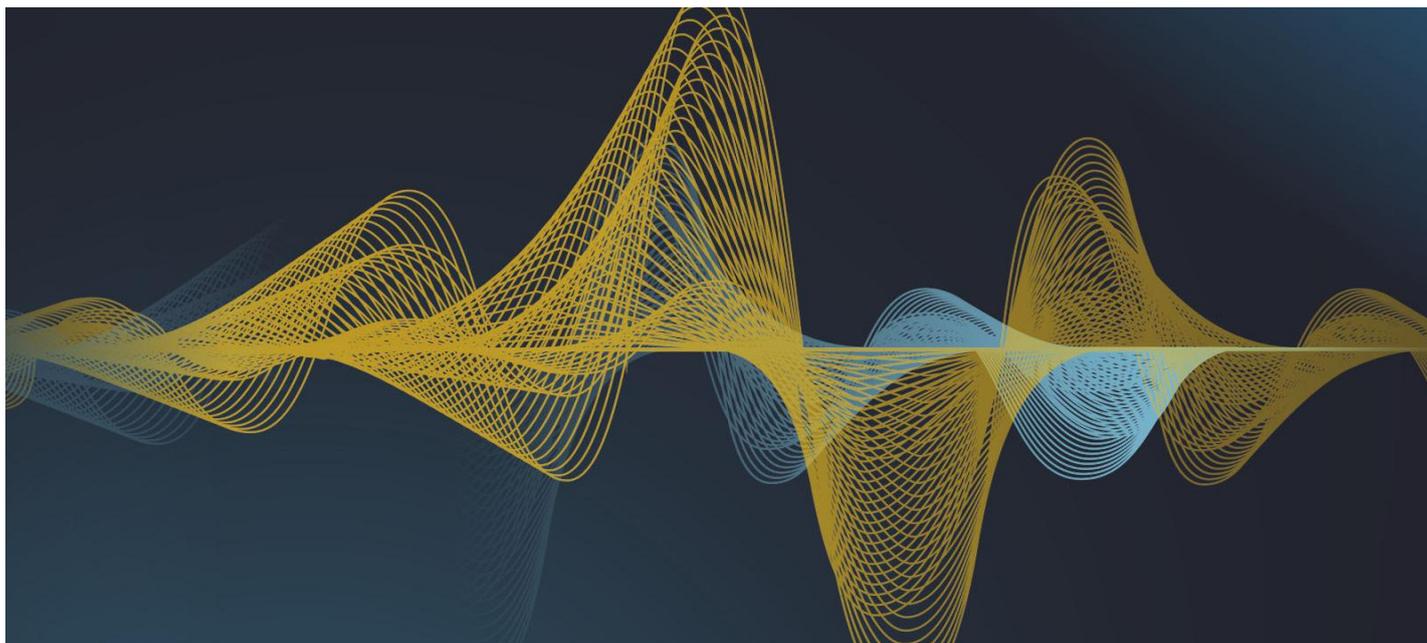


Manuale Tecnico di Acustica Edilizia Saint-Gobain



È ora disponibile

Manuale Tecnico di Acustica Edilizia Saint-Gobain

Il nuovo riferimento per la progettazione

Saint-Gobain Italia ha redatto il Manuale Tecnico di Acustica Edilizia

Sarà da adesso il nuovo riferimento per il progettista che intende affrontare l'efficienza acustica degli edifici.

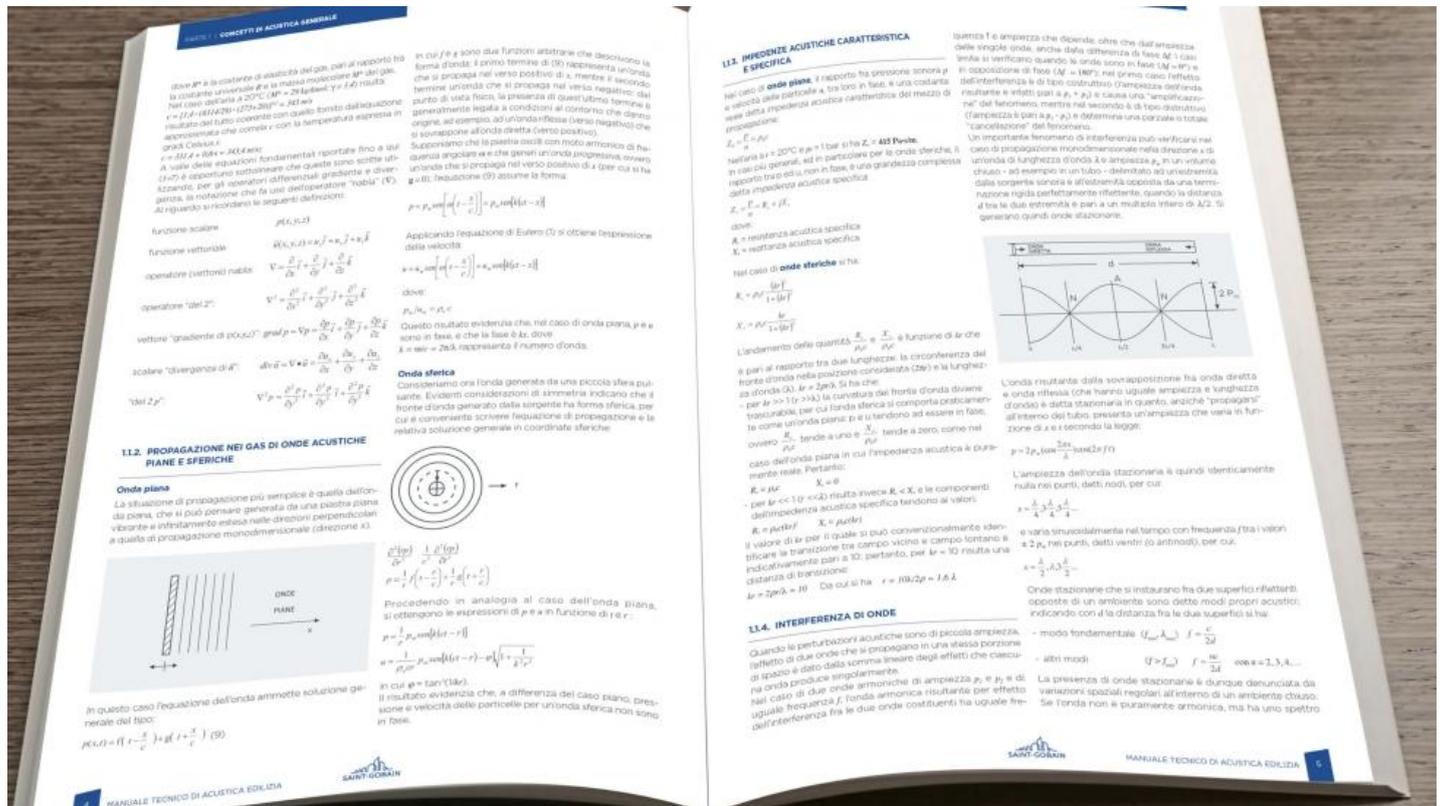
Il documento è composto da 6 parti:

1. **Concetti di acustica generale:** principali caratteristiche acustiche, introduzione all'acustica in termini di fenomeno percettivo, acustica negli ambienti confinati e tempo di riverberazione.
2. **Riferimenti normativi:** panoramica delle principali leggi e norme tecniche vigenti relative all'acustica (valori di riferimento per il progetto e per il collaudo).
3. Acustica in edilizia: approfondimento di tutti gli aspetti legati all'acustica in edilizia, dall'isolamento acustico (fonoisolamento, facciata, livello sonoro di calpestio) al comfort acustico, sia in fase di progettazione di nuovi edifici sia in fase di ristrutturazione di edifici esistenti.
4. **Impianti:** approfondimento sulla progettazione acustica e l'isolamento degli impianti.

- Soluzioni costruttive certificate (prove di laboratorio e in opera):** adatte ad ogni esigenza e idonee per ogni tipologia di ambito costruttivo (residenze, scuole, ospedali, alberghi, uffici ed edifici commerciali).
- Referenze:** esempi di realizzazioni in cui sono state impiegate le soluzioni costruttive Saint-Gobain Italia per l'isolamento e il comfort acustico.

Scarica la tua **copia gratuita** adesso.

Manuale Tecnico di Acustica Edilizia



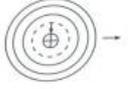
11.2. PROPAGAZIONE NEI GAS DI ONDE ACOUSTICHE PIANE E SFERICHE

Onda piana

La situazione di propagazione più semplice è quella dell'onda piana, che si può pensare generata da una piastrina vibrante e istantaneamente messa nelle direzioni perpendicolari a quella di propagazione monodimensionale (direzione x).



In questo caso l'equazione dell'onda ammette soluzioni generali del tipo:

$$p(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right) + g\left(t + \frac{x}{c}\right) \quad (9)$$


Procedendo in analogia al caso dell'onda piana, si ottengono le espressioni di p e v in funzione di r e t :

$$p = \frac{1}{r} p_0 \sin[kr - \omega t + \phi]$$

in cui $\phi = \tan^{-1}(b/a)$. Il risultato evidenzia che, a differenza del caso piano, pressione e velocità delle particelle per un'onda sferica non sono in fase.

11.3. IMPEDENZE ACOUSTICHE CARATTERISTICA E SPECIFICA

Nel caso di **onda piana**, il rapporto tra pressione sonora p e velocità delle particelle v , tra loro in fase, è una costante che si definisce **impedenza acustica caratteristica** del mezzo di propagazione:

$$Z_c = \frac{p}{v} = \rho c$$

Nell'aria a 20°C e $p = 1$ bar si ha $Z_c = 415 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$. In caso generale, ed in particolare per le onde sferiche, il rapporto tra p ed v , non in fase, è una grandezza complessa detta **impedenza acustica specifica**:

$$Z_s = \frac{p}{v} = R + jX$$

dove:
 R = resistenza acustica specifica
 X = reattanza acustica specifica
 Nel caso di **onde sferiche** si ha:
 $R = \rho c \frac{1 - \frac{2}{kr}}$
 $X = \rho c \frac{1}{1 - \frac{2}{kr}}$

L'andamento delle quantità $\frac{R}{\rho c}$ e $\frac{X}{\rho c}$ è funzione di kr che è pari al rapporto tra due lunghezze: la circonferenza del fronte d'onda nella posizione considerata ($2\pi r$) e la lunghezza d'onda (λ). Per $kr \gg 1$ ($r \gg \lambda$), la curvatura del fronte d'onda diventa trascurabile, per cui l'onda sferica si comporta praticamente come un'onda piana e R e X tendono ad essere in fase. In questo caso $\frac{R}{\rho c}$ tende a uno e $\frac{X}{\rho c}$ tende a zero, come nel caso dell'onda piana in cui l'impedenza acustica è puramente reale. Pertanto:
 $R = \rho c$ $X = 0$
 per $kr \ll 1$ ($r \ll \lambda$) risulta invece $R \ll X$, e le componenti dell'impedenza acustica specifica tendono ai valori:
 $R = \rho c k r^2 / 3$ $X = \rho c k r$
 Il valore di kr per il quale si può convenzionalmente identificare la transizione tra campo vicino e campo lontano è indicativamente pari a 10; pertanto, per $kr = 10$ risulta una distanza di transizione:
 $kr = 2\pi r / \lambda = 10$ Da cui si ha: $r = 10 \lambda / 2\pi = 1.6 \lambda$

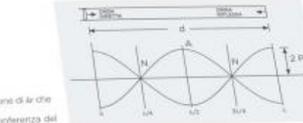
11.4. INTERFERENZA DI ONDE

Quando le perturbazioni acustiche sono di piccola ampiezza, l'effetto di due onde che si propagano in una stessa porzione di spazio produce semplicemente:

la somma di due onde armoniche di ampiezza p_1 e p_2 e di pari frequenza f , l'onda armonica risultante per effetto dell'interferenza fra le due onde costituenti ha uguale fre-

quenza f e ampiezza che dipende oltre che dall'ampiezza delle singole onde, anche dalla differenza di fase $\Delta\phi$. I casi in opposizione di fase ($\Delta\phi = 180^\circ$), nel primo caso l'effetto dell'interferenza è di tipo costruttivo (l'ampiezza dell'onda risultante è infatti pari a $p_1 + p_2$) e causa una "amplificazione" del fenomeno, mentre nel secondo è di tipo distruttivo (l'ampiezza è pari a $p_1 - p_2$) e determina una parziale o totale "cancelazione" del fenomeno.

Un importante fenomeno di interferenza può verificarsi nel caso di propagazione monodimensionale nella direzione x di un'onda di lunghezza d'onda λ e ampiezza p_0 in un volume chiuso - ad esempio in un tubo - delimitato ad un'estremità dalla sorgente sonora e all'altra estremità coperto da una terminazione rigida perfettamente riflettente, quando la distanza d tra le due estremità è pari a un multiplo intero di $\lambda/2$. Si generano quindi onde stazionarie.



L'onda risultante dalla sovrapposizione ha onda diretta e onda riflessa (che hanno uguale ampiezza e lunghezza d'onda) e detta stazionaria in quanto, anziché "propagarsi" all'interno del tubo, presenta un'ampiezza che varia in funzione di x e secondo la legge:

$$p = 2p_0 \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t)$$

L'ampiezza dell'onda stazionaria è quindi identicamente nulla nei punti, detti nodi, per cui:

$$x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots$$

e varia sinusoidalmente nel tempo con frequenza f tra i valori $\pm 2p_0$ nei punti, detti ventri (o antinodi), per cui:

$$x = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots$$

Onde stazionarie che si instaurano fra due superfici riflettenti, opposte di un ambiente sono dette modi propri acustici; indicando con l la distanza fra le due superfici si ha:

– modo fondamentale ($f_0 = f_1$) $f = \frac{c}{2l}$
 – altri modi ($f > f_1$) $f = \frac{nc}{2l}$ con $n = 2, 3, 4, \dots$

La presenza di onde stazionarie è dunque denunciata da variazioni spaziali regolari all'interno di un ambiente chiuso. Se l'onda non è puramente armonica, ma ha uno spettro

RIFERIMENTI NORMATIVI

Leggi e norme tecniche per l'acustica in edilizia

2.1 LEGGI NAZIONALI

In ambito di acustica edilizia in Italia, i principali riferimenti normativi che guidano la progettazione e la realizzazione degli edifici sono la Legge Quadro n. 447 sull'inquinamento acustico del 26/10/1995 e il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 6/12/1997, che attua la Legge Quadro nell'ambito della definizione dei requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici.

In ottica di aggiornamento dei contenuti e dell'applicabilità dei requisiti presenti nel suddetto DPR, nel panorama legislativo italiano sono stati recentemente forniti dei contributi nello specifico ambito acustico per promuovere misure di green economy e di migliore gestione ambientale lungo il ciclo di vita edilizio e produttivo, tenuto conto della disponibilità di mercato, in particolare, sono stati emanati il "Collegato ambientale" per mezzo della Legge n. 221 del 28/12/2015 e il Decreto Ministeriale del 6/11/2017 sui criteri ambientali minimi da attuare in fase progettuale ed esecutiva.

La Tabella 21 riporta i citati documenti legislativi vigenti a livello nazionale in ambito di acustica edilizia, che verranno approfonditi nei paragrafi a seguire.

Tabella 21 - Principali documenti legislativi nazionali in ambito di acustica edilizia

Anno	Documento
1995	Legge n. 447 del 26/10/1995 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"
1997	DPCM del 6/12/1997 - "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"
2015	Legge n. 221 del 28/12/2015 - "Collegato ambientale", promozione di misure di green economy
2017	DM del 6/11/2017 - "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici"

2.1.1. LEGGE N. 447 DEL 26/10/1995

La Legge Quadro sull'inquinamento acustico, n. 447 del 26/10/1995, definisce i principi fondamentali riguardo la tutela dell'ambiente esterno e abitativo in tema di inquinamento acustico. Non ha lo scopo di fornire limiti o valori di riferimento, ma di individuare le tematiche riguardanti il controllo del rumore, i soggetti competenti che se ne possono occupare e il ruolo delle Regioni e delle Province autonome nella sua gestione. Il testo originale della legge è stato parzialmente modificato con il decreto legislativo n. 42 del 17/2/2017, sono inoltre i decreti emanati nel corso

degli anni che attuano la Legge Quadro in funzione di finalità specifiche. Dal punto di vista della tematica dell'inquinamento acustico, il DPR del 5/12/1997 sulla determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici, di cui si parla più approfonditamente al paragrafo 2.1.2, è il decreto cardine a livello nazionale.

2.1.2. DPCM DEL 5/12/1997

Le specifiche acustiche che gli edifici, i loro componenti architettonici e gli impianti tecnologici sono rappresentate da requisiti acustici passivi degli edifici. Tali requisiti sono normati a livello nazionale dal DPR del 5/12/1997, che definisce i valori minimi e massimi (Tabella 22) da dover rispettare in 7 tipologie di ambienti abitativi, dalla categoria A alla categoria G. Il DPR indica come grandezze di riferimento che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici:

- L'indice di valutazione del potere fonoassorbente apparente ($D_{p,app}$) di elementi di separazione tra due unità immobiliari adiacenti;
 - L'indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata normalizzata rispetto al tempo di riverberazione ($D_{n,w}$);
 - L'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio di sola normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente ($L_{n,w}$);
 - Il livello massimo di pressione sonora consentita A con carattere di tempo Slow relativo al rumore di impianti a funzionamento discontinuo quali ascensori, scaldari idraulici, servizi igienici e rubinetterie, in termini di ($L_{n,w}$);
 - Il livello equivalente di pressione sonora consentita A relativo al rumore di impianti a funzionamento continuo (ad esempio: condizionamento ed aereazione, in termini di ($L_{n,w}$)).
- I livelli sonori $L_{n,w}$ e $L_{n,w}$ devono essere misurati negli ambienti diversi da quelli in cui il rumore si origina.

Le categorie in base alle quali vengono classificati gli ambienti abitativi sono:

- Categoria A: Residenze e assimilabili
- Categoria B: Uffici ed assimilabili
- Categoria C: Alberghi, pensioni ed attività assimilabili
- Categoria D: Ospedali, cliniche, case di cura ed assimilabili
- Categoria E: Attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili
- Categoria F: Attività ricreative o di culto o assimilabili
- Categoria G: Attività commerciali o assimilabili

Tabella 22 - Risultati analitici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

Categorie degli ambienti abitativi	R	Parametri			
		$D_{p,app}$ (dB)	$D_{n,w}$ (dB)	$L_{n,w}$ (dB)	$L_{n,w}$ (dB)
1. A	≥ 55	≥ 45	≥ 58	≤ 35	≤ 25
2. A, C	≥ 50	≥ 40	≥ 63	≤ 35	≤ 35
3. E	≥ 50	≥ 48	≥ 58	≤ 35	≤ 29
4. B, F, G	≥ 50	≥ 42	≥ 55	≤ 35	≤ 35

I limiti introdotti dal DPR sono applicati in sequenti casi:

Tutti gli edifici di nuova costruzione progettati e realizzati, dopo la sua emanazione, ovvero per i quali l'iter di autorizzazione era in corso alla data di pubblicazione del decreto, le categorie di riferimento subordinate al "Termine di Costruzione", comprese quindi le ristrutturazioni edilizie (a meno di vincoli di tutela culturale/ambientale), gli interventi subordinati a segnalazione certificata di inizio attività (SCIA) che comportino cambiamenti di destinazione d'uso e che modifichino dunque i requisiti da rispettare.

2.1.3. LEGGE N. 221 DEL 28/12/2015 IN TEMA DI GREEN ECONOMY

Con la legge n. 221 del 28/12/2015, anche chiamata "collegato ambientale", è promossa una serie di misure operative in tema di green economy con l'obiettivo di raggiungere uno sviluppo economico sostenibile basato su nuove tecnologie, fonti rinnovabili, efficienza energetica, ricerca e innovazione, tutela e promozione del patrimonio naturale e culturale.

Al capo V della legge, in corrispondenza dell'articolo 25 si stabilisce che:

Le amministrazioni pubbliche, nelle more dell'adempimento delle regioni al fine di consentire la piena fruibilità dal punto di vista acustico, prevedendo, nelle gare d'appalto per il finanziamento dell'efficienza energetica delle scuole e consentendo per la loro ristrutturazione o costruzione, l'impiego di materiali e soluzioni progettuali idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici dalla norma UNI EN 1532-2010 e dalla norma UNI EN 1532-2014-1-2.

2.1.4. DM IN TEMA DI CRITERI AMBIENTALI MINIMI (CAM)

Con l'emanazione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM), che nascono con l'obiettivo di ridurre gli impatti ambientali e promuovere modalità di produzione e consumo più sostenibili, è stato compilato un importante avanzamento in termini legislativi dal punto di vista dell'acustica edilizia. Dal punto di vista legislativo, l'applicabilità dei CAM è regolata dall'art. 16 della L. 22/2/2015 in tema di green economy e dall'art. 34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.lgs. n. 50/2016 "Codice degli appalti" (successivamente modificato dal D.lgs. n. 56/2017), che obbligano di fatto tutte le stazioni appaltatrici ad integrare in fase progettuale ed esecutiva.

Ricorrendo alle normative tecniche più recenti, il DM dell'11/10/2017 sull'edilizia (G.U. Serie Generale n. 259 del 6/11/2017, "Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici") che introduce i CAM in ambito acustico.



Figura 3 - Installazione di pannelli pendolari e estensibili multifunzionali antiriflessione Ecoson Master F in aule.

Misurazioni acustiche post-operam e risultati del collaudo

A seguito dell'intervento di luminazione acustica, sono di conseguenza con sistema antiriflessione, sono state eseguite le misurazioni post-operam per valutare l'efficacia del progetto in conformanza alla norma UNI EN 1532-2, è stato nuovamente misurato il tempo di riverberazione in modo da replicare il diagramma di riverberazione della voce, in un dodicicetro utilizzata e polivalente (vedi figura 4). La strumentazione utilizzata è composta da una sorgente direttiva (modello Talkbox di RTI, Audio and Acoustic Analyser) per la misurazione del segnale in modo da replicare il diagramma di riverberazione della voce, in un dodicicetro utilizzata e polivalente (vedi figura 4). La strumentazione utilizzata è composta da una sorgente direttiva (modello Talkbox di RTI, Audio and Acoustic Analyser) per la misurazione del segnale in modo da replicare il diagramma di riverberazione della voce, in un dodicicetro utilizzata e polivalente (vedi figura 4).



Figura 4 - Posizionamento dei pannelli antiriflessione in aula, 2026 polivalente per la misurazione dell'occupazione dell'aula.

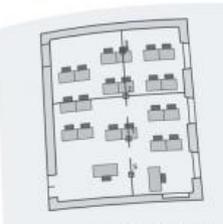


Figura 5 - Setup di misura nella condizione post-operam, con identificazione della posizione della sorgente (S) e del ricevitore (R, 2 m).

Il tempo di riverberazione è stato misurato in accordo con la procedura descritta nella norma UNI EN 1532-2. Le sorgenti sono state riprodotte al fine di imitare un suono il cui spettro armonico sia adeguato ad acustica di frequenza da 50 Hz a 2000 Hz. Ogni tempo acustico è stato misurato in cinque punti di misura e la qualità per ciascuna sorgente e in ciascun punto di misura è stata confrontata con il suo tipo inverso al fine di ottenere la risposta all'impulso da cui è stato possibile estrarre i parametri acustici di interesse.

La tabella 3 riporta i risultati del collaudo, eseguiti in condizioni di aula occupata e risultata occupata in accordo con quanto indicato nella norma UNI EN 1532-2. È stato possibile valutare l'andamento del tempo di riverberazione anche in condizioni di aula non occupata. La figura 4 e 5 mostrano, in base alle misurazioni e ai calcoli post-operam, il confronto tra i tempi di riverberazione prima e dopo l'intervento di correzione acustica in condizioni di aula non occupata e occupata, e la corrispondenza con i valori ottimali indicati in UNI EN 1532-2 per le aule didattiche.

Tabella 3 - Valori del tempo di riverberazione ante-operam e post-operam in bande di ottave, misurati e calcolati ad aula non occupata ($T_{n,w}$) e di aula occupata ($T_{n,w}$), al punto medio approssimativo delle frequenze di occupazione $D_{n,w}$ e $T_{n,w}$ di norma UNI EN 1532-2

	Anti-operam							Media 125-4000 Hz
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
$T_{n,w}$ (s) - misurato	2,8	2,0	2,0	2,1	2,0	1,5	1,5	2,1
$T_{n,w}$ (s) - calcolato	2,2	1,7	1,6	1,6	1,5	1,2	1,1	1,6

	Post-operam							Media 125-4000 Hz
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
$T_{n,w}$ (s) - calcolato	1,3	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,7
$T_{n,w}$ (s) - misurato	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,6

	Valori ottimali							Media 125-4000 Hz
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
$T_{n,w}$ (s)	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$T_{n,w}$ (s)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6





Il nuovo **Manuale Tecnico** costituisce un supporto per i professionisti del settore: una guida per un approfondimento dei concetti generali di acustica in edilizia e nella scelta della soluzione più idonea per i progetti in ogni ambito costruttivo, con tutte le informazioni relative agli aspetti tecnici e normativi.

Scaricalo ora GRATIS

- [Manuale Acustica di Edilizia 01/06/2021](#)

Ti potrebbe interessare anche

Il nostro Manuale Tecnico del Vetro



Manuale Tecnico del Vetro

[TRASFORMATORE - SCOPRI IL PIU' VICINO](#)