

LA DICHIARAZIONE DI INCERTEZZA NELLA DETERMINAZIONE DEL POTERE FONOISOLANTE E RIFLESSI NELLA STIMA DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO IN OPERA

Raffaele Pisani (1), Paolo Onali (2), Chiara Devecchi (3)

- 1) Studio di ingegneria acustica Pisani, Rivoli (TO)
- 2) Studio di ingegneria acustica Pisani, Rivoli (TO)
- 3) Studio di ingegneria acustica Pisani, Rivoli (TO)

1. Introduzione

La stima, con il calcolo, dei valori che quantificano i cosiddetti requisiti acustici passivi degli edifici DPCM 5/12/97 riveste, per il professionista, un problema di responsabilità. Un collaudo con esito negativo è passibile di responsabilità civili che nella pratica vengono attribuite al costruttore. Questi, se la perizia tecnica ordinata li assolve in quanto hanno realizzato l'opera secondo le norme della buona tecnica, possono rivalersi sulle ditte fornitrici dei prodotti, ovvero sul progettista e la direzione lavori. Per questi motivi il professionista oltre alla serietà e competenza professionale deve rendere tecnicamente inattaccabile il calcolo esposto nella relazione di valutazione dei requisiti richiesti dal DPCM dimostrando che il percorso seguito è pienamente coerente con i dettami normativi e che le specifiche tecniche dei componenti utilizzati portano ai valori calcolati senza ombra di ragionevole dubbio. A garanzia della bontà e qualità della relazione di calcolo i risultati esposti devono essere accompagnati dalla determinazione dell'incertezza di cui è affetta la valutazione delle grandezze di riferimento che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici. Se il risultato conseguito si discosta di molto dal risultato del calcolo le responsabilità ricadono su altri e non ultime sulle certificazioni dei materiali utilizzati dall'impresa. E' buona norma che il professionista nella propria relazione e nel capitolato d'appalto indichi le specifiche acustiche dei materiali da utilizzarsi e non la casa produttrice o il marchio. Tale prassi è assolutamente obbligatoria nel caso di opere pubbliche mentre per appalti privati possono essere indicati i prodotti per facilitare l'impresa che, sovente, propone anche prodotti che ritiene alternativi e di pari efficacia. In quest'ultimo caso il professionista deve limitarsi a verificare se le prestazioni del prodotto, dichiarate nei rapporti di prova, rientrano in quelle indicate nella relazione di progetto e nel capitolato di appalto. In questo lavoro si espone il percorso analitico per la determinazione dell'incertezza di cui sono affetti i risultati del calcolo previsionale dei requisiti acustici dei fabbricati, prendendo a riferimento la normativa tecnica UNI EN 12354-1, UNI EN 12354-3 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici ed al rapporto tecnico UNI/TR 11175 che fornisce modelli semplifi-

cati di calcolo e soluzioni tecniche costruttive per una corretta qualificazione acustica di un edificio nel suo complesso. Per esemplificazione ci si riferisce alla stima dell'incertezza di cui è affetto il calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT}$. Si ricorda che l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione dipende dal potere fonoisolante apparente della facciata vista dall'interno, dall'influenza della forma esterna della facciata e dalla dimensione dell'ambiente interno.

$$(1) \quad D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{is} + 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{V}{6 \cdot T_0 \cdot S} \right) \quad [\text{dB}]$$

dove:

R' è il potere fonoisolante apparente della facciata, determinato attraverso i valori del potere fonoisolante R dei diversi componenti forniti dai laboratori di prova e delle trasmissioni laterali;

ΔL_{is} è la differenza del livello di pressione sonora per la forma della facciata;

V è il volume dell'ambiente ricevente;

S è l'area totale della facciata;

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento che, per le abitazioni, è posto uguale $T_0 = 0,5$ s.

L'incertezza, quindi, associata alla determinazione del potere fonoisolante in laboratorio, si riflette sulla stima e relativa incertezza dell'isolamento acustico standardizzato di facciata.

2. Incertezza sulla determinazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

L'indice di valutazione R'_w del potere fonoisolante apparente della parete di facciata di un edificio è dato dalla seguente relazione se si considerano, per semplificazione, solamente due componenti edilizi principali: il muro di facciata ed il serramento.

$$(2) \quad R'_w = -10 \cdot \text{Log} \left(\frac{S_m}{S} \cdot 10^{\frac{-R_m}{10}} + \frac{S_f}{S} \cdot 10^{\frac{-R_f}{10}} \right) + k \quad [\text{dB}]$$

dove:

S_m ed S_f sono, rispettivamente, le superfici della muratura m e della finestra f ;

S è la superficie della parete che si affaccia all'esterno come vista dall'interno della camera;

R_m ed R_f sono i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante del muro e della finestra, forniti dal laboratorio di prova unitamente alla stima della rispettiva incertezza di misura $\pm U_m$ e $\pm U_f$;

k è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale pari a 0 per elementi di facciata non connessi e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi (UNI/TR 11175).

Il valore dell'incertezza U viene desunto dalle incertezze associate ai valori di tutte le grandezze misurate tenendo conto che trattasi di incertezza combinata dalle misure delle grandezze che concorrono alla determinazione di R'_w . Si trascurano le incertezze relative alla misura della superficie della parete, del muro di facciata e della finestra ri-

cordando, però, che solitamente la superficie del muro che contiene la finestra è ottenuto per differenza tra la superficie della facciata e quella della finestra per cui, nei casi in cui le due superfici sono poco diverse, occorre mantenere un numero di cifre significative adeguato.

$$(3) \quad \check{R}'_w = R'_w \pm U \quad [\text{dB}]$$

La dichiarazione dell'incertezza complessiva U di misura da associare a R'_w sarà ottenuta determinando l'incertezza combinata con la relazione:

$$(4) \quad u_c(R_{W,f}, R_{W,m}) = \mp \sqrt{s_{R_{W,f}}^2 \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{S_m}{S_f} \cdot 10^{-(R_{W,m} - R_{W,f})/10}} \right)^2 + s_{R_{W,m}}^2 \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{S_f}{S_m} \cdot 10^{-(R_{W,f} - R_{W,m})/10}} \right)^2} \quad [\text{dB}]$$

dove:

$$(5) \quad R_{W,f} = \overline{R_{W,f}} \pm s_{R_{W,f}} \quad [\text{dB}]$$

è l'indice di valutazione del potere fonoisolante del serramento e scarto tipo da ricavarsi dal rapporto di prova del laboratorio.

S_f è la superficie, in m^2 , del serramento

$$(6) \quad R_{W,m} = \overline{R_{W,m}} \pm s_{R_{W,m}} \quad [\text{dB}]$$

è l'indice di valutazione del potere fonoisolante del muro e scarto tipo;

S_m è la superficie, in m^2 , della parete da ricavarsi dal rapporto di prova del laboratorio.

Si assume il livello fiduciario del 95,45 % per la determinazione dell'intervallo di confidenza, con livello di significatività $\alpha=0,05$.

L'incertezza U , estesa, è espressa dalla relazione:

$$(7) \quad U = \pm h \cdot u_c(R_{W,f}, R_{W,m}) \quad [\text{dB}]$$

dove:

$h = 2$ ipotizzando una distribuzione di tipo gaussiano a copertura dell'intervallo fiduciario.

Il valore del potere fonoisolante e relativa incertezza di misura deve essere dichiarato dal laboratorio di prova per consentire la stima ed il calcolo dell'incertezza dell'isolamento acustico standardizzato di facciata. Per questo motivo deve essere esplicitato il metodo che ha consentito il calcolo dell'incertezza sull'indice di valutazione e dichiarato il valore del fattore di copertura utilizzato. L'incertezza richiesta dalla normativa dovrebbe essere il valore desunto applicando la relazione (4). In pratica, conviene dichiarare l'incertezza estesa fornita dalla (7) assumendo un fattore di copertura pari a $h=2$. Se poi si vuole decidere se il valore dell'isolamento acustico standardizzato di fac-

ciata $D_{2m,nT}$ indicato dal decreto sia soddisfatto, il test da utilizzare è quello ad una coda: la regione di rifiuto, supponendo una distribuzione normale, è quella inferiore al valore critico di $z_1 = -1,645$.

3. Determinazione dell'incertezza nelle prove di laboratorio

I rapporti di prova rilasciati dai laboratori generalmente non riportano la dichiarazione dell'incertezza del misurando. Dal punto di vista metrologico tale carenza è grave e si ripercuote anche sulla chiarezza e trasparenza dei calcoli a garanzia della stima corretta eseguita dal professionista che deve valutare la consistenza dei requisiti acustici passivi dei fabbricati. I laboratori che rilasciano i rapporti di prova devono avere impianti perfettamente coerenti con le indicazioni della normativa ISO 140/1, ISO 140/2 ed ISO 140/3. Altro punto dolente è l'accreditamento del laboratorio a garanzia che il laboratorio opera nelle condizioni di ripetibilità e riproducibilità indicati dalla ISO 140/2. L'espressione (7) per il calcolo dell'incertezza combinata dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di facciata richiede la conoscenza della varianza dell'indice di valutazione del potere fonoisolante del muro e del serramento che deve essere dichiarata dal laboratorio che ha eseguito la prova, ovvero ricavabile dall'incertezza estesa dichiarata e dal relativo fattore di copertura.

Si riportano, di seguito, le indicazioni relative al calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante e relativa incertezza desunto dalle prove di un laboratorio rispondente pienamente alle norme ISO 140-1 e ISO 140-3.

Il potere fonoisolante R viene valutato mediante la relazione:

$$(8) \quad R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \text{Log} \frac{S}{A} \quad [\text{dB}]$$

dove:

L_1 ed L_2 sono, rispettivamente il livello medio di pressione sonora nella camera trasmittente e ricevente.

S è l'area del provino che è pari a quella dell'apertura libera di prova.

A è l'area di assorbimento equivalente della camera ricevente.

Si procede, quindi, alla stima dell'incertezza di categoria A della misura di R mediante la definizione degli estremi di un intervallo di fiducia per il potere fonoisolante (o estremi dell'intervallo di confidenza). Gli estremi dell'intervallo saranno applicabili al valore medio assunto come stima del valore vero. In pratica si preferisce definire un valore più ampio dell'intervallo fiduciario moltiplicando l'incertezza per un fattore k da determinarsi in base al numero dei gradi di libertà effettivi da attribuire all'incertezza di tipo composta

Il valore vero di \check{R} sarà contenuto nell'intervallo definito dal valore misurato R più o meno l'incertezza U

$$(9) \quad \check{R} = R \pm U \quad [\text{dB}]$$

Il potere fonoisolante R è funzione delle variabili L_1 , L_2 e T , per cui il valore U è una incertezza composta desunta dalle incertezze determinate per le tre grandezze misurate. Trascurando le incertezze della misura di V e di S , l'incertezza di misura da associare a R sarà ottenuta determinando l'incertezza composta con la relazione:

$$(10) \quad u_c(\mathbf{R}) = \sqrt{s_{L1}^2 + s_{L2}^2 + \frac{1}{T^2} \cdot s_T^2} \quad [\text{dB}]$$

dove:

s_{L1} , s_{L2} ed s_T sono, rispettivamente, gli scarti tipo del livello di pressione sonora nella camera trasmittente, nella camera ricevente e lo scarto tipo della misura del tempo di riverberazione.

L'incertezza estesa del valore del potere fonoisolante R , per ciascuna banda di frequenze, è calcolata con la relazione

$$(11) \quad U(\mathbf{R}) = \pm t_{0,975GL_{eff}} \cdot u_c(\mathbf{R}) \quad [\text{dB}]$$

dove:

$t_{0,975GL_{eff}}$ è il valore critico della distribuzione t di Student relativa al livello di probabilità del 95% per GL_{eff} gradi effettivi di libertà calcolati, per ciascuna frequenza, mediante la relazione di Welch-Satterthwaite

$$(12) \quad GL_{eff} = \frac{[u_c(\mathbf{R})]^4}{\frac{[u(L_1)]^4}{GL_{L1}} + \frac{[u(L_2)]^4}{GL_{L2}} + \frac{1}{T^4} \frac{[u(T)]^4}{GL_T}} \quad [-]$$

dove:

GL_{L1} , GL_{L2} , e GL_T sono i gradi di libertà relativi al campionamento di L_1 , L_2 e T .

A titolo di esempio si riporta il calcolo dell'incertezza estesa, per ciascuna banda di frequenza, eseguita in laboratorio su un campione di 2 m² disposto in una apertura ricavata sul divisorio di 10 m² tra le due camere riverberanti. I gradi di libertà GL per i livelli ed i tempi di riverberazione sono 14.

Frequenza [Hz]	R [dB]	Incertezza R	gradi libertà	copertura o valore critico	Incertezza estesa
		±[dB]			±[dB]
50					
63					
80					
100	22.2	2.7	18.1	2.1	5.6
125	22.0	2.1	21.7	2.1	4.4
160	19.6	2.6	17.9	2.1	5.5
200	28.5	1.6	28.2	2.0	3.2
250	33.0	1.3	26.1	2.1	2.6
315	35.6	1.3	23.7	2.1	2.7
400	37.5	0.9	28.1	2.0	1.9
500	38.7	0.9	27.6	2.1	1.9
630	42.2	0.7	21.6	2.1	1.4
800	44.1	0.6	28.1	2.0	1.1
1000	44.6	0.4	27.6	2.1	0.9
1250	45.4	0.6	26.4	2.1	1.2
1600	47.3	0.3	25.7	2.1	0.6
2000	48.2	0.4	25.4	2.1	0.9
2500	45.6	0.4	27.6	2.1	0.8
3150	43.9	0.5	27.6	2.1	1.0
4000	46.6	0.5	26.1	2.1	0.9
5000	48.7	0.7	20.8	2.1	1.4

L'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w è calcolato secondo la ISO 717-1 mentre l'incertezza associata è calcolata considerando i valori di R relativi agli estremi dell'intervallo di confidenza al 95% assumendo una distribuzione di probabilità rettangolare (Incertezza di categoria B). L'indice di valutazione del potere fonoisolante risulta pari a $R_w (C; C_{tr}) = 41 (-2; -7)$ dB con incertezza estesa pari a $U(R_w) = \pm 1,4$ dB determinata assumendo un fattore di copertura pari a $h = 2$.

4. Conclusioni

Per il calcolo dell'incertezza di cui è affetta la stima delle grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi dei fabbricati, si richiedono rapporti di prova dei componenti edilizi, completi della dichiarazione dell'incertezza di cui sono affetti i risultati del misurando. Il calcolo di cui all'esempio riportato (formula 4) richiede la conoscenza degli scarti tipo relativi agli indici di valutazione del potere fonoisolante che caratterizza ciascun componente. Questi possono essere sostituiti dall'incertezza calcolata partendo dall'incertezza estesa noto il fattore di copertura ed i gradi di libertà effettivi calcolati e dichiarati nel rapporto di prova rilasciato dal laboratorio accreditato.

Bibliografia

- UNI EN 20140 – parte 2, “Misura dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio – Determinazione, verifica ed applicazione della precisione dei dati”
- UNI CEI ENV 13005, “Guida all'espressione dell'incertezza di misura”
- SINAL DT0002 – “Guida per la valutazione e la espressione dell'incertezza nelle misurazioni”

PRESENTAZIONE

LA DICHIARAZIONE DI INCERTEZZA NELLA DETERMINAZIONE DEL POTERE FONOSOLANTE E RIFLESSI NELLA STIMA DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO IN OPERA

Raffaele Pisani (1), Chiara Devecchi (1), Paolo Onali (1)

(1) Studio di ingegneria acustica Pisani, Rivoli (TO)



Studio di Ingegneria Acustica
Via Cav. di Vittorio Veneto, 8
10098 RIVOLI (TO)
Tel. 011-9566871 Fax 011-9561261
e-mail sia.pisani@tin.it



La stima, con il calcolo, dei valori che quantificano i cosiddetti requisiti acustici passivi degli edifici DPCM 5/12/97 riveste, per il professionista, un problema di responsabilità

Un collaudo con esito negativo è passibile di responsabilità civili che, nella pratica, vengono attribuite al costruttore

Se i costruttori hanno realizzato l'opera secondo le norme della buona tecnica, essi possono rivalersi sulle ditte fornitrici dei prodotti, ovvero sul progettista e la direzione lavori .

Per questi motivi, il professionista deve rendere tecnicamente inattaccabile il calcolo esposto nella relazione di valutazione dei requisiti richiesti dal DPCM, dimostrando che il percorso seguito è pienamente coerente con i dettami normativi e che le specifiche tecniche dei componenti utilizzati portano ai valori calcolati senza ombra di ragionevole dubbio

Il professionista, nella nota di calcolo, deve dichiarare l'incerteza di cui è affetta la stima dei parametri

OGGETTO DELLO STUDIO:



In questo lavoro si espone il percorso analitico per la determinazione dell'incerteza di cui sono affetti i risultati del calcolo previsionale dei requisiti acustici dei fabbricati, prendendo a riferimento la normativa tecnica UNI EN 12354-1, UNI EN 12354-3 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici ed al rapporto tecnico UNI/TR 11175 che fornisce modelli semplificati di calcolo e soluzioni tecniche costruttive per una corretta qualificazione acustica di un edificio nel suo complesso.

Per esemplificazione ci si riferisce alla stima dell'incerteza di cui è affetto il calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT}$.

IL CALCOLO dell'isolamento acustico standardizzato di facciata:



Si ricorda che l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione dipende dal potere fonoisolante apparente della facciata vista dall'interno, dall'influenza della forma esterna della facciata e dalla dimensione dell'ambiente interno.

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{is} + 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{V}{6 \cdot T_0 \cdot S} \right) \quad [\text{dB}]$$

dove:

R' è il potere fonoisolante apparente della facciata, determinato attraverso i valori del potere fonoisolante R dei diversi componenti forniti dai laboratori di prova e delle trasmissioni laterali;

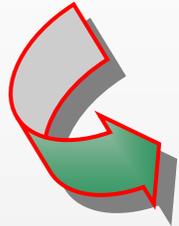
ΔL_{is} è la differenza del livello di pressione sonora per la forma della facciata;

V è il volume dell'ambiente ricevente;

S è l'area totale della facciata;

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento che, per le abitazioni, è posto uguale $T_0 = 0,5 \text{ s}$

IL CALCOLO dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente



L'incerteza associata alla determinazione del potere fonoisolante in laboratorio, si riflette sulla stima e relativa incerteza dell'isolamento acustico standardizzato di facciata.

si considerano, per semplificazione, il muro di facciata ed il serramento.

L'indice di valutazione R'_w del potere fonoisolante apparente della parete di facciata di un edificio è dato dalla seguente relazione se

$$R'_w = -10 \cdot \text{Log} \left(\frac{S_m}{S} \cdot 10^{\frac{-R_m}{10}} + \frac{S_f}{S} \cdot 10^{\frac{-R_f}{10}} \right) + k \quad [\text{dB}]$$

dove:

S_m ed S_f sono le superfici della muratura m e della finestra f ;

S è la superficie della parete di facciata vista dall'interno della camera;

R_m ed R_f sono i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante del muro e della finestra comprensivi della relativa incerteza U_m ed U_f ;

$K=1$ elementi non connessi e $k=2$ elementi connessi rigidamente (UNI/TR 11175)

IL CALCOLO dell'incertezza U sulla determinazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

Si trascurano le incertezze relative alla misura della superficie della parete, del muro di facciata e della finestra .

Il valore dell'incertezza estesa U viene desunto dalle incertezze associate ai valori di tutte le grandezze misurate tenendo conto che trattasi di incertezza combinata dalle misure delle grandezze che concorrono alla determinazione di R'_w .

L'incertezza U sulla stima di R'_w è indicata come $\check{R}'_w = R'_w \pm U$

$$u_c(R_{W,f}, R_{W,m}) = \mp \sqrt{s_{R_{w,f}}^2 \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{S_m}{S_f} \cdot 10^{-\frac{(R_{w,m} - R_{w,f})}{10}}} \right)^2 + s_{R_{w,m}}^2 \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{S_f}{S_m} \cdot 10^{-\frac{(R_{w,f} - R_{w,m})}{10}}} \right)^2} \quad [\text{dB}]$$

dove:

$$R_{W,f} = \overline{R_{W,f}} \pm s_{R_{w,f}}$$

$$R_{W,m} = \overline{R_{W,m}} \pm s_{R_{w,m}}$$

sono l'indice di valutazione del potere fonoisolante della finestra e del muro con scarto tipo da ricavarsi dal rapporto di prova del laboratorio

IL LABORATORIO DI PROVA fornisce l'Incertezza U di cui è affetta la misurazione del potere fonoisolante del componente edilizio sottoposto a prova?

Si assume il livello fiduciario del 95,45 % per la determinazione dell'intervallo di confidenza, con livello di significatività $\alpha=0,05$.

L'incertezza U , estesa, è espressa dalla relazione:

$$U = \pm h \cdot u_c (R_{W,f}, R_{W,m}) \quad [\text{dB}]$$

dove: $h = 2$ ipotizzando una distribuzione di tipo gaussiano a copertura dell'intervallo fiduciario.

Il valore del potere fonoisolante e relativa incertezza di misura deve essere dichiarato dal laboratorio di prova per consentire, ad esempio, la stima ed il calcolo dell'incertezza dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

Per questo motivo deve essere esplicitato il metodo che ha consentito il calcolo dell'incertezza sull'indice di valutazione e dichiarato il valore del fattore di copertura h utilizzato

COME DEVE ESPRIMERE L'INCERTEZZA IL LABORATORIO DI PROVA

Il potere fonoisolante R viene valutato mediante la relazione:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \text{Log} \frac{S}{A} \quad [\text{dB}]$$

dove:

L_1 ed L_2 sono, rispettivamente, il livello medio di pressione sonora nella camera trasmittente e ricevente.

S è l'area del provino pari a quella dell'apertura libera di prova.

A è l'area di assorbimento equivalente della camera ricevente.

Come deve esprimere l'incertezza il laboratorio di prova

Il valore vero di \check{R} sarà contenuto nell'intervallo definito dal valore misurato R più o meno l'incertezza U

$$\check{R} = R \pm U \quad [\text{dB}]$$

Il potere fonoisolante R è funzione delle variabili L_1 , L_2 e T , per cui il valore U è una incertezza composta desunta dalle incertezze determinate per le tre grandezze misurate. Trascurando le incertezze della misura di V e di S , l'incertezza di misura da associare a R sarà ottenuta determinando l'incertezza composta con la relazione:

$$u_c(\mathbf{R}) = \sqrt{s_{L1}^2 + s_{L2}^2 + \frac{1}{T^2} \cdot s_T^2} \quad [\text{dB}]$$

dove:

s_{L1} , s_{L2} ed s_T sono, rispettivamente, gli scarti tipo del livello di pressione sonora nella camera trasmittente, nella camera ricevente e lo scarto tipo della misura del tempo di riverberazione.

Come deve esprimere l'incertezza il laboratorio di prova

L'incertezza estesa U del valore del potere fonoisolante R , per ciascuna banda di frequenze, è calcolata con la relazione

$$U(R) = \pm t_{0,975GL_{eff}} \cdot u_c(R) \quad [\text{dB}]$$

dove: $t_{0,975GL_{eff}}$ è il valore critico della distribuzione t di Student relativa al livello di probabilità del 95% per GL_{eff} gradi effettivi di libertà calcolati, per ciascuna frequenza, mediante la relazione di Welch-Satterhwaite

$$GL_{eff} = \frac{[u_c(R)]^4}{\frac{[u(L_1)]^4}{GL_{L1}} + \frac{[u(L_2)]^4}{GL_{L2}} + \frac{1}{T^4} \frac{[u(T)]^4}{GL_T}}$$

dove: GL_{L1} , GL_{L2} , e GL_T sono i gradi di libertà relativi al campionamento di L_1 , L_2 e T .

ESEMPIO DI CALCOLO PER ESPRIMERE L'INCERTEZZA

A titolo di esempio si riporta il calcolo dell'incertezza estesa, per ciascuna banda di frequenza, eseguita in laboratorio su un campione di 2 m², disposto in una apertura ricavata sul divisorio di 10 m² tra le due camere riverberanti. I gradi di libertà GL, per i livelli ed i tempi di riverberazione, sono 14

Frequenza [Hz]	R [dB]	Incertezza R ±[dB]	gradi libertà	copertura o valore critico	Incertezza estesa ±[dB]
50					
63					
80					
100	22.2	2.7	18.1	2.1	5.6
125	22.0	2.1	21.7	2.1	4.4
160	19.6	2.6	17.9	2.1	5.5
200	28.5	1.6	28.2	2.0	3.2
250	33.0	1.3	26.1	2.1	2.6
315	35.6	1.3	23.7	2.1	2.7
400	37.5	0.9	28.1	2.0	1.9
500	38.7	0.9	27.6	2.1	1.9
630	42.2	0.7	21.6	2.1	1.4
800	44.1	0.6	28.1	2.0	1.1
1000	44.6	0.4	27.6	2.1	0.9
1250	45.4	0.6	26.4	2.1	1.2
1600	47.3	0.3	25.7	2.1	0.6
2000	48.2	0.4	25.4	2.1	0.9
2500	45.6	0.4	27.6	2.1	0.8
3150	43.9	0.5	27.6	2.1	1.0
4000	46.6	0.5	26.1	2.1	0.9
5000	48.7	0.7	20.8	2.1	1.4

L'INCERTEZZA SULL'INDICE DI VALUTAZIONE DEL POTERE FONOIOLANTE

L'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w è calcolato secondo la ISO 717-1 mentre l'incertezza associata è calcolata considerando i valori di R relativi agli estremi dell'intervallo di confidenza al 95% assumendo una distribuzione di probabilità rettangolare (Incertezza di categoria B). L'indice di valutazione del potere fonoisolante risulta pari a $R_w (C;C_{tr}) = 41 (-2;-7)$ dB con incertezza estesa pari a $U(R_w) = \pm 1,4$ dB determinata assumendo un fattore di copertura pari a $h = 2$.