

Gennaio  
2025

# SPECIALE CALENDARIO 2025

**Comfort e Benessere**

# Progettazione integrata con cambio di destinazione d'uso di un'aula universitaria

Alessia Nora | Luca Barbaresi | Dario D'Orazio | Giulia Fratoni

## Introduzione

L'entrata in vigore dei Criteri Ambienti Minimi (CAM) per l'edilizia ha dato un forte impulso per la progettazione acustica degli ambienti pubblici e in particolare per gli edifici scolastici. Nelle aule a scopo didattico un aspetto di fondamentale rilevanza è la comprensibilità di un suono da parte di un ascoltatore in modo non sia deteriorata la comunicazione di informazioni tra docenti e studenti, ovvero l'intelligibilità del parlato. Inoltre, i locali scolastici devono soddisfare requisiti di illuminamento medio per garantire il comfort e le prestazioni visive adeguate. Infatti, la mancanza di un singolo fattore di comfort può incidere sulla sensazione complessiva e influire sul successo delle altre componenti. Questo studio affronta la progettazione integrata acustica ed illuminotecnica, con focus sull'adeguamento acustico, di una palestra storica a Forlì con cambio di destinazione d'uso ad Aula Magna, rispettando la norma UNI 11532-2 per il comfort acustico degli ambienti scolastici.

## Determinazione dei parametri acustici per aule scolastiche

I parametri acustici necessari per la caratterizzazione di un'aula scolastica sono definiti dalla normativa UNI 11532-2 [1], resa cogente dai CAM [2], e sono il tempo di riverberazione  $T$ , l'indice di chiarezza  $C_{50}$  e lo *Speech Transmission Index* STI. I metodi previsionali per determinare tali parametri sono descritti nella norma UNI 11532-1 [3], mentre la UNI 11532-2 definisce i metodi di progettazione e le tecniche di valutazione. Quest'ultima prevede che i valori di tempo di riverberazione siano sempre riferiti a un ambiente arredato e occupato ( $T_{occ}$ ). Le misurazioni sono però da effettuare in condizioni di ambiente arredato e non occupato ( $T_{inocc}$ ). Per ottenere i valori di tempo di riverberazione che tengano conto dell'occupazione è necessario aggiungere l'assorbimento acustico delle persone, calcolato considerando l'80% dell'occupazione totale per ciascuna banda di ottava tra 125 Hz e 4000 Hz, come nella formula a seguire.

$$T_{occ} = \frac{T_{inocc}}{1 + \frac{\Delta A_{persone}}{0,16 V}} \quad (s) \quad (1)$$

Dove:

- $T_{occ}$  è il tempo di riverberazione allo stato occupato della sala, in s;
- $T_{inocc}$  è il tempo di riverberazione allo stato non occupato della sala, in s;
- $V$  è il volume della sala, in  $m^3$ ;
- $\Delta A_{persone}$  è la superficie fonoassorbente equivalente aggiuntiva per ogni persona, secondo l'appendice C della norma UNI11532-2, in  $m^2$  Sabine.

La sala oggetto di studio risulta appartenente alla categoria A2 di aule magne, secondo il prospetto 2 della normativa UNI 11532-2, e il tempo di riverberazione ottimale è espresso dalla formula seguente:

$$T_{ott} = 0,37 \log V - 0,14 \quad (s) \quad (2)$$

Dove:

- $V$  è il volume della sala, in  $m^3$ .

Nella simulazione previsionale analitica, invece, si utilizza la formula del tempo di riverberazione di Sabine tenendo conto anche dell'area equivalente di persone che occupano l'80% dell'ambiente.

$$T_{occ} = 0,16 \frac{V}{\sum \alpha_j S_j + A_{obj} + 0,8N \Delta A_{persone}} \quad (s) \quad (3)$$

Dove:

- $V$  è il volume della sala, in  $m^3$ ;
- $\alpha_j$  è il coefficiente di assorbimento acustico della superficie  $j$ -esima;
- $S_j$  è la superficie  $j$ -esima delle superfici dell'involucro, in  $m^2$ ;
- $A_{obj}$  è la  $j$ -esima area di assorbimento equivalente degli elementi di arredo dell'ambiente, in  $m^2$  Sabine;
- $N$  è il numero di persone considerando l'80% dell'occupazione;
- $\Delta A_{persone}$  è la superficie fonoassorbente equivalente aggiuntiva per ogni persona, secondo l'appendice C della norma UNI 11532-2, in  $m^2$  Sabine.

Il tempo di riverberazione rappresenta una caratteristica intrinseca della sala, mentre l'indice di chiarezza varia in funzione della posizione delle sorgenti sonore e dei ricevitori, rendendola una proprietà specifica del punto di ascolto. La normativa UNI 11532-2 stabilisce punti di misura obbligatori per il posizionamento delle sorgenti sonore e dei ricevitori durante le misurazioni prima e dopo il trattamento acustico. L'indice di chiarezza  $C_{50}$  è definito con la formula seguente.

$$C_{50} = \frac{\int_0^{50} p(t)^2 dt}{\int_{50}^{\infty} p(t)^2 dt} \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

Dove:

- $50 \text{ ms}$  è il riferimento temporale che delimita il suono diretto e prime riflessioni (utili per il parlato), dalle successive riflessioni (dannose per il parlato);
- $p(t)$  indica la pressione sonora istantanea della risposta all'impulso.

Il descrittore  $C_{50}$  è richiesto da norma UNI 11532-2 che sia  $\geq 2\text{dB}$ , in alternativa allo STI, per ambienti di dimensioni inferiori ai  $250 \text{ m}^3$ . Per ambienti di volume  $\geq 250 \text{ m}^3$  si applica esclusivamente lo STI. Nel presente lavoro viene comunque considerata anche la  $C_{50}$  e si riporta di seguito la formula previsionale di tale parametro secondo la UNI 11532-1.

$$C_{50} \approx 10 \log e^{\left(\frac{0.691}{T} - 1\right)} \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

I valori di *Speech Transmission Index* STI variano da 0 a 1, dove il valore 0 indica nessuna intelligibilità ed il valore 1 un'intelligibilità ideale. La IEC 60268-16 [4] e la normativa nazionale UNI 11532-1 qualifica come "buono" un valore di STI compreso tra 0,6 e 0,75, "eccellente" un valore maggiore di 0,75. La norma UNI 11532-2 richiede, per aule con volume maggiore di  $250 \text{ m}^3$ , valori di STI  $\geq 0,50$  in caso di assenza di impianto di amplificazione e STI  $\geq 0,60$  in presenza di sistema di diffusione sonora (*Public Address PA*). Lo STI considera, a differenza degli altri parametri acustici (tempo di riverberazione, indice di chiarezza  $C_{50}$ ), l'effetto combinato del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione di intelligibilità del parlato. Infatti, una bassa intelligibilità, secondo numerose fonti da letteratura [5,6], crea un notevole affaticamento nella comprensione delle informazioni da parte degli studenti. Questo aspetto comporta un abbassamento della concentrazione e probabile aumento della distrazione degli studenti, che infine comporta un aumento del livello di rumore di fondo. Lato docente invece, l'incremento del rumore di fondo induce un effetto chiamato *Lombard*, ovvero l'innalzamento inconsapevole della voce, incrementando di conseguenza lo sforzo vocale dell'oratore. Un adeguato comfort acustico risulta quindi necessario per ridurre al minimo lo sforzo vocale del docente e facilitare la comprensione del parlato per gli studenti.

## Caso studio e metodologia

Il caso studio è la Palestra Campostrino, immobile di interesse storico-artistico, che al termine dell'intervento di riqualificazione è stato adibito ad Aula Magna del campus universitario di Forlì. La sala ha una pianta regolare di  $20 \times 11,5$  metri, un volume di  $1850 \text{ m}^3$  (vedi Figura 1) e da progetto è richiesta una capienza di 180 posti.

La campagna di misure acustiche, condotta a valle degli interventi di correzione acustica, ha evidenziato un tempo di riverberazione ( $T = 1.94\text{s}$ ), un indice di chiarezza sonora ( $C_{50} = -0.6\text{dB}$ ) e uno STI insufficienti ( $\text{STI} = 0.52$ ) per soddisfare i requisiti normativi. Per migliorare la qualità acustica sono stati utilizzati modelli numerici, integrando sia simulazioni, che calcoli previsionali (formule 3 e 5) per identificare le soluzioni ottimali. Nel modello, creato con software via *ray-tracing*, sono stati collocati sorgenti, ricevitori e sono stati attribuiti i materiali alle superfici (vedi Figura 2). Per simulare la condizione iniziale dell'aula sono stati utilizzati materiali con differenti proprietà acustiche: superfici riflettenti (pareti, pavimenti, vetri) ed elementi più assorbenti (copertura).



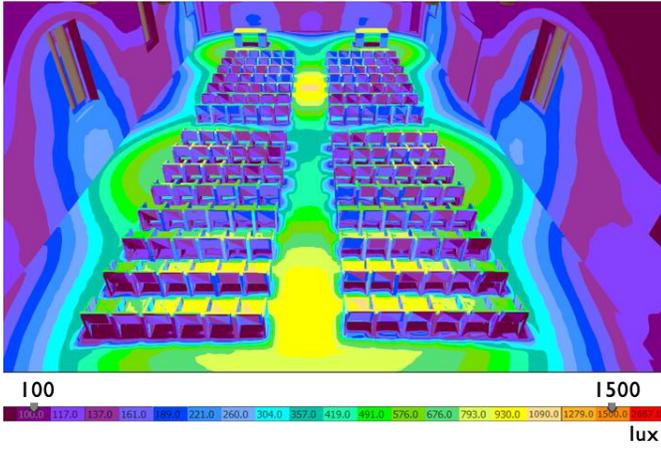


Figura 3 - Modello numerico realizzato con software di simulazione illuminotecnica per la verifica del compito visivo nei settori di sedute della sala.



Figura 4 - Sala durante le misurazioni prima del trattamento acustico.



Figura 5 – Aula Magna al termine del trattamento acustico passivo (sedute), attivo (impianto PA) e con l'inserimento del sistema di videoproiezione.

## Ringraziamenti

L'autrice vuole ringraziare il RUP del progetto Ing. Carla De Canditiis. Il progetto del trattamento acustico iniziale della sala è invece da attribuire all'Ing. Franca Conti.

## Bibliografia

- [1] UNI 11532-2 Acustica in edilizia - Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati- Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico.
- [2] D.M. 06/08/22, Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione ed esecuzione dei lavori di interventi edilizi, 2022.
- [3] UNI 11532-1 Acustica in edilizia - Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 1: Requisiti generali.
- [4] EN IEC 60268-16 Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.
- [5] Sato H., Bradley J., Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school class-rooms, J. Acoust. Soc. Am., 123(4) (2008), 2064-2077.
- [6] Hodgson M., Nosal E., Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms, J. Acoust. Soc. Am., 111(2) (2002), 931-939.
- [7] De Salvo, D., & D'Orazio, D. (2022). Effectiveness of acoustic treatments and PA redesign by means of student activity and speech levels. Applied Acoustics, 194, 108783.
- [8] EN 12464-1 Light and lighting of work places - Part 1: Indoor work places.