

## MISURE DI TEMPI DI RIVERBERAZIONE DI UN SALONE MULTIFUNZIONALE, EFFETTUATE CON L'IMPIEGO DI DUE FONOMETRI CON DIFFERENTI CARATTERISTICHE DI ELABORAZIONE DEI DATI E CON DUE DIVERSE SORGENTI DI RUMORE DI TIPO IMPULSIVO. RISULTATI A CONFRONTO.

Paolo Affini (1), Laura Lupica Spagnolo (2), Silvia Quatrini (3)

1) Tecnico competente in acustica ambientale, Pavia (PV), info@acustica-applicata.it  
2) Tecnico competente in acustica ambientale, Belgioioso (PV), lupicaspagnolo@virgilio.it  
3) Alter Eco sas, Pavia (PV), altereco@alterecosas.it

### SOMMARIO

Una sala multifunzionale ad uso collettivo è stata sottoposta a una campagna di misure dei tempi di riverberazione, condotta impiegando contemporaneamente due fonometri di marca diversa, con differente modalità di elaborazione dei dati, e utilizzando due diverse sorgenti di rumore di tipo impulsivo (un clappatore e palloncini di dimensioni opportune). I risultati sono stati confrontati con i valori stimati mediante metodo analitico e con quelli ottimali, indicati da letteratura.

### 1. Descrizione dell'ambiente in esame

Le misure dei tempi di riverberazione sono state effettuate in un grande ambiente multifunzionale, realizzato al piano terra di un edificio destinato ad oratorio e recentemente ristrutturato, situato nel Comune di Pavia. L'ambiente in esame presenta una pessima qualità acustica, dovuta sia alle caratteristiche geometriche che a quelle costruttive: grande superficie in pianta, altezza contenuta, superfici riflettenti, ampie superfici vetrate e un'evidente simmetria (si può immaginare di dividere il volume in quattro parti uguali, seguendo l'andamento di travi e pilastri). Il disagio acustico (c.d. *discomfort*) risulta evidente a chiunque usufruisca di questo ambiente, sia per la difficoltà nell'intelligibilità del parlato, sia per la significativa rumorosità generata durante le normali attività ricreative (si precisa che l'ambiente è utilizzato soprattutto dai bambini della scuola primaria). Le caratteristiche geometriche dell'ambiente in esame sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche della sala.

Lunghezza	16,1	m
Larghezza	11,1	m
<b>Altezza</b>	<b>3,6</b>	<b>m</b>
Volume lordo	643,4	mc
Volumi pieni	9,1	mc
<b>Volume netto</b>	<b>634,2</b>	<b>mc</b>
<b>Superficie pavimento</b>	<b>178,7</b>	<b>mq</b>
Superficie soffitto	178,7	mq
Superficie pareti	195,8	mq
<b>Superficie parti vetrate</b>	<b>27,4</b>	<b>mq</b>
<b>Superficie parti opache</b>	<b>168,5</b>	<b>mq</b>

Per quanto riguarda le caratteristiche costruttive, il pavimento è in ceramica, il soffitto (in laterocemento) e le pareti verticali (in muratura piena) sono intonacati. Inoltre, l'ambiente in esame risulta avere pochi arredi (otto panche e quattro tavoli in legno, un tavolo da ping-pong e un "calcioaballilla"), e non sono presenti tendaggi.

### 2. Modalità di esecuzione delle misure

Per la misurazione del tempo di riverberazione è stato applicato il metodo della risposta integrata all'impulso, ma utilizzando due diverse sorgenti: un palloncino di dimensioni oppor-

tune e il clappatore. Inoltre, le misure sono state effettuate utilizzando contemporaneamente due fonometri di marca diversa e precisamente: Svantek 949 e Larson Davis 831. In pratica, per ogni posizione di rilievo, si è proceduto a misurare contemporaneamente con i due fonometri il decadimento sonoro generato prima dal palloncino e poi dal clappatore.

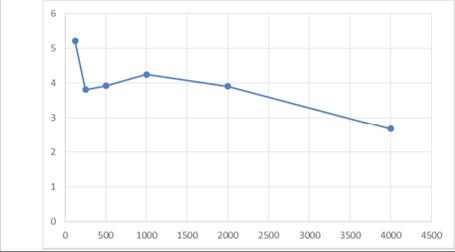
Lo scopo dell'indagine è stato quello non solo di verificare le caratteristiche acustiche della sala, ma anche di confrontare tra loro i risultati ottenuti dalle misure effettuate con i due fonometri diversi e con le due diverse sorgenti impulsive.

### 3. Risultati delle misure

Nelle tabelle seguenti si riporta la sintesi dei risultati del tempo di riverberazione (TR) misurati. Le tabelle sono associate al relativo grafico che rappresenta l'andamento in frequenza dei TR misurati.

Tabella 2 – TR misurati con Larson Davis 831 - sorgente impulsiva: palloncini

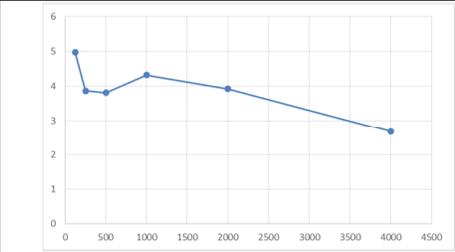
Hz	s
125	5,21
250	3,81
500	3,92
1000	4,25
2000	3,91
4000	2,67



Media su tutte le frequenze = 3,96 s  
Media tra 500 Hz e 100 Hz = 4,08 s

Tabella 3 – TR misurati con Larson Davis 831 - sorgente impulsiva: clappatore

Hz	s
125	4,98
250	3,87
500	3,81
1000	4,32
2000	3,92
4000	2,68



Media su tutte le frequenze = 3,93 s  
Media tra 500 Hz e 100 Hz = 4,06 s

Tabella 4 – TR medi (clappatore e palloncini) misurati con Svantek 949

Hz	s
125	4,74
250	3,76
500	3,77
1000	4,26
2000	3,89
4000	2,77

Media su tutte le frequenze = 3,86 s  
Media tra 500 Hz e 1000 Hz = 4,01 s

Dall'analisi dei risultati sopra riportati, si è potuto accertare che non emergono differenze significative dal confronto tra i valori dei tempi di riverberazione ottenuti con le due differenti modalità di elaborazione dei dati e con le due diverse sorgenti di rumore. Certo non si può non rilevare la maggiore semplicità di utilizzo del software.

#### 4. Stima dei Tempi di Riverberazione

La stima dei tempi di riverberazione è stata eseguita ricorrendo alla formula di Sabine – metodo analitico che si basa sui coefficienti di fonoassorbimento dei materiali che compongono la sala, ricavati da dati di letteratura, sull'estensione superficiale di tali rivestimenti e sul volume dell'ambiente in esame – nonché utilizzando il calcolatore presente sul portale PAF (Portale Agenti Fisici), che applica il metodo di Eyring-Norris.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei tempi di riverberazione stimati e di quelli misurati durante la campagna di rilevazioni fonometriche (valori medi).

Per completezza si riporta anche una tabella che riassume i valori medi di TR, distinguendo tra medie ottenute considerando tutte le frequenze e quelle ottenute tenendo conto dei valori a 500 Hz e 1000 Hz.

Tabella 5 – risultati dei TR stimati e misurati

Hz	Valore stimato (formula Sabine)	Valore stimato (PAF)	Valore misurato (medio)
125	0,86 s	1,72 s	4,98 s
250	1,90 s	2,59 s	3,81 s
500	2,72 s	4,55 s	3,83 s
1000	3,42 s	4,61 s	4,28 s
2000	3,57 s	4,98 s	3,91 s
4000	4,15 s	4,74 s	2,71 s

Tabella 6 – media dei risultati di TR stimati e misurati

Medie	Valore stimato (formula Sabine)	Valore stimato (PAF)	Valore misurato (medio)
Tutte le frequenze	2,77 s	3,86 s	3,92 s
Tra 500 e 1000 Hz	3,07 s	4,58 s	4,05 s

Dal confronto tra i valori misurati dei tempi di riverberazione e quelli stimati risultano differenze anche molto significative, come appare ben evidente dalla tabella sopra riportata.

Le divergenze tra i valori teorici (formula di Sabine e PAF) possono essere ricondotte, oltre che al diverso modello di calcolo, a una probabile differenza tra i valori dei coefficienti di assorbimento assunti, essendo disponibili in letteratura coefficienti con valori diversi.

Per quanto riguarda la differenza tra i valori teorici e quelli misurati, si può supporre che le caratteristiche geometriche dell'ambiente in esame non siano adeguate all'applicazione della formula di Sabine, la quale presuppone ambienti con le tre dimensioni di lunghezza paragonabili. Tale condizione può portare a tempi di riverberazione sottostimati.

#### 5. Valutazione dei tempi di riverberazione

Per l'ambiente in esame, destinato prevalentemente al parlato e ad attività ricreative, non esistono riferimenti legislativi che indichino valori ottimali di tempo di riverberazione. Per tale motivo, per la valutazione dei tempi di riverberazione si è proceduto a confrontare i risultati delle misurazioni con i valori indicati dalla norma UNI 11367:2010. Tale norma fornisce l'espressione matematica per calcolare il valore di TR ottimale medio tra 500 Hz e 1000 Hz che, per gli ambienti adibiti al parlato, risulta essere:  $T_{ott} = 0,32 \lg(V) + 0,03$  [s]. Inoltre, la norma suggerisce anche che i valori ottimali di TR siano inferiori o uguali a  $1,2 \times T_{ott}$ , per tutte le bande di ottava comprese fra 250 Hz e 4000 Hz ( $T_{lim sup} \leq 1,2 T_{ott}$ ). Nella seguente tabella si riportano i risultati di tali confronti.

Tabella 7 – Confronto con i parametri definiti dalla norma UNI 11367:2010

Valutazione sulla media tra 500 Hz e 1000 Hz			Valutazione sulle singole bande d'ottava da 250 a 4000 Hz	
TR misurato	$T_{ott}$	Confronto	$T_{lim sup}$	Confronto
4,05	0,90	<b>TR &gt; <math>T_{ott}</math></b>	1,08	<b>TR da 250 a 4000 Hz &gt; <math>T_{lim sup}</math></b>

Dalle misure effettuate risulta che l'ambiente in esame è caratterizzato da tempi di riverberazione sensibilmente superiori a quelli indicati dalla norma UNI 11367:2010, condizione che mette in evidenza la necessità di effettuare interventi migliorativi, i quali, tuttavia, potrebbero comportare un significativo impegno economico. Per migliorare la qualità acustica, fino a raggiungere risultati dello stesso ordine di grandezza di quelli indicati dalla norma UNI, occorrerà infatti applicare direttamente sull'intradosso del solaio e, qualora non fosse sufficiente, anche su porzioni di pareti verticali e di pilastri, del materiale con spiccate caratteristiche fonoassorbenti, dopo averne determinato la superficie e il valore di coefficiente di assorbimento acustico; in alternativa, è ipotizzabile l'utilizzo di un sistema tipo *baffles* da abbinare ad un rivestimento fonoassorbente delle travi in c.a. nude.

#### 6. Conclusioni

L'indagine sui tempi di riverberazione nella grande sala multifunzionale ad uso collettivo dell'oratorio è stata condotta non solo per verificarne le caratteristiche acustiche, ma anche per confrontare tra loro i risultati ottenuti dalle misure effettuate con due fonometri diversi e con due diverse sorgenti impulsive. Dall'indagine si è potuto accertare che:

- i valori misurati dei tempi di riverberazione non soddisfano i parametri qualitativi indicati nella norma UNI 11367:2010;
- non emergono differenze dal confronto tra i valori dei tempi di riverberazione ottenuti con le due differenti modalità di elaborazione dei dati e con le due diverse sorgenti impulsive;
- risultano differenze significative dal confronto tra i valori misurati dei tempi di riverberazione e quelli stimati.

#### 7. Bibliografia

- [1] <http://www.portaleagentifisici.it/>