

## LA RIPRODUCIBILITÀ $R$ DELLE MISURE DEL POTERE FONOISOLANTE

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

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

### 1. Introduzione

I rapporti di prova forniti dai costruttori di materiali devono dichiarare l'incertezza del misurando. Normalmente quella dichiarata è intrinseca al procedimento di misura seguito dal laboratorio che tiene conto esclusivamente degli errori casuali. Non sono presi in considerazione eventuali errori sistematici, rilevabili solo se si partecipa ad un esperimento collaborativo interlaboratorio. Può capitare, infatti, che i dati forniti da due laboratori diversi possano discostarsi significativamente tra di loro per cui, all'atto pratico, se ci si vuole cautelare sulla validità di un dato finale ottenuto dalla stima seguita mediante metodi normalizzati occorre valutare l'errore insito nel calcolo di previsione. È il caso, ad esempio, della stima dei requisiti acustici passivi dei fabbricati, quando il tecnico competente è tenuto a rispondere nel caso in cui i risultati di un collaudo producano valori inferiori ai requisiti di legge. Il rimbalzo delle responsabilità può coinvolgere anche il produttore dei materiali impiegati se si è costretti a ricorrere ad una nuova certificazione, mediante prove di laboratorio, dell'elemento ritenuto inadeguato (una finestra, una parete etc.). Sorge spontanea la domanda che ci si pone sulla stima dell'incertezza insita nel calcolo che necessariamente deve iniziare dall'impiego della stima della validità dei risultati forniti dal laboratorio. Il calcolo della propagazione dell'errore trae origine dalla conoscenza dei valori di ripetibilità  $r$  e riproducibilità  $R$  che devono caratterizzare un procedimento di prova. Nella misura del potere fonoisolante di un componente edilizio ci si deve riferire al criterio definito a suo tempo dalle norme ISO 140 (ultima revisione UNI EN 10140) il quale mantiene ancora i valori di  $r$  ed  $R$  indicati dalla UNI EN 20140-2 (anno 1994) [4] e che è mai stata posta a revisione.

Lo scopo del presente lavoro è la verifica della coerenza dei valori di  $r$  ed  $R$  proposti dalla norma con i valori scaturiti dai risultati delle prove interlaboratorio eseguite in epoche più recenti. I diversi esperimenti di confronto dei risultati che hanno coinvolto laboratori nazionali ed europei hanno fornito valori di riproducibilità  $R$  ancora più elevati di quelli indicati dalla norma UNI EN 20140-2.

Nell'articolo si elaborano e si confrontano tra loro i risultati degli esperimenti collaborativi condotti in epoche più recenti per la misura del potere fonoisolante. Si utilizzeranno i valori desunti dalla letteratura su confronti in scala europea [1], [2], (round Robin BCR, Pompoli ed altri), e nazionale [3], (Farina – Fausti, etc.). compresi quelli scaturiti da un recente confronto tra sei laboratori nazionali (anno 2010). Sui dati disponibili si applicano gli algoritmi statistici di calcolo indicati dalla norma ISO 5275 nelle sue 6 parti [5] compresa la individuazione e la eliminazione dei dati anomali (outlier).

Si utilizzeranno, poi, i valori di ripetibilità  $r$  e riproducibilità  $R$  per determinare, a titolo esemplificativo, l'intervallo di confidenza in cui cade il misurando e che dovrebbe essere dichiarato dai laboratori di prova. Resta al tecnico competente l'impiego dei valori relativi all'incertezza della prova per determinare l'incertezza della stima dei requisiti da lui calcolati in sede previsionale.

## 2. 2. Normativa di riferimento ed ambito d'analisi

Ci si riferisce alla misura del potere fonoisolante di un componente edilizio condotta nel pieno rispetto delle norme UNI EN 10140 nelle sue cinque parti. I risultati ottenuti da più laboratori che hanno sottoposto a prova uno stesso campione si collocano in un ampio intervallo di variabilità che risulta inaccettabile ai fini pratici. Per questo si rende necessaria una indagine approfondita dei motivi che portano alla significativa dispersione dei risultati di misura prodotti dai diversi laboratori. Questi motivi devono essere ricercati sia nella tipologia d'impianto utilizzato, che risulta diversa da laboratorio a laboratorio, sia nella procedura adottata per la determinazione sperimentale del potere fonoisolante. La nuova norma ISO 10140-1 pone la massima attenzione alla modalità di montaggio del campione tra le due camere riverberanti per ridurre l'incertezza della misura; le altre parti si occupano delle procedure di misura tralasciando, a parere di chi scrive, una risolutiva definizione della tipologia costruttiva delle camere di prova, dei suoi volumi, delle forme etc. volte ad ottenere campi sonori più diffusi e a ridurre la presenza di errori sistematici. È più semplice, invece, conseguire buoni risultati per quanto riguarda la soppressione delle trasmissioni laterali.

Per meglio definire l'ambito di analisi del seguente lavoro occorre premettere che la norma UNI EN 10140-2 [5] indica il metodo di calcolo dell'intervallo di confidenza derivabile dai valori di ripetibilità  $r$  e riproducibilità  $R$  adottati dal laboratorio. Il numero di prove  $n$  che un laboratorio può eseguire in fase di misura delle prestazioni di un prodotto è legato alla procedura interna adottata. Possono essere eseguite più prove sul campione in esame per ridurre l'influenza dell'errore casuale ma, per questioni di tempo e costi, un laboratorio esegue normalmente una sola prova.

I valori consigliati dalla norma per  $r$  ed  $R$  sono riportati nella tabella e nel grafico di Figura 1. L'ipotesi statistica alla base del calcolo presuppone che gli scarti tipo di ripetibilità e riproducibilità non dipendano dal livello della prova (assunto in questo caso pari al valore del potere fonoisolante misurato per ciascuna frequenza).

Frequenze Hz	Valori da EN 20140-2	
	r dB	R dB
100	4.5	9.0
125	4.0	8.5
160	3.5	6.0
200	3.5	5.5
250	2.5	5.5
315	2.5	4.5
400	2.0	4.5
500	2.0	4.0
630	1.5	3.5
800	1.5	3.0
1000	1.5	2.5
1250	1.5	3.0
1600	1.5	3.5
2000	1.5	3.5
2500	1.5	3.5
3150	1.5	3.5

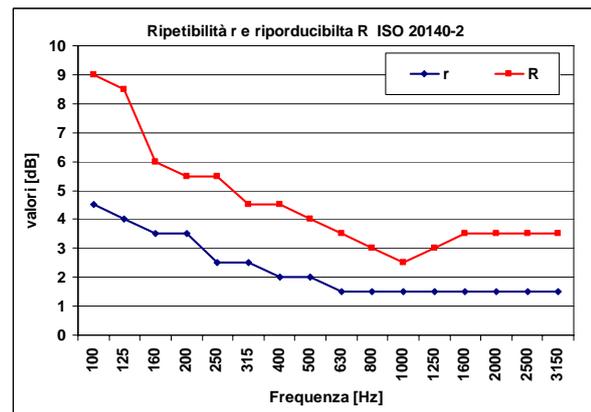


Figura 1 valori ripetibilità e riproducibilità relativi al metodo di prova del potere fonoisolante di un componente edilizio.

Si vogliono confrontare i valori di r ed R desunti da altre prove interlaboratori con quelli riportati nella UNI EN 20140-2. Si utilizzano i risultati delle prove interlaboratorio descritti più oltre reperiti in letteratura e direttamente rilevati dallo scrivente quale progettista e consulente del laboratorio Legno Legno di Correggio (RE). :

I criteri ed i calcoli utilizzati per determinare l'accuratezza (esattezza e precisione) della misura del potere fonoisolante sono quelli indicati nelle 6 parti in cui è suddivisa la norma UNI ISO 5725 (agosto 2004).

### 3. Analisi dei dati ricavati da una recente prova interlab

I risultati delle prove di potere fonoisolante utilizzati per il calcolo dei valori di ripetibilità r e riproducibilità R sono stati ottenuti da un recente confronto tra 5 laboratori italiani. Ogni laboratorio ha eseguito n. 6 prove di potere fonoisolante di una lastra di vetrocamera costituita da due lastre stratificate, la prima realizzata con due vetri da 3 mm con interposto PVB, la seconda realizzata mediante l'accoppiamento di due lastre da 4 mm. L'intercapedine di 16 mm è riempita con gas argon. La lastra ha dimensioni pari a 1110 mm per 1360 mm; il provino, consegnato a ciascun laboratorio italiano partecipante, è ricavata da uno stesso lotto. È disponibile un rapporto di prova del potere fonoisolante del vetro rilasciato dal laboratorio SWA di Aachen. Per la prova ogni laboratorio ha provveduto a realizzare autonomamente il telaio in legno nel quale è fissato il proprio campione. Nel grafico e nella tabella di Figura 2 si riportano il valore medio del potere fonoisolante ricavato dalle 6 prove e si confrontano questi con i valori riportati nel rapporto di prova fornito dal laboratorio tedesco.

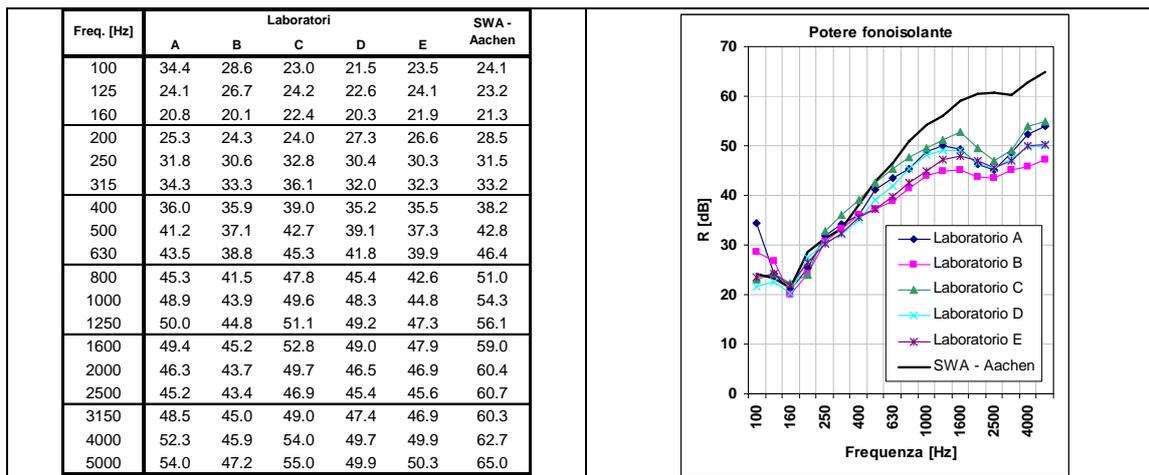


Figura 1 - Confronto dei valori del potere fonoisolante forniti da ciascun laboratorio

La elevata dispersione dei dati, specialmente oltre la frequenza di 315 Hz, impone una analisi statistica di dettaglio volta a verificare non solo la sussistenza delle ipotesi statistiche alla base dei criteri espressi nella norma UNI ISO 5725 ma anche ad individuare la presenza di outliers ed a mantenerli o eliminarli se si trattano rispettivamente di valori dispersi o di valori anomali. La verifica della normalità dei valori del potere fonoisolante desunti da ciascun laboratorio è stata effettuata utilizzando il metodo grafico del Normal Probability Plot ed il test di Kolmogorov – Smirnov. I due metodi non rilevano deviazioni significative dai valori distribuiti secondo la statistica di Gauss.

Per individuare i dati dispersi e quelli anomali si utilizzano, invece, i risultati dei seguenti test.

1. metodo grafico che impiega le due misure definite statistiche  $h$  e  $k$  di Mandel per la verifica della coerenza dei dati rilevati.
2. test di Cochran e di Grubbs per la verifica della coerenza dei dati intralaboratorio.

Dal risultato di tutti i test si traggono le seguenti conclusioni che portano ad escludere i valori anomali:

- per il laboratorio A si escludono tutti i valori alla frequenza di 100 Hz che risultano anomali al test di Grubbs; si escludono i valori alle frequenze di 250 Hz e 400 Hz che risultano anomali al test di Cochran.
- per il laboratorio B si escludono tutti i valori alla frequenza di 125 Hz negativi per il test di Grubbs,
- per il laboratorio C si escludono tutti i valori alla frequenza di 400 Hz,
- per il laboratorio D non si esclude alcun valore
- per il laboratorio E si escludono tutti i valori alla frequenza di 1250 Hz, 4000 Hz e 5000 Hz che risultano negativi al test di Cochran.

L'analisi dei dati che comprende ed esclude gli outlier ha fornito i valori di ripetibilità  $r$  e di riproducibilità  $R$  della Figura 3.

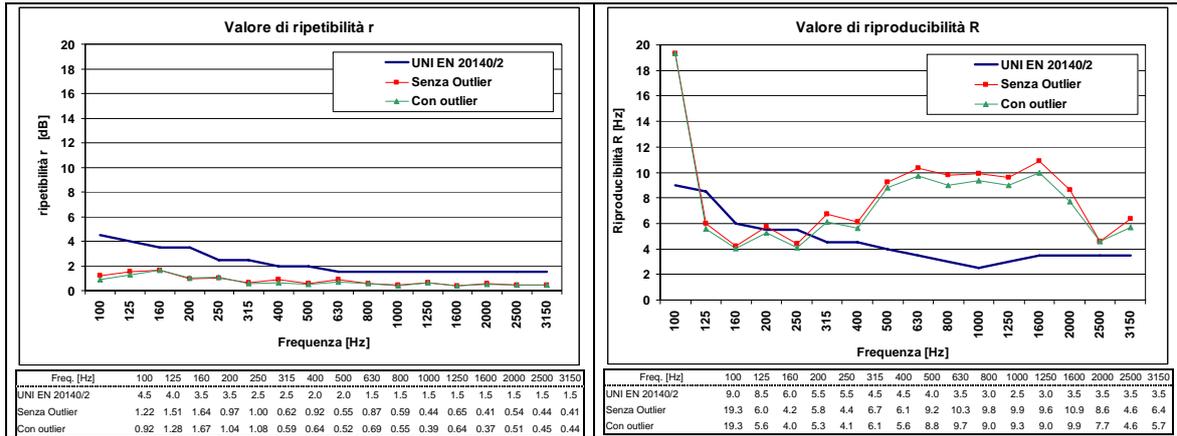


Figura 3 - Valori di ripetibilità  $r$  e riproducibilità  $R$  calcolati considerando ed eliminando i dati anomali.

I risultati evidenziano eccessive differenze dei valori di riproducibilità che risultano abbondantemente superiori a quelli attesi e quantificati negli esperimenti preliminari forniti dalla norma UNI ISO 20140-2.

Occorre far notare che la ISO 20140-2 (ultima revisione del 1994) si avvale, per la determinazione dei valori di ripetibilità  $r$  e di riproducibilità  $R$ , delle sperimentazioni condotte da diversi laboratori europei fino al 1986 compresi i dati forniti nell'ambito di un progetto BCR nel periodo compreso tra il 1985 ed il 1986.

#### 4. Risultati che emergono da altri confronti interlaboratorio

Si riportano i risultati ottenuti elaborando i dati reperiti in letteratura per le seguenti prove.

- 1) BCR 1988 - Confronto interlaboratorio su misure del potere fonoisolante su tre provini: un vetro camera, una lastra metallica e una doppia lastra metallica con interposto pannello di materiale fonoassorbente. I campioni hanno dimensione di 1230 mm x 1480 mm. Hanno partecipato 13 laboratori europei per 6 prove. Per il calcolo sono stati esclusi 2 laboratori i cui risultati sono stati ritenuti anomali
- 2) Intercomparison of laboratory measurements of airborne sound insulation of walls Roberto Pompoli Università di Ferrara (anni 1990-94). Sono stati analizzati i risultati prodotti da 24 laboratorio europei sul potere fonoisolante di 2 campioni di parete,
- 3) Prove interlaboratorio per la determinazione dei valori di ripetibilità e riproducibilità nella misura del potere fonoisolante di pareti A. Farina, P. Fausti, R. Pompoli, F. Scaloni. Si riportano i risultati delle misure del potere fonoisolante fornite da 9 laboratori italiani su 2 campioni di parete

I valori di ripetibilità e riproducibilità desunti dalle prove scaturite dalle tre serie di esperimenti sono confrontati nella Figura 4.

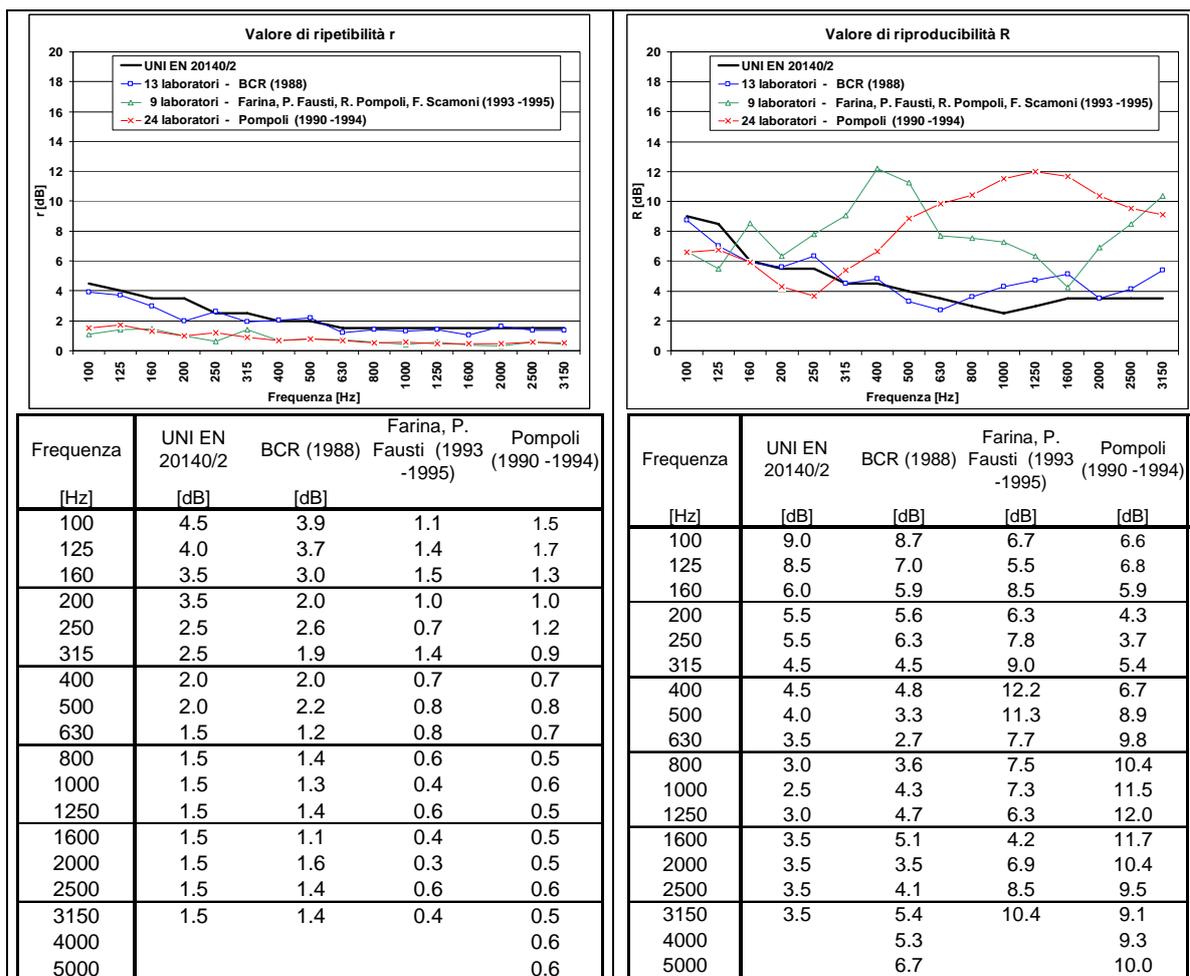


Figura 4 – Valori di ripetibilità  $r$  e riproducibilità  $R$  desunti dall'analisi dei dati e prove condotte nei tre diverse esperimenti collaborativi fra laboratori.

Come si evince dai dati riportati si trae la conclusione che i valori di ripetibilità sono inferiori a quelli riportati dalla norma UNI EN 20140-2; i valori di riproducibilità, invece, sono abbondantemente superiori a quelli riportati dalla norma e si discostano da essi a conferma delle probabili anomalie nelle procedure di misura o

## 5. Applicazione dei valori di ripetibilità e riproducibilità alla misura di laboratorio di una lastra di vetro monolitico spessore 10 mm

Le prove eseguite presso il laboratorio LegnoLegno forniscono un indice di valutat del pot fonisol pari a  $R_w = 34$  dB.

Il valore è ottenuto eseguendo  $n = 16$  prove nelle quali si ricava il valore di ripetibilità  $r$  che applicato al valore del potere fonisolante conduce ad un incertezza sull'indice  $r$  di 0.2 dB.

Si ricalcolano le incertezze nelle seguenti due ipotesi, impiego dei valori di  $r$  e  $R$  della norma ISO 20140-2, valori di  $r$  e  $R$  fornito dalle prove Interlab in cui ha partecipato anche il laboratorio LegnoLegno. L'incertezza che si ricava è la seguente:

- incertezza ricavata con i valori ISO 20140-2 :  $U(R) = \pm 1.3$  dB
- incertezza ricavata dalle prove Interlab :  $U(R) = \pm 3.6$  dB

I valori che si possono desumere dalle altreprove porterebbero ad un'estensione dell'intervallo di confidenza superiore

## 6. Conclusione

E' parere di chi scrive che la dichiarazione dell'incertezza di misura dichiarata nei rapporti di prova da alcuni laboratori accreditati risulti inutile in quanto riferita solo alla ripetibilità del metodo che, come dimostrato dalle prove tra laboratori fornisce valori di  $r$  molto contenuti. Al contrario i valori di riproducibilità  $R$  riscontrati sono molto più elevati di quelli dichiarati dalla UNI ISO 20140 – 2 e rendono sospetta la presenza di errori sistematici insiti nelle prove fornite dai diversi laboratori.

Il calcolo dell'incertezza del potere fonoisolante di una lastra di vetro da 10 mm porta ad un intervallo di confidenza con estremi a  $\pm 0.2$  dB se si considera solo il valore di ripetibilità; porta ad un intervallo di confidenza di  $\pm 3.6$  dB se si considerano entrambi i valori di ripetibilità e riproducibilità ricavati dalle prove tra laboratori italiani. Ciascun laboratorio accreditato dovrebbe dichiarare l'incertezza della misura ed il relativo intervallo di confidenza della prova utilizzando, invece, i valori di ripetibilità e riproducibilità come indicato dalla UNI ISO 20140 – 2 capitolo 6.2.

I risultati dei più recenti confronti tra laboratori indicano valori inaccettabili della riproducibilità che dovrebbero portare gli enti di ricerca ad indagare sulle cause di tale anomalia ed a farsi promotori presso l'ente internazionale di normalizzazione ISO di una proposta più restrittiva per la realizzazione delle camere di prova. Tale proposta solleverebbe molte proteste in quanto dovrebbero essere ricostruiti la maggior parte dei laboratori.

## Bibliografia

- [1] BCR 1988 – Intercomparison of laboratory sound insulation measurements on window panes Report EUR 11576 EN
  - [2] Intercomparison of laboratory measurements of airborne sound insulation of walls Roberto Pompoli University of Ferrara (anno 1990-1994).
  - [3] Prove interlaboratorio per la determinazione dei valori di ripetibilità e riproducibilità nella misura del potere fonoisolante di pareti A. Farina, P. Fausti, R. Pompoli, F. Scaloni (anno 1993-1995).
  - [4] ISO 5275 da 1 a 6, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results
  - [5] UNI EN 20140 parte 2 (marzo 1994) - Misura dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio: Determinazione, verifica e applicazione della precisione dei dati
- UNI EN 12354-1 (isolamento per via aerea, anno 2002),
- UNI EN 12354-2 (isolamento acustico al calpestio tra ambienti, anno 2002),
- UNI EN 12354-3 (isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea, anno 2002)
- UNI/TR 11175 (Guida alle norme serie UNI 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale, anno 2005)

UNI 11367 (Classificazione acustica delle unità immobiliari: procedura di valutazione e verifica in opera. Anno 2010)

UNI CEI 9/1997 – Guida all'espressione dell'incertezza di misura

SINAL DT-0002 – Guida per la valutazione e l'espressione dell'incertezza nelle misurazioni. (febbraio 2000).

# **PRESENTAZIONE**

# La riproducibilità R delle misure del potere fonoisolante

Raffaele PISANI - Paolo ONALI - Chiara DEVECCHI



Studio di ingegneria acustica PISANI  
via Cavalieri di Vittorio Veneto, 8  
10098 Rivoli (TO)  
e-mail: [sia.pisani@tin.it](mailto:sia.pisani@tin.it)

**I rapporti di prova forniti dai costruttori dei componenti edilizi devono dichiarare l'incertezza del misurando (potere fonoisolante).**

- 1) *l'incertezza normalmente dichiarata* tiene conto esclusivamente degli **errori casuali** (intrinseci al procedimento di prova seguito dal laboratorio );
- 2) *non sono considerati* gli **errori sistematici** che emergono attraverso prove tra laboratori diversi .

**I risultati di una prova sullo stesso componente, forniti da due laboratori diversi, possono discostarsi significativamente per effetto degli errori sistematici insiti nelle misurazioni.**

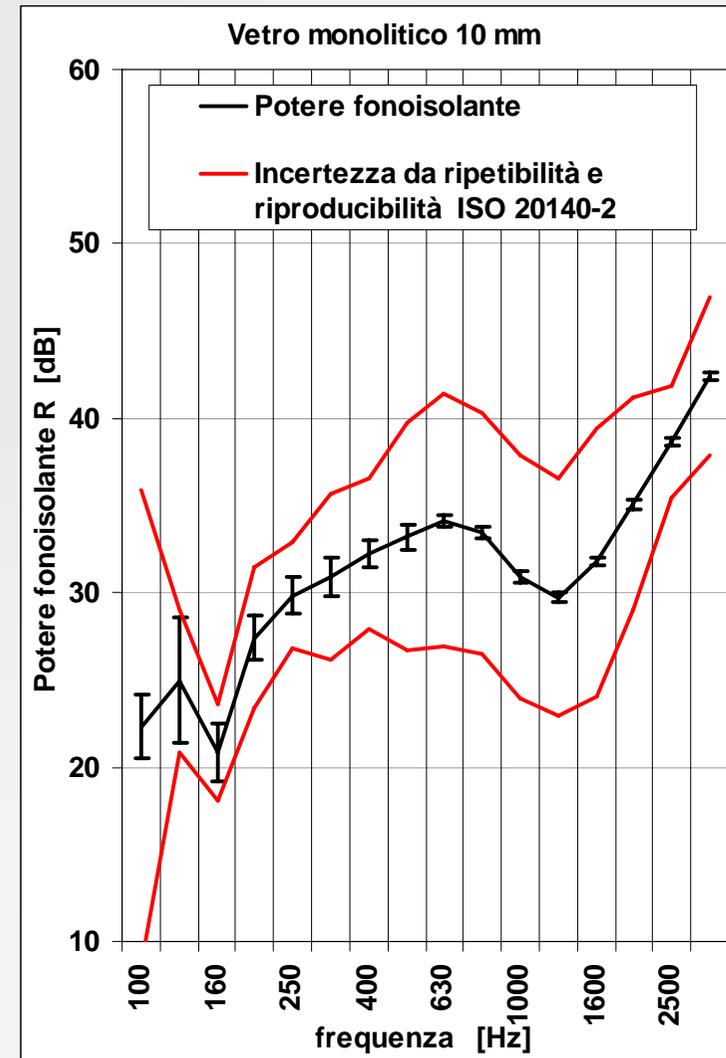
**Il laboratorio dichiara l'intervallo di confidenza utilizzando i valori di ripetibilità  $r$  desunti da numerose prove e verificate saltuariamente con le prove in doppio.**

**Raramente il laboratorio considera la propria riproducibilità  $R$  desunta da prove interlaboratorio o determinata utilizzando lo stesso campione che è stato oggetto di prove eseguite da altri.**

**Anche in questo caso la verifica della coerenza dei propri valori di riproducibilità con quelli eseguiti durante le prove interlaboratorio viene effettuata utilizzando il criterio di una prove in doppio intermedia.**

## Esempio della determinazione dell'incertezza estesa relativa al potere fonoisolante di un serramento considerando i valori di ripetibilità e riproducibilità indicati dalla norma ISO 20140-2

Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]	Incertezza estesa incertezza per ripetibilità [dB]	Incertezza da ripetibilità e riproducibilità ISO 20140-2 [dB]
100	22.3	1.8	13.6
125	25.0	3.6	4.1
160	20.9	1.6	2.8
200	27.4	1.3	4.0
250	29.8	1.1	3.0
315	30.9	1.1	4.7
400	32.2	0.8	4.3
500	33.2	0.7	6.5
630	34.2	0.3	7.3
800	33.4	0.3	6.9
1000	30.9	0.3	7.0
1250	29.7	0.3	6.8
1600	31.8	0.2	7.7
2000	35.1	0.2	6.1
2500	38.7	0.2	3.2
3150	42.4	0.2	4.5
4000	45.4	0.4	-
5000	47.2	0.2	-
<b>Errore su <math>R_w</math> =</b>		<b><math>\pm 0,2</math> dB</b>	<b><math>\pm 3,6</math> dB</b>



Per il calcolo dell'intervallo di confidenza si utilizzano i valori di ripetibilità  $r$  e riproducibilità  $R$ , forniti dalla ISO 20140-2 anno 1994. Successivamente all'entrata in vigore della norma sono state effettuate numerose comparazioni tra laboratori. I nuovi valori calcolati sono confrontati con quelli della ISO 20140-2.

### I valori di $r$ ed $R$ calcolati utilizzano le seguenti prove:

- 1) **Confronti Internazionali (round Robin BCR 1989)** tre provini: vetro e lastre metalliche. Hanno partecipato 13 laboratori europei per 6 prove.
- 2) **Confronti Internazionali Pompoli ed altri (1994 - 1998)**, prove su 2 campioni di parete. Hanno partecipato 24 laboratori europei.
- 3) **Confronti tra laboratori nazionali (Farina – Fausti, ed altri 1993 - 1995)** prove su 2 campioni di parete. Hanno partecipato 9 laboratori italiani
- 4) **Confronto tra sei laboratori nazionali (anno 2010)** prove su vetri. Hanno partecipato 6 laboratori italiani ai quali sono stati fornite lastre di vetro ricavate dallo stesso lotto

Esempio di elemento in prova: ***finestra***

**I risultati delle prove sono stati analizzati, in termini di accuratezza, impiegando i criteri suggeriti dalla norma ISO 5725 (2004)**

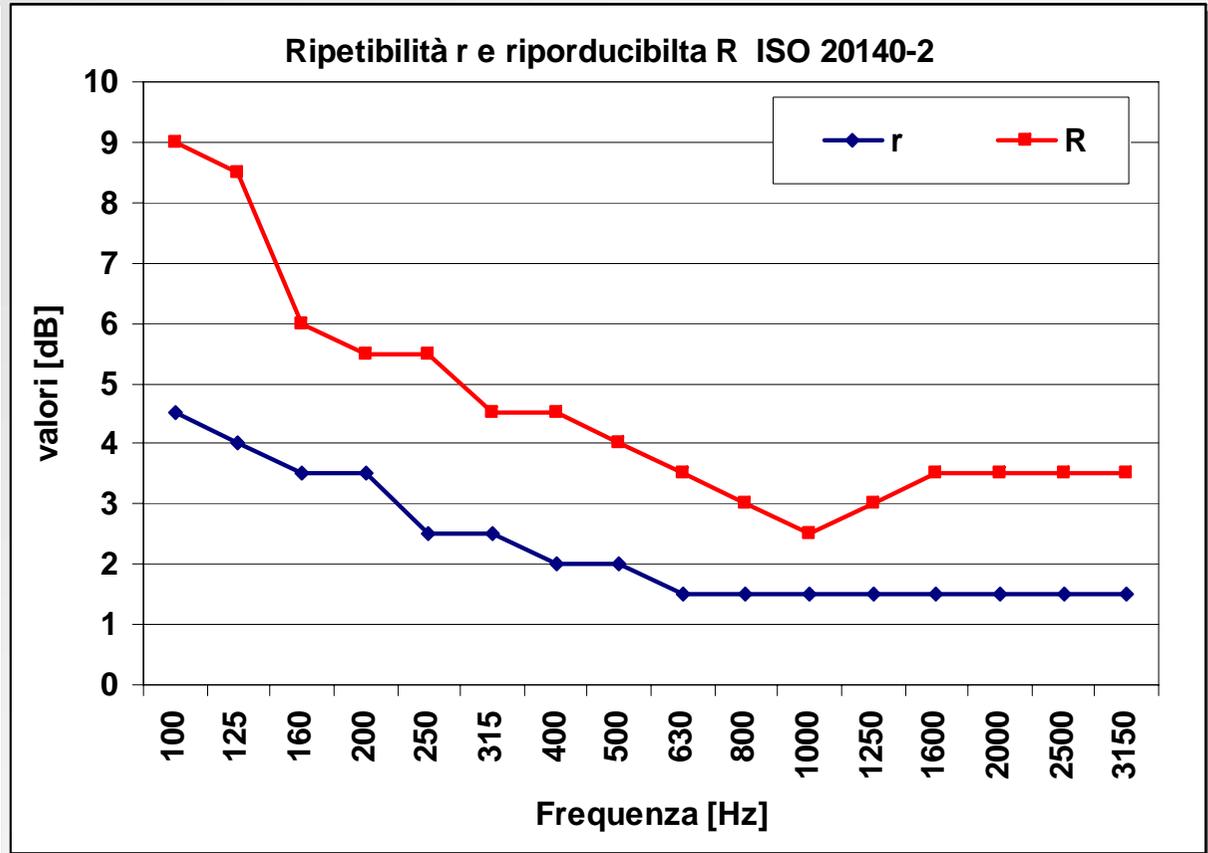


**Le prove effettuate consentono di trarre le seguenti conclusioni:**

- **i valori di ripetibilità  $r$  sono generalmente inferiori a quelli dichiarati dalla ISO 20140- 2**
- **I valori di riproducibilità  $R$  sono decisamente superiori a quelli indicati dalla ISO 20140 – 2 (a conferma delle probabili anomalie nelle procedure di misura)**

La norma ISO 20140-2, per il calcolo dell'intervallo di confidenza, propone i seguenti valori:

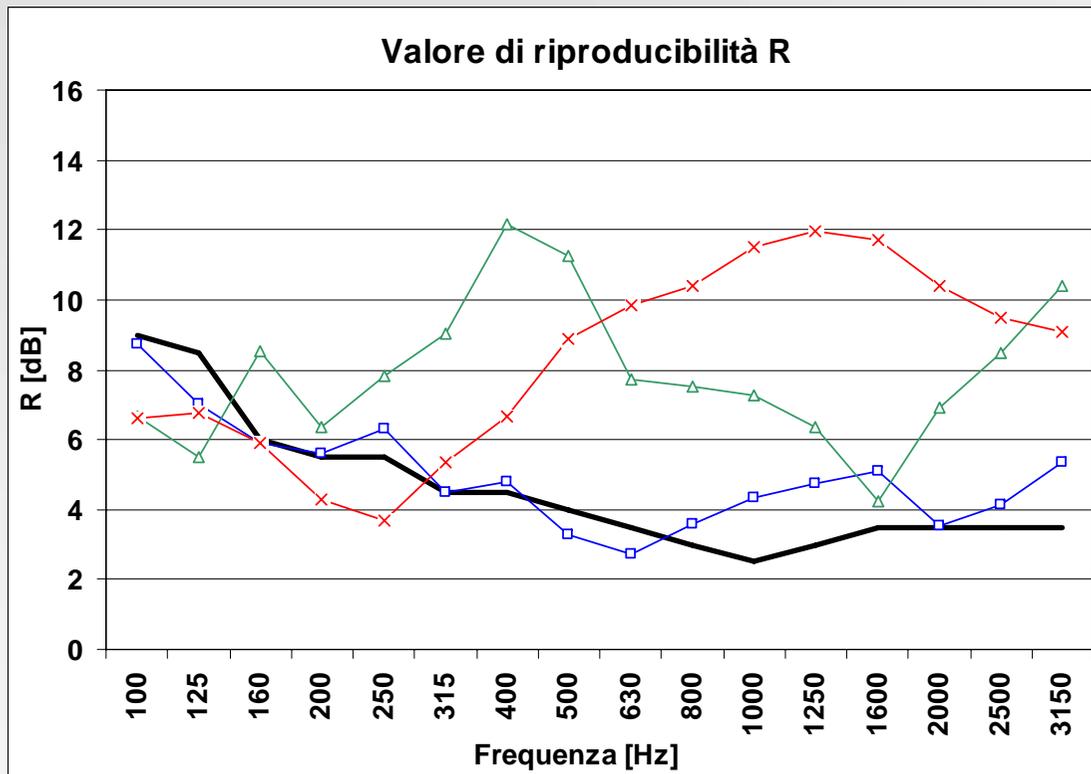
Frequenze Hz	Valori da EN 20140-2	
	<i>r</i> dB	<i>R</i> dB
100	4.5	9.0
125	4.0	8.5
160	3.5	6.0
200	3.5	5.5
250	2.5	5.5
315	2.5	4.5
400	2.0	4.5
500	2.0	4.0
630	1.5	3.5
800	1.5	3.0
1000	1.5	2.5
1250	1.5	3.0
1600	1.5	3.5
2000	1.5	3.5
2500	1.5	3.5
3150	1.5	3.5



I criteri ed i calcoli utilizzati per determinare l'accuratezza (esattezza e precisione) della misura del potere fonoisolante sono quelli della norma ISO 5725 (agosto 2004) parti 1-6



In relazione ai valori di riproducibilità **R**, invece, le prove effettuate nel passato (BCR 1998, Pompoli ed altri 1994-1998, Farina – Fausti 1993-1995) sono abbondantemente superiori a quelli riportati dalla norma, a conferma delle probabili anomalie nelle procedure di misura.



Frequenza	ISO 20140-2	BCR (1988)	Farina, P. Fausti (1993 -1995)	Pompoli (1990 -1994)
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	9.0	8.7	6.7	6.6
125	8.5	7.0	5.5	6.8
160	6.0	5.9	8.5	5.9
200	5.5	5.6	6.3	4.3
250	5.5	6.3	7.8	3.7
315	4.5	4.5	9.0	5.4
400	4.5	4.8	12.2	6.7
500	4.0	3.3	11.3	8.9
630	3.5	2.7	7.7	9.8
800	3.0	3.6	7.5	10.4
1000	2.5	4.3	7.3	11.5
1250	3.0	4.7	6.3	12.0
1600	3.5	5.1	4.2	11.7
2000	3.5	3.5	6.9	10.4
2500	3.5	4.1	8.5	9.5
3150	3.5	5.4	10.4	9.1
4000		5.3		9.3
5000		6.7		10.0

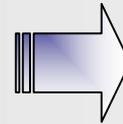


Ci si riferisce ad un recente confronto del potere fonoisolante di un vetrocamera provato in 5 laboratori italiani accreditati (2010).

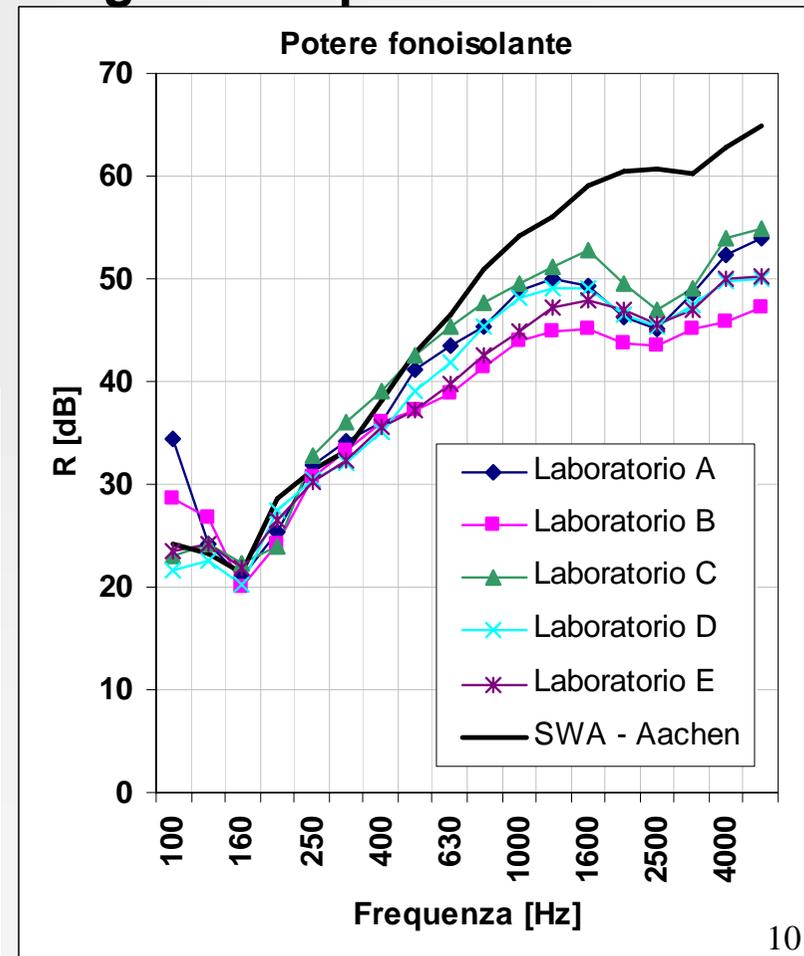
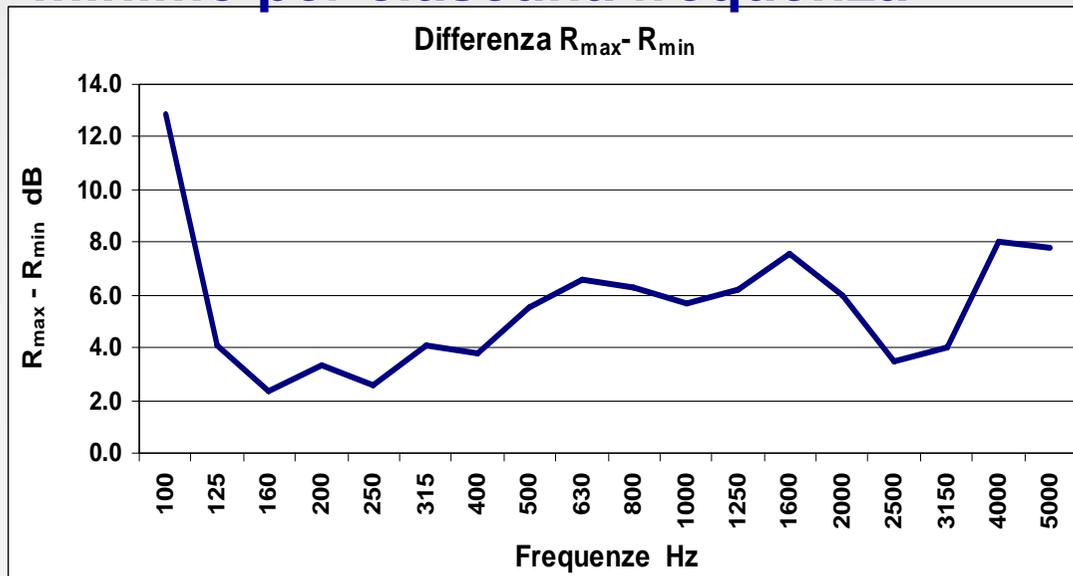
Il campione in prova fornito è estratto da un unico lotto ed è munito di un certificato rilasciato dal laboratorio SWA di Aachen

Ciascun laboratorio ha prodotto 6 prove in regime di ripetibilità stretta

Confronto dei valori medi del potere fonoisolante forniti da ciascun laboratorio



Scarto tra il valore massimo e quello minimo per ciascuna frequenza



### **LA DISPERSIONE DEI VALORI DEL POTERE FONOISOLANTE (norma ISO 10140-1) può dipendere da:**

**tipologia** d'impianto utilizzato, diverso da laboratorio a laboratorio;  
**procedura adottata** per la determinazione sperimentale del potere fonoisolante

La nuova norma ISO 10140-1, al fine di ridurre l'incertezza della misura, pone l'attenzione

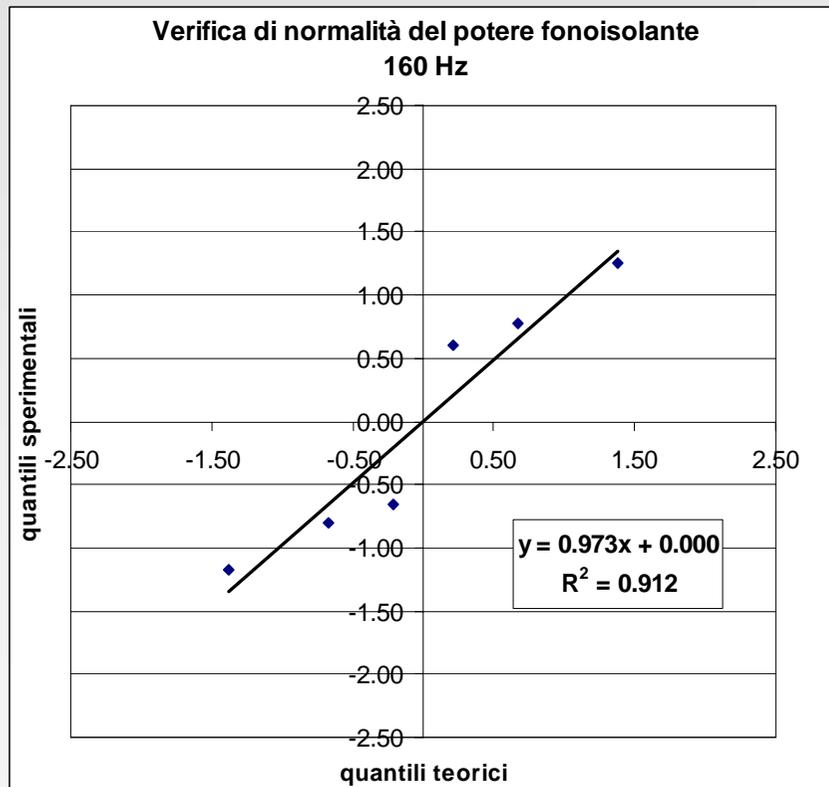
- 1) Sulla modalità di montaggio del campione tra le due camere riverberanti
- 2) Sulla procedura di misura descritta in maniera più dettagliata rispetto alle precedenti versioni della ISO 140 - 3

Meno evidente è l'importanza data dalla definizione della **tipologia costruttiva delle camere di prova** (i volumi, le forme, etc). volte ad ottenere campi sonori più diffusi e a ridurre la presenza di errori sistematici.

### Passo 1 - VERIFICA DELLA NORMALITA' DEI DATI

Viene eseguita utilizzando il metodo grafico del Normal Probability Plot ed il test di Kolmogorov – Smirnov.

Per la frequenza di 160 Hz, ad esempio, si riporta la retta di interpolazione tra i quantili teorici relativi all'ipotesi di normalità dei dati e quelli sperimentali.



- Si calcola il valore assoluto della differenza, punto per punto tra frequenze cumulate sperimentali FCR e frequenze cumulate teoriche FCT

-Se il valore della differenza massima è inferiore ad un valore critico tabulato si conclude che la distribuzione è normale

Nell'esempio per la frequenza di 160 Hz

La differenza massima assoluta

(FCT-FCR) = 0,250 e

**Valore critico** per la differenza assoluta (FCT-FCR) per 6 campioni e livello di probabilità  $p = 95\%$  il valore critico **d = 0,519**

**Vi è un buon accordo tra le due cumulate a riprova che i dati si distribuiscono secondo la statistica di Gauss.**

## Passo 2 – Verifica della coerenza

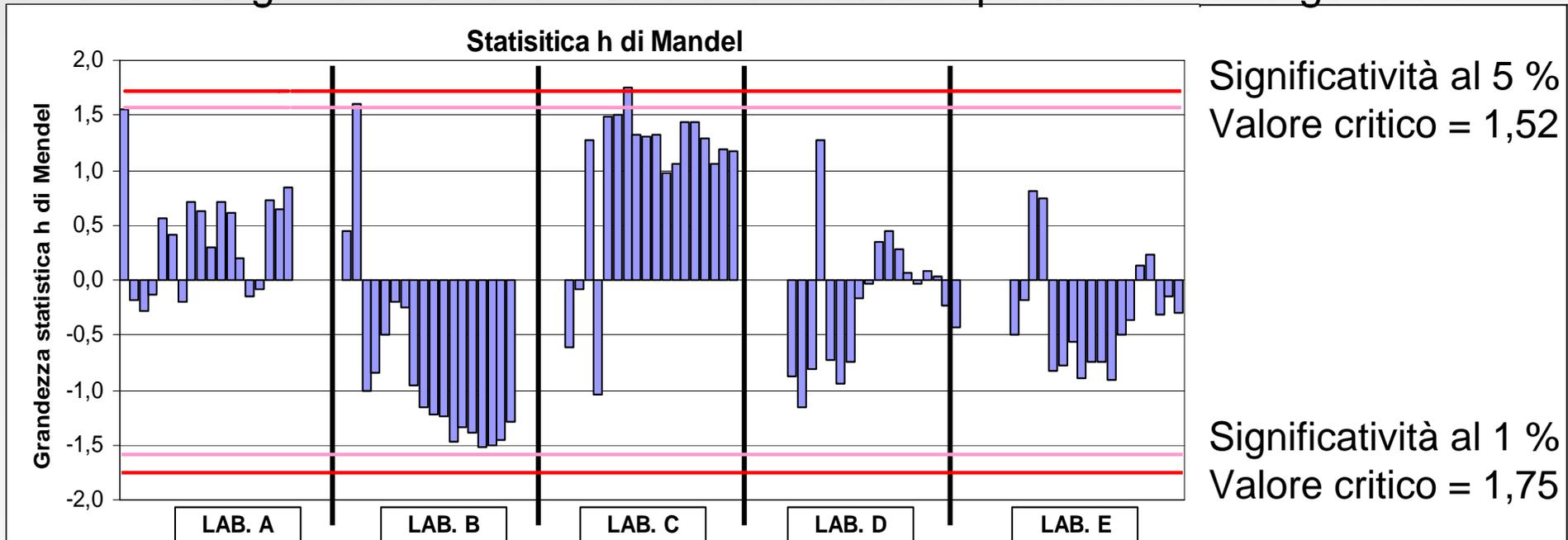
dei dati forniti dai diversi laboratori (ISO 5725)

metodo grafico

### Statistica $h$ di Mandel

$$h_i = \frac{\bar{y}_i - \bar{\bar{y}}}{\sqrt{\frac{1}{p-1} \cdot \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}})^2}}$$

Si definisce una variabile con distribuzione di probabilità standardizzata del tipo (singolo valore – valor medio)/scarto tipo. Valori elevati di  $h_i$  indicano differenze significative della media di una cella rispetto alla media generale



Per i laboratori B e C alle frequenze da 500 Hz a 5000 Hz è ipotizzabile un errore sistematico

## Passo 3 – Verifica della coerenza

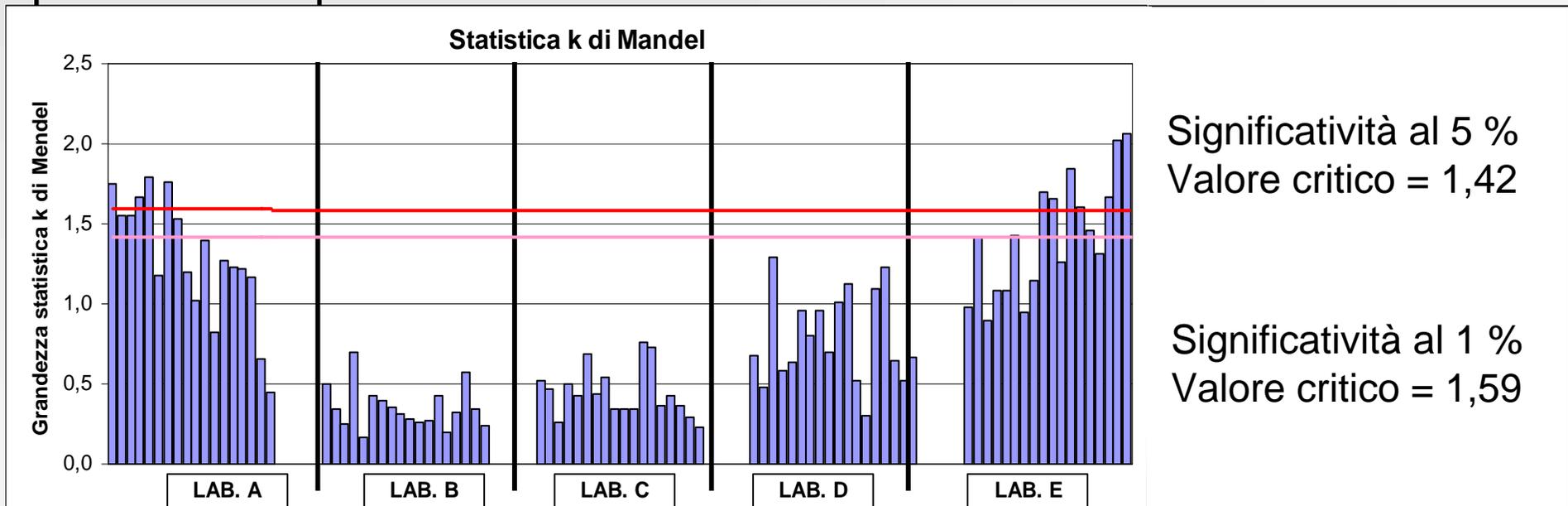
dei dati forniti dai diversi laboratori (ISO 5725)

metodo grafico

**Statistica k di Mandel**

$$k_i = \frac{s_i \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sum_{i=1}^5 s_i^2}}$$

La statistica è il rapporto tra lo scarto tipo all'interno di una cella e quello medio per ciascuna cella di tutti i laboratori



I laboratori B e C presentano valori minimi della statistica k di Mandel, ciò indica una elevata ripetibilità dei dati che, in generale, può essere sospetta se sono influenti gli arrotondamenti o la scarsa sensibilità del metodo e della strumentazione di misura



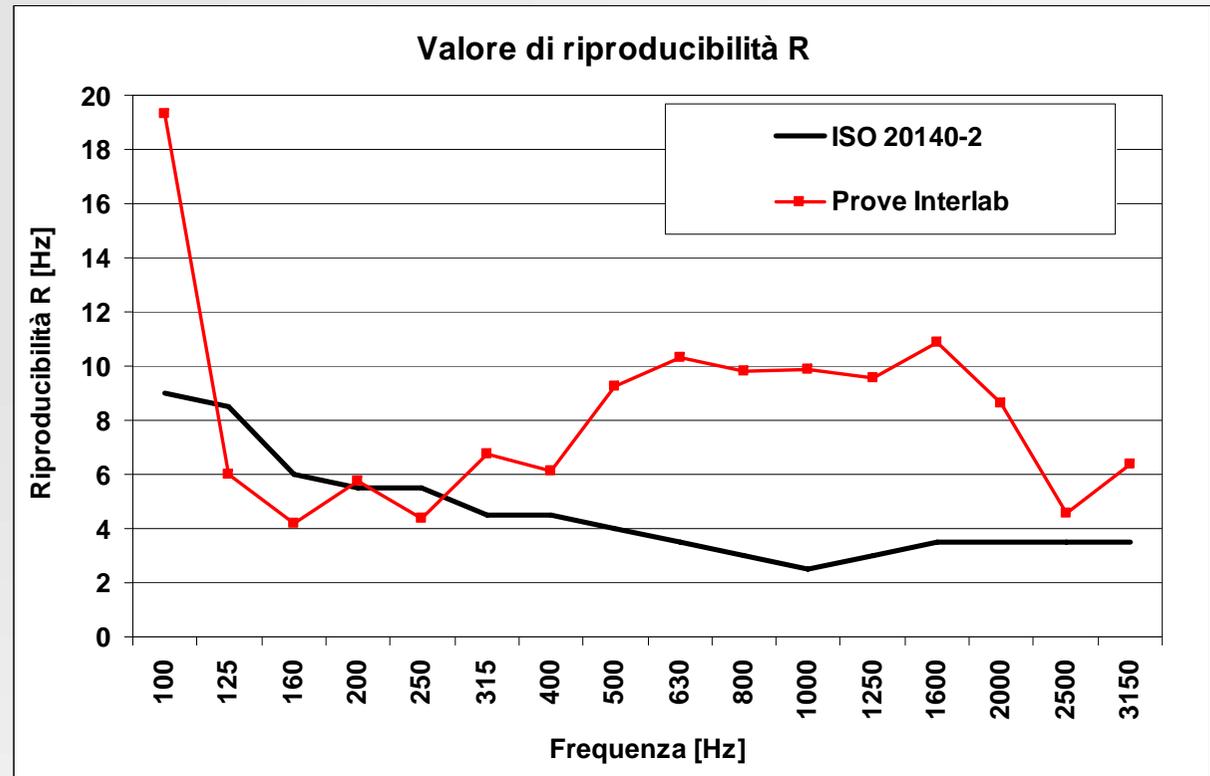
## Test di Cochran e Grubbs per la verifica della coerenza dei dati intralaboratorio.

Dal risultato di tutti i test si traggono le seguenti conclusioni che portano ad escludere i valori anomali:

		Modulo A																		
		Dati sperimentali																		
		Freq. [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Laboratorio A	Misura1		24,3	20,5	25,4		34,2		41,1	43,9	45,1	48,7	49,8	49,2	46,2	45,2	48,3	52,2	53,9	
	Misura2		24,8	20,4	25,1		34,6		41,0	43,3	45,1	48,8	49,9	49,4	46,2	45,1	48,5	52,4	54,2	
	Misura3		24,4	19,9	24,6		34,3		41,0	43,9	45,2	48,9	50,0	49,3	46,2	45,0	48,5	52,3	53,9	
	Misura4		24,2	20,9	25,9		34,4		41,2	43,3	45,2	48,9	49,9	49,5	46,2	45,3	48,5	52,2	53,9	
	Misura5		24,0	21,8	25,6		34,3		41,5	43,4	45,4	48,9	50,1	49,4	46,5	45,3	48,6	52,5	54,0	
	Misura6		22,9	21,4	25,3		34,0		41,5	43,4	45,5	49,2	50,2	49,6	46,6	45,4	48,7	52,3	53,9	
Laboratorio B	Misura1	28,5		20,0	24,3	30,6	33,3	36,0	37,1	38,7	41,6	43,9	44,9	45,2	43,7	43,4	45,0	46,0	47,2	
	Misura2	28,4		19,9	24,3	30,6	33,3	35,9	37,1	38,7	41,5	43,9	44,9	45,2	43,7	43,4	44,9	45,8	47,3	
	Misura3	28,4		20,1	24,6	30,5	33,1	36,1	37,2	38,7	41,5	43,9	44,8	45,2	43,7	43,4	45,0	45,9	47,1	
	Misura4	28,8		20,0	24,3	30,7	33,2	35,8	37,1	38,8	41,5	44,0	44,7	45,3	43,7	43,4	45,0	45,9	47,1	
	Misura5	28,7		20,3	24,3	30,7	33,3	35,8	37,1	38,9	41,5	43,9	44,9	45,3	43,7	43,5	45,1	46,0	47,2	
	Misura6	28,6		20,1	24,0	30,6	33,2	35,9	37,1	38,8	41,4	43,9	44,8	45,2	43,8	43,4	45,0	45,9	47,2	
Laboratorio C	Misura1	22,7	24,0	22,3	24,0	32,9	36,2		42,7	45,4	47,7	49,6	51,3	52,8	49,6	46,9	49,0	53,9	55,0	
	Misura2	22,9	24,3	22,6	24,0	32,8	36,2		42,7	45,4	47,8	49,7	51,1	52,8	49,7	47,0	49,0	54,0	55,1	
	Misura3	22,9	24,1	22,4	24,1	32,6	36,1		42,6	45,3	47,7	49,6	51,1	52,8	49,7	47,0	49,0	54,0	55,0	
	Misura4	22,9	24,5	22,5	24,0	32,9	36,2		42,6	45,4	47,8	49,6	51,0	52,8	49,7	46,9	49,0	54,0	54,9	
	Misura5	23,2	24,1	22,3	23,8	32,9	36,1		42,8	45,2	47,7	49,6	51,0	52,6	49,6	46,9	49,0	53,9	55,0	
	Misura6	23,1	24,4	22,4	24,2	32,8	35,9		42,6	45,3	47,8	49,6	50,9	52,8	49,6	46,9	49,1	54,0	55,0	
Laboratorio D	Misura1	21,4	23,0	19,9	27,3	30,4	32,0		38,9	41,7	45,6	48,3	49,2	49,0	46,4	45,3	47,3	49,6	49,9	
	Misura2	21,1	22,5	19,6	27,5	30,7	32,2	35,5	38,9	41,8	45,3	48,2	49,2	49,0	46,3	45,3	47,4	49,6	50,0	
	Misura3	21,7	22,4	19,8	27,4	30,3	31,9	35,1	39,0	42,1	45,3	48,3	49,2	49,0	46,5	45,4	47,4	49,7	50,0	
	Misura4	21,7	22,6	20,6	27,4	30,2	32,2	35,3	39,1	41,6	45,1	48,0	49,1	49,0	46,6	45,4	47,4	49,5	49,6	
	Misura5	21,6	22,6	20,7	27,1	30,4	31,8	35,1	39,1	41,6	45,4	48,4	49,1	49,1	46,8	45,7	47,6	49,7	49,9	
	Misura6	21,5	22,7	21,0	27,4	30,3	32,0	35,3	39,3	41,7	45,4	48,4	49,0	49,1	46,7	45,5	47,4	49,8	50,2	
Laboratorio E	Misura1	23,0	24,7	21,7	26,4	29,9	32,0	35,6	37,0	40,2	42,5	44,7		47,9	46,8	45,5	46,8			
	Misura2	23,9	23,9	21,6	26,3	30,7	32,2	35,2	37,4	39,7	42,5	44,7		47,7	46,7	45,5	46,8			
	Misura3	23,6	24,1	22,1	26,7	30,1	32,3	35,4	37,2	39,2	42,4	44,7		47,7	46,8	45,5	46,8			
	Misura4	23,6	24,0	21,8	26,3	30,1	32,1	35,3	37,3	39,8	42,4	44,7		47,8	46,8	45,5	46,7			
	Misura5	23,8	24,7	22,7	27,0	30,5	32,5	35,9	37,5	40,3	43,1	44,9		48,2	47,1	45,8	47,2			
	Misura6	23,3	23,2	21,8	26,7	30,4	32,6	35,5	37,3	39,9	42,9	45,0		48,0	47,2	45,8	47,0			

I risultati evidenziano **eccessive differenze** dei valori di riproducibilità (superiori a quelli attesi e quantificati negli esperimenti preliminari forniti dalla norma UNI ISO 20140-2.

**NOTA STORICA:** la ISO 20140-2 (ultima revisione del 1994) si avvale, delle sperimentazioni condotte da diversi laboratori europei fino al 1986 compresi i dati forniti nell'ambito di un progetto BCR nel periodo compreso tra il 1985 ed il 1986

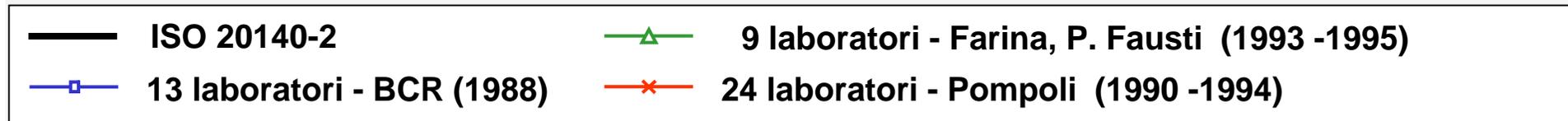
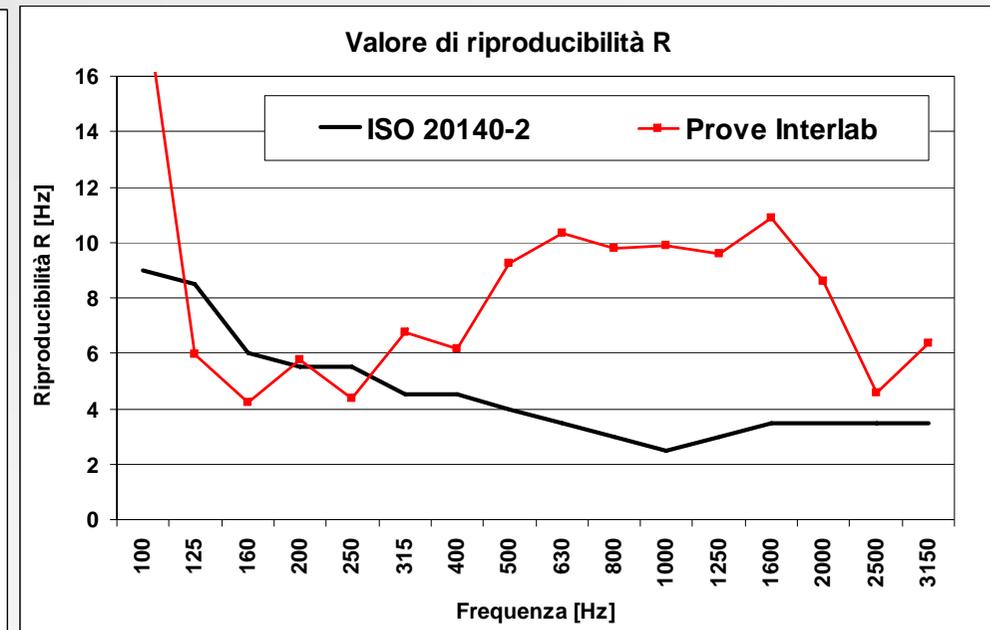
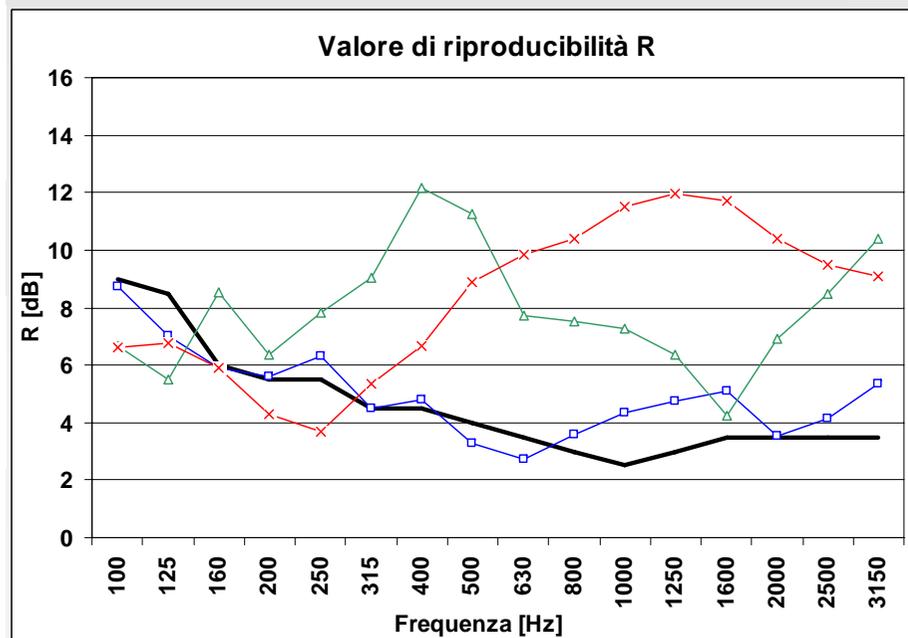


Freq. [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
ISO 20140-2	9.0	8.5	6.0	5.5	5.5	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5
Senza outlier	19.3	6.0	4.2	5.8	4.4	6.7	6.1	9.2	10.3	9.8	9.9	9.6	10.9	8.6	4.6	6.4
Con outlier	19.3	5.6	4.0	5.3	4.1	6.1	5.6	8.8	9.7	9.0	9.3	9.0	9.9	7.7	4.6	5.7

L'analisi dei dati che comprende ed esclude gli outlier ha fornito i valori di riproducibilità **R**

La stima di un requisito acustico di un fabbricato deve tener conto del fatto che su uno stesso componente laboratori diversi possono fornire risultati diversi .

L'intervallo di confidenza si calcola utilizzando non solo i valori della ripetibilità ma, soprattutto, i valori della riproducibilità R. I valori forniti da numerose prove interlaboratorio risultano diversi da quelli proposti dalla ISO 20140-2



Le prove fornite da 6 laboratori nazionali accreditati che producono la maggior parte dei rapporti di prova in Italia hanno fornito valori di riproducibilità **R** che si discostano da quelli della norma .

Il tecnico competente deve fare attenzione all'incertezza della stima dei requisiti acustici se non si vogliono commettere valutazioni errate.

Se, ad esempio, si considera una lastra di vetro da 10 mm, l'intervallo di confidenza del potere fonoisolante risulta così determinato:

- **± 0.2 dB** se si considera solo il valore di ripetibilità;
- **± 3.6 dB** se si considerano i valori di ripetibilità e riproducibilità ricavati dalle prove tra laboratori italiani

### **Si può affermare che**

**La riproducibilità ha valori inaccettabili che dovrebbero portare gli enti di ricerca ad indagare sulle cause di tale anomalia ed a farsi promotori presso l'ente internazionale di normalizzazione ISO di una proposta più restrittiva, non solo in relazione alle procedure o modalità di montaggio, quanto alla realizzazione delle camere di prova.**

**I laboratori di prova per fornire risultati uguali dovrebbero essere uguali.** 19