

LA QUALITÀ ACUSTICA IN AMBIENTI SCOLASTICI SECONDO LA UNI 11532-2:2020

criteri generali e controllo della riverberazione in condizione di ambiente occupato

a cura di

* Dario D'Orazio

Introduzione

Il presente contributo presenta un'introduzione alla nuova norma UNI 11532-2:2020 per qualità acustica in ambienti scolastici.

Il tema della qualità acustica in ambiente scolastico è stato trattato nella normativa tecnica italiana fin dagli anni '60 ed è con tutta probabilità ben radicato nelle esperienze di molti tecnici e progettisti.

Proprio per questo motivo si è scelto di affrontare in questo scritto le due tematiche innovative proposte dalla norma rispetto alle precedenti: il controllo della riverberazione in ambiente occupato e la valutazione previsionale di intelligibilità del parlato mediante Speech Transmission Index.

Questo secondo tema verrà analizzato in dettaglio in un secondo contributo successivo, nel quale si rimandano anche le conclusioni.

Il primo tema viene invece qui riportato in modo sintetico e non esaustivo rispetto all'intero corpus della norma, ma presentando note di commento e un caso di studio prodotto ad hoc.

UNI 11532-2:2020

Il pacchetto di norme UNI 11532 riguarda la qualità acustica in spazi confinati e consta, ad oggi, di due parti.

Nella parte 1, rilasciata nel 2018, sono presentati i criteri generali, i descrittori e i metodi previsionali di calcolo; la parte 2, rilasciata nel marzo 2020, riguarda gli ambienti scolastici. Sono in programma parti ulteriori che riguarderanno uffici, ristoranti, etc...

Inizialmente, la norma era stata concepita

come raccolta di riferimenti di criteri per la qualità acustica tratti alla normativa tecnica internazionale e non solo.

Come tale era stata pubblicata in una prima versione nel 2014, con una intenzionale ridondanza di indicazioni che aveva l'obiettivo di fornire al tecnico competente un ventaglio di valori cui fare riferimento in fase di progettazione.

Il successivo inserimento della UNI 11532 all'interno dei criteri ambientali minimi (si veda l'art. 18 della L. 221/2015 e, successivamente, l'art. 34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.lgs. 50/2016 "Codice degli appalti", modificato dal D.lgs. 56/2017) ha di fatto reso cogente la norma, rendendo necessaria una riscrittura.

Da norma tecnica che raccoglieva riferimenti di letteratura tecnica e normativa, ha assunto quindi ha una finalità prescrittiva.

La scrittura della norma ha tenuto conto dell'evoluzione dello spazio didattico e delle necessità presenti e dei potenziali sviluppi futuri della didattica, quali ad esempio l'incremento di studenti non madrelingua, insegnamenti in lingua inglese, videoconferenza, spazi di lavoro condivisi, etc.... Si è inoltre cercato di mantenere una continuità di metodi, dataset e approcci con normative europee sul tema, in particolare la norma inglese BB93 e la tedesca DIN 18041.

La UNI 11532-2:2020 prevede quindi diverse categorie di ambienti scolastici: le aule per la

musica, le sale conferenza, le aule per la didattica (con una variante nel caso di studenti con deficit uditivi), le aule per didattica condivisa (laboratori, ambienti videoconferenza). Un secondo blocco di ambienti riguarda le palestre e ambienti per specifiche funzioni (biblioteche, mense, etc...).

Per il primo blocco di ambienti (aule per la musica, sale conferenza e aule per la didattica), per i quali è definito il numero di occupanti di progetto, la norma prevede due innovazioni sostanziali:

- la valutazione previsionale del tempo di riverberazione in condizioni occupate
- la valutazione previsionale di un parametro di intelligibilità del parlato

Questo approccio permette di avere un controllo “dinamico” dell’ambiente di ascolto (ovvero in condizioni occupate), e allo stesso tempo di avere un’intelligibilità minima garantita in ogni condizione (il parametro di intelligibilità

si valuta e si collauda in condizioni non occupate).

Per il secondo blocco di ambienti (palestre, biblioteche, etc...), per il quale non esiste ragionevolmente un’occupazione standard, la norma segue l’approccio più tradizionale (valutazione previsionale del tempo di riverberazione in condizioni non occupate).

Controllo della riverberazione

La norma UNI 11532-2 specifica, per ciascuna destinazione d’uso, un tempo di riverberazione ‘ottimale’, in secondi, che è funzione del volume dell’ambiente, in metri cubi. Per ciascuna destinazione d’uso il tempo di riverberazione ottimale, che è inteso in condizioni convenzionalmente occupate all’80% della capienza massima di progetto, segue le equazioni previsionali della tabella 1.

Sulla base delle equazioni sotto riportate, si possono quindi definire delle curve di tempo ottimale in funzione di V, riportate in figura 1.

Categoria	Destinazione d’uso	T _{ott} (s)	Dimensioni
Ambiente occupato all’80%			
A1	Aule per la musica con musica suonata e canto	$T_{ott,A1} = (0,45\log V + 0,07)$	$30\text{ m}^3 \leq V < 1000\text{ m}^3$
A2	Aule per conferenza, aule magne	$T_{ott,A2} = (0,37\log V - 0,14)$	$50\text{ m}^3 \leq V < 5000\text{ m}^3$
A3	Aule didattiche	$T_{ott,A3} = (0,32\log V - 0,17)$	$30\text{ m}^3 \leq V < 5000\text{ m}^3$
A4	Aule per gruppi studio o di lavoro, laboratori, e similari. Ambienti per videoconferenze	$T_{ott,A4} = (0,26\log V - 0,14)$	$30\text{ m}^3 \leq V < 500\text{ m}^3$
Ambiente non occupato			
A5	Palestre, piscine, ambienti sportivi in generale	$T_{ott,A5} = (0,75\log V - 1,00)$ $T_{ott,A5} = 2,00$	$200\text{ m}^3 \leq V < 10000\text{ m}^3$ $V \geq 10000\text{ m}^3$

Tabella 1: *Categorie oggetto della UNI 11532 per gli ambienti scolastici, destinazioni d’uso, valori ottimali del tempo di riverberazione in funzione del volume e range di validità*

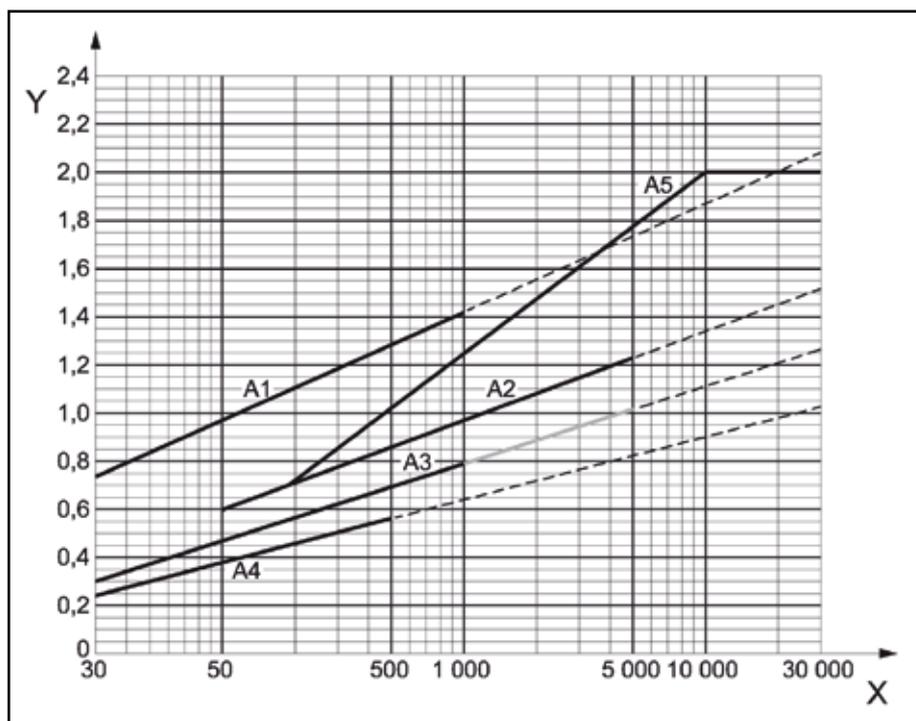


Figura 2: Tempo di riverberazione ottimale, in secondi (asse y) in funzione del Volume, in metri cubi (asse x)

La corretta progettazione dell'ambiente deve quindi fare in modo che il tempo di riverberazione stimato previsionale si avvicini quanto più possibile al valore ottimale calcolato con le formule di cui alla tabella 1.

La UNI 11532, come già la precedente sulla classificazione degli edifici, non introduce valori target del tempo di riverberazione, ma valori ottimali che sono funzione del volume dell'ambiente.

Si noti che già negli anni '30 Petzold, Knudsen, Watson e altri pionieri dell'acustica architettonica avevano proposto soluzioni di tempo di riverberazione ottimale in funzione del volume, nella forma:

$$T = k_1 + k_2 V^{1/3}$$

con k_1, k_2 variabili per destinazione d'uso e per tipo di segnale (musica, parlato, etc...) [1].

La dipendenza dalla radice cubica del volume resta anche nella proposta attuale di normativa, si noti ad es nella formula per la categoria A3 che:

$$0.32 \log V = \log V^{0.32} \approx \log V^{1/3}$$

La normativa inoltre introduce un intervallo di conformità, e non più il solo valore massimo del tempo di riverberazione.

Questo vuole evitare due situazioni di discomfort. Con i requisiti delle precedenti normative poteva infatti accadere che l'aula in condizioni occupate, e quindi 'funzionali', avesse un tempo di riverberazione inferiore a 0.5 s. Valori così bassi possono portare il docente a incrementare lo sforzo vocale per essere ascoltati e per ascoltarsi.

La letteratura attuale tende a definire range di riverberazione minimi perchè il docente non sia sottoposto a uno sforzo vocale continuo, in particolare nel caso di scuole primarie e secondarie, che può portare a patologie.

Per approfondire questo punto, si vedano i lavori del gruppo di ricerca del Politecnico di Torino [2].

Intorno al valore ottimale, è definita una finestra di conformità, la cui ampiezza rispetto al valore ottimale varia in funzione della frequenza, aumentando il margine di tolleranza alle basse e alle alte frequenze.

ANIT



ECHO 8.1

- **Requisiti acustici passivi**
- **Classificazione delle unità immobiliari**
- **Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati**

Software ANIT

Sviluppato da TEP s.r.l.

ECHO 8.1

Requisiti acustici passivi e classificazione acustica delle unità immobiliari.
Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati.

L'uso del presente software e dei relativi risultati sono di esclusiva competenza e responsabilità dell'utente.
Tutti i diritti riservati. Qualsiasi riproduzione non autorizzata è vietata.
Maggiori informazioni e contatti: www.anit.it - software@anit.it

**Il software
è compreso
nella quota
associativa
ANIT**

Nuova versione sviluppata per rispondere alle richieste del Decreto Criteri Ambientali Minimi e recepire le indicazioni della **UNI 11532-2** (Caratteristiche acustiche interne delle scuole)

ANIT

IRIS 5.0

**Il software agli elementi finiti
per i ponti termici**

Software ANIT

Sviluppato da TEP s.r.l.

IRIS 5.0

Simulazione dei ponti termici agli elementi finiti secondo UNI EN ISO 10211.

L'uso del presente software e dei relativi risultati sono di esclusiva competenza e responsabilità dell'utente.
Tutti i diritti riservati. Qualsiasi riproduzione non autorizzata è vietata.
Maggiori informazioni e contatti: www.anit.it - software@anit.it

**Il software
è compreso
nella quota
associativa
ANIT**

Nella versione 5 sono stati **aggiunti** il nodo a croce e il nodo a T oltre che funzioni che rendono più fruibile il software necessario alla valutazione agli elementi finiti dei ponti termici in accordo con **UNI EN ISO 10211**

L'ARMONIA CHE NASCE
DA UN **LEGAME SOLIDO**
RESISTE ALLE INTEMPERIE DELLA VITA.



Mapetherm® System

Mapetherm® Tile System

Dalla ricerca Mapei due sistemi che assicurano l'**isolamento termico** a cappotto, sia con **finiture murali (Mapetherm System)** sia con l'applicazione di **piastrelle in ceramica a spessore sottile (Mapetherm Tile System)**.
Benessere e risparmio energetico, in accordo con le norme vigenti.

È TUTTO **OK**, CON **MAPEI**

Scopri di più su mapei.it

 **MAPEI**
ADESIVI • SIGILLANTI • PRODOTTI CHIMICI PER L'EDILIZIA



I NUOVI EVENTI IN STREAMING DI ANIT SONO ORA DISPONIBILI SUL CANALE YOUTUBE



ECHO 8.1 - Incontro di approfondimento per i Soci...



BONUS 110% - Opportunità e criticità del DL Rilancio



Materiali isolanti: scelta dei dati di progetto



Comfort acustico degli ambienti chiusi

Alcuni titoli:

- ECHO 8.1 - Incontro di approfondimento per i Soci ANIT
- BONUS 110% - Opportunità e criticità del DL Rilancio
- Materiali isolanti: scelta dei dati di progetto
- Comfort acustico degli ambienti chiusi
- Diagnosi igrotermica degli edifici esistenti
- Schermature solari e rispetto dei requisiti minimi
- IRIS 5 Approfondimenti per i Soci ANIT
- Ponti termici con il nuovo IRIS



Diagnosi igrotermica degli edifici esistenti



0 IRIS Presentazione versione 5

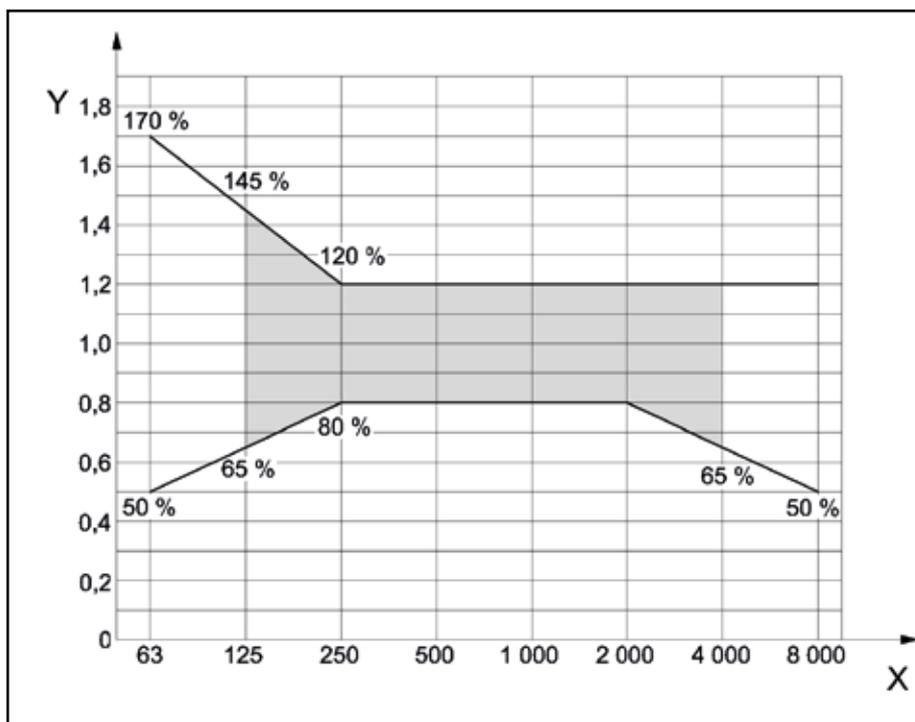


Figura 2: intervallo di conformità del tempo di riverberazione rispetto al Valore ottimale.
(asse y: T/T_{ott} , asse x: bade di ottava)

Si prenda un primo esempio per visualizzare un range tipico di intervallo di conformità: sala conferenze da $V=1200$ metri cubi e $N=250$ persone. Dalla fig.1, curva A2 (destinazione d'uso: sala conferenza) avrà un $T_{ott} = 1s$.

Tale valore del tempo di riverberazione vale per un ambiente occupato all'80% rispetto al dato di progetto, e quindi tiene conto dell'assorbimento acustico dato dall'occupazione di $0.8 \cdot 250 = 200$ persone:

Questo approccio per l'acustica delle aule scolastiche ha una genesi antica nella storia dell'acustica architettonica italiana.

Già negli anni 40 del secolo scorso D. Faggiani proponeva un tempo di riverberazione ottima-

le per il parlato che fosse funzione del volume dall'ambiente, e poi aggiungeva "sul tempo di riverberazione infine ha grande influenza il numero delle persone componenti l'uditorio, dato il sensibile assorbimento da esse presentato, così che il calcolo va fatto per due condizioni almeno: di uditorio al completo o presente per i 3/4; e l'optimum dianzi detto dev'essere verificato per il caso intermedio, ovvero per il secondo" [3]

Si prenda un secondo esempio per analizzare il procedimento progettuale degli interventi di correzione acustica previsto alla nuova UNI 11532-2. Si prenda ad esempio il caso di un'aula scolastica universitaria di grandi dimensioni

Tocc (s)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
valore massimo	1.45	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
valore minimo	0.65	0.8	0.8	0.8	0.8	0.65

Tabella 2: intervallo di conformità di tempo di riverberazione in condizioni occupate di un'aula conferenze (categoria A2 in Tabella 1), $V=1200$ metri cubi.

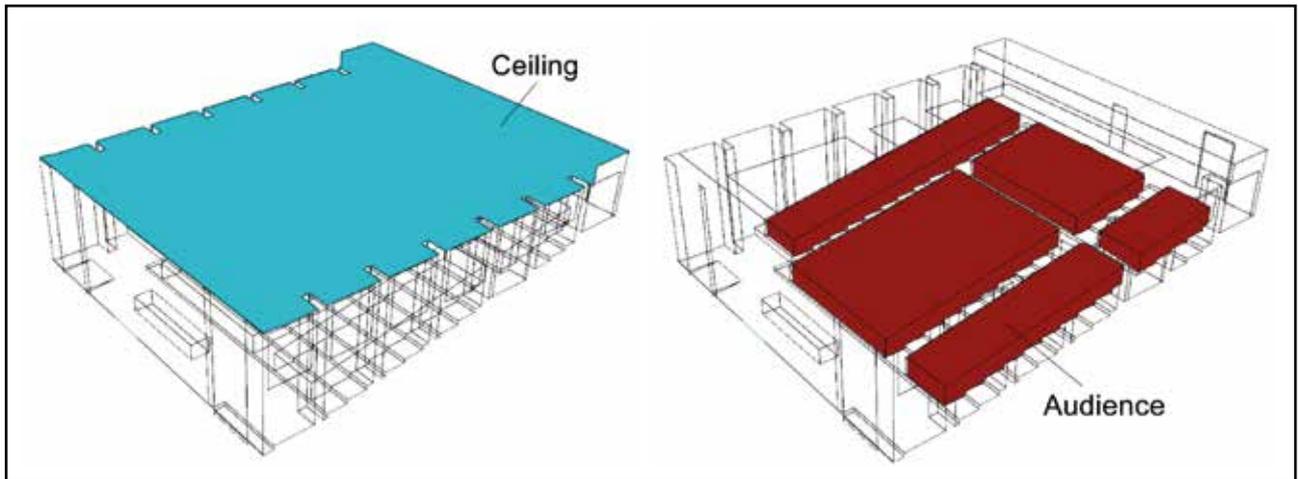


Figura 3: Aula universitaria. $V = 1200$ metri cubi, $N = 260$ persone

(fig. 3), Volume di 1200 metri cubi, Occupazione $N=260$ persone. In questo caso la destinazione d'uso ricade nella categoria A3 della tabella 1. Il tempo di riverberazione ottimale sarà:

$$T_{ott} = 0.32 \log 1200 - 0.17 = 0.82(s)$$

che corrisponde a un'area di assorbimento equivalente dell'ambiente in condizioni occupate di circa:

$$A_{ott} = 0.16 \frac{V}{T_{ott}} = 0.16 \frac{1200}{0.82} = 234(m^3)$$

Si inizi l'analisi nella sola banda ottava dei 1000 Hz per poi estenderla. La committenza prevede sedute in legno (a 1000 Hz, $A_{sedia} = 0.04$ m²/seduta, da tabella dati inclusa in UNI 11532) e la possibilità di utilizzare materiale assorbente a soffitto (Sceiling = 270 m²). A questo punto il valore target di area di assorbimento acustico dovrà essere realizzato mediante la somma seguente:

$$A_{ott} = A_{seats} + A_{ceiling} + A_{occupancy} =$$

$$NA_{sedia} + S_{ceiling}\alpha_{ceiling} + 0.8N\Delta A_{1persona}$$

Il valore $\Delta A_{1persona}$ è l'incremento dell'assorbimento acustico dato dall'occupazione della seduta, che è tanto più elevato quanto la seduta è scarsamente assorbente. Nel caso di seduta in legno, $\Delta A_{1persona} = 0.45(m^2)$ da tabella inclusa in UNI 11532. Tornando all'equazione precedente, si può riscrivere:

$$A_{ott} = 260 \cdot 0.04 + 270\alpha_{ceiling} + 0.8 \cdot 260 \cdot 0.45 =$$

$$10.4 + 270\alpha_{ceiling} + 93.6 = 234(m^2)$$

L'occupazione degli studenti (considerata all'80%) rappresenta quindi più di un terzo dell'area di assorbimento equivalente necessaria per raggiungere l'assorbimento acustico target (circa 94 m² su 234 m²), mentre gli altri materiali presenti all'interno dell'ambiente sono stati volutamente trascurati ad eccezione delle sedute in legno, che tuttavia hanno un peso ridotto (circa 10 m²).

Da cui si ricava il requisito di assorbimento per il materiale assorbente montato a soffitto

$$\alpha_{ceiling} = \frac{A_{ceiling}}{S_{ceiling}} = \frac{234 - 93.6 - 10.4}{270} = \frac{130}{270} \approx 0.48$$

Il calcolo presentato (che ricordiamo, è a titolo di esempio e riguarda le sole medie frequenze, banda di ottava dei 1000 Hz), restituisce un valore di coefficiente di assorbimento acustico del materiale fonoassorbente da installare a soffitto di circa 0.48. L'utilizzo di materiale sensibilmente più assorbente rischia di aumentare l'assorbimento acustico dell'ambiente e, di conseguenza, diminuire troppo il tempo di riverberazione. La figura 2 ci ricorda che il requisito del tempo di riverberazione deve essere valido in un range di frequenza esteso, dai 125 ai 4000 Hz. Questo aspetto può essere verificato estendendo il calcolo precedente, riferito alla banda dei 1000 Hz, a tutto il range di frequenze previsto dalla norma, 125-4000 Hz, riportato in Tabella 3.

Gli elementi di controllo acustico, che nell'esempio sono stati semplificati nel solo intervento a soffitto, richiedono caratteristiche di assorbimento a larga banda (si veda il coefficiente di assorbimento riportato nell'ultima riga di tab. 3).

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
valore massimo T_{occ} (s)	1,18	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
valore minimo T_{occ} (s)	0,53	0,65	0,65	0,65	0,65	0,53
A_1 sedia (m^2)	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
ΔA_1 persona (m^2)	0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55
NA_1 sedia (m^2)	5,2	5,2	5,2	10,4	10,4	7,8
$0,8NA_1$ persona (m^2)	31,2	62,4	83,2	93,6	114,4	114,4
$\alpha_{celling}$	0,73	0,62	0,54	0,48	0,40	0,41

Tabella 3: Prospetto sintetico degli assorbimenti acustici equivalenti, e del coefficiente di assorbimento acustico target del soffitto per l'aula universitaria oggetto di analisi

La scelta dell'installazione di un materiale poroso (che ha, in genere, un assorbimento acustico che cresce con la frequenza) può non essere sufficiente ad assicurare il rispetto del requisito. Tale tipologia di materiali, in casi come quello in esame, e non solo, implicherebbe uno scarso assorbimento (e quindi una eccessiva riverberazione) nella banda dei 250 Hz - che comprometterebbe l'intelligibilità del parlato - e allo stesso tempo ad un ambiente troppo asciutto alle frequenze medio-alte - aspetto che innescherebbe un eccessivo sforzo vocale del docente. Il requisito di assorbimento può essere raggiunto mediante la scelta di due interventi di correzione acustica. L'assorbimento alle basse frequenze può essere raggiunto tramite opportuna scelta degli elementi che si comportano da pannello vibrante (ad es. Pedane) e degli arredi, mentre l'assorbimento a larga banda (che, si noti, non cresce in frequenza) può essere realizzato nel caso in esame attraverso un cartongesso forato con adeguata intercapedine per avere un massimo di assorbimento alle frequenze mediobasse.

Qualche nota, inoltre, sulla tolleranza del metodo di calcolo. I valori riportati in tab. 3 sono calcolati a partire dal valore T_{occ} e non agli estremi dell'intervallo di conformità, che permettono, ad es nell'ottava dei 125 Hz, requisiti meno stringenti. Si ricorda, infine, che il valore dei coefficienti di assorbimento acustico (ad es. quelli presenti nelle schede tecniche) è tanto più 'affidabile' quanto più il campo sonoro risulti diffuso e quanto più l'assorbimento acustico dell'ambiente abbia un valore medio tendente allo zero [4]. In casi come quelli brevemente accennati

qui le suddette condizioni non sono verificate e ci si dovrebbe attenere alla prassi usuale e cautelativa di valutazione critica dei valori riportati nelle schede tecniche di misura (se sono misurati in condizioni di ideale diffusione e di rispetto dei requisiti del campo Sabiniano). **E**

Ringraziamenti

Si ringraziano gli ingg. Domenico De Salvio e Giulia Fratoni (dottorandi Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bologna), e l'ing. Laura Reggiani (libero professionista, Modena).

Biblio

- [1] V. O. Knudsen, C. M. Harris, *Acoustical designing in architecture*, Wiley, 1950.
- [2] G. E. Puglisi, A. Astolfi, L. C. Cantor Cutiva, and A. Carullo, Four-day-follow-up study on the voice monitoring of primary school teachers: Relationships with conversational task and classroom acoustics, *The Journal of the Acoustical Society of America* 141, 441 (2017); <https://doi.org/10.1121/1.4973805>
- [3] D. Faggiani: *Lineamenti di acustica*, Politecnica C. Tamburini, Milano, 1946.
- [4] L.L. Beranek, Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption, *The Journal of the Acoustical Society of America* 120(3):1399-1410.

* *Dario D'Orazio, ingegnere elettronico, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bologna, gruppo di ricerca di acustica applicata.*