

# **Analisi acustiche di un Bedroom Home Studio**

**Luca Spanedda**

*June, 2021*

## **Abstract**

La Home recording è la pratica di registrare e produrre musica in un'abitazione privata anziché in uno studio di registrazione professionale. L'accessibilità alle tecnologie e i recenti sviluppi della computer music, nel tempo hanno portato alla possibilità di poter lavorare sulla produzione musicale direttamente dalla propria abitazione. Durante il periodo pandemico del COVID-19 inoltre c'è stato un drammatico incremento del lavoro di produzione musicale svolto direttamente da casa anziché negli studi di registrazione professionali adatti a tale scopo; i futuri risvolti di questa situazione non si possono prevedere ma è molto probabile che questa condizione abbia portato almeno in parte ad un cambio di paradigma permanente. Tali motivi mi hanno portato a considerare la problematica più importante causata da questa situazione, rispetto a quella di uno studio di registrazione professionale: l'acustica dell'ambiente, che in una situazione casalinga difficilmente riesce ad eguagliare i livelli qualitativi di uno studio di registrazione professionale per gli scopi musicali. In questa analisi cercherò di mettere in luce le risposte acustiche del mio Bedroom Home Studio cercando di capire come e quali interventi possono essere fatti per migliorare l'acustica dell'ambiente, sulla base dei dati analitici per lo scopo di produzione musicale.

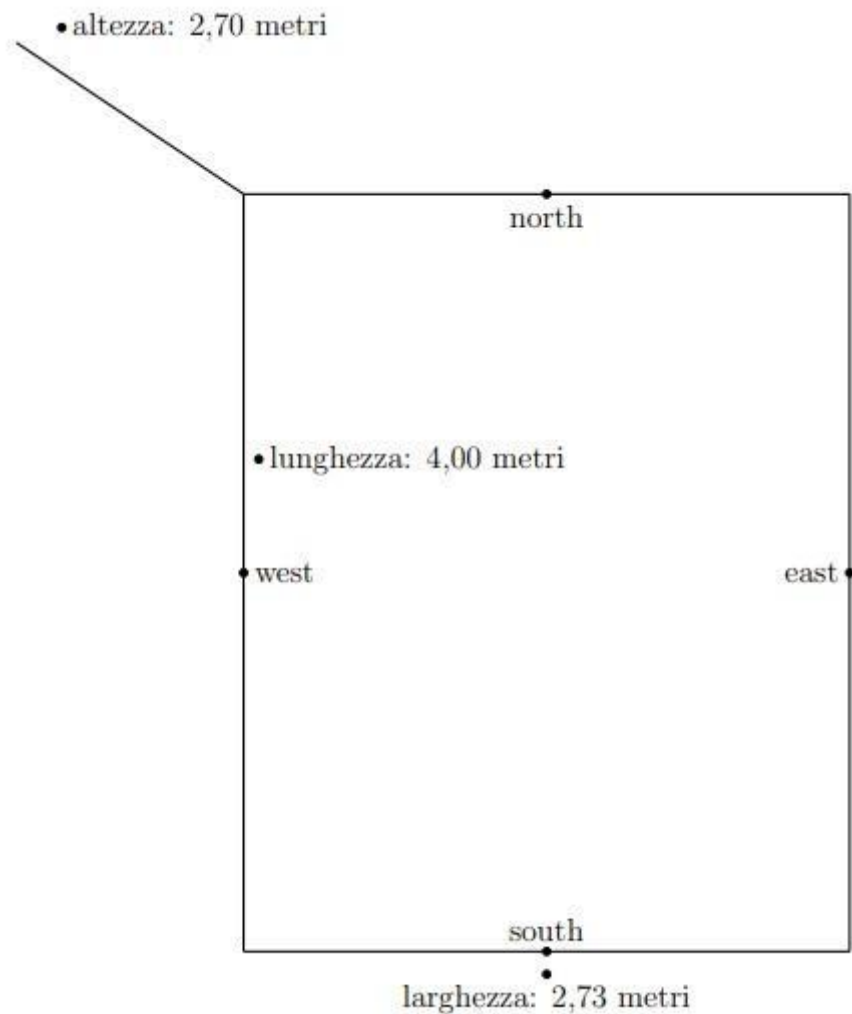
## La stanza (vuota)

La stanza è appartenente ad una villa. Le pareti sono costruite in diversi materiali a causa delle differenti funzioni dal punto di vista architettonico.

Rispetto alla disposizione degli spazi esposti nella mappa:

la parete "west" è costruita in siporex e quella "east" (che sporge verso l'esterno della villa) in tufo. La parete "north" è in foratino e quella "south" nuovamente in tufo. Il pavimento è in foratino su cui sopra la pavimentazione è stata fatta in marmo (lo strato di marmo è però molto spesso ed ha forse una rilevanza per l'acustica superiore), per ultimo sopra il marmo è posto uno strato di parquet in legno. Infine il soffitto, che divide la villa da un piano superiore, è nuovamente in foratino come parte della pavimentazione.

Il tutto per un totale di Superficie: 58.18 m2 e Volume: 29.48 m3.



## SPL della Stanza

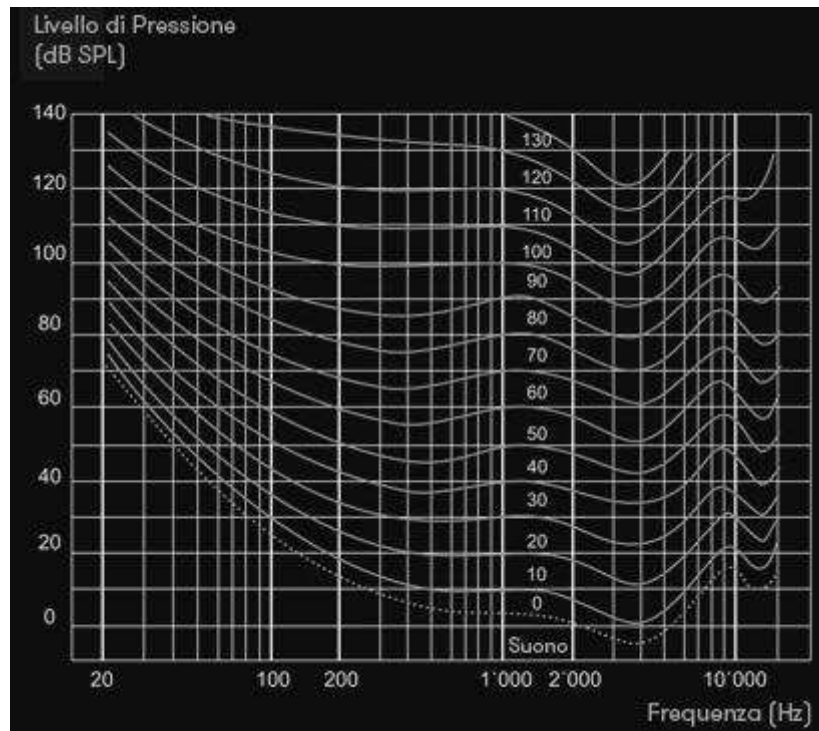
La prima cosa che possiamo fare è misurare il livello di pressione sonora, o SPL (sound pressure level) del rumore residuo della stanza, che viene misurato in Decibel (dB SPL). Il normale orecchio umano può rilevare suoni compresi tra 0 dB -soglia dell'udito- e circa 140 dB -soglia del dolore-, con suoni tra 120 dB e 140 dB che possono causare danni permanenti all'udito. Il valore di riferimento che presenterò a seguito rappresenta la soglia minima in un arco temporale di 4 minuti c.a.

Intanto riporto qui una tabella di riferimento di alcuni valori **dB SPL** presa dalla pagina di wikipedia sul Decibel:

<https://it.wikipedia.org/wiki/Decibel#Acustica>

dB <sub>SPL</sub>	Sorgente
250	Il rumore di un tornado
200	Schiocco della chela di un <u>gambero pistola</u>
180	Razzo al decollo
140	Colpo di pistola a 1 m, auto di Formula 1
130	Soglia del dolore
125	Aereo al decollo a 50 m
120	Sirena
110	Motosega a 1 m
100	Discoteca, concerto rock
90	Urlo, fischietto
80	Camion pesante a 1 m
70	Aspirapolvere a 1 m; radio ad alto volume
60	Ufficio rumoroso, radio, conversazione
50	Ambiente domestico; teatro a 10 m
40	Quartiere abitato, di notte
30	Sussurri a 1 m
20	Respiro umano
0	Soglia dell'udibile
-9	Camera anecoica <sup>[2]</sup>

Il fonometro utilizzato per tale misurazione è della marca V·RESOURCING [Portable Sound Level Meter], e misura il valore in **dB** facendo riferimento alla curva di pesatura “**A**” (di 40 phon). A seguito un grafico di riferimento:



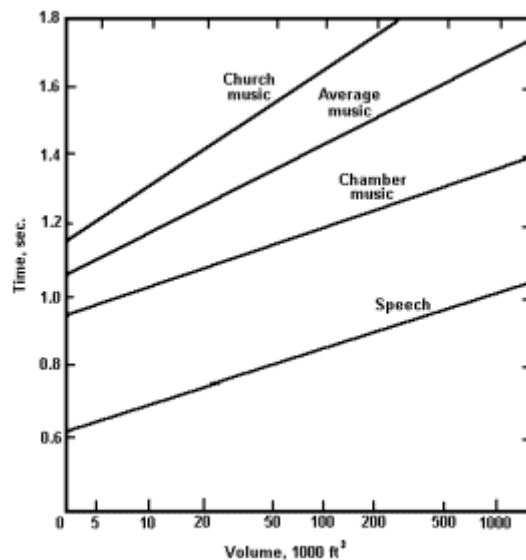
fonte:

<https://it.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=idee-suggerimenti/guida-fonometro>

Per la misurazione ho riportato qui il valore di riferimento minimo misurato nella stanza grazie alla funzione di blocco del valore minimo/massimo del fonometro, questo è di: **42 dBA** che rappresenta un buon dato per un ambiente domestico nel pomeriggio.

## RT60 e Frequenza di Schroeder

RT60 è il Tempo di Riverberazione, definito come il tempo necessario alla risposta all'impulso per decadere di 60dB; prima di procedere ai calcoli in questione riporto qui una piccola tabella di riferimento con i tempi di riverberazione ottimali per le differenti funzioni. Il grafico contiene i valori di decadimento a 500 Hz in funzione del volume in ft (1 ft = 0,3048 metri) di un dato spazio per varie classi di utilizzo:



fonte:

<http://www.acoustics.com.ph/reverberation.html>

In primo luogo ho deciso di operare sulle informazioni che abbiamo riguardo la stanza vuota cercando di calcolare secondo un approccio al campo diffuso il tempo di riverbero T60 secondo la formula di Sabine:

$$TR_{60} = \frac{0.161 V}{A}$$

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

$T_{60} = 0,161 \cdot (V/A)$ . Dove  $T_{60}$  sta per il valore (T) in secondi di estinzione dell'energia sonora di 60dB; V è il Volume in metri cubi della stanza, e A = alla sommatoria di ogni grandezza in Metri quadri delle pareti della stanza moltiplicate ognuna per il proprio coefficiente di assorbimento:  $(A_1 \cdot S_1) + (A_2 \cdot S_2) \dots$ . L'A sono i mq e l'S (Alfa di Sabine): indica la percentuale di suono che un materiale è in grado di assorbire quando viene investito dall'onda acustica. E' un numero compreso tra 0 ed 1 ed indica un valore percentuale. Esempio: 0,3 equivale ad un assorbimento del 30 per cento dell'energia dell'onda acustica, mentre il restante 0,7 viene riflesso. La formula di Sabine ignora il coefficiente di assorbimento dell'aria che viene invece integrato dalla formula di Norris e Eyring:

$$T_{60} = 0,16 \cdot \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

per il momento ignoriamo l'assorbimento dell'aria e concentriamoci sulla risposta dell'ambiente e l'assorbimento delle differenti pareti. In un ambiente così piccolo solitamente i tempi di decadimento della riverberazione non sono così grandi da produrre un valore che metta particolarmente in evidenza la funzionalità di questo approccio al campo diffuso, tuttavia tale approccio può comunque fornire dei risultati e delle informazioni rilevanti per lo studio, in particolare dell'assorbimento dei materiali all'interno della stanza.

Per il calcolo del RT60 con la formula di Sabine ho utilizzato il seguente calcolatore online:

<http://www.csghnetwork.com/acousticreverbdelaycalc.html>

che tiene in considerazione la dipendenza dei coefficienti di assorbimento dalla frequenza per diversi materiali di esempio.

I coefficienti di assorbimento usati da questo calcolatore provengono da:

*Table Of Absorption Coefficients for various materials*

pubblicato dal

*National Department of Measurements, concerning area acoustics*

link per scaricare il documento a seguito:

[https://cds.cern.ch/record/1251519/files/978-3-540-48830-9\\_BookBackMatter.pdf](https://cds.cern.ch/record/1251519/files/978-3-540-48830-9_BookBackMatter.pdf)

Procedendo dunque all'applicazione della formula di Sabine avremo che:

- **{125Hz}**

Estimated Probable RT60 value of this room is seconds:  
0.59

Probable best case RT60 value of this room is seconds:  
0.4779

Probable worst case RT60 value of this room is seconds:  
0.7021

- **{250Hz}**

Estimated Probable RT60 value of this room is seconds:  
1.04

Probable best case RT60 value of this room is seconds:  
0.8424

Probable worst case RT60 value of this room is seconds:  
1.2376

- **{500Hz}**

Estimated Probable RT60 value of this room is seconds:  
0.95

Probable best case RT60 value of this room is seconds:  
0.7695

Probable worst case RT60 value of this room is seconds:  
1.1305

- **{1000Hz}**

Estimated Probable RT60 value of this room is seconds:  
0.93

Probable best case RT60 value of this room is seconds:  
0.7533

Probable worst case RT60 value of this room is seconds:  
1.1067

- **{2000Hz}**

Estimated Probable RT60 value of this room is seconds:  
0.78

Probable best case RT60 value of this room is seconds:  
0.6318

Probable worst case RT60 value of this room is seconds:  
0.9282

- **{4000Hz}**

Estimated Probable RT60 value of this room is seconds:  
0.84

Probable best case RT60 value of this room is seconds:  
0.6804

Probable worst case RT60 value of this room is seconds:  
0.99959

Sulla base di questi calcoli teorici possiamo provare a calcolare una frequenza di Schroeder della stanza. La frequenza di Schroeder segna il confine tra la regione modale e quella della diffusione: al di sotto di tale frequenza il ruolo dei modi naturali nella determinazione del campo è rilevante, mentre al di sopra è più sensato utilizzare metodologie basate sull'acustica geometrica e statistica. La frequenza di Schroeder Solitamente negli ambienti domestici si trova tra 100 e 250 Hz.

La frequenza di Schroeder si calcola:

$$\text{Frequenza di Schroeder} = 2000 \sqrt{\frac{T60}{\text{Volume}}} \text{ (in Hz)}$$

Dove T60 è il tempo di decadimento precedentemente calcolato in secondi e V è il volume della stanza in metri cubi. Con amroc:

<https://amcoustics.com/tools/amroc?l=400&w=273&h=270&r60=0.59>

è possibile calcolare la frequenza di Schroeder a partire dalla descrizione delle dimensioni dell'ambiente passando un valore RT60; avremo quindi per i vari valori RT60 precedentemente calcolati che:

- **{RT60: 0.59}**  
Schroederfrequency: 283 Hz  
Critical distance: 0.4 m
- **{RT60: 1.04}**  
Schroederfrequency: 376 Hz  
Critical distance: 0.3 m
- **{RT60: 0.95}**  
Schroederfrequency: 359 Hz  
Critical distance: 0.32 m
- **{RT60: 0.93}**  
Schroederfrequency: 355 Hz  
Critical distance: 0.32 m
- **{RT60: 0.78}**  
Schroederfrequency: 325 Hz  
Critical distance: 0.35 m
- **{RT60: 0.84}**  
Schroederfrequency: 338 Hz  
Critical distance: 0.34 m

Questo calcolo è comunque ovviamente approssimativo poiché non stiamo prendendo in considerazione il fatto che la stanza in questione è popolata da oggetti che contribuiscono ad un assorbimento importante del suono, e non stiamo prendendo in considerazione il coefficiente di assorbimento dell'aria.

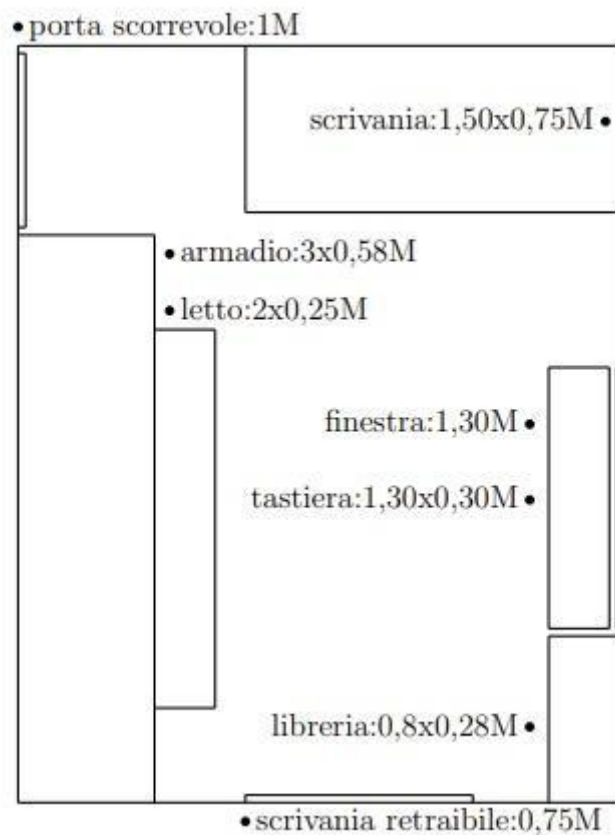


## La stanza arredata

Procedo ora ad una illustrazione della stanza arredata completa delle misurazioni delle dimensioni degli oggetti che la popolano. Lungo le pareti è presente da un lato un armadio-letto e dall'altro lato una piccola libreria con una finestra ed una tastiera. La scrivania è il punto da dove la stanza viene irradiata in fase di lavoro o ascolto di musica, le due casse monitor utilizzate per tale scopo sono sul tavolo rivolte verso la parete "south".

Visto il quantitativo di oggetti lungo le pareti: le dimensioni della stanza risultano ridotte rispetto a quelle effettive, e aumentano quelli che sono i fattori che contribuiscono ad assorbire il suono e dunque attenuare la riflessione. Rispetto a quelli che sono i calcoli fatti fino ad ora nella stanza vuota.

Per avere un buon fattore indicativo di quella che è al risposta modale della stanza è necessario passare alle misurazioni.

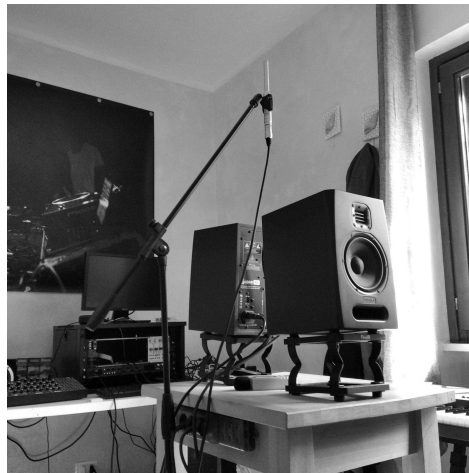


## Misurazione con Room EQ Wizard (REW)

Room Eq Wizard è un'applicazione Java scritta da John Mulcahy, adatta all'esecuzione di misure audio relative alla risposta di una stanza e al conteggio delle sue risonanze modali.

Per la misurazione con REW ho utilizzato:

- **1 Scheda Audio Focusrite Scarlett 18i20:**  
Con due canali di uscita e uno di ingresso misurati in loopback  
per correggere le eventuali colorazioni introdotte dalla scheda audio  
nella misurazione.
- **2 Casse Monitor ADAM F5:**  
Posizionate in un Pattern a Figura 8 (affacciate in direzioni opposte),  
per cercare un'irradiazione il più possibilmente vicina ad un pattern omnidirezionale.
- **1 Microfono Omnidirezionale Behringer ECM8000:**  
Posto con un fattore di elevazione con la capsula a circa mezzo metro rispetto alle monitor,  
al centro del pattern a figura ad 8.



{Fotografia del Setup posto al centro della stanza}

## Risposta in frequenza della misurazione

Per la risposta in frequenza della stanza ho deciso di concentrarmi sulla parte dello spettro che va da 0 Hz a 200 Hz (leggermente sotto a quella che dovrebbe essere la frequenza di Schroeder dell'ambiente calcolata in precedenza).

Ognuno di questi elementi contribuisce insieme alla stanza, sulla base delle sue caratteristiche fisiche, a determinare il carattere della risposta in frequenza.

Le caratteristiche riportate dai costruttori nelle schede tecniche degli elementi hardware che compongono la catena elettroacustica sono le seguenti:

Le monitor utilizzate per irradiare l'ambiente nella misurazione tuttavia hanno una risposta in frequenza dichiarata all'interno del proprio manuale che va da 52 Hz a 50 kHz :

14. Technical Data / Technische Daten			
	F5	F7	SubF
Tweeter	ART	ART	-
Velocity Transfer Ratio	4:1	4:1	-
Woofer	127 mm / 5"	177 mm / 7"	203 mm / 8"
Woofer Material	Glass Fibre/Paper	Glass Fibre/Paper	Glass Fibre/Paper
Built-in Amplifiers	2; Type A/B	2; Type A/B	1; PWM
Woofer Channel <sup>1/2</sup>	25 W/35 W	60 W/85 W	110 W/150 W
Tweeter Channel <sup>1/2</sup>	25 W/35 W	40 W/55 W	-
Volume Control <sup>3</sup>	-∞ to +6 dB	-∞ to +6 dB	-∞ to +12 dB
High Shelf EQ > 5 kHz	± 6 dB	± 6 dB	-
Low Shelf EQ < 300 Hz	± 6 dB	± 6 dB	-
Frequency Response	52 Hz - 50 kHz	44 Hz - 50 kHz	30 Hz - 50...120 Hz

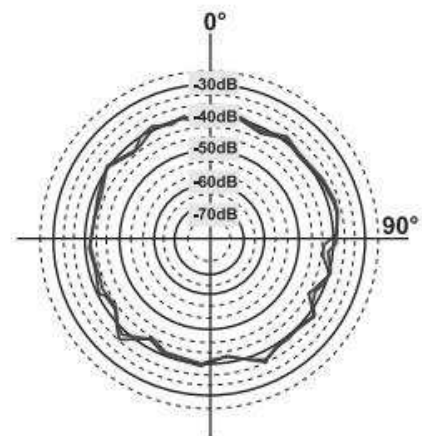
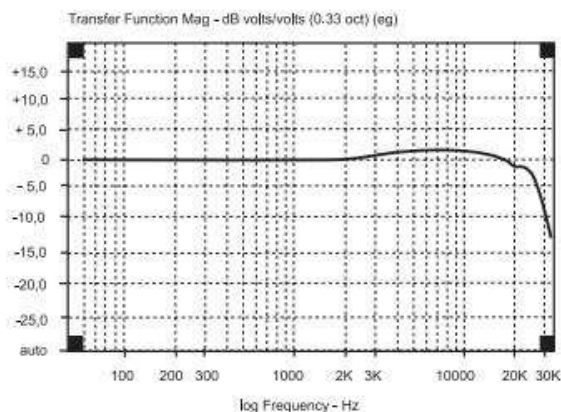
fonte:

<https://www.adam-audio.com/content/uploads/2016/11/adam-audio-user-manual-f-series-en-de-cn.pdf>

Mentre per la scheda audio e il microfono utilizzato per la misurazione:

## - BEHRINGER ECM8000

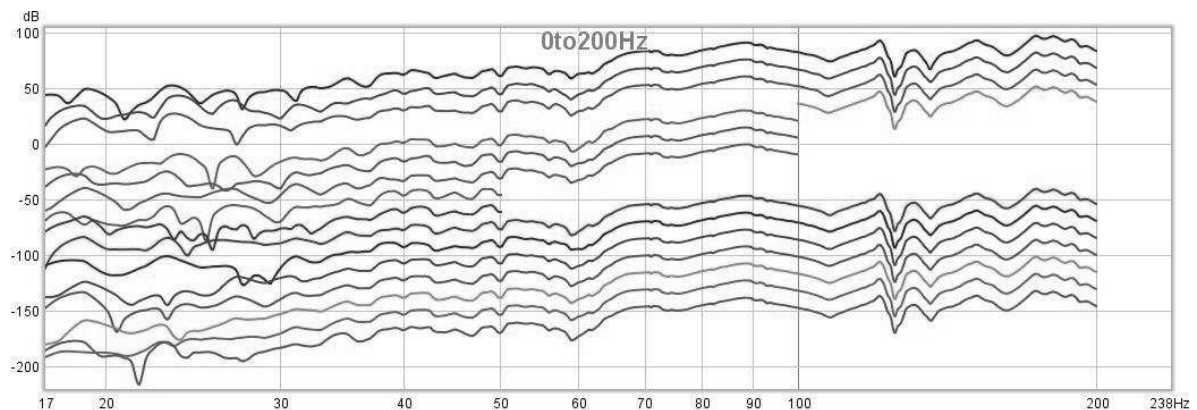
Type	electret condenser, omni-directional
Impedance	600 Ohms
Sensitivity	-60 dB
Frequency response	15 Hz to 20 kHz
Connector	gold-plated XLR
Phantom power	+15 V to +48 V
Weight	app. 120 g



## - FOCUSRITE SCARLETT 18i20

Microphone Inputs 1 to 8	
Dynamic Range	111 dB (A-weighted)
Frequency Response	20 Hz to 20 kHz $\pm 0.1$ dB
THD+N	< 0.0012% (minimum gain, -1 dBFS input with 22 Hz/22 kHz bandpass filter)
Noise EIN	-128 dB (A-weighted)
Maximum Input Level	+9 dBu (no PAD); +16 dBu (PAD selected); measured at minimum gain
Gain Range	56 dB
Input Impedance	3 kohms
Line Outputs 1 to 10	
Dynamic Range	108.5 dB (A-weighted)
Maximum Output Level (0 dBFS)	+15.5 dBu (balanced)
THD+N	< 0.002% (minimum gain, -1 dBFS input with 22 Hz/22 kHz bandpass filter)
Output Impedance	430 ohms

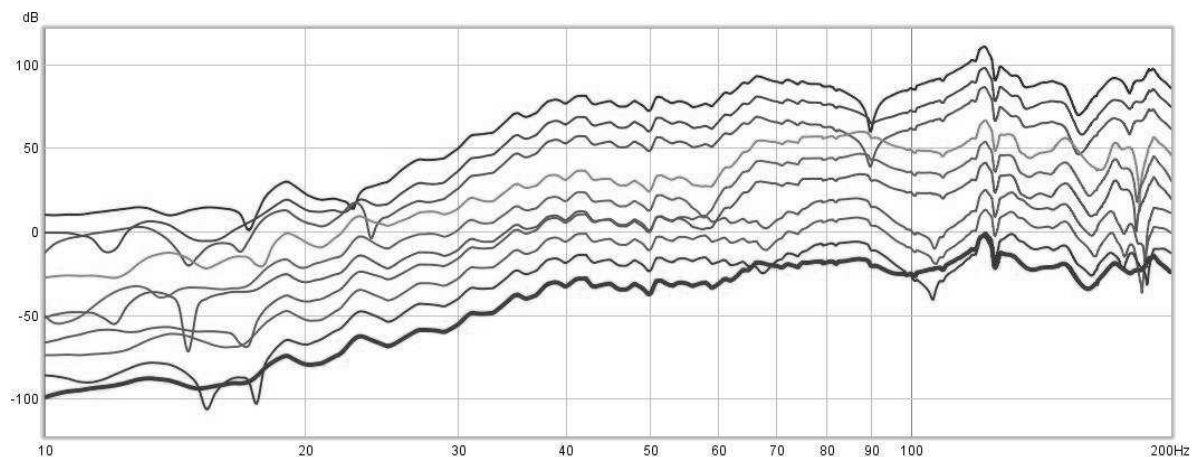
Bisognerà quindi ignorare la prima parte dello spettro di queste misurazioni che non ci informa di nessun dato utile riguardo i modi della stanza. Nel grafico a seguito sono riportate le varie misurazioni:



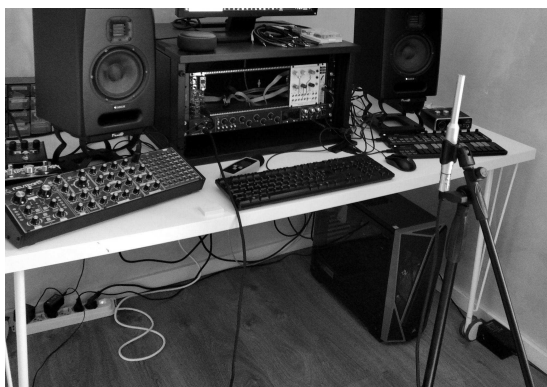
{Misurazioni dal centro della stanza 0-200Hz}

Queste misurazioni sono relative al setup indicato con le monitor in Figura 8 al centro della stanza e il microfono elevato di mezzo metro al centro di queste, e il loro scopo è quello di raggiungere un pattern omnidirezionale di diffusione dell'impulso per ricavare da questo informazioni riguardo le regioni modali. Le misurazioni sembrano essere abbastanza lineari ad eccezione della formazione di qualche nodo o ventre riguardo il quale si potrebbe decidere di prendere alcuni provvedimenti: a 58Hz, 120 e 124Hz, 130 e 136Hz, 161Hz.

Invece una seconda fase di misurazione è stata fatta con un differente setup: posizionando il microfono al posto dell'ascoltatore nella posizione di lavoro in studio, e le monitor nella loro posizione per l'ascolto sulla scrivania (foto in basso sotto al grafico delle misurazioni); è stato fatto per cercare di avere idea della risposta in frequenza che si ottiene dalla stanza in quella posizione di lavoro.



{Misurazioni dalla postazione di lavoro}

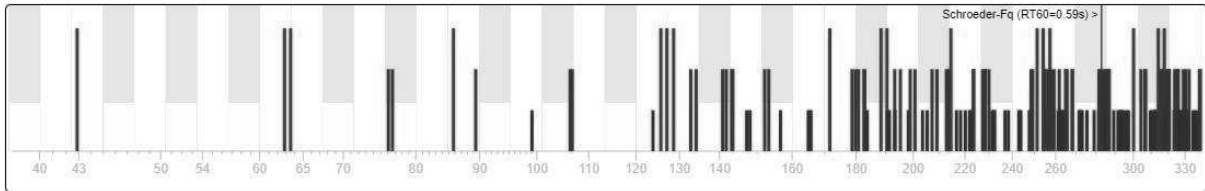


### {Postazione di lavoro}

Possiamo notare da questa misurazione alcuni problemi riguardanti enfasi e de-enfasi sul range frequenziale che parte da  $90\text{Hz}$  e arriva ai  $200\text{Hz}$ . Si potrebbe valutare anche in questo caso un intervento al riguardo per attenuare alcuni di questi comportamenti in questa posizione, che risultano aggravati rispetto alle misurazioni fatte con il setup dal centro della stanza con il pattern omnidirezionale.

# Simulazione Modale

Possiamo estendere i dati in nostro possesso utilizzando nuovamente amroc per simulare rispetto al modello virtuale della stanza vuota una risposta modale dell'ambiente. Come già ribadito per le simulazioni fatte in precedenza, la simulazione esposta qui, e quella tramite il ray tracing esposta a seguito, sono descrittori di una situazione ideale e non rappresentano la situazione reale della stanza arredata.



{Simulazione Modale a stanza vuota}

Per un RT = 0.59 le prime 102 risposte modali dell'ambiente virtuale sono le seguenti:

1	42.88 Hz	F1	1-0-0	ax 2	62.82 Hz	B1	0-1-0	ax 3	63.52 Hz	B1	0-0-1	ax
4	76.06 Hz	D2#	1-1-0	tan 5	76.63 Hz	D2#	1-0-1	tan 6	85.75 Hz	F2	2-0-0	ax
7	89.34 Hz	F2	0-1-1	tan 8	99.09 Hz	G2	1-1-1	obl 9	106.3 Hz	G2#	2-1-0	tan
10	106.71 Hz	G2#	2-0-1	tan 11	123.83 Hz	B2	2-1-1	obl 12	125.64 Hz	B2	0-2-0	ax
13	127.04 Hz	B2	0-0-2	ax 14	128.63 Hz	C3	3-0-0	ax 15	132.76 Hz	C3	1-2-0	tan
16	134.08 Hz	C3	1-0-2	tan 17	140.78 Hz	C3#	0-2-1	tan 18	141.72 Hz	C3#	0-1-2	tan
19	143.15 Hz	D3	3-1-0	tan 20	143.45 Hz	D3	3-0-1	tan 21	147.17 Hz	D3	1-2-1	obl
22	148.06 Hz	D3	1-1-2	obl 23	152.11 Hz	D3#	2-2-0	tan 24	153.27 Hz	D3#	2-0-2	tan
25	156.61 Hz	D3#	3-1-1	obl 26	164.84 Hz	E3	2-2-1	obl 27	165.64 Hz	E3	2-1-2	obl
28	171.5 Hz	F3	4-0-0	ax 29	178.67 Hz	F3	0-2-2	tan 30	179.81 Hz	F3#	3-2-0	tan
31	180.78 Hz	F3#	3-0-2	tan 32	182.64 Hz	F3#	4-1-0	tan 33	182.88 Hz	F3#	4-0-1	tan
34	183.75 Hz	F3#	1-2-2	obl 35	188.46 Hz	F3#	0-3-0	ax 36	190.56 Hz	G3	0-0-3	ax
37	190.7 Hz	G3	3-2-1	obl 38	191.39 Hz	G3	3-1-2	obl 39	193.28 Hz	G3	1-3-0	tan
40	193.37 Hz	G3	4-1-1	obl 41	195.32 Hz	G3	1-0-3	tan 42	198.18 Hz	G3	2-2-2	obl
43	198.88 Hz	G3	0-3-1	tan 44	200.64 Hz	G3	0-1-3	tan 45	203.45 Hz	G3#	1-3-1	obl
46	205.17 Hz	G3#	1-1-3	obl 47	207.05 Hz	G3#	2-3-0	tan 48	208.96 Hz	G3#	2-0-3	tan
49	212.6 Hz	G3#	4-2-0	tan 50	213.43 Hz	G3#	4-0-2	tan 51	214.38 Hz	A3	5-0-0	ax
52	216.58 Hz	A3	2-3-1	obl 53	218.2 Hz	A3	2-1-3	obl 54	220.16 Hz	A3	3-2-2	obl
55	221.88 Hz	A3	4-2-1	obl 56	222.48 Hz	A3	4-1-2	obl 57	223.39 Hz	A3	5-1-0	tan
58	223.59 Hz	A3	5-0-1	tan 59	227.28 Hz	A3#	0-3-2	tan 60	228.17 Hz	A3#	3-3-0	tan
61	228.25 Hz	A3#	0-2-3	tan 62	229.9 Hz	A3#	3-0-3	tan 63	231.29 Hz	A3#	1-3-2	obl
64	232.24 Hz	A3#	1-2-3	obl 65	232.24 Hz	A3#	5-1-1	obl 66	236.85 Hz	A3#	3-3-1	obl
67	238.33 Hz	A3#	3-1-3	obl 68	242.92 Hz	B3	2-3-2	obl 69	243.82 Hz	B3	2-2-3	obl
70	247.66 Hz	B3	4-2-2	obl 71	248.48 Hz	B3	5-2-0	tan 72	249.19 Hz	B3	5-0-2	tan
73	251.28 Hz	B3	0-4-0	ax 74	254.07 Hz	B3	0-0-4	ax 75	254.81 Hz	C4	4-3-0	tan
76	254.91 Hz	C4	1-4-0	tan 77	256.37 Hz	C4	4-0-3	tan 78	256.47 Hz	C4	5-2-1	obl
79	256.99 Hz	C4	5-1-2	obl 80	257.25 Hz	C4	6-0-0	ax 81	257.67 Hz	C4	1-0-4	tan
82	259.19 Hz	C4	0-4-1	tan 83	261.15 Hz	C4	3-3-2	obl 84	261.73 Hz	C4	0-1-4	tan
85	262 Hz	C4	3-2-3	obl 86	262.61 Hz	C4	4-3-1	obl 87	262.71 Hz	C4	1-4-1	obl
88	263.95 Hz	C4	4-1-3	obl 89	264.81 Hz	C4	6-1-0	tan 90	264.98 Hz	C4	6-0-1	tan
91	265.21 Hz	C4	1-1-4	obl 92	265.51 Hz	C4	2-4-0	tan 93	268.01 Hz	C4	0-3-3	tan
94	268.15 Hz	C4	2-0-4	tan 95	271.42 Hz	C4#	1-3-3	obl 96	272.32 Hz	C4#	6-1-1	obl
97	273 Hz	C4#	2-4-1	obl 98	275.41 Hz	C4#	2-1-4	obl 99	279.07 Hz	C4#	5-2-2	obl
100	281.39 Hz	C4#	2-3-3	obl 101	281.57 Hz	C4#	0-4-2	tan 102	282.29 Hz	C4#	3-4-0	tan

## Simulazione Ray Tracing

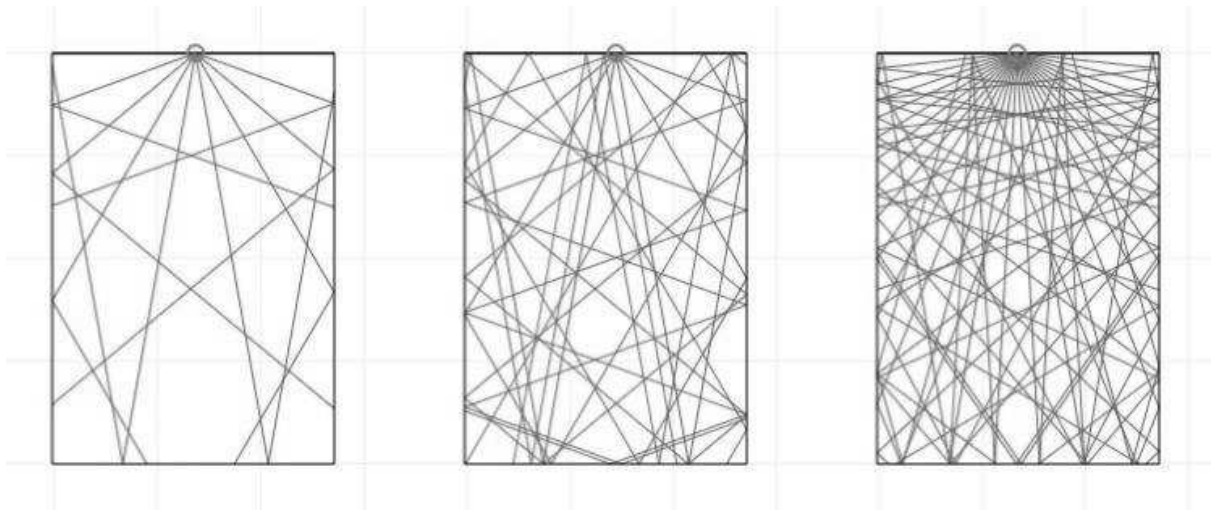
Un'ultima simulazione che possiamo andare a fare è quella relativa al Ray Tracing, un metodo di analisi relativo ad un approccio geometrico.  
con amray:

<https://amcoustics.com/tools/amray>

possiamo simulare uno spazio all'interno del quale proiettare e calcolare una serie di raggi dell'ordine di riflessioni che desideriamo per cercare di comprendere il comportamento di queste all'interno dell'ambiente.

A seguito tre simulazioni spostando leggermente la sorgente:

- **10 riflessioni di primo ordine**
- **10 riflessioni di terzo ordine**
- **30 riflessioni di primo ordine**



{Simulazione Ray Tracing}



## Conclusioni

Possiamo concludere riassumendo i punti focali dell'analisi fatta:

Il TR60 è adeguato alla registrazione musicale ed all'ascolto ma è tendente ad essere troppo "asciutto" per lo scopo alla risposta di certe frequenze da parte dell'assorbimento dei materiali. Il valore dBA SPL è adeguato ad un ambiente casalingo ma ovviamente un valore più basso corrisponderebbe ad un miglioramento per lo scopo di registrazione ed ascolto musicale. Simulazione modale e ray tracing non hanno messo in evidenza situazioni particolarmente anomale. Un eventuale intervento potrebbe risiedere nell'applicazione di pannelli che possano diminuire il quantitativo di modi generati dalla stanza, cercando di non aumentare il coefficiente di assorbimento della stanza, infatti un TR60 più breve potrebbe peggiorare l'acustica della stanza dal punto di vista delle applicazioni musicali. La situazione più critica delle misurazioni è quella messa in evidenza dalle misurazioni fatte nella posizione da "studio", si potrebbe decidere di intervenire in un abbattimento di enfasi e de-enfasi sulla base di queste.

# Bibliografia

- Marco Giordano:  
Modellizzazione e simulazione del campo  
acustico in cavità a geometria e  
caratteristiche acustiche variabili.  
Università degli studi di Roma  
“La Sapienza” Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica, 1995-1996
- Everest Pohlmann:  
Master Handbook of Acoustics.  
McGraw-Hill TAB, 2009
- Kleiner Tichy:  
Acoustics of small rooms.  
CRC Press, 2014
- National Department of Measurements,  
concerning area acoustics:  
Table Of Absorption Coefficients for various materials
- Davide Tedesco:  
Analisi acustica di un home studio.  
SMERM - Conservatorio di Musica di Roma, Santa Cecilia, 2020

# Sitografia

- REW:  
<https://www.roomeqwizard.com>
- RT60 Acoustic Reverb Calculator:  
<http://www.csgnetwork.com/acousticreverbdelaycalc.html>
- amcoustics - amroc:  
<https://amcoustics.com/tools/amroc?l=400&w=273&h=270&r60=0.59>
- amcoustics - amray:  
<https://amcoustics.com/tools/amray>
- amcoustics - amray:  
<https://amcoustics.com/tools/amray>
- Acoustics & Noise Control: Putting it all together:  
<http://www.acoustics.com.ph/reverberation.html>
- Fonometri: guida completa:  
<https://it.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=idee-suggerimenti/guida-fonometro>