

## IL FONOMETRO



Il fonometro misura il **livello del valore quadratico medio della pressione sonora ( $L_p$ )** espresso in **dB**.

L'informazione viene rappresentata simultaneamente mediante una barra, che indica in termini pseudo-analogici il livello sonoro, e un valore numerico espresso in dB. I tasti consentono di variare la scala in modo da poter misurare livelli più alti o livelli più bassi impostando dei range che devono contenere il valore da misurare. Se il livello è troppo alto va in "over range", se il livello è troppo basso va in "over flow", in questi casi il valore dato dallo strumento è falsato. Perché la misura sia valida devo regolare lo strumento in modo che il livello sonoro resti centrato. I vecchi strumenti presentano un range di 50 dB, mentre i moderni hanno un range esteso (110 dB), e non necessitano quindi dei tasti di regolazione.

Si può variare la **ponderazione in frequenza** mediante filtri (ponderazione A e ponderazione C).

Il valore rilevato da un fonometro è un **valore medio efficace detto RMS**, ovvero una media dei quadrati della pressione sonora. Del valore ottenuto viene mostrato sul display il corrispondente valore in dB, il livello di pressione  $L_p$ . Per essere uno strumento conforme alle normative italiane deve essere in Classe 1 (ad alta precisione).

$$L_p = 10 \log \left( \frac{P_{rms}}{P_0} \right)^2 \quad (1)$$

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (2)$$

### Livello equivalente continuo Leq (dB)

Il **Leq** (Livello equivalente) è il valore medio efficace calcolato sul periodo **T**. Indica il livello sonoro che, se fosse costante darebbe la stessa quantità di energia sonora.

$$L_{eq,t} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_{rif}^2} \right] \quad (3)$$

dove:

T: è l'intervallo di tempo di integrazione

P(t): è il valore istantaneo della pressione

P<sub>ref</sub> : è la pressione di riferimento

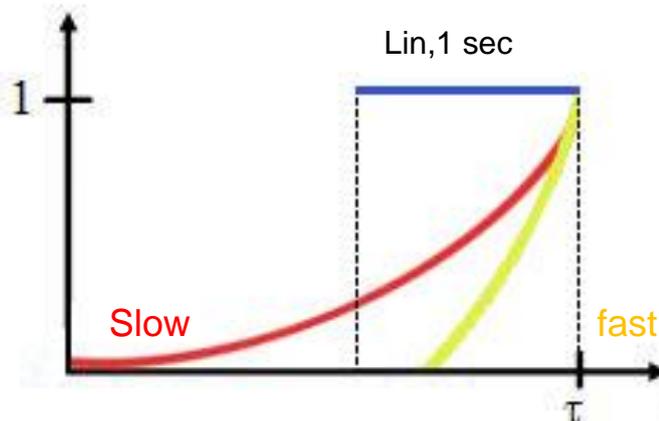
### Valori RMS esponenziali

I fonometri possono operare anche con una media esponenziale, che fornisce valori di livello sonoro **“istantanei”**.

La curva esponenziale può essere più o meno rigida secondo 3 costanti di tempo **T<sub>c</sub>** :

- slow T<sub>c</sub> = 1s
- fast T<sub>c</sub> = 125 ms (stessa costante di tempo del sistema uditivo umano)
- impulse T<sub>c</sub> = 35 ms in salita, 1.5 s in discesa

$$p_{rms}(t) = \sqrt{\int_0^\infty e^{-\frac{t}{T}} \cdot p^2(\tau-t) dt} \quad (4)$$



## CALIBRATORE



Il calibratore è un **generatore di un suono di calibrazione**. Emette un tono puro con una frequenza di 1000 Hz con pressione RMS di 1Pa. Viene collegato mediante un adattatore al fonometro. La misura da questo rilevata è di 94 dB.

## MICROFONO SOUNDFIELD

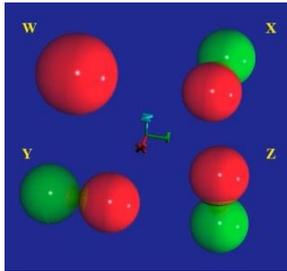


Il microfono Soundfield consente misurazioni simultanee di pressione unidirezionale e delle tre componenti cartesiane di velocità delle particelle. Con questo metodo risulta possibile posizionare il microfono nello spazio e studiarne il campo acustico con le sue componenti.

Il microfono è composto da quattro microfoni con diversa direzionalità e utilizza la terna assiale (X-Y-Z) e un sensore di pressione (W). A seconda della provenienza del suono, si avrà un valore maggiore sull'asse X-Y nel caso in cui il suono sia orizzontale e Z nel caso provenga verticalmente.

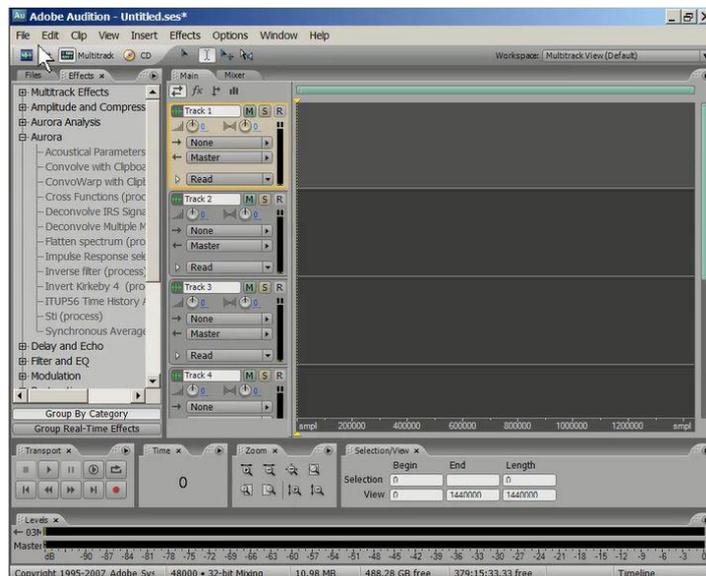
Lezione del 28/04/2016, ore 08:30 – 10:30

Registrato il suono, la scheda audio Roland STUDIO-CAPTURE, (da 16 ingressi e 10 uscite e con una qualità di registrazione pari a 24-bit/192 kHz), lo importa sul computer tramite collegamento USB. I quattro canali, che corrispondono ai quattro cavi X-Y-Z-W, devono riportare tutti lo stesso valore.

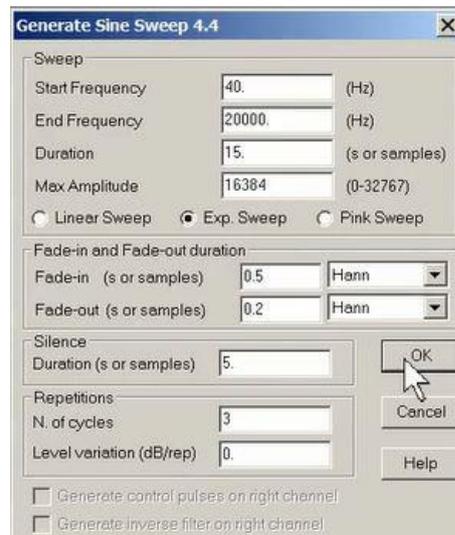


## METODO ESS ( Exponential Sine Sweep)

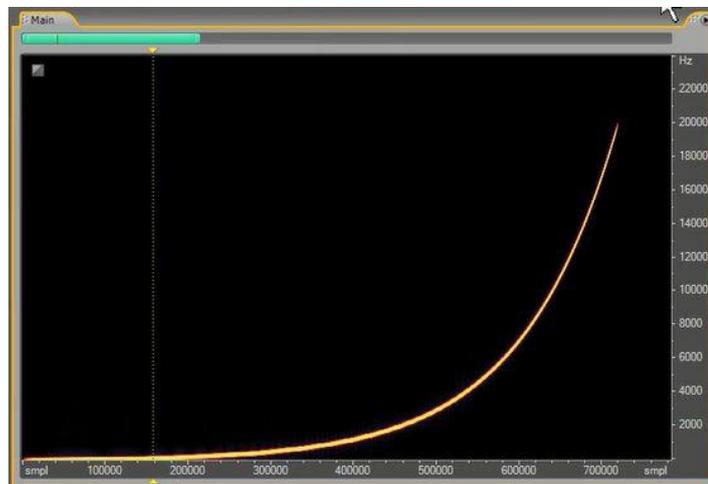
Il metodo ESS viene effettuato utilizzando: un computer, una scheda audio Roland, STUDIO- CAPTURE, un dodecaedro e un microfono Soundfield. Il suono precedentemente rilevato con Studio-Capture, viene ora importato in Adobe Audition. Si possono notare le quattro tracce in cui è stato registrato il suono.



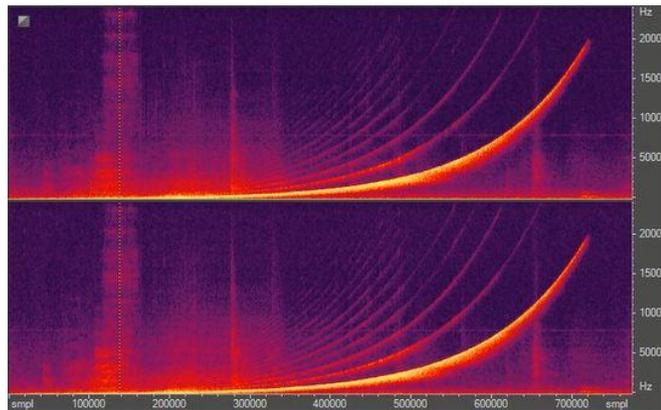
Un segnale di prova si può ottenere generando un sine sweep che parte con una frequenza di 40 Hz e termina con frequenza pari a 2000 Hz, una durata di 15 sec, fade-in di 0.5 Hann e fade-out 0.2 Hann.



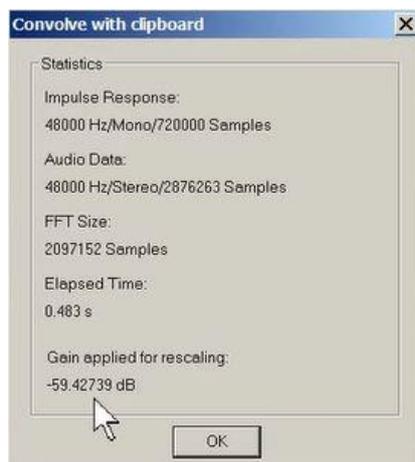
È importante selezionare la voce Exp. Sweep e non Linear Sweep poiché esiste un grande differenza tra gli spettri che si vengono a creare. La Linear Sweep presenta uno spettro piatto e funziona molto bene sulle alte frequenze, mentre l' Exponential Sweep produce uno spettro esponenziale e sfruttando il rumore rosa, il segnale cala di 3 dB per ottava in quanto utilizza le basse frequenze. Si nota che il segnale esponenziale va decrescendo, per ottimizzarlo si preferisce ridurlo di -20 dB.



Utilizzando tre tracce: traccia 1 sweep, traccia 2 registrazione WX e traccia 3 YZ, ottengo degli spettri in cui si nota la “sweepata” principale mediante un sonogramma. Attraverso questo è possibile rappresentare un fenomeno a tre dimensioni (frequenza, ampiezza e tempo) su un supporto bidimensionale. La registrazione dell'altoparlante presenta dei prodotti di distorsione, che sono facilmente visibili aumentando il range a 180 dB.

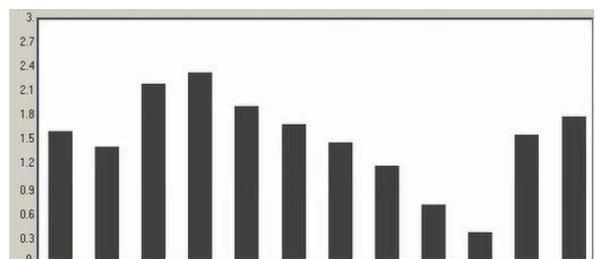


Convolve il segnale registrato con lo sweep inverso (convolve with clipboard). Il guadagno applicato per riscaldare è il miglioramento del rapporto segnale-rumore che si ottiene, in pratica “impaccando” il segnale nel tempo si ha che l’ampiezza aumenta e diventa fuori scala. Per riportarlo in scala si diminuisce il segnale delle tracce WY e YZ di 60 dB.



La risposta che si ottiene con il metodo ESS è piatta, ottima da utilizzare come filtro per le sale di registrazione e presenta un buon rapporto segnale-rumore a tutte le frequenze privo di prodotti di distorsione. Con l’integrazione di Schroeder ( curva blu) si misurano i valori del tempo di riverbero e utilizzando la formula del  $T_{20}$ , data dalla Norma ISO 3382, si possono calcolare i suddetti valori.

$$T_{20}=3 \cdot dt$$



**D.P.C.M. 5 DICEMBRE 1997 :**  
**Normativa dei requisiti acustici passivi degli edifici**

Il Decreto Presidenziale del Consiglio dei Ministri del 5 dicembre 1997, definisce i requisiti acustici che devono avere gli edifici di nuova costruzione (o totale ristrutturazione).

Norma 5 grandezze fisiche di riferimento:

1. **Il potere fonoisolante apparente R** definito dalla norma ISO 145, misurato in opera. Riguarda l'isolamento di divisori verticali tra due diverse unità immobiliari che si trovano sullo stesso piano.
2. **L'isolamento acustico standardizzato di facciata  $D_{2m,nT}$**  si determina valutando la differenza tra il livello sonoro misurato 2 m al di fuori della facciata ( $L_{1,2m}$ ) dell'edificio e il livello sonoro medio dell'ambiente interno ( $L_2$ ).

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (5)$$

dove:

$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$  è la differenza di livello sonoro

$L_{1,2m}$ : è il livello di pressione sonora esterno a 2 m dalla facciata prodotto dal traffico o da altoparlante

$L_2$ : è il livello di pressione sonora medio dell'ambiente ricevente

$T$ : è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente in secondi

$T_0$ : è il tempo di riverberazione di riferimento assunto pari a 0.5 s

3. **Il livello di rumore di calpestio di solai normalizzato  $L_n$**  è ottenuto posizionando sul solaio superiore una macchina di calpestio
4.  **$L_{ASmax}$**  indica il livello sonoro massimo con costante di tempo slow per impianti con funzionamento discontinuo
5.  **$L_{Aeq}$**  indica il livello continuo equivalente di pressione sonora

**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 |               |            |                   |                 |
|------------------------------|-----------|---------------|------------|-------------------|-----------------|
|                              | $R'_w(*)$ | $D_{2m,nT,w}$ | $L'_{n,w}$ | $L_{\Delta Smax}$ | $L_{\Delta eq}$ |
| 1. D                         | 55        | 45            | 58         | 35                | 25              |
| 2. A, C                      | 50        | 40            | 63         | 35                | 35              |
| 3. E                         | 50        | 48            | 58         | 35                | 25              |
| 4. B, F, G                   | 50        | 42            | 55         | 35                | 35              |

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

**Tabella A** : divide gli edifici in categorie e classifica gli ambienti. L'ambiente industriale non è soggetto a limiti acustici a meno che non abbia parti commerciali.

**Tabella B** : fornisce i 5 parametri da rispettare per ogni categoria. Le prime tre colonne riguardano l'involucro dell'edificio mentre le ultime due gli impianti.  $R_w$  ed  $D_{2m,nT,w}$  sono valori minimi mentre  $L'_{n,w}$  ,  $L_{\Delta Smax}$  e  $L_{\Delta eq}$  sono valori massimi.

## ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA DI EDIFICI



Da norma di può misurare in 2 modi:

- usando il naturale rumore del traffico stradale che deve essere forte e continuo.
- mediante un altoparlante con incidenza di 45° sulla facciata che genera un rumore bianco.

Viene posto un microfono a 2 m dalla facciata e uno interno all'edificio. Si determina la differenza tra il livello sonoro misurato al di fuori ( $L_{1,2m}$ ) e il livello sonoro medio dell'ambiente interno ( $L_2$ ).

Si definisce la formula:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (6)$$

dove:

$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$  è la differenza di livello sonoro

$L_{1,2m}$ : è il livello di pressione sonora esterno a 2 m dalla facciata prodotto dal traffico o da altoparlante

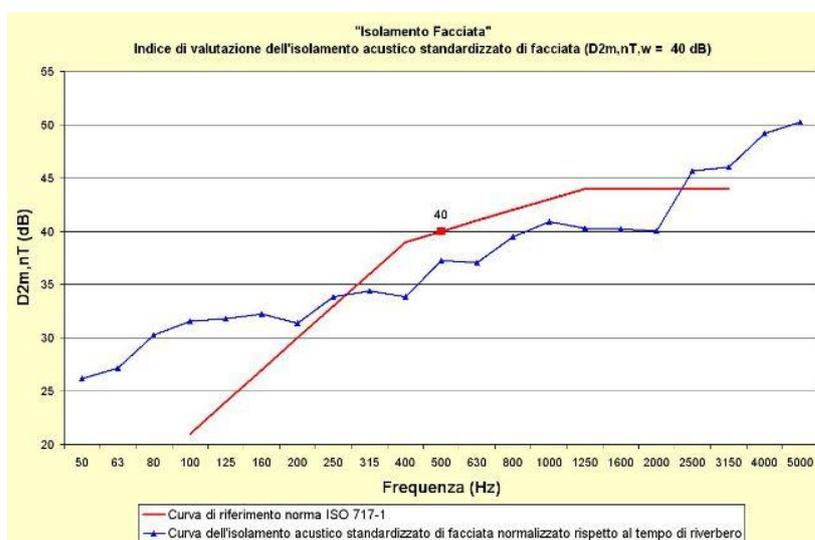
$L_2$ : è il livello di pressione sonora medio dell'ambiente ricevente

$T$ : è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente in secondi

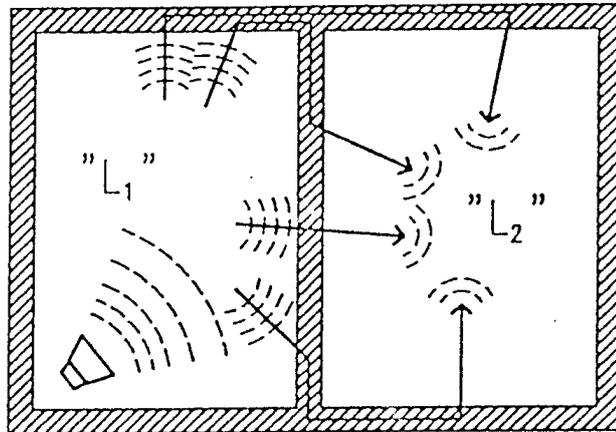
$T_0$ : è il tempo di riverberazione di riferimento assunto pari a 0.5 s

La norma del 5 dicembre 1997 utilizzata per il calcolo degli indici è stata sostituita dalle **UNI EN ISO 717**.

Si determina quindi l'**indice di valutazione dell'isolamento di facciata** applicando la curva ISO 717. Si confronta la curva di riferimento alla curva misurata, procedendo a passi di 1 dB, fino a quando la somma degli scarti sfavorevoli è più grande possibile. Si valuta il valore  $D_{2m,nT}$  in dB, corrispondente alla frequenza di 500 Hz. In questo caso corrisponde a 40 dB, valore conforme alle tabelle.



## ISOLAMENTO ACUSTICO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI



La misura viene svolta in stanze confinanti di appartamenti di diversa proprietà. Viene posta una sorgente (dodecaedro) nella stanza trasmittente e un cavalluccio con fonometro, prima in una poi nell'altra stanza ( $L_1$  e  $L_2$ ). Essendo una struttura unica sono presenti cammini di fiancheggiamento che peggiorano il valore della misura. Il potere fonoisolante misurato in opera è dai 3 a 5 dB peggiore del valore misurato in laboratorio. Se ci sono tubi metallici che perforano il muro e fuoriescono nella stanza adiacente creano un canale di propagazione; fanno scendere il potere fonoisolante di 10 dB (errori di progettazione).

Anche in questo caso si fa l'indice di valutazione secondo la **norma ISO 717**.

### Potere fonoisolante apparente $R'$

Evita qualsiasi effetto dal grado di arredamento dei locali

$$R' = D + \log\left(\frac{S}{A}\right) \quad (7)$$

Dove:

$D = L_1 - L_2$  è l'isolamento acustico

$L_1$ : è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente emittente

$L_2$ : è il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente

$S$ : è l'area dell'elemento divisorio

$A$ : è l'area equivalente di assorbimento acustico nella camera ricevente ed equivale a :

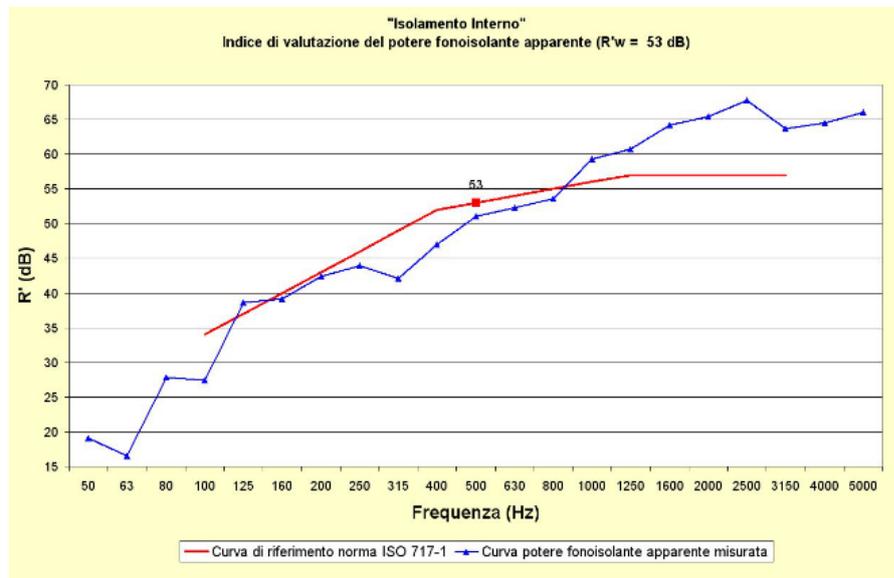
$$A = 0.16 \left(\frac{V}{T}\right) \quad (8)$$

Dove:

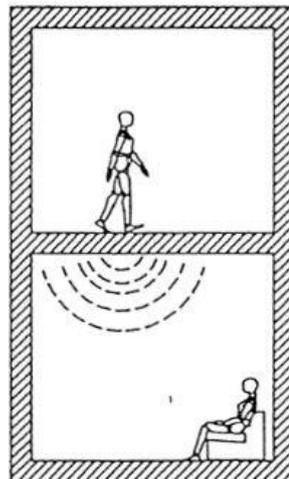
V: è il volume dell'ambiente ricevente in m<sup>3</sup>

T: è il tempo di riverbero misurato nell'ambiente ricevente misurato mediante clappatore o palloncini)

Si determina l'indice di valutazione posizionando la curva.



## ISOLAMENTO DAL RUMORE DI CALPESTIO DI SOLAI



Riguarda la trasmissione per via solida del suono che si genera quando si cammina sul pavimento.

Si verifica mediante uno strumento dotato di 5 martelli d'acciaio sollevati ad una altezza di 40 mm e lasciati cadere, con una sequenza pseudo-casuale. Si posiziona in vari punti del pavimento al piano superiore mentre al piano inferiore si misurano con il fonometro i livelli sonori.

E' applicata la norma ISO 717 per determinare l'indice di valutazione.

### Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverbero $L'_{nt}$

Viene normalizzato per correggere l'assorbimento del locale ricevente

$$L'_n = L_i + \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (9)$$

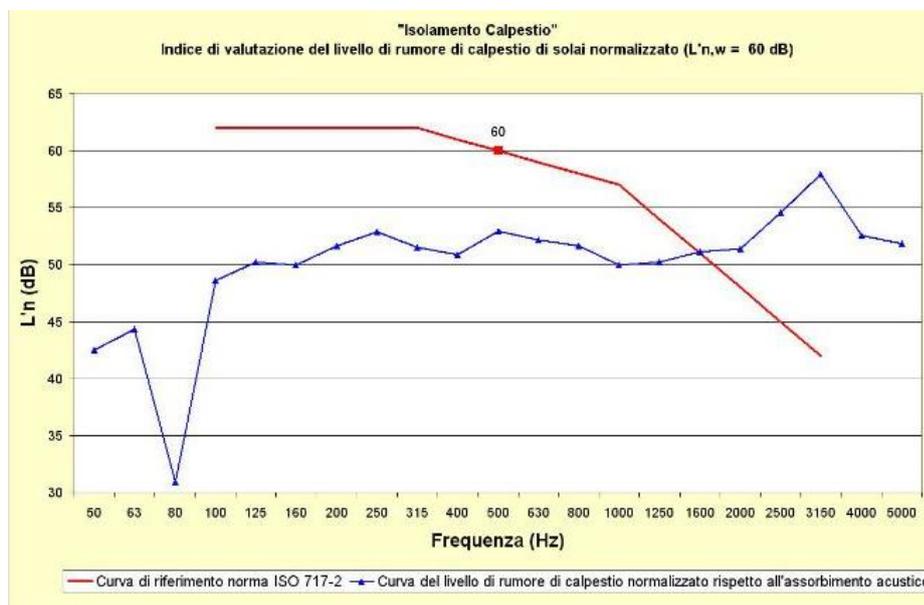
Dove:

$T_0$  : è il tempo di riverberazione di riferimento assunto come 0.5 s

Viene valutato il valore a 500 Hz.

Cambia la curva ISO per fare il l'indice di valutazione : la propagazione decresce con la frequenza. Questo indica che i valori di livello di calpestio buoni sono bassi. Se la curva cresce ad alte frequenze significa che è errata la stratigrafia del solaio.

Più il materiale è morbido e cedevole all'impatto meno rumore viene generato.



La soluzione tecnica corretta è quella di inserire nella stratigrafia un materassino anti-calpestio. Questo va posizionato sopra la soletta portante e deve ripiegare fino al battiscopa.

