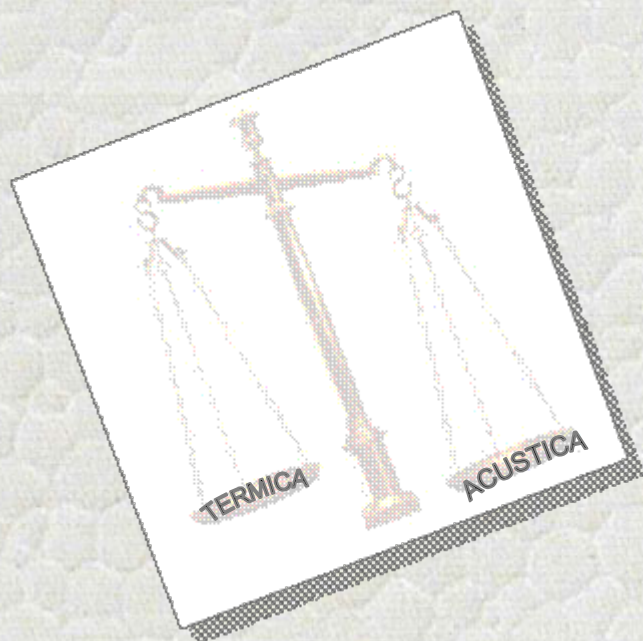


EPS:

L'equilibrio tra termica e acustica



16 Ottobre 2008, Bologna

RUMORE?

NO GRAZIE

Ing. Marco Piana

AIPE

INDICE

1. Premessa	01
2. L'EPS elasticizzato	05
3. I parametri di calcolo e di verifica	13
4. Normativa per l'EPS	21
5. Gli obblighi di legge	35
6. Verifiche sperimentali	43

1. PREMESSA

La trasmissione del suono può avvenire con modalità diverse ma alla fine il rumore raggiunge sempre l'orecchio dell'utente finale.

Isolare pareti e solai con **EPS** è possibile come viene riportato in seguito utilizzando materiali e componenti che permettono di evidenziare un buon comportamento globale dell'**EPS**.

Un buon isolamento dai rumori è quindi importante; chi va ad occupare un appartamento dovrebbe poter ottenere, dal costruttore o dal locatario, l'assicurazione che egli vi potrà abitare indisturbato, almeno per quanto riguarda l'isolamento acustico.

Il POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS) si è rivelato uno dei più utili materiali per combattere i rumori d'urto, se adoperato in una forma particolare, l'**EPS** elasticizzato, derivato da quella più nota, ampiamente impiegata per l'isolamento termico.

L' **EPS** è un materiale unico per le caratteristiche presentate: elevata resistenza meccanica, basso assorbimento d'acqua, isolamento termico ottimale.

L' **EPS** viene utilizzato in molte situazioni veramente diversificate per finalità e per risultati ottenuti.

Da oltre 30 anni in tutta Europa l' EPS si distingue per versatilità ed economicità usato in case mono - familiari, edifici collettivi ad uso abitativo, commerciale ed industriale.

Inoltre l' EPS presenta caratteristiche tali da essere adottato per ridurre la rumorosità all'interno dei locali di abitazioni nel settore civile e terziario.

Le nuove normative europee e le direttive italiane impongono un miglioramento delle caratteristiche acustiche degli edifici mediante una riduzione dei livelli di rumore ammessi.

Il disturbo può giungere dall'esterno dell'edificio e dai locali adiacenti mediante due modalità:

- trasmissione per via aerea
- trasmissione per impatto.

Il rumore giunge nel locale disturbato attraverso le due vie sopra ricordate prevedendo interventi completamente diversi per attuare un buon isolamento acustico.

2. L'EPS elasticizzato

Un buon materiale elastico deve poter rispondere adeguatamente a queste esigenze:

- Resistenza alla compressione adeguata ai carichi previsti, statici e dinamici;
- Insensibilità all'acqua ed alla malta del massetto;
- Leggerezza e spessore contenuto;
- Inalterabilità nel tempo, imputrescibilità e inattaccabilità da muffe e altri micro organismi;
- Maneggevolezza, facile adattabilità, semplicità e rapidità di posa in opera;
- Buon rapporto prezzo/prestazioni;
- Contributo all'isolamento termico del solaio o della muratura.

Il normale EPS possiede una rigidità dinamica che, secondo la massa volumica e lo spessore, si colloca nel campo fra 60 e 200 MN/m³, valori con i quali si ottengono modeste attenuazioni del rumore di calpestio.

Questo materiale è peraltro il punto di partenza per ottenere un isolante con una rigidità dinamica sufficientemente bassa, pur mantenendo tutte le altre caratteristiche applicative prima ricordate.

Il procedimento di produzione dell'EPS elasticizzato parte infatti da normali blocchi di EPS, di massa volumica intorno a 13-15 Kg/m³, ottenuti però con granulometrie e condizioni di stampaggio e maturazione opportunamente controllate per massimizzare le caratteristiche cercate.

Questi blocchi o lastre vengono pressati fino ad $1/3$ dello spessore originario; tolta la compressione, essi ritornano all'85% circa dello spessore originario, acquistando così una massa volumica intorno a $15-18 \text{ Kg/m}^3$; in questo stato i blocchi vengono tagliati in lastre in piani perpendicolari alla direzione della pressione.

Le caratteristiche fisico – chimiche delle lastre così ottenute non risultano alterate da questo trattamento.

In particolare la conduttività termica avrà ancora il valore che compete alle lastre di EPS normale della stessa massa volumica.

Con il trattamento di elasticizzazione si modificano invece profondamente le caratteristiche meccaniche dell'espanso, a seguito della deformazione permanente che subisce lo scheletro solido delle celle.

La loro forma tondeggiante divenuta lenticolare, allargata perpendicolarmente alla direzione della compressione, e le pareti assumono un aspetto spiegazzato.

Come conseguenza il modulo elastico si abbassa notevolmente, specialmente nella direzione di compressione.

La prova della rigidità dinamica consiste nel porre una provetta di EPS elasticizzato di 200 x 200 mm e dello spessore commerciale da esaminare, su un piano pesante, applicarvi sopra, tramite una malta fluida di gesso, che deve annullare le irregolarità del provino, una piastra di acciaio di spessore tale da esercitare una pressione di 2 kPa, che simula la massa del pavimento galleggiante.

A questa piastra viene fissato rigidamente un eccitatore di vibrazioni assiali di frequenza variabile e un accelerometro.

La frequenza viene variata fino ad individuare la frequenza di risonanza f_R [Hz], per la quale è massima l'ampiezza delle oscillazioni.

La rigidità dinamica s' è data dalla somma:

$$s' = s'_G + S'_L \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

della rigidità dinamica s'_G della struttura solida dell'espanso e di quella S'_L dell'aria racchiusa nelle sue celle.

La rigidità dinamica S'_G della struttura è data dalla relazione:

$$S'_G = 4 \cdot 10^{-5} m' f_R^2 \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

dove:

m' [Kg/m³] è la massa areica della piastra oscillante (comprendente quella dell'eccitatore).

La rigidità dinamica S'_L dell'aria è data dalla relazione:

$$S'_L = 113/d_B \text{ [mm]}$$

dove:

d_B [mm] è lo spessore sotto carico della provetta.

Lo spessore d_B dell'isolante sotto carico, unitamente allo spessore senza carico di d_L è l'altra caratteristica specifica dell'espanso per isolamento dai rumori di calpestio, in quanto deve essere assicurato che, pur con un modulo elastico ridotto, i cedimenti sotto carico siano contenuti entro limiti accettabili.

La pressione convenzionale sotto la quale è misurato lo spessore d_L è di 2 kPa.

L'EPS elasticizzato è caratterizzato da un modulo elastico dinamico inferiore a 450 KN/m² e da uno spessore sotto carico che è circa il 10% di quello libero.

La tabella seguente riporta i dati caratteristici dei tipi di EPS corrispondenti agli spessori utilizzati:

Spessore senza carico d_L mm	Spessore sotto carico d_B mm	Rigidità dinamica MN/m ³	Indice di attenuaz. ΔL_W con massetto da 70 Kg/m ³	
			con pavim. rigida dB	con pavim. resiliente dB
17	15	30	26	27
22	20	20	28	30
27	25	15	29	33
33	30	15	29	33
38	35	10	30	34
44	40	10	30	34

3. I parametri di calcolo e di verifica

La trasmissione di energia sonora attraverso un generico componente può avvenire secondo due distinte modalità:

- ° per via aerea
- ° per percussione diretta del componente stesso (rumori impattivi).

Per le prestazioni di isolamento acustico ai suoni aerei è la componente energetica che interessa il comportamento ai rumori aerei di un generico divisorio che separa due ambienti confinanti è espresso dal *potere fonoisolante R*.

$$R = 10 \lg (1/\tau) = 10 \lg (W_i/W_t) \quad (dB)$$

dove τ è il coefficiente di trasmissione e W_i, W_t sono rispettivamente la potenza sonora incidente e trasmessa.

In prima approssimazione R può essere ricavato dalla seguente relazione empirica:

$$R = 18 \log (f \cdot M) - 44 \quad (dB)$$

dove f [Hz] è la frequenza e M [Kg/m²] la massa superficiale del componente; ad esempio per un divisorio di massa pari a 100 Kg/m², il valore di R a 125 Hz risulta pari a 30 dB, mentre a 250 Hz risulterà pari a circa 35 dB: ovvero al raddoppio della frequenza, o della massa, il potere fonoisolante aumenta di circa 5-6 dB/ottava.

Tale relazione rappresenta in termini analitici la cosiddetta
“legge di massa”,

esprime il fatto che le prestazioni di fonoisolamento aumentano all'aumentare della massa: ovvero tanto più una struttura è pesante, tanta più energia acustica occorre per metterla in vibrazione; anche l'aumento della frequenza determina un miglior comportamento acustico: quindi i rumori aventi significative componenti alle basse frequenze sono quelli che si ***controllano*** peggio.

Al fine di evidenziare le prestazioni di divisori in opera indipendentemente dall'assorbimento dell'ambiente si introduce l'isolamento acustico normalizzato D_n rispetto all'assorbimento acustico:

$$D_n = D - 10 \log A/A_0 [dB]$$

dove

A_0 è un'area equivalente di assorbimento acustico assunta pari a 10 m².

In effetti il potere fonoisolante R è un parametro che esprime tipicamente le prestazioni di un componente rilevate in laboratorio, mentre l'isolamento acustico D è un parametro che esprime tipicamente le prestazioni di quello stesso componente una volta che sia stato posto in opera.

Tuttavia per comodità ed al fine di poter raffrontare tra loro le prestazioni acustiche di differenti divisori, le norme acustiche esistenti, mediante una procedura normalizzata, prevedono la possibilità di esprimere complessivamente le prestazioni in questione con un unico numero indice denominato

Indice di Valutazione del Potere Fonoisolante R_w .

Una relazione empirica esprimente R_w che ha trovato una buona correlazione con dati sperimentali di diversa provenienza è la seguente:

$$R_w = 20 \log M \text{ (dB)}$$

Per quanto attiene ai rumori impattivi la struttura che viene sollecitata diviene sorgente sonora diretta per l'ambiente ricevente e pertanto le prestazioni in tal caso si riferiscono ai livelli sonori assoluti che si generano in ambiente, definiti ***livelli di rumore al calpestio L_i*** .

Anche in questo caso le caratteristiche dell'ambiente influenzano i livelli sonori e quindi si introduce il parametro L'_n ovvero il livello sonoro di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico analogamente a quanto visto in precedenza:

$$L'_n = L_i + 10 \lg A/A_0 \text{ [dB]}$$

La normalizzazione sia per i livelli L_i che per D , può essere fatta anche in funzione del tempo di riverberazione T , ricordando che comunque sussiste una stretta relazione tra assorbimento e riverberazione.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg T/T_0 \text{ (dB)}$$

$$D_{nT} = D + 10 \lg T/T_0 \text{ (dB)}$$

con T_0 pari a 0,5 s per le abitazioni.

Il Livello normalizzato di pressione sonora per trasmissione diretta

$L_{n,d}$ è dato da:

$$L_{n,d} = L_n - \Delta L - \Delta L_d \text{ [dB]}$$

dove ΔL è la riduzione di livello di rumore da calpestio per pavimenti galleggianti e ΔL_d è la riduzione per effetto della trasmissione laterale.

Ovviamente anche i livelli impattivi sono funzione della frequenza e per questo, in analogia all'indice di valutazione del potere fonoisolante, si è definito un **Indice di valutazione del rumore di calpestio normalizzato** $L'_{n,W}$ esprimente con un unico numero le prestazioni in questione.

4. Normativa per l'EPS

IL POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS) è uno dei più importanti materiali per l'isolamento termico in edilizia, il primo fra gli espansi plastici cellulari.

Come tale, le sue caratteristiche sono state studiate in modo approfondito.

La norma europea di riferimento per l'EPS è la EN 13163 che per il settore "acustica" prevede alcune specifiche caratteristiche.

Classificazione dei prodotti in EPS

I prodotti sono divisi in classi di cui EPS S può essere utilizzato solo per applicazioni destinate a non supportare carico e EPS T con specifiche proprietà di isolamento acustico.

Classe	Resistenza a compressione al 10% di deformazione (kPa)	Resistenza a flessione (kPa)
EPS S	-	50
EPS 30	30	50
EPS 50	50	75
EPS 60	60	100
EPS 70	70	115
EPS 80	80	125
EPS 90	90	135
EPS 100	100	150
EPS 120	120	170
EPS 150	150	200
EPS 200	200	250
EPS 250	250	350
EPS 300	300	450
EPS 350	350	525
EPS 400	400	600
EPS 500	500	750

Classificazione di EPS con proprietà acustiche

Tipo	Comprimibilità	Rigidità dinamica
EPS T	Livello da prospetto della norma	Livello da prospetto della norma

NORME CORRELATE

METODO DI PROVA	REQUISITO
EN 822	Determinazione di lunghezza e larghezza
EN 12667 o EN 12939	Resistenza termica
EN 822	Lunghezza e larghezza
EN 823	Spessore
EN 824	Squadratura
EN 825	Planarità
EN 826	Compressione al 10% di deformazione
EN 1602	Densità apparente
EN 1603	Stabilità dimensionale sotto condizioni di laboratorio normali
EN 1604	Stabilità dimensionale in condizioni specifiche
EN 1605	Deformazione sotto sforzo di specifiche condizioni di temperatura
EN 1606	CREEP compressione
EN 1607	Trazione perpendicolare alle facce
EN 12085	Dimensioni lineari
EN 12086	Trasmissione di vapore acqueo
EN 12087	Assorbimento d'acqua per immersione
EN 12088	Assorbimento d'acqua per diffusione
EN 12089	Resistenza a flessione
EN 12090	Resistenza al taglio
EN 12091	Resistenza al gelo
EN 12431	Spessore isolante per pavimenti galleggianti
EN 13051-1	Reazione al fuoco
EN 29052-1	Rigidità dinamica

Rigidità dinamica

La rigidità dinamica, s' , deve essere determinata in accordo con la EN 29052-1 senza precarico.

Nessun risultato di prova deve essere maggiore del valore indicato nel prospetto seguente per il livello dichiarato.

Livello di rigidità dinamica

Livello	Requisito MN/m ³
SD 50	≤ 50
SD 40	≤ 40
SD 30	≤ 30
SD 20	≤ 20
SD 15	≤ 15
SD 10	≤ 10
SD 7	≤ 7
SD 5	≤ 5

Per prodotti a livello CP₂, se il carico applicato è maggiore di 5,0 kPa, la rigidità dinamica, s' , deve essere determinata sotto il carico applicato più il peso proprio dello strato di rivestimento.

Comprimibilità

Spessore, d_L

Lo spessore, d_L , deve essere determinato in accordo con la EN 12431 sotto un carico di 250 Pa.

Nessun risultato di prova deve scostarsi dallo spessore dichiarato, d_L , di più delle tolleranze indicate nel prospetto seguente per la classe in etichetta.

Classi per le tolleranze sullo spessore

Classe	Tolleranze	
T3	- 5 % oppure - 1 mm ^{a)}	+ 15% oppure + 3 mm ^{a)}
T4	0	+ 10% oppure + 2 mm per $d_L < 35$ mm ^{a)} + 15% oppure + 3 mm ^{a)} per $d_L \geq 35$ mm ^{a)}

a) Prendere il più grande dei due valori di tolleranza.

NOTA:

Il valore dichiarato di d_L dovrebbe essere dichiarato preferibilmente in intervalli di 5 mm, con il valore più piccolo di d_L pari a 15 mm.

Spessore, d_B

Lo spessore, d_B , deve essere determinato in accordo con la EN 12431 con una pausa di 300 s prima di misurare d_B .

Comprimibilità, c

La comprimibilità, c , deve essere determinata come differenza tra d_L e d_B .

Nessun risultato di prova deve essere maggiore dei valori indicati nel prospetto seguente per il livello dichiarato.

Livelli di comprimibilità

Livello	Carico applicato sullo strato di rivestimento kPa	Requisito (mm)	Tolleranza (mm)
CP5	$\leq 2,0$	$\leq 5,0$	≤ 2 per $d_L < 35$ ≤ 3 per $d_L \geq 35$
CP4	$\leq 3,0$	$\leq 4,0$	
CP3	$\leq 4,0$	$\leq 3,0$	
CP2	$\leq 5,0$	$\leq 2,0$	≤ 1 per $d_L < 35$ ≤ 2 per $d_L \geq 35$

Riduzione dello spessore nel lungo periodo

Se il carico applicato sullo strato di rivestimento è maggiore di 5 kPa possono essere utilizzati solo prodotti aventi un livello di comprimibilità dichiarato di CP_2 e deve essere determinata la riduzione di spessore nel lungo periodo.

La riduzione totale di spessore, $X_t = X_o + X_{ct}$ deve essere determinata dopo centoventidue giorni di prova con il carico applicato più il peso proprio dello strato di rivestimento in accordo con la EN 1606 ed estrapolato trenta volte, corrispondente a dieci anni.

Il valore a dieci anni non deve essere maggiore del valore dichiarato di comprimibilità c .

Rigidità dinamica

La rigidità dinamica dipende dallo spessore di un prodotto.

$$E_{\text{dyn}} \approx s' \times d_B$$

Se un certo prodotto possiede differenti livelli di rigidità dinamica a spessori differenti, è sufficiente controllare la rigidità dinamica allo spessore che in combinazione con la rigidità dinamica dà il più basso valore di modulo di elasticità dinamica, E_{dyn} .

Se viene soddisfatto il requisito della più rigorosa combinazione di spessore e rigidità dinamica, tutte le altre combinazioni per lo stesso prodotto sono parimenti soddisfatte.

Se un prodotto è fabbricato sotto condizioni stabili con, per esempio, i seguenti parametri,

d_B	s'	E_{dyn}
20 mm	20 MN/m ³	400 kN/m ²
30 mm	15 MN/m ³	450 kN/m ²
35 mm	10 MN/m ³	350 kN/m ²

5. Gli obblighi di legge

In data 30 ottobre 1995, sul Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 254, è stata pubblicata la “Legge Quadro sull’inquinamento acustico”, Legge 26 ottobre 1995 n. 447, che stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela del rumore prodotto dall’ambiente esterno e dall’ambiente abitativo, ai sensi e per gli effetti dell’art. 117 della Costituzione.

L’art. 3 della suddetta legge fissa le competenze dello Stato ed in particolare affida al Ministero dell’Ambiente, di concerto con il Ministero della Sanità e con quello dei Lavori Pubblici e dell’Industria, l’incarico di stabilire, a mezzo decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici stessi e dei loro componenti in opera.

In ottemperanza ai disposti sopra citati, in data 22 dicembre 1997 sulla Gazzetta Ufficiale n. 297 è stato pubblicato il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997
“Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”.

Classificazione degli ambienti abitativi (art. 2)

Categoria A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili
Categoria B	Edifici adibiti a uffici e assimilabili
Categoria C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni e attività assimilabili
Categoria D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
Categoria E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
Categoria F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
Categoria G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici (art. 3)

Categorie di cui alla tab. A	R'_w	$D_{2m,n} T_w$	$L'_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

Le grandezze di riferimento riportate nella precedente tabella, che caratterizzano i requisiti acustici degli edifici, da determinare con misure in opera, sono:

- **il tempo di riverberazione (T)**

- **il potere fonoisolante apparente di elementi di separazione tra ambienti (R'). Tale grandezza rappresenta il potere fonoisolante degli elementi di separazione tra alloggi e tiene conto anche delle trasmissioni laterali.**

Dai valori R' , espressi in funzione della frequenza (terzi di ottava), si passa all'indice di valutazione R'_w del potere fonoisolante apparente delle partizioni fra ambienti facendo ricorso ad un'apposita procedura.

L'indice di valutazione permette quindi di caratterizzare con un solo numero le proprietà fonoisolanti della partizione.

L'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT}$) definito da:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log T/T_0$$

dove:

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

$L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora a 2 m dalla facciata, prodotto dal rumore da traffico, se prevalente, o da altoparlante con incidenza del suono di 45° sulla facciata.

L_2 è il livello di pressione sonora media nell'ambiente ricevente.

T è il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente in s.

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 s.

Dai valori $D_{2m,nT}$, espressi in funzione della frequenza, si passa all'indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nTw}$) facendo ricorso ad un'apposita procedura.

L'indice di valutazione permette quindi di caratterizzare, con un solo numero, le proprietà fonoisolanti della facciata.

° **il livello di calpestio normalizzato [$L'_{n,w}$]**

Dai valori L'_n espressi in funzione della frequenza (terzi di ottava), si passa all'indice $L'_{n,w}$ del livello di calpestio di solaio normalizzato facendo ricorso ad un'apposita procedura.

L'indice di valutazione permette quindi di caratterizzare, con un solo numero, le proprietà di isolamento del solaio ai rumori di impatto.

RUMORI PRODOTTI DA IMPIANTI:

- $L_{A,Smax}$ è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A, con costante di tempo slow, prodotta dai servizi a funzionamento discontinuo.
- L_{Aeq} è il livello massimo di pressione sonora ponderata A, prodotta dai servizi a funzionamento continuo.

6. Verifiche sperimentali

condotte da I.N.R.I.M.

“Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica”

Elenco prove eseguite:

1. Spessore / Comprimibilità
2. Rigidità dinamica
3. Prove calpestio
4. Coperture metalliche leggere
5. Muratura con sistema a cappotto

1. Spessore

MODALITA' E CONDIZIONI DI MISURA (secondo UNI EN 12431)

- ✓ 7 Prove realizzate: ogni misura è effettuata su 10 differenti provini del medesimo materiale.
- ✓ Provino: prisma retto con base quadrata con lato 200 mm (in conformità alla EN 12085).
- ✓ Strumenti di misura impiegati:
 - Apparato di misura della comprimibilità a carichi statici diretti
 - Comparatore digitale Mitutoyo Absolut Mod. ID-F125) (misura dello spessore).
- ✓ Apparato di misura costituito da piastra di riferimento appoggiata su pavimento costruito su terrapieno sicché l'inerzia sia tale da rendere ininfluenti fenomeni vibratorii.

1. Spessore

- ✓ Condizioni di prova: $T = (23 \pm 5)^\circ\text{C}$ e $\text{U.R.} = (50 \pm 5)\%$

- ✓ Tempo di applicazione di ciascun carico: $(120 \pm 5) \text{ s}$

- ✓ Carichi statici applicati:
 - $250 \text{ Pa} \sim 25 \text{ Kg/m}^2$
 - $2000 \text{ Pa} \sim 200 \text{ Kg/m}^2$
 - $50000 \text{ Pa} \sim 5100 \text{ Kg/m}^2$

Spessore d [mm]: distanza misurata tra la piastra rigida piana di riferimento su cui poggia il provino e il piattello di carico su cui si esercitano le pressioni, determinato allo 0,1 mm più prossimo.

1. Spessore

PARAMETRI DETERMINATI:

d_L [mm]: provino caricato con una pressione di 250 Pa ($\sim 25 \text{ Kg/m}^2$) per
(120 \pm 5)s

d_F [mm]: provino caricato con una pressione di 2000 Pa ($\sim 200 \text{ Kg/m}^2$) per
(120 \pm 5)s

d_B [mm]: provino caricato inizialmente con una pressione di 50 000 Pa (\sim
5100 Kg/m^2), dopo (120 \pm 5)s il carico viene rimosso, lo spessore d_B è
determinato dopo (120 \pm 5)s di applicazione del carico di 2 KPa

d_F e d_B sono determinati sugli stessi provini impiegati per determinare d_L

1. Spessore - Comprimibilità

Nome prodotto	Descrizione campione	Spessore dichiarato [mm]	Massa per unità di superficie [Kg/m ²]	Massa volumica apparente (ρ) [Kg/m ³]	d _L [mm]	d _F [mm]	d _B [mm]	CP [mm]
S2	EPS - nonEL	22	0,61	27,7	22,3	22,2	22,2	0,1
S3	EPS - EL	22	0,85	38,6	23,0	22,8	22,6	0,4
S4	EPS - EL	53	2,13	40,2	53,9	53,6	53,0	0,9
S6	EPS – nonEL	20	0,51	25,5	20,2	19,9	19,5	0,7
S9	Polietilene reticolato	5	0,17	34,0	5,2	5,1	5,0	0,2
S10	EPS - EL	60	1,54	25,7	61,2	60,9	58,7	2,5
S11	EPS - nonEL	60	1,27	21,2	60,4	60,3	60,2	0,2

Legenda:

EPS-nonEL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato

CP: comprimibilità; $CP = d_L - d_B$

d_L, d_F, d_B : valori medi relativi a 10 differenti provini del medesimo materiale esaminato

2. Rigidità dinamica

✓ **Strumenti di misura impiegati:**

- trasduttore di forza Brüel & Kjær tipo 8230
- analizzatore di frequenza digitale in tempo reale Brüel & Kjær tipo 3560
- amplificatore di potenza Brüel & Kjær tipo 2706
- accelerometro Brüel & Kjær tipo 4513-002
- shaker Brüel & Kjær tipo 4810

RIGIDITA' DINAMICA APPARENTE PER UNITA' DI SUPERFICIE

$$s'_t = (2\pi f_r)^2 m'_t \quad [N/m^3]$$

m'_t [kg/m²]: massa totale per unità di superficie

f_r [Hz]: frequenza di risonanza
(del modulo della funzione di trasferimento tra il
segnale di vibrazione e quello di eccitazione)

2. Rigidità dinamica

Nome prodotto	Descrizione campione	Spessore sotto carico	massa per unità di superficie del campione	f_r	S'_t
		[mm]	[Kg/m ²]	[Hz]	[MN/m ³]
R1	EPS - nonEL	30,7	0,81	84	56
R2	EPS - nonEL	22,2	0,61	168	223
R3	EPS - EL	22,5	0,85	75	44
R4	EPS - EL	53,4	2,13	46	17
R5	EPS - nonEL doppia densità (30 e 20 Kg/m ³ per 22,5 mm di spessore ognuno)	44,7	1,14	66	34
R6	EPS - nonEL	19,7	0,51	112	99
R7	EPS - EL	31,9	0,78	39	12
R8	EPS - EL	21,4	0,36	39	12
R9	Polietilene reticolato	5	0,17	182	262
R10	EPS - EL	60,6	1,54	38	11
R11	EPS - nonEL	60,1	1,27	114	103

Legenda:

EPS-nonEL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato

2. Rigidità dinamica

Spessore EPS:

R1: 30 mm

R2: 22 mm

R3: 22 mm

R4: 53 mm

R5: 45 mm

R6: 20 mm

R7: 34 mm

R8: 22 mm

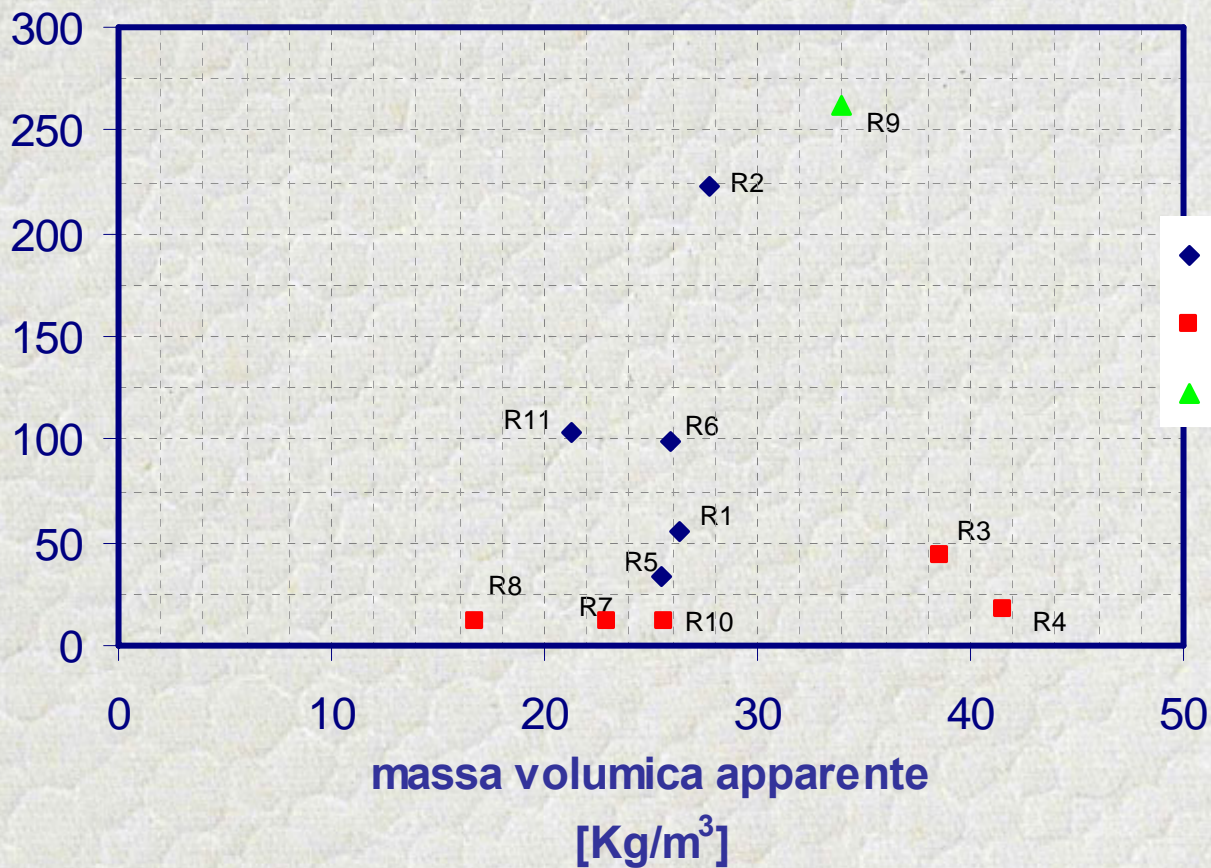
R9: 5 mm

R10: 60 mm

R11: 60 mm

rigidità dinamica apparente

[MN/m³]



- ◆ EPS-nonEL
- EPS-EL
- ▲ PE reticolato

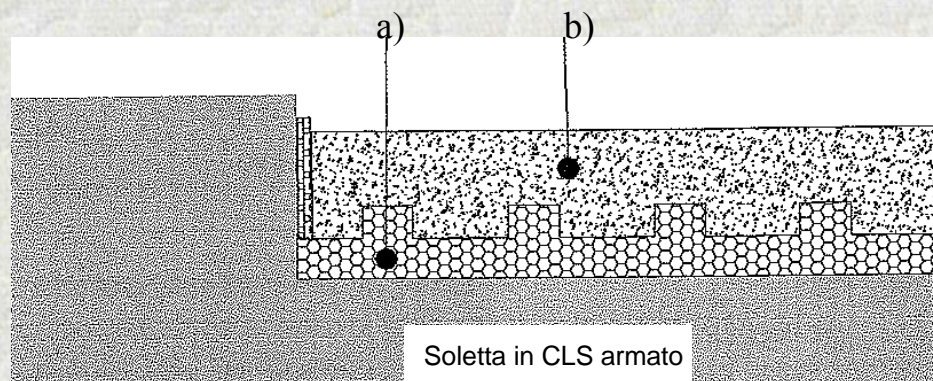
3. Prove al calpestio

MODALITA' E CONDIZIONI DI MISURA
secondo **UNI EN 140-8**

(misure
risultati conformi

a **UNI EN ISO 717-2)**

- ✓ 9 prove realizzate
- ✓ campione di prova (a) posizionato su solaio normalizzato in cemento armato di 14 cm di spessore e dimensioni 3,35 x 2,95 m che separa 2 camere semiriverberanti
- ✓ materiale in prova posato su solaio normalizzato e rivestito con massetto in CLS con rete metallica elettrosaldata di spessore di 5 cm (b)



3. Prova al calpestio

Strumenti di misura impiegati:

- microfono a condensazione da 1/2" Brüel & Kjær, tipo 4166
- preamplificatore microfonic Brüel & Kjær, tipo 2916
- asta rotante Brüel & Kjær, tipo 3923
- calibratore di livello sonoro Brüel & Kjær, tipo 4231
- analizzatore di frequenza digitale in tempo reale Brüel & Kjær, tipo 3560 C
- equalizzatore digitale Yamaha, tipo DEQ 5
- amplificatore di potenza Amcron Crown, tipo MICRO-TECH 1200
- diffusore acustico omnidirezionale cubico contenente 6 woofer e 6 tweeter
- diffusore acustico omnidirezionale dodecaedrico Brüel & Kjær, tipo 4296
- generatore di rumore di calpestio normalizzato Brüel & Kjær, tipo 3207

3. Prova al calpestio

- Per ogni banda di frequenza di 1/3 ottava si rileva

L_i : livello medio di pressione sonora nella camera ricevente

così definito:

$$L = 10 \lg \frac{\frac{1}{T_m} \int_{T_m}^0 p^2(t) dt}{p_0^2} \quad [\text{dB}]$$

in cui

p : pressione sonora [Pa]

p_0 : pressione sonora di riferimento $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

intervallo di integrazione [secondi]

T_m :

- **tempo di riverberazione (T)** :

misurato sempre per bande di 1/3 di ottava nella camera ricevente mediante microfono mobile con tempo di rotazione di 32 s e raggio d'azione di 1 m (il n° di misurazione è di 12 decadimenti, usando 2 posizioni dell'altoparlante e 2 piani di attraversamento inclinati)

3. Prova al calpestio

Livello di rumore di calpestio normalizzato dell'ambiente ricevente:

dove

$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad [\text{dB}]$$

A_0 : area equivalente di assorbimento acustico [m^2] di riferimento, pari a 10 m^2

A : area equivalente di assorbimento acustico [m^2] dell'ambiente ricevente, definita come segue:

$$A = \frac{0,163V}{T} [\text{m}^2]$$

V volume della camera ricevente [m^3]
T tempo di riverberazione [s]

3. Prova al calpestio

Attenuazione del livello di pressione sonora da calpestio:

$$\Delta L = L_{no} - L_n \quad [\text{dB}]$$

dove

L_{n0} : livello di pressione sonora da calpestio normalizzato del solaio normalizzato senza rivestimento di pavimentazione

L_n : livello di pressione sonora da calpestio normalizzato del solaio normalizzato con rivestimento di pavimentazione

3. Prova al calpestio

L_n varia al variare della f , per cui si determina un “unico numero indice”, detto Indice di valutazione del rumore di calpestio normalizzato L_{nw} (mediante una procedura normalizzata)

$$L_{nw,r} = L'_{nw} \text{ del DPCM 97} = 77 - \Delta L_w$$

L'_{nw} del solaio nudo in laboratorio dell' ITC = 77 dB

(in opera un solaio tradizionale presenta un $L'_{nw} = 75$ dB)

quindi per rispondere alle richieste del DPCM:

- ospedali $L'_{nw} = 58$ dB

Solaio nudo $77 - 16$ (esempio C1) = 61 dB **“non idoneo”**

$77 - 32$ (esempio C8) = 45 dB **“idoneo”**

3. Prove al calpestio

nome prodotto	descrizione campione	spessore [mm]	massa per unità di superficie del pannello [Kg/m ²]	ΔL_w [dB]	$L_{nw,r}$ [dB]
C1	EPS - nonEL	30	1,30	16	61
C2	EPS - nonEL	22	0,65	13	64
C3	EPS - EL	22	0,90	19	58
C4	EPS - EL	53	2,20	25	52
C5	EPS - nonEL doppia densità (30 e 20 Kg/m ³ per 22,5 mm di spessore ognuno)	45	1,60	18	59
C6	EPS - nonEL	20	1,40	15	62
C7	Laminato in PS rigido (0,6mm) con sagome in rilievo di 22mm + EPS-nonEL di 12 mm + EPS - EL di 22 mm	34 (strato continuo di EPS)	1,70	30	47
C8	Laminato in PS rigido (1mm) con sagome in rilievo di 20mm accoppiato a EPS - EL (22mm)	22	1,60	32	45
C9	Polietilene reticolato	5	0,17	15	62

Legenda:

EPS-nonEL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato

MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE

4. Muratura con sistema a cappotto

5. Coperture metalliche leggere

MODALITA' E CONDIZIONI DI MISURA

(misure secondo **UNI EN ISO 140-3**

risultati conformi a **UNI EN ISO 717-1**)

- ✓ Dimensioni struttura: larghezza = 372 cm ; altezza = 284 cm
- ✓ Campione installato in un'apertura di 10,5 m² posta tra 2 camere semiriverberanti adiacenti, acusticamente disaccoppiate:
 - camera trasmittente: $V = 60 \text{ m}^3$
sorgente sonora: suono stazionario con spettro continuo $100 < f < 5000 \text{ Hz}$
postazione microfonica rotante
 - camera ricevente: $V = 69 \text{ m}^3$
postazione microfonica rotante

MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE

Strumenti di misura impiegati:

- 2 microfoni a condensazione da 1/2" Brüel & Kjær, tipo 4943
- 2 preamplificatori microfonici Brüel & Kjær, tipo 2916
- 2 aste rotante Brüel & Kjær, tipo 3923
- calibratore di livello sonoro Brüel & Kjær, tipo 4231
- analizzatore di frequenza digitale in tempo reale Brüel & Kjær, tipo 3560 C
- equalizzatore digitale Yamaha, tipo DEQ 5
- amplificatore di potenza Amcron Crown, tipo MICRO-TECH 1200
- diffusore acustico omnidirezionale cubico contenente 6 woofer e 6 tweeter
- diffusore acustico omnidirezionale dodecaedrico Brüel & Kjær tipo 4296

MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE

- Per ogni banda di frequenza di 1/3 ottava si rileva:

L_1 : *livello medio di pressione sonora nella camera trasmittente*

L_2 : *livello medio di pressione sonora nella camera ricevente*

così definiti:

$$L = 10 \lg \frac{\frac{1}{T_m} \int_{T_m}^0 p^2(t) dt}{p_0^2} \quad [\text{dB}]$$

in cui

p : pressione sonora [Pa]

p_0 : pressione sonora di riferimento $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

T_m : intervallo di integrazione [secondi]

- tempo di riverberazione (T) :
misurato sempre per bande di 1/3 di ottava nella camera ricevente
mediante microfono mobile con tempo di rotazione di 32 s e raggio
d'azione di 1 m
(il n° di misurazione è di 12 decadimenti, usando 2 posizioni dell'altoparlante e 2
piani di attraversamento inclinati)

POTERE FONOISOLANTE

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

dove

S : area del campione [m²]

A : area equivalente di assorbimento acustico [m²] dell'ambiente ricevente avente un tempo di riverberazione T in [sec] definita come segue:

$$A = \frac{0,163V}{T} [m^2] \quad V \text{ volume della camera ricevente [m}^3]$$

Poiché **R** varia al variare della **f**, si determina un “unico numero indice”, detto Indice di valutazione del Poetere fonoisolante **R_w** (mediante una procedura normalizzata)

4. Coperture metalliche leggere

MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE

Nome	descrizione copertura	massa per unità di superficie [Kg/m ²]	R _w (c; c _{tr}) [dB]
4a/T	Lastra acciaio zincato (0,5 mm) con sagomatura a forma di tegola passo 350 mm, interasse onda 200 mm e altezza 45 mm	11,3	28(- 2, - 4)
	EPS - nonEL con densità 25 Kg/m ³ spessore medio 87mm, spessore max 132,5 mm		
	lastra microgrecata in acciaio zincato (0,5mm)		
4a/A	lastra metallica con sagomatura a forma di coppo	12,3	27(- 1, - 3)
	EPS - nonEL con densità 25 Kg/m ³ spessore min 170 mm spessore max 197 mm		
4a/R	lastra in lamiera spessore 0,6 mm	8,8	23(- 1, - 2)
	EPS - nonEL (TIPO 120) spessore 50 mm		
	resinatura superficiale all'intradosso del pannello		

Legenda:

EPS-nonEL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato

5. Muratura con sistema a cappotto

MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE

Nome	descrizione copertura	spessore [mm]	massa per unità di superficie [Kg/m ²]	R _w (c; c _{tr}) [dB]
1a	muro con elementi in laterizio (29,5 x 18,5 x 24 cm di massa 11,78 Kg) intonacato su un lato	260	264	48 (- 1, - 3)
1b	muro con elementi in laterizio (29,5 x 18,5 x 24 cm di massa 11,78 Kg) intonacato su un lato e con "cappotto" sull'altro lato	320	265	Valori rimasti inalterati
	"cappotto" EPS - nonEL : lastre spessore 60 mm con massa areica 1,3 Kg/m ²	60		
	rasatura armata			
	strato di finitura fine spessore 1-2 mm	1-2		
1c/pr	muro con elementi in laterizio (29,5 x 18,5 x 24 cm di massa 11,78 Kg) intonacato su un lato e con "cappotto" sull'altro lato	320	265	49 (- 2, - 6)
	"cappotto" EPS - EL : spessore 60 mm con massa areica 1,6 Kg/m ²	60		
	rasatura armata			
	strato di finitura fine spessore 1-2 mm	1-2		

Legenda:

EPS-nonEL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato

Confronto conclusivo

nome prodotto		descrizione campione	Spessore sotto carico [mm]	massa volumica apparente (ρ) (calcolata con spessore dichiarato) [Kg/m ³]	massa per unità di superficie (calcolata con spessore dichiarato) [Kg/m ²]	ΔL_w [dB]	s'_t [MN/m ³]
R1	/	EPS -non EL	30,7	26,4	0,81	16	56
R2	S2	EPS -non EL	22,2	27,7	0,61	13	223
R3	S3	EPS - EL	22,5	38,6	0,85	19	44
R4	S4	EPS - EL	53,4	40,2	2,13	25	17
R5	/	EPS - nonEL doppia densità (30 e 20 Kg/m ³ per 22,5mm ognuno)	44,7	25,5 (valore medio)	1,14	18	34
R6	S6	EPS - nonEL	19,7	25,5	0,51	15	99
R7	/	Laminato in PS rigido (0,6mm) con sagome in rilievo di 22mm + EPS - nonEL di 12 mm + EPS - EL di 22mm	31,9	23	0,78	30	12
R8	/	Laminato in PS rigido (1mm) con sagome in rilievo di 20mm + EPS - EL (22mm)	21,4	16,4	0,36	32	12
R9	S9	Polietilene reticolato	5	34,0	0,17	15	262
R10	S10	EPS - EL	60,6	25,7	1,54	-	11
R11	S11	EPS - nonEL	60,1	21,2	1,27	-	103

Legenda:

EPS-nonEL:

EPS non elasticizzato

EPS-EL:

EPS elasticizzato