

ANALISI DELLA SITUAZIONE NORMATIVA
RELATIVA ALLE PROVE NELLE CAMERE
ACUSTICHE DEL LABORATORIO DI ACUSTICA
DEL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NAVALE,
DEL MARE E PER L'AMBIENTE DELL'
UNIVERSITÀ DI TRIESTE

E. ZANDEGIACOMO

INDICE

1) INTRODUZIONE	1
2) NORMATIVA E PROCEDURE DI MISURA E CALCOLO	1
2.1- MISURE DI ISOLAMENTO	2
2.2 - MISURE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO	4
2.3- MISURE DI POTENZA SONORA	6
3) LE CAMERE ACUSTICHE RIVERBERANTI DELL'EX ISTITUTO DI FISICA TECNICA DI TRIESTE	11
3.1) DESCRIZIONE DELLE CAMERE ALLO STATO ATTUALE	11
3.2) STATO A REGIME	14
3.3) CONFRONTO NORMATIVO.	15
4) INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE	18
4-1) NORMATIVA	18
4-2) BIBLIOGRAFIA	19

1) INTRODUZIONE

Con l'avvento di una nuova cultura tecnica indirizzata verso problematiche di risparmio energetico e di prevenzione sanitaria è stata sviluppata, e si sta sviluppando, anche nel campo dell'acustica, una serie di norme che sensibilizzano il costruttore e il progettista a contenere il livello di rumore ambientale entro certi livelli equivalenti che variano da Nazione a Nazione.

Cio`condiziona il costruttore a certificare il proprio prodotto, sia in termini d'isolamento o assorbimento acustico, sia d'emissione acustica.

Essendo le misure acustiche piuttosto difficili, in quanto la grandezza che si misura viene facilmente influenzata anche da altri parametri oltre alla causa eccitante, è necessario possedere degli ambienti di prova normalizzati e una strumentazione elettronica piuttosto costosa. Per tale motivo la maggior parte dei costruttori si vede costretta per motivi economici a rivolgersi a enti esterni.

Come già detto , lo strumento fondamentale per delle misure di laboratorio corrette è la camera riverberante la cui funzione è quella di generare un campo sonoro quanto piu` possibile diffuso .

Caratteristiche fondamentali di queste camere dovrebbero essere la mancanza di rumore di fondo ,di vibrazioni meccaniche esterne ed interne ,di frequenze proprie e soprattutto la capacità di riflettere più volte le onde sonore in modo da generare un tempo di riverbero sufficientemente lungo .

Nel caso di misure di isolamento acustico si devono possedere due camere riverberanti contigue di dimensioni diverse .La parete in comune rappresenta il campione di prova; nella camera piu`grande si genera un rumore noto (colpo di pistola o rumore bianco) ,mentre nell'altra si rileva il livello di potenza sonora derivante dalla trasmissione attraverso il campione.

La differenza tra i due livelli, corretta tenendo conto delle caratteristiche acustiche della camera di ricezione, dà il valore del potere fonoisolante.

Analogo procedimento si usa per la misura del calpestio.

Per la misura dell'assorbimento acustico si utilizza, invece, una sola camera eseguendo una misura indiretta.

Viene misurato il tempo di riverbero senza e con il campione di prova ;calcolate le aree totali equivalenti si fa la differenza ottenendo così l'area equivalente del campione. La misura della potenza acustica emessa da una sorgente la procedura è ancora piu` intuitiva.

Si pone il dispositivo di cui si desidera conoscere l'emissione all'interno della camera riverberante, si posiziona una serie di microfoni in postazioni di misura normalizzate e si eseguono le letture in banda d'ottava o terzi d'ottava.

La misura del livello sonoro prodotto verrà poi corretta in funzione della superficie di assorbimento equivalente della camera ,della pressione barometrica e della lunghezza d'onda del centro della banda in cui si sta eseguendo la misura.

2) NORMATIVA E PROCEDURE DI MISURA E CALCOLO

In questi ultimi anni si sta facendo da parte dell'U.N.I. un grossissimo lavoro per creare ed aggiornare la normativa acustica ,rendendola conforme a quella internazionale.

Per quanto riguarda la normativa in campo edilizio esiste ormai un pacchetto notevole di norme che possono aiutare il progettista.

Tra queste norme ve ne sono diverse che si riferiscono alle prove di laboratorio ,soprattutto per quello che riguarda le prescrizioni per gli ambienti di prova e le metodologie di misura e calcolo del potere fonoisolante.

Per il problema dell'assorbimento e dell'emissione acustica si può far riferimento all'esistente normativa I.S.O. .

2.1- MISURE DI ISOLAMENTO

La normativa esistente più corposa è la **U.N.I 8270** che si occupa dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edifici.

La norma consta di 8 parti (la 8270/ 2 non è ancora stata pubblicata per cui i numeri arrivano al /9):

8270/1	11.82	Acustica- Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici- Requisiti dei laboratori (Gr 1)
/3	09.84	Acustica -Misura dell'isolamento acustico di edifici e elementi di edifici-Misura in laboratorio del potere fonoisolante di elementi di edifici (Gr3).
/4	07.86	Acustica -Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici-Misura dell'isolamento acustico per via aerea fra ambienti e del livello di rumore di calpestio di solai (Gr 2)
/5	10.82	Acustica -Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici-Misura in opera dell'isolamento dai rumori aerei di facciate e di elementi di facciata (Gr4)
/6	01.88	Acustica -Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici-Misura in laboratorio dell'isolamento dai rumori di calpestio di solai (Gr3)
/7	06.87	Acustica- Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici e di componenti di edificio (Gr4)
/8	09.84	Acustica -Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici-Misura in laboratorio dell'isolamento acustico dai rumori di calpestio di rivestimenti di pavimentazioni su solaio normalizzato (Gr3)
/9	01.88	Acustica -Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici-Misura in laboratorio dell'isolamento dai rumori aerei da ambiente a ambiente coperti dallo stesso contro soffitto (Gr3)

Di particolare rilievo sono le 8270/1 e 8270/3 .

La **8270/1** è conforme alla **I.S.O. 140/1**.

Si occupa, come già detto, dei requisiti dei laboratori. L'ambiente di prova deve essere costituito da 2 camere riverberanti adiacenti ,con apertura di comunicazione entro la quale viene posto il campione.

La norma non da alcuna indicazione a riguardo della forma delle due camere .Afferma solo che il volume minimo di ciascun locale deve essere di 50 m³ e che i due volumi devono differire di almeno il 10 %.

Nel caso di ambienti di forma parallelepipedica il rapporto tra le dimensioni deve essere scelto in modo tale che le frequenze proprie nella gamma delle basse frequenze siano spaziate il più uniformemente possibile.

La norma consiglia, inoltre, che i tempi di riverbero non debbano essere maggiori di 0,2 s. Il rumore di fondo nella camera di ricezione deve essere basso per permettere la misura dell'energia trasmessa dalla camera di emissione. Il suo valore è ovviamente funzione della potenza sonora emessa e delle proprietà fonoisolanti del campione di prova. Le camere devono poi essere costruite in modo da minimizzare l'energia sonora trasmessa per via indiretta.

L'apertura di prova dovrà avere circa 10 m² per le pareti e tra i 10 e i 20 m² per i solai, con la dimensione minore in tutti i due casi maggiore di 2.3 m.

Per le prove di finestre, vetrate e porte si possono usare sezioni più piccole; le porte devono essere posizionate a livello di pavimento come nelle condizioni di pratico impiego.

Per le misure di calpestio le raccomandazioni sono analoghe.

Va tenuto conto, però, che nel 1990 è stata approvata la nuova **I.S.O. 140/1** che presenta alcune novità interessanti.

Vengono date delle prescrizioni più complete per la prova di finestre e vetrate.

Queste dovrebbero venir posizionate in un muro costruito nell'apertura di prova tra le due camere.

Tale parete dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- a) il suo coefficiente di isolamento acustico deve essere tale da ridurre di almeno 6 db, ma preferibilmente di 10 db, il livello sonoro. Nell'allegato A viene specificato il metodo di valutazione del coefficiente di isolamento.
- b) lo spessore totale deve essere compreso tra 300 e 500 mm.
- c) gli spessori della nicchia devono stare in rapporto 2:1 e i bordi vengono ricoperti con materiali aventi un coefficiente di assorbimento acustico minore di 0.1 a tutte le frequenze.

Per le vetrate le dimensioni sono unificate a 1250x1300 con una tolleranza di 50 mm. Tali misure vengono consigliate anche per le finestre, pur permettendo variazioni dovute agli standard nazionali.

L'apertura di prova dovrà essere posta in posizione non simmetrica ed ad almeno 500 mm dalle altre pareti, dal soffitto e dal pavimento.

Nell'allegato B, non facente parte integrante della norma, vi è un esempio di parete ideale per i test di vetrate.

Analizziamo ora la **U.N.I. 8270/3** che concorda con la **I.S.O. 140/3-78**.

Essa stabilisce un metodo per la misura in laboratorio del potere fonoisolante di elementi di edifici, quali pareti, pavimenti, porte, finestre, elementi di facciata o facciate intere.

Nella prima parte della norma vengono definite le grandezze fondamentali.

La più importante è il potere fonoisolante, che in campo diffuso vale:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

dove:

L_1 = livello medio di pressione sonora nell'ambiente di emissione

L_2 = livello medio di pressione sonora nell'ambiente di ricezione

S = area dell'elemento in prova che di norma è uguale all'apertura di prova

A = area di assorbimento acustico equivalente dell'ambiente di ricezione

Bisogna però rilevare che ,se il campo non è perfettamente diffuso nei due ambienti ,la relazione appena vista è approssimata.

Inoltre ,il suono generato nell'ambiente di emissione deve essere stabile ed avere uno spettro continuo.

L'analisi dovrà venir eseguita con filtri passa banda di 1/3 di ottava.

La potenza dovrà essere elevata e comunque tale da garantire nell'ambiente di ricezione un livello di pressione sonora maggiore di almeno 10 db rispetto al rumore ~~di fondo~~ medio di pressione sonora può essere misurato adottando un certo numero di posizioni microfoniche fisse, oppure un microfono mobile con integrazione di p^2 essendo p la pressione acustica.

L'area di assorbimento equivalente deve venir calcolata con la formula di Sabine.

$$A = 0.163 \frac{V}{T}$$

dove: A e' l'area di assorbimento equivalente espressa in m^2 ,

V e' il volume dell'ambiente di ricezione espresso in m^3 ,

T e' il tempo di riverberazione espresso in secondi.

Ogni laboratorio deve definire una procedura normale conforme alla norma ,che assicuri una buona ripetibilità delle misure.

La norma fornisce i punti da riportare nel certificato di prova.

Il comitato di revisione della I.S.O. sta preparando una nuova versione della I.S.O. 140/3 giunta ormai alla 9^a versione (settembre 1990).

Questa norma richiama per gli ambienti di prova la I.S.O. 140/1- 1990.

Tra le altre prescrizioni richiede un rumore di fondo inferiore di almeno 15 db rispetto al rumore di prova e non più 10 db come previsto nella 8270/1.

Se vengono usati altoparlanti pilotati contemporaneamente ,questi dovranno essere in fase. Utilizzando un unica fonte sonora sono necessarie almeno due posizioni .

Anche per i microfoni vengono fornite delle prescrizioni più severe. Bisognerà utilizzare almeno 5 microfoni in ogni stanza e distribuiti uniformemente.

Vi sono inoltre diversi allegati che, pur non facendo parte integrante della norma ,sviluppano diversi argomenti trattati nella stessa.

2.2 - MISURE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO

Per la misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante si deve far riferimento alla **U.N.I.-I.S.O. 354/89** che ha adottato in pieno la versione originale inglese della **I.S.O. 354/85**.

Tale norma fornisce i criteri per la misura dell'assorbimento acustico di materiali usati per la costruzione di muri o soffitti o dell'area equivalente di assorbimento acustico di oggetti discreti ,come persone ,sedie, tende, ecc. .

La camera riverberante dovrà avere un volume, V, di almeno 150 m^3 ; per le nuove costruzioni il volume deve essere di circa 200 m^3 .

La forma della camera dovrebbe essere tale che la linea retta maggiore contenuta nella camera abbia una lunghezza minore di $1.9 V^{1/3}$.

Inoltre, onde ottenere una distribuzione uniforme delle frequenze naturali, soprattutto a bassa frequenza, le dimensioni di una camera riverberante di forma parallelepipedica non dovrebbero essere uguali o stare fra loro in rapporto intero.

Vengono forniti i valori massimi dell'area equivalente di assorbimento acustico per una camera di 200 m³;

Area equivalente di assorbimento acustico [m ²]	6.5	6.5	6.5	7.0	9.5	13.0
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000

Nel caso di un volume diverso i valori tabellati vanno moltiplicati per (V/200)^{2/3}. Bisogna poi verificare che la curva dell'area equivalente in funzione della frequenza non presenti brusche discontinuità.

Il campione di prova deve avere un'area compresa tra 10 e 12 m²; se il volume della camera è maggiore di 250 m³ l'area del campione andrà incrementata di un fattore (V/250)^{2/3}.

La sua forma deve essere rettangolare con un rapporto tra larghezza e altezza di 0.7:1. Il campione va posizionato in modo tale che nessun lato sia a meno di 1 m dalle pareti della stanza e non dev'essere parallelo alle stesse. Andrebbe montato come se fosse in opera; nel caso venisse montato direttamente su una superficie della camera andrebbe contornato strettamente con una struttura formata da materiale riflettente di sezione rettangolare e di spessore non maggiore di 2 cm.

Nel caso di test di oggetti discreti questi devono essere posizionati nelle condizioni d'esercizio, ma sempre a più di un metro dalle pareti della camera. Il numero degli oggetti deve essere tale da generare una variazione dell'area equivalente di assorbimento maggiore di 1 m² e minore di 12 m². Nel caso di camere con più di 250 m³ di volume si devono moltiplicare i 12 m² per il fattore (V/250)^{2/3}.

La temperatura deve rimanere costante durante la prova e l'umidità deve essere superiore al 40 % e il più costante possibile.

Il suono deve venire prodotto da uno o più altoparlanti con emissione il più possibile non direzionale. Per frequenze inferiori ai 300 Hz le misure dovrebbero essere fatte utilizzando una sorgente sonora posta in almeno due posizioni successive distanziate di almeno 3 m.

I segnali di prova dovranno generare un rumore in banda stretta con una larghezza di almeno 1/3 di banda d'ottava.

Per la registrazione si utilizzano almeno 3 microfoni distanziati di più di mezza lunghezza d'onda.

Le misure vengono effettuate in banda di terzi d'ottava e in funzione della frequenza la norma fornisce il numero minimo di misure del tempo di riverbero che vanno fatte.

Il calcolo dell'area equivalente, A, viene fatto eseguendo la differenza delle aree equivalenti con e senza il campione di prova calcolate con la formula di Sabine.

$$A = 55.3 \frac{V}{c} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

dove:

V è il volume in m³

c è la velocità del suono in m/s per il calcolo della quale la norma consiglia l'equazione $c = 331 + 0.6 t$ con t espressa in gradi Celsius
 T_1 è il tempo di riverbero senza il campione in prova, in s
 T_2 è il tempo di riverbero con il campione in prova, in s

Nota A si può calcolare il coefficiente di assorbimento acustico usando la:

$$\alpha = \frac{A}{S}$$

dove : S è l'area del pannello in prova
 La norma infine fornisce l'elenco dei dati da presentare nel certificato di collaudo.

2.3- MISURE DI POTENZA SONORA

Per la determinazione del livello sonoro in camera riverberante non esiste una normativa U.N.I. ,per cui si è costretti a utilizzare la normativa I.S.O. esistente.

In verità esiste una normativa CEI , la **CEI 107-55** " Codice di prova per la determinazione del rumore emesso dagli apparecchi elettrodomestici e similari" ,ma, oltre ad essere di utilizzo più specifico, si indirizza verso un metodo con precisione di classe " industriale" (metodo industriale ,classe 2 , norma I.S.O. 2204) .

La prima norma che analizzeremo è la **I.S.O. 3741/75** :
 " Acoustic- Determination of Sound Power Level of Noise Souces- Precision Method for Broad -band Souces in Reverberation Rooms".

La norma prescrive un volume minimo della camera di prova funzione della frequenza di banda più bassa a cui si esegue la prova.

FREQUENZA	VOLUME [m³]
125 Hz in banda d'ottava o 100 Hz in 1/3 di banda d'ottava	200
125 Hz in 1/3 di banda d'ottava	150
160 Hz in 1/3 di banda d'ottava	100
250 Hz in banda d'ottava o 200 Hz in 1/3 di banda d'ottava	70

Il coefficiente medio di assorbimento non dovrà normalmente essere superiore a 0.06 ,raggiungendo al massimo il valore di 0.16 per frequenze inferiori a :

$$f = \frac{2000}{V^{\frac{1}{3}}}$$

dove:
 f è la frequenza in Hertz
 V è il volume in metri cubi

In ogni caso il tempo di riverberazione dovrà essere superiore a :

$$T = \frac{V}{S}$$

dove:

V è il volume in m³

S è la superficie totale in m²

La distanza minima tra il microfono più vicino e la sorgente sonora deve essere maggiore di:

$$d_{\min} = 0.08 \left(\frac{V}{T} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Il rumore di fondo, compreso quello del movimento dei microfoni, deve essere minore di almeno 6 db ,ma preferibilmente di 12 db, rispetto alla potenza emessa dalla sorgente.

Il prodotto tra l'umidità relativa e la temperatura in (° C + 5) gradi non dovrà variare più del 10% durante la prova.

La strumentazione deve permettere la determinazione del valore efficace della pressione sonora in bande d'ottava o terzi d'ottava mediata nel tempo e nello spazio.

I microfoni dovranno avere una risposta piatta nel campo delle frequenze interessate.

La norma fornisce poi i limiti di tolleranza alle varie frequenze, le caratteristiche dei filtri e il metodo di calibrazione.

La sorgente può essere posta nella camera in una posizione qualunque ma ad una distanza di almeno 1.5 m da ogni parete e nelle condizioni d'uso corrente.

Nessuna superficie della sorgente sonora dovrà essere parallela ad alcuna parete della camera, a meno che ciò non sia tipico delle sue condizioni operative.

Se la sorgente è normalmente montata in un muro ,in una finestra o sul soffitto bisognerà montarla nello stesso modo ,ma sempre ad almeno 1.5 m da ogni altra parete. Tutti gli equipaggiamenti ausiliari necessari al funzionamento devono venir montati ,se possibile, esternamente alla camera.

I test devono essere eseguiti a più regimi di funzionamento:

- 1) carico normale
- 2) carico massimo
- 3) a vuoto
- 4) carico corrispondente alla massima emissione sonora

Il microfono si muove a velocità costante lungo il perimetro di una qualunque figura geometrica. In alternativa si può posizionare una batteria di almeno tre microfoni distanziati di più di mezza lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza più bassa. La norma fornisce, inoltre, vari criteri per il posizionamento dei microfoni e per la scansione dei relativi segnali, i tempi d'osservazione e le correzioni d'apportare alle letture in funzione del rumore di fondo.

Analizziamo ora i metodi di calcolo.

La norma ne consiglia due .

- 1) Metodo diretto

Bisogna determinare in prima battuta il tempo di riverberazione della camera, presente la sorgente sonora, per ogni frequenza.

Si misurano per ogni banda d'ottava o terzo d'ottava i livelli di pressione.

Si calcola, ora, per ogni frequenza il livello medio di pressione riferito a 20 μ Pa con la formula:

$$L_p = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i} \right]$$

dove

N è il numero totale di misure eseguite in quella banda

L_i è il livello sonoro misurato in db

A questo punto è possibile calcolare la potenza sonora emessa dalla sorgente tramite l'equazione:

$$L_w = L_p - 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} + 10 \log_{10} \frac{V}{V_0} + 10 \log_{10} \left(1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{B}{1000} \right) - 14$$

dove:

L_w è il livello sonoro della sorgente riferito a 1 pW

T è il tempo di riverberazione in secondi

T_0 = tempo di riferimento ; $T_0=1$ s

V è il volume della camera in metri cubi

V_0 = volume di riferimento; $V_0=1$ m³

λ è la lunghezza d'onda della frequenza centrale di banda

S è la superficie totale in metri quadri

B è la pressione barometrica in millibars

2) Metodo per comparazione.

Tale metodo richiede l'uso di una sorgente di riferimento.

Rispetto al primo metodo ha il vantaggio di non necessitare della misura del tempo di riverberazione.

La potenza sonora prodotta dalla sorgente per ogni banda d'ottava o terza d'ottava si ottiene con l'equazione:

$$L_w = L_p + (L_{wr} - L_{pr})$$

dove:

L_w è il livello di potenza sonora espressa in db riferita ad 1 pW

L_p è il livello di pressione sonora della sorgente in db riferita a 20 μ Pa

L_{wr} è la potenza sonora della sorgente di riferimento in db riferita ad 1 pW

L_{pr} è il livello di pressione sonora della sorgente di riferimento in db riferita a 20 μ Pa

I valori misurati vanno naturalmente corretti in funzione del rumore di fondo.

La norma fornisce, infine, l'elenco delle informazioni che bisogna rilevare e di quelle che devono venir riportate nel certificato di collaudo.

Se nel rumore sono presenti delle frequenze discrete o comunque componenti a banda stretta, bisogna riferirsi alla **I.S.O. 3742- 1975** .

Per determinare la presenza di componenti discrete si sceglie una batteria di 6 microfoni (o sei postazioni microfoniche) distanziate di almeno metà della lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza più bassa. La sorgente viene posizionata in un punto fisso.

Si misura poi il livello sonoro mediato nel tempo L_i per ogni posizione microfonica secondo le tecniche descritte nella I.S.O. 3741. Usando un unico microfono i punti di misura vanno posizionati a distanze uguali lungo un percorso di lunghezza pari a

$$L = N_m \frac{\lambda}{2}$$

con $N_m = 6$

Per ogni terzo d'ottava o ottava si calcola la deviazione standard con la seguente equazione:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_m)^2}{n - 1}}$$

dove:

s è la deviazione standard

L_m è la media aritmetica dei livelli di pressione da L_1 a L_6 in db

$n = 6$

La grandezza di s dipende dalle proprietà del campo sonoro nella sala di prova, funzione sia della camera riverberante, sia delle caratteristiche della sorgente.

In teoria a $s=5.56$ db corrisponde un tono discreto.

In funzione di s la norma prescrive il numero di microfoni (o la lunghezza del percorso del microfono) e di posizioni della sorgente sonora.

Per il calcolo della potenza sonora si utilizza la procedura consigliata dalla I.S.O. 3741.

Le norme I.S.O. prevedono anche la possibilità di eseguire misure meno rigorose.

A tale scopo è stata redatta la **I.S.O. 3743 / 76** dal titolo : "Acoustic- Determination of sound power levels of noise sources -Engineering methods for special reverberation test rooms."

La norma è applicabile solo a rumori stazionari prodotti da sorgenti piccole, preferibilmente di dimensioni minori dell'1% del volume della stanza.

Il volume minimo della camera è di 70 m^3 , ma dev'essere maggiore eseguendo misure vicine ai 125 Hz.

I fattori di forma, nel caso di camere parallelepipedo, sono gli stessi di quelli raccomandati dalla I.S.O. 3741.

È possibile adattare degli ambienti esistenti a camere di prova .

Gli adattamenti devono portare, tramite il posizionamento di pannelli fonoassorbenti, il tempo di riverberazione T all'interno di due curve limite, definite come $T = 0.9 R T_n$ e $T = 1.1 R T_n$, dove il parametro di riverberazione R è definito come:

$$R = 1 + \frac{257}{f V^{\frac{1}{3}}}$$

e T_n è il tempo nominale di riverberazione, determinato centrando i valori normalizzati a 1000 Hz di T all'interno delle due curve definite in precedenza.

La norma fornisce nell'allegato A un esempio di calcolo.

Il rumore di fondo deve essere minore di 4 db, o preferibilmente 9 db, valutati in scala A, rispetto alla potenza sonora generata dalla sorgente.

Viene fornito, inoltre, un criterio di taratura della camera, eseguito per confronto di misure fatte sul rumore prodotto da una sorgente campione in camera riverberante di precisione e nella camera interessata. La differenza tra le due misure non deve superare certi valori tabellati in funzione della frequenza.

I microfoni dovranno venir posizionati a più di $\lambda/4$ dalle pareti della stanza, dove λ è la lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza della più bassa banda d'ottava a cui si eseguono le misure.

La distanza minima, espressa in metri, tra ogni microfono e la sorgente sonora vale:

$$r_{\min} = 0.3 V^{\frac{1}{3}}$$

Per la determinazione del numero di microfoni e di posizioni della sorgente vi è un criterio simile a quello fornito dalla I.S.O. 3742.

Dapprima si posiziona la sorgente e si esegue la misura della potenza sonora in bande d'ottava e in scala A per sei posizioni microfoniche. Quindi si calcola la deviazione standard.

Se le sei misure non differiscono per più di 5 db si utilizza nel calcolo della deviazione standard la media aritmetica, altrimenti si utilizza il valore calcolato con l'equazione:

$$L_{pm} = 10 \log_{10} \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 10^{0.1 L_{pi}}$$

Calcolato il valore della deviazione standard si entra in tabella e si ricava la combinazione di postazioni microfoniche e posizioni della sorgente da utilizzare per le misure.

Bisogna stare attenti al fatto che i valori di potenza sonora misurati vanno corretti in funzione della differenza tra essi e il rumore di fondo.

Le correzioni sono tabellate e risultano meno severe di quelle fornite dalla I.S.O. 3741. Sotto i 4 db non si deve apportare alcuna correzione.

Per il calcolo della potenza sonora si può ricorrere, anche in questo caso, a due metodi, uno diretto ed uno indiretto.

a) Metodo diretto

Per ogni banda d'ottava e per il valore pesato in scala A si calcola il livello sonoro medio come:

$$L_{pm} = 10 \log_{10} \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 10^{0.1 L_{pi}}$$

A questo punto si valuta il livello di potenza sonora L_w con l'equazione:

$$L_w = L_{pm} - 10 \log_{10} \frac{T_N}{T_0} + 10 \log_{10} \frac{V}{V_0} - 13$$

dove :

T_N è il tempo nominale di riverberazione

T_0 è il tempo di riferimento; $T_0=1$ s

V è il volume in metri cubi della stanza di prova.

V_0 è il volume di riferimento; $V_0=1$ m³

b) Metodo indiretto

È analogo a quello definito nella I.S.O. 4741 con l'unica differenza che, dovendo tener conto anche di eventuali frequenze discrete, si utilizza per la sorgente di riferimento il numero di microfoni e posizioni dato dalla tabella per una deviazione standard minore di 2.3.

La norma fornisce ,infine, l'elenco dei dati da riportare nel certificato di collaudo.

3) LE CAMERE ACUSTICHE RIVERBERANTI DELL'EX ISTITUTO DI FISICA TECNICA DI TRIESTE

3.1) DESCRIZIONE DELLE CAMERE ALLO STATO ATTUALE

Alla fine degli anni '60, in funzione della crescente importanza che stava assumendo il problema acustico, soprattutto nel campo dell'edilizia civile, si volle costruire presso l'Istituto di Fisica Tecnica di Trieste una coppia di camere acustiche.

Vista la mancanza di aree edificabili libere poste nel comprensorio dell'Università, si dovette ricorrere a un area ricavata nei laboratori posti nel seminterrato dell'Istituto.

Tale scelta condizionò notevolmente la progettazione delle camere a causa dei vincoli posti dalla presenza delle strutture portanti dell'edificio.

Per poter soddisfare la normativa esistente ci si vide costretti a scegliere, almeno per la camera grande, la forma poligonale che, pur permettendo una diffusione sonora migliore senza la presenza di frequenze proprie, come invece avviene nelle camere parallelepipedo, presenta maggiori difficoltà costruttive.

La camera maggiore, definita per brevità camera "A", ha un volume di 198 m³, mentre l'altra ,definita camera "B", ha un volume di 47.5 m³.

La camera "B" ha forma parallelepipedo ed è stata progettata in modo da poter eseguire anche misure di tipo termico.

La camera "A", invece, presenta una pianta poligonale irregolare a 7 lati, con pareti verticali, pavimento piano orizzontale, copertura a due falde di pendenza diversa. Uno dei lati comunica con la camera "B".

Le caratteristiche geometriche della camera "A" sono le seguenti:

Volume	: 198 m ³
Superficie del pavimento	: 60.4 m ²
Superficie delle pareti verticali	: 94 m ²
Superficie dell'apertura tra camera "A" e "B"	: 10.4 m ²
Superficie della copertura	: 62.8 m ²
Superficie totale	: 217.2 m ²
Dimensione trasversale massima	: 11 m
Angoli diedri tra le pareti verticali	: da 90° a 168°
Pendenza delle falde del tetto	: 15° e 11°

Le caratteristiche geometriche della camera "B" sono le seguenti:

Volume	: 47.5 m ³
Larghezza [Ly]	: 3.5 m
Lunghezza [Lx]	: 4.5 m
Altezza [Lz]	: 3 m
Dimensione trasversale massima	: 6.4 m
Ly/Lx	: 0.77
Lz/Lx	: 0.66

Descriveremo, ora, le camere dal un punto di vista costruttivo.

Per poter ricavare il volume minimo necessario, si è dovuto scavare per circa 1.10 m fino ad incontrare gli strati rocciosi.

Le camere, al fine di ridurre i disturbi esterni, presentano una struttura a doppio guscio. I due gusci sono staticamente indipendenti, avendo, però, il fondo in comune. Indubbiamente sarebbe stato ideale rendere floating il guscio interno, ma a causa della scarsa altezza disponibile non è stato possibile farlo. Per ovviare a questo inconveniente, le murature portanti del guscio interno appoggiano lungo tutto il perimetro su uno strato di materiale antivibrante, disteso a sua volta su un cordolo di fondazione, gettato sugli strati di roccia.

In questo modo si rende indipendente la struttura interna da quella dell'edificio.

Anche le due camere interne sono indipendenti, in quanto vi è un intercapedine d'aria lungo la parete in comune.

Il guscio esterno, invece, è unico e non isolato dal pavimento, anche se si è cercato di non realizzare alcuna continuità materiale con le strutture dell'edificio.

Le pareti verticali del guscio interno riverberante sono state ricavate con mattoni pieni da 26 cm, posti in opera con malta cementizia, cercando di evitare fughe troppo larghe o vuoti tra i mattoni.

Il muro è stato finito con intonaci speciali ad alta densità, ottenendo un peso della muratura finita che si aggira attorno ai 475 Kg/ m² .

La copertura del guscio è stata piuttosto complicata a causa di problemi operativi generati dagli spazi limitatissimi a disposizione.

Il guscio esterno, molto più semplice da costruire, è formato da laterizio forato e pilastri in C.A., intonacato solo sulla faccia esterna con intonaci normali. Lo spessore complessivo è di 16 cm.

La copertura è in laterizio con tavelloni e travetti in C.A. .

I pavimenti delle due camere sono ottenuti con lastre di marmo posate su una soletta di calcestruzzo compatto che poggia direttamente sulla roccia.

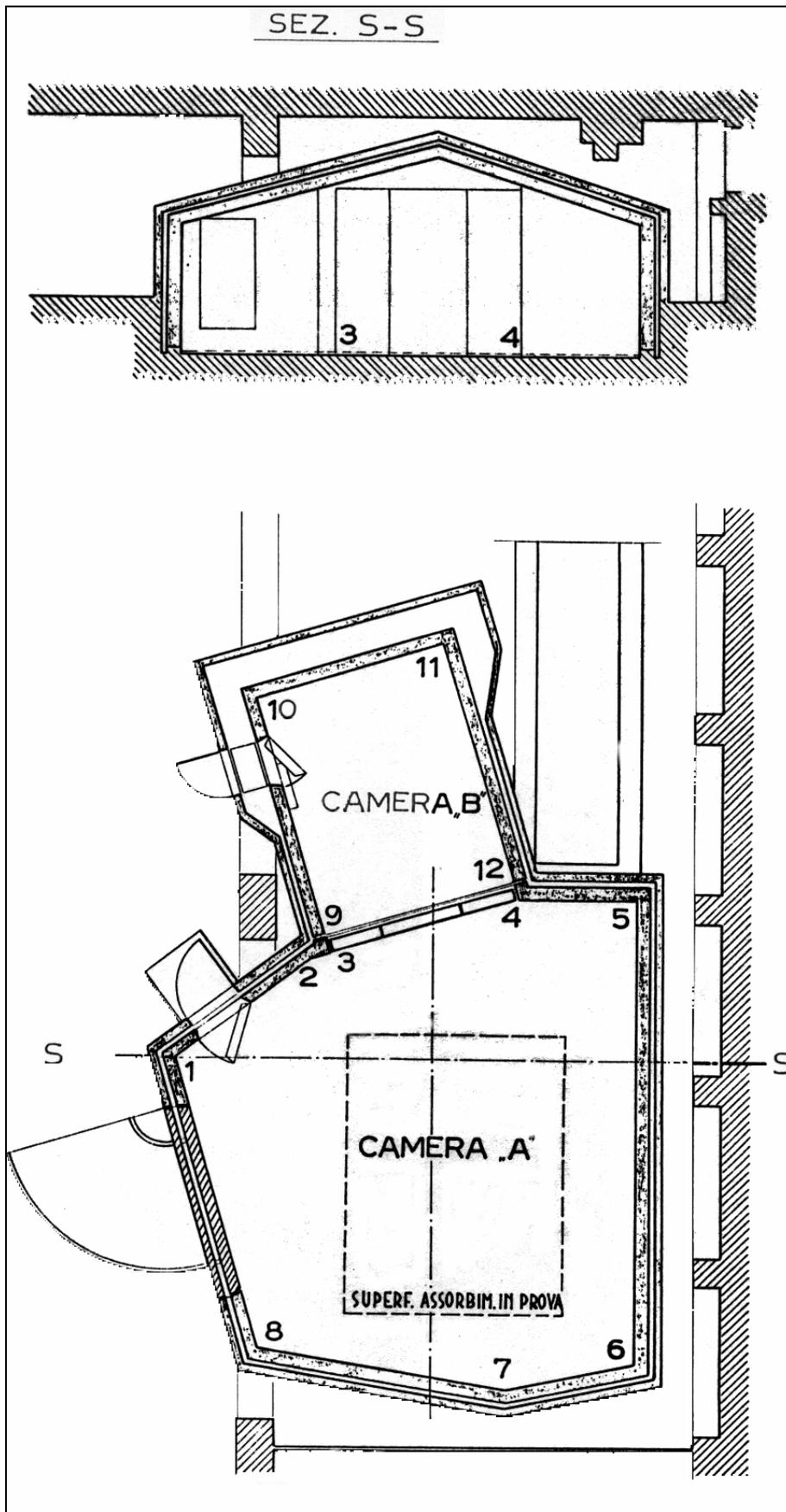


Figura 1: Camere acustiche del DINMA

Intorno alla camera "B" l'intercapedine, invece di avere circa 15 cm, raggiunge i 50 cm. Ciò è stato fatto per permettere l'installazione di adeguate strumentazioni nel caso si vogliano eseguire prove termiche.

L'accesso all'interno è possibile tramite 2 porte di luce 0.8 x 2.0 m .

Il materiale di dimensioni maggiori a quello della porta può passare attraverso una luce di dimensioni 3.5 x 0.5 m, ricavata nella parete più bassa della camera "A" all'altezza del pavimento dello scantinato.

3.2) STATO A REGIME

Le camere erano essenzialmente nate per la misura dell'isolamento acustico di pareti e pannelli prefabbricati.

In realtà tali prove risultano molto complesse ed estremamente difficoltose a causa degli elevati pesi e dimensioni caratteristici di tali manufatti che ne rendono disagiata l'introduzione all'interno delle camere acustiche attraverso il laboratorio.

A tale scopo si dovrebbe utilizzare la feritoia descritta in precedenza. Si renderebbe, tuttavia, necessario provvedere ad un sistema di trasporto e di sollevamento dei campioni in prova, sia all'interno dello scantinato, sia delle camere piuttosto complesso e costoso.

Tali problemi orientano a dare la preferenza alle misure di isolamento di infissi, quali porte, vetrate e finestre, per i quali la normativa è in avanzato stato di definizione a livello di raccomandazione I.S.O., destinata ad essere presto recepita in ambito U.N.I. La scelta viene anche confortata da un interesse crescente del mercato verso queste problematiche.

Inoltre preparare le camere per le prove di infissi semplificherebbe anche le misure di assorbimento e di potenza sonora.

Queste considerazioni, aggiunte al progresso che si è avuto nella strumentazione, hanno portato a rivedere l'assetto attuale delle camere, generando il bisogno di una serie di lavori a cui si aggiungono, anche, alcuni di manutenzione straordinaria.

Il primo in ordine di importanza è sicuramente la chiusura della sezione di prova.

Alla luce della nuova normativa I.S.O. 140/ 1 del 1990 il muro di chiusura dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

a) Il suo potere fonoisolante dovrebbe essere tale da trasmettere una energia sonora minore di almeno 6 db, ma preferibilmente minore di 10 db, di quella trasmessa dall'infisso in prova.

b) Lo spessore totale deve essere compreso tra 300 e 500 mm

c) L'infisso non deve essere posizionato a metà della nicchia, ma i rapporti tra le profondità su ogni lato devono essere di circa 2:1. La superficie esterna della nicchia verrà trattata con materiale avente un coefficiente di assorbimento minore di 0.1 a tutte le frequenze di prova.

Per le vetrate l'apertura di prova deve avere una sezione di 1250 x 1500 50 mm.

Per le finestre vengono consigliate le stesse dimensioni con la postilla di attenersi comunque alle raccomandazioni nazionali.

Le vetrate vengono montate contro una battuta di 60 -65 mm; per le finestre ciò non è necessario.

L'apertura dovrà distare almeno 500 mm da ogni parete , dal soffitto e dal pavimento ; non dovrà, inoltre, essere posta in posizione simmetrica.

L'apertura per la porta ha come unico vincolo quello di venir posizionata a livello del pavimento .

La norma afferma che il volume di ogni camera deve essere di almeno 50 m³ e differire di almeno il 10 %.

Con la camera "A" rientriamo avendo 198 m³ , mentre la camera "B" è leggermente sottodimensionata avendo 47.5 m³ .

L'apertura rientra perfettamente nei limiti avendo 10.4 m²

Prove eseguite sul rumore di fondo con le aperture verso l'esterno tutte aperte ci confortano , in quanto il rumore si aggira attorno ai 40 db.

Per la misura dell'assorbimento acustico bisogna riferirsi alla **U.N.I -I.S.O. 354** .

Il volume è conforme alla norma che richiede circa 200 m³ .

Anche il coefficiente di forma, definito come $d_f = 1.9 V_0^{1/3}$, soddisfa alla condizione:

$$l_{\max} < d_f$$

dove nel nostro caso l_{\max} è uguale a 11 m e d_f è uguale a 11.1 m.

I valori di umidità e temperatura sono anch'essi in linea con la norma avendo dimostrato una notevole costanza.

La I.S.O. 354 prevede un campione di prova di superficie compresa tra 10 e 12 m², con rapporto di forma 0.7-1, distante almeno 1 m e non parallelo a ogni spigolo della camera.

Per soddisfare queste condizioni utilizzeremo il pavimento che risulta sufficientemente grande.

Più complessa è la situazione per quanto riguarda la determinazione dei livelli sonori.

Analizzeremo solo la **I.S.O. 3741/75** che si occupa di sorgenti sonore a largo spettro in quanto ,sia la **I.S.O. 3742** , che la **I.S.O. 3743** non presentano prescrizioni. ~~Secondo~~ la norma potremo testare oggetti aventi un volume pari a:

$$V = 0.01 V_{\text{camera}} = 1.98 \text{ m}^3$$

La norma fornisce inoltre la frequenza minima di prova, che nel nostro caso sarà di 125Hz con analisi in banda d'ottava o 100 Hz in terzi di banda d'ottava.

Il tempo di riverberazione, che noi non possiamo ancora misurare data la mancanza della parete comune alle due camere, dovrà essere maggiore di :

$$T > \frac{V}{S} = \frac{198}{217.2} = 0.9 \text{ s}$$

Per il rumore di fondo e le condizioni termoigrometriche valgono le osservazioni fatte in precedenza.

Una volta finita la camera bisognerà anche verificare che il coefficiente di assorbimento di ciascuna superficie non sia superiore a 0.06 su tutta la gamma di frequenze, meno che per quelle minori di:

$$f < 2000 V^{-\frac{1}{3}} = 343 \text{ Hz}$$

per le quali il coefficiente medio dovrà essere minore di 0.16.

Come si può rilevare da queste osservazioni le camere acustiche risultano geometricamente rispondenti alle normative vigenti, con l'unica eccezione della camera "B", la quale presenta un volume lievemente minore di quello normalizzato .

Naturalmente, una volta completate rimarrà da verificare le caratteristiche acustiche.

4) INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE

4-1) NORMATIVA

UNI 8270/1-82	Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici - Requisiti dei laboratori (Gr 1) [I.S.O. 140/1].
UNI 8270/3 -84	Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici - Misura in laboratorio del potere fonoisolante di elementi di edifici (Gr 3).
UNI 8270/4 -86	Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici - Misura dell'isolamento acustico per via aerea fra ambienti e del livello di rumore di calpestio di solai (Gr 2)
UNI 8270/ 5 - 82	Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici - Misura in opera dell'isolamento dai rumori aerei di facciate e di elementi di facciata (Gr 4) [I.S.O. 140 /5]
UNI 8270/6 -	Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici - Misura in laboratorio dell'isolamento dai rumori di calpestio di solai (Gr3)
UNI 8270/7 - 87	Acustica - Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici e di componenti di edificio (GR 4) [I.S.O. 717/82].
UNI 82701 8 - 84	Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici - Misura in laboratorio dell'isolamento acustico dai rumori di calpestio di rivestimenti di pavimentazioni su solaio normalizzato. (Gr 3) [I.S.O. 140/8 -Ed 78].
UNI 82701 9 - 88	Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e elementi di edifici - Misura in laboratorio dell'isolamento dai rumori aerei da ambiente a ambiente coperti dallo stesso controsoffitto (Gr 3).
UNI 8437 - 83	Edilizia - Pavimentazioni - Classificazione in base all'isolamento dal rumore di calpestio (Gr 2).
UNI 8438 - 83	Edilizia - Partizioni interne- Classificazione in base al potere fonoisolante (Gr 1)
UNI-ISO 266-82	Acustica- Frequenze normali di misura (Gr 2)
UNI-ISO. 354-89	Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante (in lingua inglese) (Gr 4).
ISO 140/1- 90	Acoustics- Measurement of Sound

ISO 2204 - 79	Insulation in Buildings and of Buildings Elements - Requirements for laboratories. Acoustics- Guide to International Standards on the Measurements of Airborne Acoustical Noise and Evaluation of its Effects on Human Beings.
ISO 3741 -75	Acoustics-Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-Precision Methods for Broad-Band Sources in Reverberation Test Rooms.
ISO 3742 - 75	Acoustics-Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-Precision Methods for Discrete Frequency and Narrow-Band Sources in Reverberation Test Rooms.
ISO 3743 - 76	Acoustics-Determination of Sound Power Levels of Noise Sources-Engineering Methods for Special Reverberation Test Rooms.
CEI 107 - 55	Codice di prova per la determinazione del rumore aereo emesso dagli apparecchi elettrodomestici e similari.

4-2) BIBLIOGRAFIA

- 1) F. Pisani - Le camere per misurazioni acustiche in allestimento presso l'Istituto di Fisica Tecnica dell' Università di Trieste - IX congresso nazionale A.N.D.I.L. -1968.
- 2) E. Zandegiacomo - Laboratorio di acustica - Relazione sullo stato delle attrezzature scientifiche -Report interno IFT.LA.01 Università di Trieste.-1990.
- 3) C.R. Voorhees, D. S. Pallett - Laboratory Measurements in Acoustics - Noise Control Eng., Sept.- Oct. 1976 Vol. 7 Number 2 ;52-56.
- 4) T. W. Bartel C.R. Voorbees, D. S. Pallett - Recent Reverberation Room Qualification Studies at the National Bureau of Standards - Noise Control Eng., Sept.- Oct. 1976 Vol. 7 Number 2 ;71-80
- 5) C. I. Holmer - Qualification of an Acoustic Research Facility for Sound Power Determination - Noise Control Eng. , Sept. - Oct. 1976 Vol. 7 Number 2 ;87-92.
- 6) J. Tichy - Effects of Source Position, Wall Absorbition, and Rotating Diffuser on the Qualification of Reverberation Rooms - Noise Control Eng., Sept. - Oct. 1976 Vol. 7 Number 2 ;57 -63.
- 7) J. T. Rainey, C. E. Ebbing, R. A. Ryan - Modification Required to Permit Qualification of a 269 Cubic Metre Reverberation Room - Noise Control Eng., Sept. - Oct. 1976 Vol. 7 Number 2 ;81 - 86.
- 8) R. L. Applegate - Qualification of Two 180 Cubic Metre Reverberation Rooms with Microphone Traversing and Low Frequency Adsorbers - Noise Control Eng., Sept. - Oct. 1976 Vol. 7 Number 2 ; 105 - 109.

- 9) R. E. Wise, G. C. Maling J., K. Masuda - Qualification of a 230 Cubic Metre Reverberation Room - Noise Control Eng., Sept. - Oct. 1976 Vol. 7 Number 2; 98 - 104.
- 10) M. W. Blanck - Qualification of a 300 Cubic Metre Reverberation Room - Noise Control Eng., Sept. - Oct. 1976 Vol. 7 Number 2 ;93 - 96.
- 11) L. L. Beranek - Acoustic - Mc Graw Hill - 1954.