materiali fonoassorbenti	13
- La normativa italiana in materia di Acustica	14
- Il paradosso dei tempi di riverbero negli edifici negli edifici scolastici	15

### Tempo di riverberazione

In acustica architettonica il fenomeno di riverbero dovuto a riflessioni del suono sulle superfici di un ambiente si chiama "**Riverberazione**" e con "**Tempo di riverberazione**" si intende la durata della "coda sonora" che i suoni lasciano nell'ambiente stesso come effetto della riverberazione e a causa della velocità del suono, che non è elevata come la velocità della luce, e quindi non produce una cessazione immediata al suo interrompersi.

Se il tempo di riverberazione è troppo lungo, o comunque inadeguato, l'ambiente si dice riverberante o rimbombante e i suoni tendono a fondersi riducendo la comprensibilità del parlato o "legando" eccessivamente la musica.

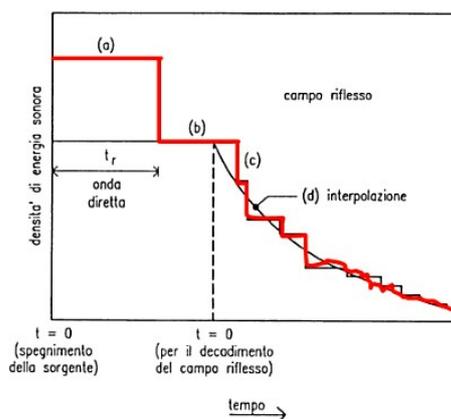


Fig.1 – Tempo di riverberazione.

Conoscere il tempo di riverbero e tutte le sue implicazioni significa fare un'analisi qualitativa del suono e poter valutare e progettare ambienti con quella che si dice "una buona acustica".

La definizione originaria del tempo di riverbero fa riferimento ad una sorgente di tipo continua e stazionaria, quindi con un suono costante, che improvvisamente viene spenta.

Con un apposito grafico, riportato in figura 1, si rappresenta il comportamento dell'onda sonora in un ambiente chiuso.

Si nota subito un primo scalino molto brusco verso il basso, poiché dopo un tempo corrispondente all'onda diretta, il ricevitore avverte la caduta del suo contributo.

I gradini successivi indicano che gradualmente, **in tempi diversi vanno a decadere una dopo l'altra le onde riflesse in successione.**

Tra una caduta e l'altra il tratto orizzontale sta ad indicare il permanere del suono precedente per tempi via via più brevi.

Poi le riflessioni aumentano nell'unità di tempo ma sempre più brevi finché la curva diventa una linea continua di decadimento.

La pendenza di questa curva è in concreto già una quantificazione della riverberazione in  $[dB/s]$ , riferito all'ascoltatore.

Ma **Sabine**, il fisico che per primo osservò e quantificò il fenomeno, lo considerò quasi alla "rovescia".

1) Lo definì "il tempo in cui il livello sonoro di una sorgente stazionaria e continua scende di 60 dB".

2) Indicò il metodo: suonava una singola nota d'organo tenendo premuto il tasto, poi staccava e misurava con il cronometro.

3) Elaborò questa formula:

$$T_r = 0.16 * \frac{V}{\sum_i (\alpha_i * s_i)} = [s]$$

(1)

dove:

$T_r$  = tempo di riverbero

$$T_r = 0.16 * \frac{V}{A}$$

$V$  = volume del locale

$\sum$  = sommatoria di tutta le superfici del locale

$\alpha$  = coefficiente di assorbimento di ciascun materiale relativo a ciascuna superficie

$S$  = superfici presenti nel locale

$$\sum (\alpha_i * s_i) = A$$

$$T_r = 0.16 * \frac{V}{A}$$

dove:

$A$  = assorbimento totale del locale dato dalla somma dei prodotti delle aree delle singole superfici, ognuna moltiplicata per il suo coefficiente  $\alpha$  di assorbimento acustico.

L'esistenza di una formula permette di prevedere "a priori" il tempo di riverbero ottimale in relazione alla destinazione d'uso del locale e quindi di progettare correttamente.

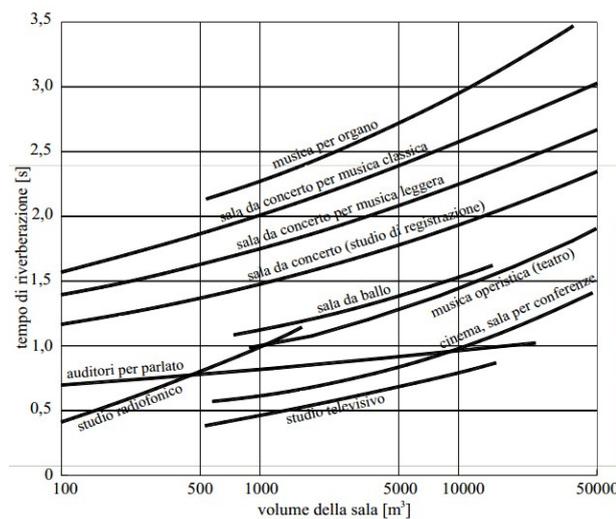


Fig.2 – Tempi di riverbero ottimali in funzione delle varie destinazioni d'uso dei locali.

Là dove i tempi di riverbero sono prestabiliti da norme, la formula consente di fare opportune scelte di materiali in modo da bilanciare il risultato.

Occorre disporre dei dati relativi alla geometria dei locali e inoltre tenere presente che bisogna:

- aggiungere le unità assorbenti di arredi imbottiti e persone
- progettare adeguate strutture rimovibili come tende, pannelli, separé, con coefficienti di assorbimento adeguati, nel caso in cui si voglia realizzare una sala destinata ad usi che richiedono tempi di riverbero differenti, come ad esempio una sala che si utilizzi tanto per convegni che per concerti
- considerare che il tempo di riverbero è un parametro importantissimo per il *comfort* acustico di qualsiasi ambiente e in particolare per i luoghi di lavoro.

L'acustica è una delle materie tecniche più legiferate in Italia.

Qui si riportano tabelle che fissano i tempi di riverbero in base alla destinazione d'uso dei locali e in particolare per le scuole.

Tipologia di ambiente	T <sub>60</sub> ottimo (secondi)
Aula piccola	0,5
Aula grande	1
Cinema	0,7-0,8
Teatro dell'opera	1,3-1,5
Concert hall	1,7-2,3

Fig.3 – Tempi di riverbero ottimali per locali vari e aule scolastiche.

Si inserisce inoltre una tabella che indica il valore di  $\alpha$  da parte di un fornitore di materiale assorbente, a titolo esemplificativo.

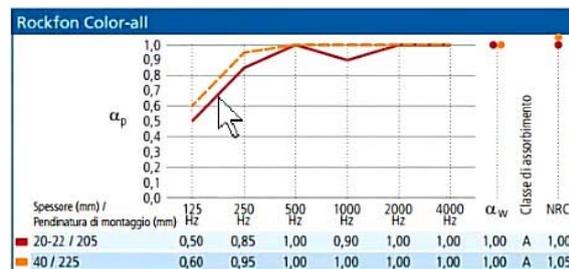


Fig.4 – Assorbimento di un materiale da catalogo di fornitore.

La formula di Sabine è anche utile alla rovescia:  
da

$$T_r = 0.16 * \frac{V}{A} \quad [s]$$

si ha

$$A = 0.16 * \frac{V}{T_r} \quad [m^2] \quad (2)$$

e si ottiene il valore dell'assorbimento acustico già presente in sala.

Inoltre ci da la possibilità di **reimpostare la formula** relativa al calcolo della “**distanza critica**”, consentendo di determinarla anche attraverso la misura del tempo di riverbero:

$$d_{cr} = \sqrt{\left(\frac{Q}{16\pi} * \frac{0.16V}{T_r}\right)} = \sqrt{\left(\frac{Q * V}{100\pi * T_r}\right)} \quad [m] \quad (3)$$

dove

$Q$  = costante di direttività

$V$  = volume della sala

$100\pi$  = costante numerica ( $3.14 * 100 = 314$ )

$T_r$  = tempo di riverbero

## La risposta all'impulso

L'esperimento di Sabine era reso possibile dall'organo musicale.

Nella pratica quotidiana è invece impossibile usare lo stesso metodo presso gli ambienti variamente dislocati, dove risulta più semplice e praticabile provocare un rumore breve e deciso, cioè un impulso sonoro.

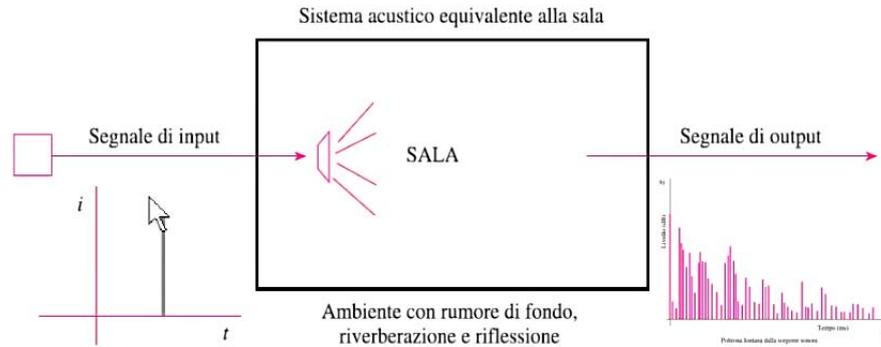


Fig.5 – Schema di misura della risposta all'impulso.

I due fenomeni, apparentemente molto diversi, sono stati “conciliati” da una **teoria matematica** che consente di passare dalla risposta all'impulso, al decadimento del segnale stazionario interrotto.

Essa è dovuta al fisico tedesco **Schroeder** e la formula si chiama “l'integrale inverso di Schroeder”.

La curva della sorgente stazionaria, depurata della parte “a scalini” riferita al suono diretto e alle prime riflessioni, e mediando su elevato numero di decadimenti, tende a diventare liscia e continua in corrispondenza della parte tardiva del decadimento della coda.

Anche la curva di decadimento ottenuta dall'integrazione all'indietro di Schroeder procede liscia e continua fin da subito dopo l'impulso del suono diretto, dà quindi un risultato più accurato e se ne può calcolare la pendenza molto facilmente.



Fig.6 – Confronto fra risposta all'impulso (in nero) e decadimento del segnale stazionario ricostruito tramite integrazione all'indietro di Schroeder (in blu).

## Dal T60 al T20

Sabine misurava il **tempo di decadimento** nel silenzio profondo di un auditorium in cui la singola nota svettava di oltre 60 dB sopra il rumore di fondo.

Nell'**acustica architettonica** invece, e specie nel caso delle aule scolastiche, i locali sono spesso caratterizzati da valori elevati del **rumore di fondo**.

Rumori dovuti alle adiacenze di strade trafficate, alla prevista presenza di persone, ai rumori degli impianti, degli elettrodomestici sempre in funzione, etc.

Rumori che possono anche raggiungere il livello di 40 - 45 dB e oltre.

Quindi per percepire un decadimento di 60 dB effettivi, questi locali dovrebbero trovarsi in una situazione acustica assurda, cioè in presenza di suoni dai 100 ai 120 dB sopportabili solo da robot e non da esseri umani.

E' quindi intervenuta la **norma ISO 3382** che ha fissato diversi valori di tempi di riverbero in base a varie esigenze anche musicali e ha estrapolato dal T60 il T20, tempo di riverbero realistico e misurabile nelle concrete situazioni.

Per comprendere questo meccanismo bisogna tenere distinti due concetti:

- **il tempo di durata della coda sonora**
- **il livello sonoro in dB**

Il tempo corrisponde allo stesso tempo che misurava Sabine.

Cambia invece il valore **apprezzabile** dei dB, perché non appena il livello sonoro della coda comincia a diventare confrontabile con il rumore di fondo, il decadimento cambia pendenza e tende a diventare orizzontale.

Non si riesce dunque mai a rilevare un effettivo decremento di 60 dB a partire dal livello stazionario, perché il rumore di fondo si trova tipicamente a -45 dB da tale valore.

La norma ISO 3382 prevede di determinare T20 come tre volte il tempo che trascorre fra il punto a -5 dB ed il punto a -25 dB rispetto al livello stazionario.

**Il T20 è quindi il tempo di riverbero standard indicato dalla norma**, e che mantiene la validità della formula di Sabine (in quanto, triplicando il valore effettivo, esso torna ad essere congruo col T<sub>60</sub>).

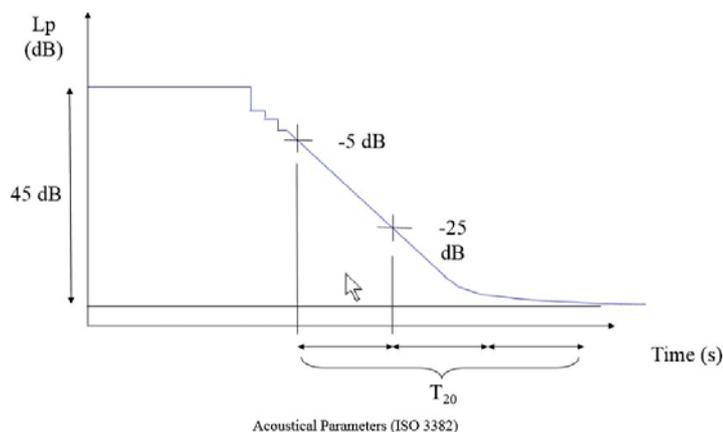


Fig.7 – Il Tempo di riverbero T<sub>20</sub>.

La norma ISO 3382 dispone anche altre misurazioni del tempo di riverbero come:

- EDT (Early Decay Time), estrapolato da 0 a -10 dB
- il T<sub>10</sub>, estrapolato da -5 dB a -15 dB
- il T<sub>15</sub>, estrapolato da -5 dB a -20 dB
- il T<sub>30</sub>, estrapolato da -5 dB a -35 dB, e che si riesce a misurare solo se si ha una sorgente molto potente, in quanto occorre realizzare un rapporto segnale-rumore di almeno 55 dB

La complessità della materia suggerisce di rivolgersi sempre ai “tecnici competenti in acustica ambientale” iscritti in apposito Elenco Regionale, come peraltro prescritto dalle leggi vigenti.

Inoltre, se per tutta la Fisica Tecnica il problema del linguaggio appropriato e della comunicazione è di cruciale importanza, ancora di più lo è in una disciplina di confine tra architettura e musica come l'acustica.

## Valutazione qualitativa della risposta all'impulso

Esiste poi un'ultima **valutazione qualitativa** della sonorità della sala che non è basata sulla lunghezza della coda riverberante, ma su un **rapporto energetico** tra la parte iniziale della risposta all'impulso e la successiva parte tardiva.

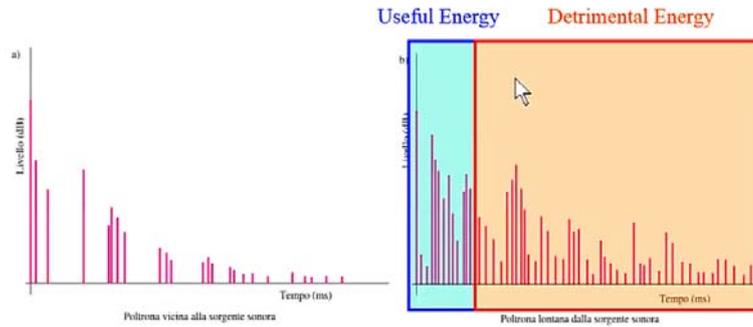


Fig.8 – Le diverse utilità dell'energia sonora.

Gli inglesi distinguono queste due fasi in energia “utile” e “dannosa”.

In realtà dipende dall'obiettivo cui il suono è finalizzato, per cui sono utili entrambe, anche se hanno un effetto psico-acustico molto diverso.

- L'energia iniziale che arriva subito a ridosso del suono diretto viene percepita come un rafforzamento, fa crescere la chiarezza del suono, rende più intellegibile il parlato.
- L'energia tardiva è quasi un eco, ha l'effetto contrario e non giova al parlato, ma è apprezzata in campo musicale, perché produce una fusione delle note nella frase musicale, quel che viene detto “fraseggio” o “legamento”.

Il punto di separazione tra l'energia iniziale e l'energia tardiva non è solo un fatto fisico, ma dipende anche da che cosa si sta ascoltando, in funzione delle diverse modalità percettive del sistema uditivo umano e delle aree cerebrali coinvolte.

Il tempo di integrazione dell'energia iniziale “utile” è più o meno:

- 80 millisecondi per la musica (emisfero cerebrale destro)
- 50 millisecondi per il parlato (emisfero cerebrale sinistro).

Tutto questo rende necessario adattare l'acustica della sala alla funzione che deve avere e nel caso di una destinazione polifunzionale si adottano tutti gli opportuni accorgimenti che influiscono sui parametri che concorrono a determinare la formula di Sabine, per modificare secondo necessità, i tempi di riverbero ed il rapporto fra energia iniziale ed energia tardiva.

## I metodi di misurazione tradizionale del tempo di riverbero

Non si prendono qui in considerazione i metodi elettronici di rilevazione del tempo di riverbero, sebbene oggi vengano spesso preferiti.

I metodi tradizionali si avvalgono di tre tipi di strumenti per emettere l'impulso il cui riverbero va misurato:

- Palloncini che vengono fatti esplodere
- il colpo di una pistola "a salve" o l'esplosione di un petardo
- il clappatore (eventualmente in mancanza si battono le mani)

Mentre i primi due strumenti comportano ovvi inconvenienti, in particolare non sono per nulla "puliti", il clappatore rappresenta lo strumento più "pulito" e riproducibile, facile ed economico.

Consiste in una coppia di tavolette che simulano una battuta di mani.



Fig.9 –Il clappatore.

In genere si operano le misurazione tramite due persone e si genera l'impulso ad almeno 2-3 metri dal microfono dell'apparecchio che lo registra.

Poi con un apposito *software* l'impulso viene elaborato elettronicamente e si produce il risultato dei tempi di riverbero alle varie frequenze e degli altri parametri acustici (chiarezza, etc.).

Di solito si prende in considerazione il tempo di riverbero *standard*, cioè il T20, nelle frequenze più importanti e "centrali", a 125, 250, 500, 1000 e 2000 Hz.

Una volta controllati i valori in rapporto alla destinazione d'uso del locale, è possibile portarli ai valori ottimali, riequilibrando il valore dell'assorbimento con l'aggiunta di materiale fonoassorbente che si calcola applicando la formula inversa di Sabine, come nell'esercizio che segue.

## Esercizio

Calcolo delle unità assorbenti necessarie ad ottenere in un locale il tempo di riverbero voluto.

- 1) Si emette un impulso con il clappatore e si controlla nell'apposito *software* i valori sulla riga del T20 *standard*, e alle varie frequenze:

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
Clappatore T20	1.323	1.159	1.010	1.036	0.941

**Volume della stanza:**  $1080 \text{ m}^3$

Per conoscere le unità assorbenti, cioè  $A$  si usa la formula inversa di Sabine:

$$A = 0.16 * \frac{V}{T_r} \quad [m^2]$$

(Se non si sta usando un foglio Excel, occorre ripetere la formula per ciascun  $T_r$  alle varie frequenze).

Alla frequenza:  $500 \text{ Hz}$  :

(Si è scelta questa frequenza perché una delle centrali e perché presa in considerazione dalle norme).

$$A = 0.16 * \frac{1080}{1.01} = 171.0891 \quad [m^2]$$

e si ripete la formula per tutte le frequenze, per ciascuna introducendo al denominatore il corrispondente valore del T20.

(L'assorbimento cambia alle varie frequenze perché cambia il valore del coefficiente di assorbimento di ciascun materiale)

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
Unità assorbenti originari [ $m^2$ ]	130.612	149.094	171.089	166.795	183.634

- 2) Supponiamo che il T20 ottimale sia  $0.5 \text{ s}$  per tutte le frequenze (come per il cinematografo).

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
T20 ottimale [s]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Se si deve arrivare ad un  $T_r$  di  $0.5 \text{ s}$ , partendo da un T20 di  $1.01 \text{ s}$  (a  $500 \text{ Hz}$ ), vuol dire che bisogna aggiungere le unità assorbenti mancanti, in modo che la nuova formula di Sabine calcolata con le unità assorbenti attuali più le unità assorbenti aggiuntive, calcoli il nuovo tempo di riverbero.

Per conoscere la  $A$  relativa al T20 ottimale, si imposta così la formula:

$$A = 0.16 * \frac{V}{T20_{ottimali}} = 0.16 * \frac{1080}{0.5} = 345.6 \quad [m^2]$$

Si sta calcolando sempre nella frequenza di 500 Hz, ma proprio perché è una frequenza centrale/base, le unità assorbenti ottimali trovate valgono per tutte le altre frequenze:

- **Unità assorbenti totali necessarie:** 345.6 m<sup>2</sup>

3) Le unità assorbenti da aggiungere sono quelle che si dovranno avere alla fine (cioè 345.6 m<sup>2</sup>) meno quelle che già il locale ha, cioè le unità assorbenti esistenti, ricavate più sopra col valore del tempo di riverbero.

Quindi:

- a 125 Hz → 345.6 – 130.612 = 214.988 m<sup>2</sup>

- a 250 Hz → 345.6 – 149.094 = 196.506 m<sup>2</sup>

- a 500 Hz → 345.6 – 171.089 = 174.511 m<sup>2</sup>

e così via per tutte le frequenze.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
Unità assorbenti da aggiungere [m <sup>2</sup> ]	214.988	196.506	174.511	178.805	161.966

2) A questo punto si va a cercare il materiale fonoassorbente in modo da rilevare il coefficiente di assorbimento acustico indicato alle varie frequenze.

#### α Rockfon

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
Coeff. Assorbimento materiale fonoassorbente "α"	0.5	0.85	1	0.9	1

Quindi resta da stabilire quanta superficie di questo materiale bisogna collocare.

La regola è metterlo a punto alle frequenze intermedie, 500 e 1000 Hz.

Come si vede, in corrispondenza di queste frequenze, il coefficiente di assorbimento è praticamente 1 e in tal caso le unità assorbenti sono circa uguali ai m<sup>2</sup> di materassino da mettere.

Si decide dunque di aggiungere nel locale 175 m<sup>2</sup> di superficie fonoassorbente (pannelli Rockfon).

5) Va calcolato l'assorbimento aggiuntivo che il nuovo materiale sta introducendo.

Ossia la superficie (sempre  $175 m^2$  per tutto il locale) moltiplicata per il coefficiente  $\alpha$  di assorbimento per ciascuna frequenza del materiale scelto:

$$(S * \alpha)$$

- a 125 Hz  $\rightarrow 175 * 0.5 = 87.5 m^2$
- a 250 Hz  $\rightarrow 175 * 0.85 = 148.75 m^2$
- a 500 Hz  $\rightarrow 175 * 1 = 175 m^2$

e così via per tutte le frequenze.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
Assorbimento aggiuntivo dovuto a $175 m^2$ di materiale fonoassorbente [ $m^2$ ]	87.5	148.75	175	157.5	175

Quindi le unità assorbenti totali finali risulteranno dalla somma di quelle originarie e di quelle aggiuntive, sempre per ciascuna frequenza:

- a 125 Hz  $\rightarrow 130.612 + 87.5 = 218.112 m^2$
- a 250 Hz  $\rightarrow 149.094 + 148.75 = 297.844 m^2$
- a 500 Hz  $\rightarrow 171.089 + 175 = 346.09 m^2$

e così via per tutte le frequenze.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
Unità assorbenti totali finali [ $m^2$ ]	218.112	297.844	346.089	324.295	358.634

Il valore ottimale che bisognava ottenere di circa 345.6 è vero a 500 Hz , è quasi vero a 2000 Hz ed è meno vero alle basse frequenze dove di solito ci sono più problemi.

6) Occorre verificare il nuovo T20 dopo l'intervento correttivo. Quindi, si ricalcola con la formula di Sabine:

$$T20 = 0.16 * \frac{V}{A_{finali}} \quad [s]$$

- a 125 Hz  $\rightarrow 0.16 * \frac{1080}{218.112} = 0.792 m^2$
- a 250 Hz  $\rightarrow 0.16 * \frac{1080}{297.844} = 0.580 m^2$
- a 500 Hz  $\rightarrow 0.16 * \frac{1080}{346.089} = 0.499 m^2$

e così via per tutte le frequenze.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000
Nuovo valore del T20	0.792	0.580	0.499	0.533	0.482

A questo punto è tradizione fare un grafico che evidenzi i valori del T20 prima e dopo l’intervento.

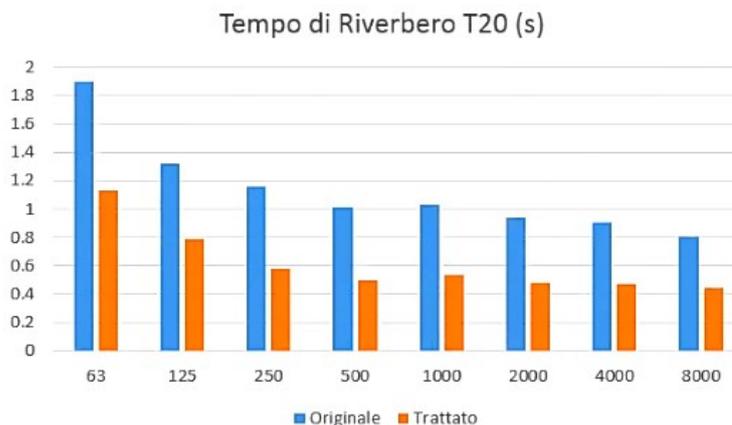


Fig.10 –Esempio di grafico dei tempi di riverbero dopo i miglioramenti.

## Considerazioni sui tempi di riverbero

L’assorbimento alle basse frequenze è sempre più difficile e richiede materiali particolari per abbattere il tempo di riverbero.

Nell’antichità spesso si contrastava il rimbombo e l’eco con gli “*acoustic pottery*”, vasi di terracotta conficcati nei muri con la bocca rivolta verso il pubblico.

Studi recenti scoprono che gli antichi conoscevano molti segreti del suono che utilizzavano per scopi evocativi e sacrali.

Oggi, in luogo dei vasi di terracotta, si usano speciali pannelli di legno che avendo la particolarità di assorbire le basse frequenze e di riflettere quelle più alte, restituiscono un suono più brillante, tanto che erroneamente si crede che il legno amplifichi il suono, ma questa è una prerogativa esclusiva degli altoparlanti.

**Infatti, tutti gli elementi costruttivi, in misura maggiore o minore al variare della frequenza, non possono che essere assorbitori dell’energia sonora, non possono certo generarne....**

Di solito sono più facilmente assorbite le alte frequenze e questo spiega perché i tempi di riverbero hanno valori più elevati alle basse frequenze che svaniscono più lentamente e conferiscono alle chiese quel timbro tipicamente cupo.

Il tempo di riverbero non è un numero unico per ogni locale, ma va reso corretto in funzione delle frequenze.

Esiste uno spettro ottimale del tempo di riverberazione che normalmente ammette maggiore durata alle basse frequenze, ma con moderazione, altrimenti si compromette la qualità dell'ascolto.

### Un cenno alla giusta collocazione dei materiali fonoassorbenti

Poiché un certo tempo ottimale di riverbero può rinforzare il parlato, oppure essere una qualità apprezzata nell'esecuzione musicale, bisogna collocare in modo strategico e mirato i materiali fonoassorbenti.

Di solito è bene che siano distanti dalla sorgente sonora e piuttosto collocati verso il fondo delle sale dove lo sfasamento temporale può risultare fastidioso.

Coefficienti di Assorbimento						
Tipo di superficie	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Mattoni a vista	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Intonaco dipinto	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Cemento	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
Moquette su cemento	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
Marmo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Linoleum	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Porte in legno	0,1	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04
Vetro	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Tendaggi	0,05	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35
Griglie di ventilazione	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4
Superficie dell'acqua	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Sedie in legno vuote	0,04	0,05	0,06	0,1	0,1	0,08
Sedie in legno occupate	0,3	0,41	0,49	0,84	0,87	0,84
Panche in legno vuote	0,1	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
Panche in legno occupate	0,5	0,56	0,66	0,76	0,8	0,76
Poltroncine vuote	0,49	0,66	0,8	0,88	0,82	0,7
Poltroncine occupate	0,6	0,74	0,88	0,96	0,93	0,85
Area con pubblico	0,25	0,35	0,42	0,46	0,5	0,5

Fig.12 –Coefficienti di assorbimento acustico di alcuni materiali.

### La normativa italiana in materia di Acustica

L'acustica è il settore più normato nell'edilizia in Italia e il mancato rispetto delle intricate norme può seriamente pregiudicare il rilascio dell'abitabilità.

Norme da applicare nell'edilizia con particolare riguardo a quella scolastica e residenziale, sono contenute nella ISO 3382 e per quanto riguarda le norme con valore di legge (procedendo in ordine cronologico) esse sono contenute:

- nel D.M. del 18/12/1975:  
 “Norme tecniche aggiornate relative all’edilizia scolastica ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica”
- nel D.P.C.M. del 05/12/1997:  
 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”

Il **D.M. del ’75**, come si evince dal titolo, si riferisce miratamente agli edifici scolastici, dettando norme dettagliate non solo sull’acustica, ma su tutti i parametri dell’edilizia scolastica, dall’illuminazione, ai sedili, agli infissi.

Il **D.P.C.M. del ’97** ha rappresentato una grossa novità in quanto per la prima volta ha dettato norme rivolte a tutti i tipi di edifici per tutte quelle parti che sono soggette a dei vincoli acustici, quindi affrontando problemi di fonoisolamento, di rumore di calpestio, di isolamento dei serramenti e di rumore degli impianti, pervadendo così l’iter progettuale di tutti gli edifici in Italia, pubblici e privati, di qualunque entità.

**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				
	$R'_w(*)$	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	$L_{ASmax}$	$L_{Aeq}$
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

Fig.13 – Classificazione degli edifici secondo il D.P.C.M. del 05/12/1997 e valori limite dei requisiti acustici da rispettare.

## Il paradosso dei tempi di riverbero negli edifici scolastici

a) Il D.M. del 18/12/75, a proposito del tempo di riverberazione testualmente recita: “il tempo di riverberazione nelle aule arredate non deve superare i limiti prescritti dalle presenti norme”

Questi limiti sono riportati in una coppia di grafici, che danno i valori dei tempi di riverbero in funzione dei volumi delle aule.

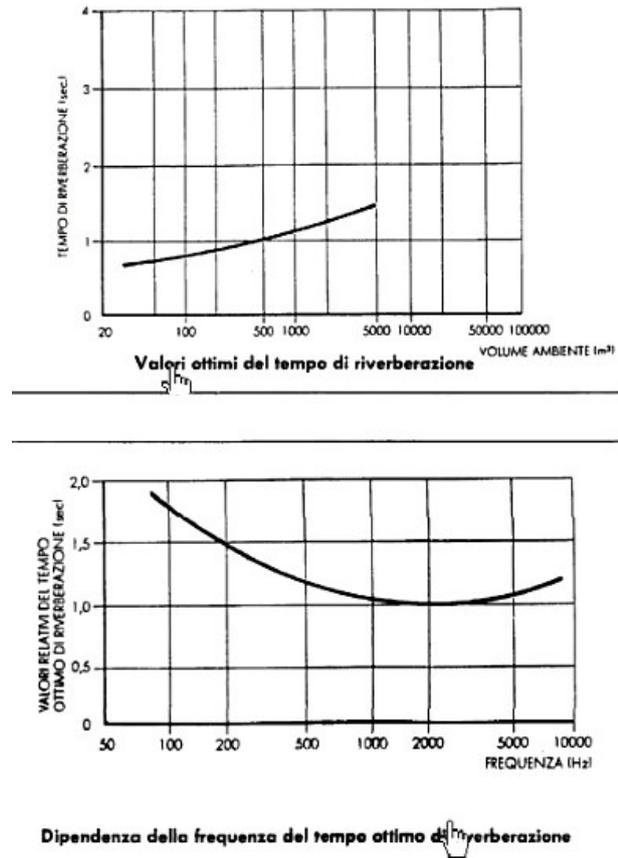


Fig.14 – Calcolo dei tempi di riverbero nelle aule scolastiche.

I due diagrammi vanno incrociati.

Su entrambi in ordinata sono graduati i tempi di riverbero e devono avere gli stessi valori.

I due diagrammi così come si presentano nel D.M. sono elaborati per una sala di  $1000\text{ m}^3$  e per una frequenza centrata su  $500\text{ Hz}$ .

Questo si deduce dal fatto che a questi valori corrisponde in entrambi i grafici il tempo di riverbero pari a  $1.2\text{ s}$ .

Ciò vuol dire che quando le sale hanno cubature differenti (e si parte dal volume perché è il primo dato in possesso del progettista) si parte dal primo grafico e si legge sull'ordinata il tempo di riverbero, quindi si ritrova lo stesso tempo nel secondo grafico e si scala in alto o in basso la relativa curva in modo che si ottenga il corrispondente andamento al variare delle frequenze.

Ad esempio se si ha un locale di  $100\text{ m}^3$  si vedrà sul primo grafico che il tempo di riverbero misura circa  $0.8\text{ s}$ , allora si va sul secondo grafico e si sposta la curva, in questo caso verso il basso, in modo che la frequenza di  $500\text{ Hz}$  corrisponda in ordinata al tempo di riverbero pari a  $0.8\text{ s}$  e quindi si leggono tutti i tempi di riverbero corrispondenti alle varie frequenze indicate.

Questo metodo empirico è il frutto di esperienza, perché non ci sono precise istruzioni in merito all'interno del D.M. stesso.

Va osservato che la curva del secondo grafico non è piatta e proprio per questo indica tempi diversi a diverse frequenze e si può notare che "spancia"

verso l'alto sulla sinistra, il che significa che il D.M. ammette tempi di riverbero più lunghi per le frequenze più basse, sempre più difficili da gestire.

Il sofisticato sistema previsto dal D.M. richiede una attenta cura nella scelta dei materiali per far sì che i coefficienti di assorbimento  $\alpha$ , che variano con la frequenza, possano soddisfare i tempi di riverbero indicati dal grafico.

Va anche sottolineato che il D.M. del '75 si riferisce a tutti i locali degli edifici scolastici.

b) Ma ecco che entra in vigore il D.P.C.M. del 05/12/1997 che procede ad una classificazione degli edifici in diverse categorie edilizie, e fissa una serie di parametri acustici, considerando gli edifici nel loro insieme, ma con alcune eccezioni.

Per determinate categorie edilizie fissa dei limiti per il tempo di riverberazione, e cioè per gli "edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili".

Ed inoltre emana definizioni relative ad alcuni singoli locali.

Il D.P.C.M. fa riferimento alla norma tecnica ISO 3382 e definisce il T20 imponendo di misurarlo con la tecnica impulsiva.

Ma per i valori dei tempi di riverbero in ambito scolastico richiama in vita una circolare del ministero dei lavori pubblici, la n° 3150 del 22 Maggio '67, che era stata superata dal D.M. del '75, conferendole valore di legge.

Questa circolare, precedente al D.M. del '75, era ormai da tempo caduta in disuso, tanto più che le circolari non sono leggi.

Essa si intitolava: "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici" e stabiliva che la "media" dei tempi di riverbero misurati alle quattro frequenze centrali (250, 500, 1000, 2000 Hz) non doveva superare 1.2 s, ad aule arredate e con la presenza di due persone (cioè i tecnici rilevatori) distanti tra loro almeno due metri.

Il D.P.C.M., recependo la vecchia circolare, ha reso vincolanti e inderogabili questi limiti, per cui in nessuna aula scolastica d'Italia, qualunque sia la sua cubatura, si può superare il tempo di riverbero medio di 1.2 s.

E analogamente fissa il tetto massimo dei tempi di riverbero per le palestre scolastiche che non devono superare 2.2 s.

E' evidente la coesistenza della doppia normativa, in quanto il D.M. del 1975 non è mai stato abrogato....

Le differenti disposizioni si riescono a combinare solo per il fatto che il D.P.C.M. parla di "media" e questo consente di ottemperare a entrambe le leggi vigenti.

Anche se non è così in tutti i casi e a volte bisogna operare delle scelte.

Quindi in conclusione, per le aule didattiche e per le palestre esiste un limite di legge, per di più doppio e diverso (tipico del modo ottuso di operare del legislatore italiano), mentre per tutti gli altri ambienti di vita e di lavoro sono disponibili solo "valori raccomandati" da varie fonti autorevoli, ma non ci sono limiti di legge vigenti.