

Un'applicazione di design acustico all'interno di ambienti scolastici

Francesco Asdrubali^a | Lucia Busa^b | Cristina Carrus^c | Sergio Luzzi^b | Paola Pulella^{b*}

^a Università per Stranieri di Perugia,
Piazza Braccio Fortebraccio, 4,
06123 Perugia

^b Vie en.ro.se. Inggereria Srl,
Viale Belfiore, 36, 50144 Firenze

^c Ecophon Saint Gobain,
Via Giovanni Bensi, 8, 20152 Milano

* Autore di riferimento:
paola.pulella@vienrose.it

Ricevuto: 17/9/2024

Accettato: 22/8/2025

DOI: 10.3280/ria2-20250a18517

ISSN: 2385-2615

L'esposizione al rumore in ambito scolastico può incidere sull'apprendimento e sulle capacità di ascolto e concentrazione da parte degli studenti. Tali effetti extra-uditivi da esposizione al rumore sono stati confermati da numerosi studi di settore e analizzati nell'ambito del progetto BRIC INAIL 2019 ID14. Il presente elaborato riporta i risultati dell'analisi acustica condotta in un'aula scolastica prima e dopo un intervento di riqualificazione acustica. L'intervento ha previsto l'installazione di un controsoffitto e di pannelli a parete, realizzati con materiale fonoassorbente. I parametri acustici analizzati sono stati il tempo di riverberazione e la chiarezza C_{50} . Dal confronto dei risultati delle misure effettuate nella configurazione ante-operam e post-operam è possibile osservare come l'intervento di correzione acustica abbia portato alla riduzione del tempo di riverberazione a tutte le frequenze, rientrando nell'intervallo di conformità che la norma UNI 11532-2 prevede per gli ambienti di categoria A.2, e i valori della chiarezza C_{50} , nel campo di frequenze tra 500 e 2000 Hz, risultino ampiamente conformi al valore di riferimento.

Parole chiave: aula scolastica, correzione acustica, tempo di riverberazione, chiarezza

A case study of acoustic design for school environments

Noise exposure in schools can affect students' learning, listening and concentration abilities. These extra-auditory effects from noise exposure have been confirmed by numerous studies and analysed within the framework of the INAIL 2019 BRIC project ID14. This paper reports the results of the acoustic analysis conducted in a classroom before and after acoustic refurbishment. The intervention consisted of the installation of a false ceiling and wall panels made of sound-absorbing material. The acoustic parameters analysed were reverberation time and clarity C_{50} . Comparing the results of the measurements taken in the ante-operam and post-operam configuration, it can be seen that the acoustic correction led to a reduction of reverberation time values at all frequencies, in compliance with the range required by UNI 11532-2 for category A.2 rooms, and the clarity values, in the frequency range between 500 and 2000 Hz, are in full compliance with the reference value.

Keywords: classroom, acoustic refurbishment, reverberation time, clarity

1 | Introduzione

Le aule scolastiche sono ambienti che richiedono un buon trattamento acustico al fine di facilitare l'apprendimento e la concentrazione. Nelle scuole, infatti, vengono svolte attività complesse che implicano l'elaborazione di nuove informazioni e la comprensione di lunghi ragionamenti. Un ambiente acustico adeguato è quindi essenziale per migliorare la capacità di concentrazione e di ascolto, riducendo gli sforzi aggiuntivi e promuovendo il benessere generale [1].

Il rumore causa stress e disturba la concentrazione, influenzando negativamente l'apprendimento [2-3]. Alcuni studi realizzati in scuole italiane e inglesi hanno evidenziato che una scarsa qualità acustica riduce la concentrazione causando interruzioni durante le lezioni [4-5]. A tal proposito, la progettazione acustica risulta importante e, in particolare, risulta cruciale porre attenzione alle prime riflessioni del suono, in quanto migliorano l'intelligibilità del parlato. La norma ISO

3382-2 suggerisce che una differenza di chiarezza del discorso (C_{50}) di 3 dB è necessaria per un miglioramento significativo. Inoltre, misurare diversi parametri acustici è essenziale per una valutazione accurata della qualità acustica, come indicato nello standard UNI 11532-2. Indagini oggettive e soggettive sono state condotte in realtà scolastiche di vario ordine e grado, coinvolgendo studenti e docenti [6-8].

Nell'ambito del progetto BRIC 2019 ID14, finanziato da INAIL e a cui hanno preso parte sei atenei italiani, sono state condotte alcune campagne di misure fonometriche, sia ad ambienti occupati che non occupati, in diverse realtà scolastiche nelle città di Firenze, Roma e Perugia. La ricerca ha portato a caratterizzare l'acustica degli ambienti scolastici selezionati, includendo la valutazione soggettiva degli effetti extra-uditivi dell'esposizione al rumore e la qualità acustica degli ambienti, attraverso la somministrazione di un questionario. I risultati ottenuti sono stati analizzati nell'ottica di realizzare una linea guida per la valutazione e il controllo degli effetti extra-uditivi

[9] e saranno corroborati da ulteriori dati in una seconda fase del Progetto BRIC.

Tra gli istituti selezionati come caso studio, una scuola superiore di Firenze si è resa disponibile e propensa alla realizzazione di un progetto di riqualificazione acustica dell'aula scolastica in cui erano state condotte le misure fonometriche durante il progetto BRIC 2019 ID14. L'intervento ha previsto l'installazione di pannelli fonoassorbenti a parete e la realizzazione di un controsoffitto fonoassorbente. Al fine di valutare l'efficacia oggettiva di tale intervento, è stato eseguito il confronto di alcuni parametri acustici tra la condizione ante-operam e post-operam e verificato il soddisfacimento dei valori normativi di riferimento [10-11].

2 | Scenario di intervento

L'aula oggetto di studio è caratterizzata da una superficie in pianta pari a circa 47.5 m^2 ($6.5 \times 6.86 \text{ m}$), altezza 3.76 m (3.40 m sotto trave) e un volume pari a circa 165 m^3 . Si tratta di un ambiente di forma rettangolare con la parete di facciata rivolta verso il cortile interno della scuola. Sono attualmente presenti n. 17 posti a sedere per gli alunni.

L'aula, come si può vedere dalla pianta e dalle immagini fotografiche riportate in Fig. 1 e Fig. 2, è delimitata da

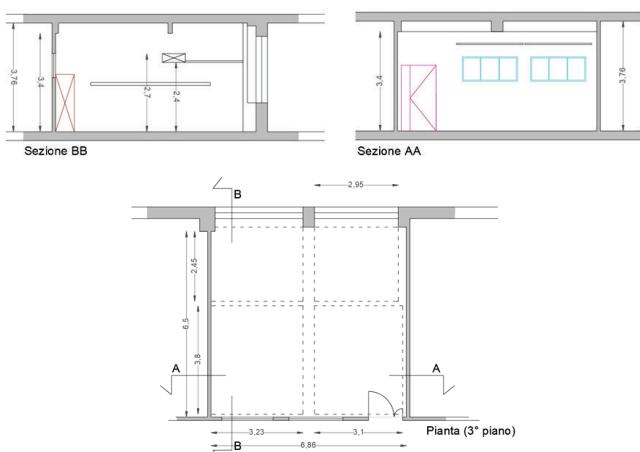


Fig. 1 – Pianta e sezioni dell'aula
Classroom floor plan and sections



Fig. 2 – Aula prima del trattamento acustico
Classroom before acoustic correction

soffitto e pareti intonacate, pavimento in graniglia e infissi finestrati anche verso il corridoio. L'aula è arredata con 17 banchi in laminato e sedie in legno, una cattedra in laminato e sedia in legno, una lavagna interattiva, una lavagna tradizionale e una libreria in legno.

3 | Metodologia e programma delle attività

Alla luce di quanto evidenziato dal campione di studenti analizzato, in riferimento ai danni extra-uditivi e alle ridotte performance in relazione all'esposizione al rumore, si è proceduto con uno studio acustico di dettaglio dell'aula didattica, al fine di migliorarne la qualità acustica.

Le misure ante-operam hanno compreso la misurazione del Tempo di Riverberazione (T_{30}) e della Chiarezza (C_{50}) in accordo con le norme tecniche UNI EN ISO 3382-2 [12]. Sono stati individuati i valori medi nelle condizioni di misura e confrontati con i valori di riferimento, per procedere poi alla progettazione e installazione delle soluzioni.

Le misure post-operam, eseguite dopo la realizzazione degli interventi, hanno previsto l'effettuazione delle stesse rilevazioni fonometriche della prima fase e la comparazione dei risultati.

Il progetto ha previsto:

- **controsoffitto** fonoassorbente tipo, da parete a parete, sui 4 quadranti del soffitto, con bass traps su 3 lati del perimetro dell'aula per un 50% di superficie (superficie totale trattata di circa $39,5 \text{ m}^2$). Il sistema del controsoffitto si compone di una superficie rinforzata in modo da resistere agli impatti e in combinazione con lo strato per le basse frequenze consente di raggiungere alti coefficienti di fonoassorbimento in particolare alle basse frequenze (Tab. 1);
- **rivestimento a parete** con pannelli fonoassorbenti e bass traps sulla parte alta del fondo dell'aula (superficie

Tab. 1 – Coefficienti di assorbimento acustico dei pannelli a parete e del controsoffitto
Sound absorption coefficients of wall panels and ceiling

Materiale	SP [mm]/ o.d.s. [mm]	α_p coefficiente pratico di assorbimento acustico							Classe di assorbimento acustico
		125	250	500	1000	2000	4000	α_w	
Controsoffitto 70/200		0.7	1	1	1	1	1	1	A
Controsoffitto 80/80		0.65	1	0.95	1	1	1	1	A

trattata di circa 6,7 m²). I pannelli, realizzati in lana di vetro ad alta densità e rivestiti di un tessuto resistente, presentano nel retro uno strato per le basse frequenze, raggiungendo uno spessore totale di 80 mm (Tab. 1).

I prodotti rispondono ai requisiti previsti dai CAM.

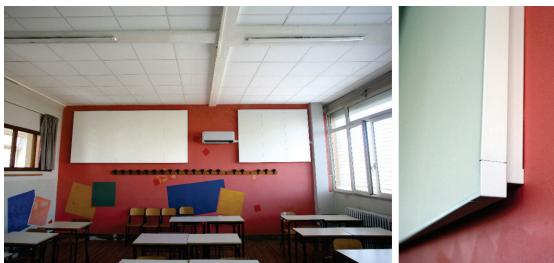


Fig. 3 – Aula dopo il trattamento acustico
Classroom after acoustic correction

4 | Analisi e comparazione dei risultati delle misure post-operam con la situazione ante-operam e con i valori di riferimento

Per valutare la qualità acustica dell'aula scolastica, sono stati analizzati il **Tempo di riverberazione** (T_{60}) e la **Chiarezza del Parlato** (C_{50}). Questi parametri sono fondamentali per comprendere come l'acustica di una stanza influisce sulla qualità del suono.

La categoria A2 di riferimento per l'aula oggetto del presente studio comprende attività che necessitano di un elevato grado di intelligenza e prevedono la presenza di un oratore frontale (aula didattiche, aule magne).

Le relazioni di calcolo dei valori ottimali del tempo di riverberazione, valide per le categorie da A1 a A5, sono riportate nel prospetto 6 della norma UNI 11532-2 e si riferiscono agli ambienti arredati e occupati all'80% della loro capienza; mentre il valore di riferimento per il descrittore C_{50} viene fornito per ambienti con volume inferiore a 250 m³ e senza impianto di amplificazione.

Per ambienti con volume inferiore a 250 m³ e di categorie A1, A2, A3 e A4, si può verificare il parametro chiarezza C_{50} in alternativa allo STI. Le condizioni di verifica sono state: ambiente arredato ma non occupato (presenza dei soli tecnici che hanno condotto le misure). I valori di riferimento riportati nella Tab. 1 sono ottenuti come media aritmetica nelle diverse postazioni di calcolo nelle bande di ottava 500, 1000 e 2000 Hz.

Come detto, sono state effettuate due campagne di misure fonometriche per determinare i parametri di comfort acustico degli ambienti interni (T_{30} e C_{50}): la prima nella configurazione ante-operam e la seconda a seguito della realizzazione degli interventi di correzione acustica.

Tab. 2 – Valori di riferimento per il tempo di riverberazione
Reference values for reverberation time

Tempo di riverberazione (cat. A1-A5)		
Categoria	Ambiente occupato all'80%	
A2	$T_{ott,A2} = (0.37\log V + 0.14)$	$50m^3 \leq V \leq 5000m^3$

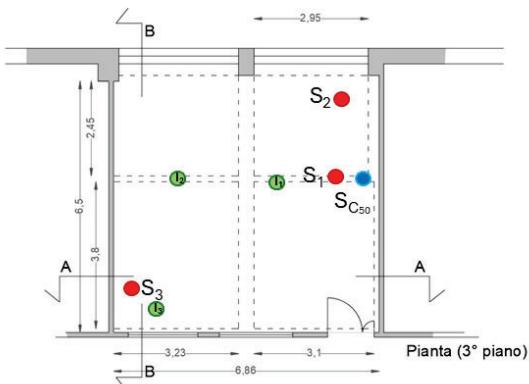
Tab. 3 – Valori di riferimento per la chiarezza C_{50}

Reference values for clarity C_{50}

Tempo di riverberazione (cat. A1-A4)

Presenza/assenza di impianto di amplificazione sonora $V < 250m^3$

Senza impianto di amplificazione sonora $\geq 2dB$



S_{TR} Posizioni della sorgente impulsiva (Clappatore) utilizzate per le misure del tempo di riverberazione

S_{C50} Posizione della sorgente impulsiva (Clappatore) utilizzata per le misure della chiarezza C_{50}

● Posizioni fonometriche durante le misure con sorgente impulsiva per determinare il parametro della chiarezza C_{50}

Fig. 4 – Pianta dell'aula con indicazione delle postazioni di misura
Classroom floor plan and measurement points

La risposta acustica è stata acquisita mediante rilevazione del tempo di riverberazione, utilizzando una sorgente impulsiva (clappatore). Le posizioni di sorgenti e microfoni sono state selezionate in modo da rispettare le distanze minime stabilite dalla norma di riferimento per la misura del tempo di riverbero, la UNI EN ISO 3382.

Per quanto riguarda le misure della Chiarezza, l'indagine è stata effettuata mediante l'esecuzione delle seguenti attività:

- effettuazione delle misure di Chiarezza C_{50} ;
- correzione della Chiarezza C_{50} mediante incertezza di misura;
- confronto con i limiti di riferimento della categoria in esame.

La Chiarezza è stata misurata mediante acquisizione della risposta all'impulso in accordo alla norma UNI EN ISO 3382, nelle posizioni e condizioni indicate nella norma UNI 11532-2.

Nei grafici delle Figure 5 e 6 sono riportate le comparazioni tra i livelli del tempo di riverberazione e della chiarezza nelle configurazioni ante-operam e post-operam. Da queste si può osservare che i valori della Chiarezza nelle diverse postazioni dell'aula dove sono state effettuate le verifiche, nel campo di frequenze tra 500 e 2000 Hz, risultano ampiamente conformi al valore di riferimento della UNI 11532-2 ($C_{50} > 2$ dB).

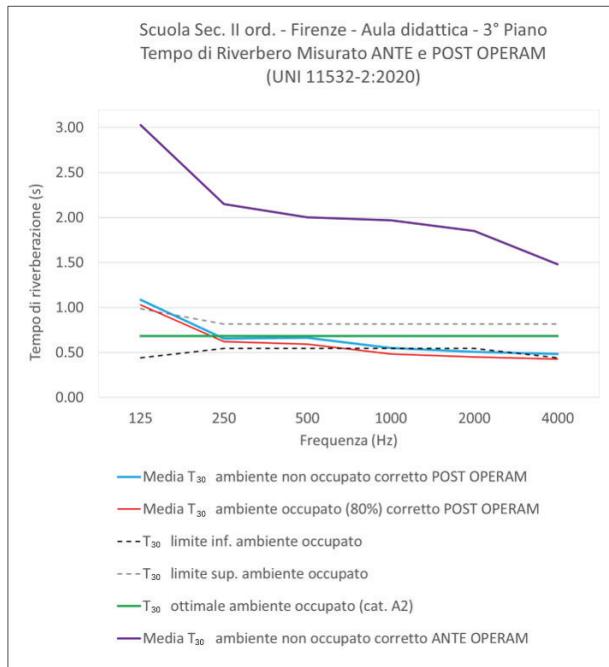


Fig. 5 – Confronto dei tempi di riverberazione
Comparison of reverberation times

Dai risultati delle misure effettuate nella configurazione post-operam si può osservare come l'intervento di correzione acustica realizzato riduca il tempo di riverberazione a tutte le frequenze, rientrando nell'intervallo di conformità che la norma UNI 11532-2 prevede per gli ambienti di categoria A.2.

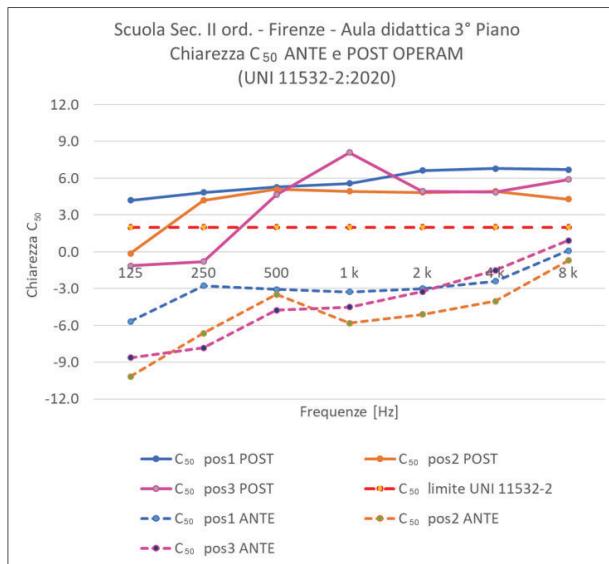


Fig. 6 – Confronto dei risultati relativi alla chiarezza del parlato
Comparison of speech clarity results

Come si può osservare nel grafico sopra riportato, i valori della Chiarezza nelle diverse postazioni dell'aula ove sono state effettuate le verifiche, nel campo di frequenze tra 500 e 2000 Hz, risulta ampiamente conforme al valore di riferimento della UNI 11532-2 ($C_{50} > 2$ dB).

5 | Risultati delle indagini soggettive

Le risposte al questionario, somministrato a studenti di vario ordine e grado, hanno evidenziato la manifestazione di danni extra-uditivi conseguenti all'esposizione al rumore nell'aula didattica. In particolare, il campione analizzato ha frequentemente rilevato, a seguito dell'esposizione al rumore, perdita di concentrazione (per il 64% degli studenti) e affaticamento (43%). Inoltre, la presenza di rumore in aula comporta, molto spesso, maggiore impegno per lo svolgimento di un compito (59%), una maggiore perdita della concentrazione (53%) e una maggiore stanchezza (52%).

6 | Conclusioni

Nella presente nota tecnica sono riportati i risultati dell'analisi acustica effettuata in un'aula caso studio. Tale ambiente è stato individuato tra le realtà scolastiche che hanno aderito al progetto BRIC e scelto per la realizzazione di interventi di riqualificazione acustica volti a rispettare i requisiti della categoria A.2 secondo la norma UNI 11532-2:2020.

Sono state effettuate due campagne di misure fonometriche dei diversi parametri che caratterizzano il comfort acustico degli ambienti interni (T_{30} e C_{50}), la prima nella configurazione ante-operam e la seconda a seguito della realizzazione degli interventi di correzione acustica.

Tale intervento è stato eseguito al fine di migliorare la qualità acustica dell'aula e intervenire sulle evidenze extra-uditive rilevate dagli studenti. Ottenere una migliore qualità acustica per la comunicazione verbale è essenziale. Per supportare tutti gli aspetti della comunicazione, dal parlato all'ascolto, è necessario considerare la progettazione edilizia e acustica da diverse prospettive. Grazie agli interventi acustici realizzati, il tempo di riverberazione ha mostrato una riduzione rispetto alla fase ante-operam, mentre la chiarezza del parlato è notevolmente migliorata.

I risultati delle misurazioni post-operam hanno dimostrato che gli interventi di correzione acustica a soffitto e a parete, definiti e realizzati dal committente, rispettano i limiti di riferimento per la categoria A.2 per entrambi i parametri analizzati. Nella prosecuzione del Progetto BRIC, si prevede di verificare l'efficacia degli interventi di riqualificazione acustica attraverso la somministrazione di questionari post-operam.

Conclusions

This paper reports the results of the acoustic analysis carried out in a case study classroom. The classroom was chosen among schools which joined the Bric Project. In the case study room acoustic refurbishment were carried out aimed at meeting the requirements of category A.2 of UNI 11532-2:2020 standard.

SPL measurements were carried out in order to assess the acoustic comfort of the classroom, based on two acoustic parameters (T_{30} and C_{50}), before and after the implementation of the acoustic correction interventions.

This intervention was carried out to improve the acoustic quality of the classroom and intervene on extra-auditory damage highlighted by the students. Achieving better acoustics for verbal communication is essential. To support all aspects of communication, from speaking to listening, it is necessary to consider building and acoustic design from different perspectives. Thanks to the acoustic measures implemented, reverberation time showed a reduction compared to the pre-operam phase, whereas speech clarity improved significantly. In the follow-up of the BRIC Project, it is planned to verify the effectiveness of the acoustic upgrading measures through the administration of post-operam questionnaires.

Bibliografia

- [1] E. Arvidsson, Acoustic Design with Regard to Human Perception, *Engineering Acoustics*. (2022) [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(81\)80020-X](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(81)80020-X).
- [2] B. Berglund, T. Lindvall, D.H. Schwela, Guidelines for community noise, *World Health Organization*. (1999)
- [3] J.L. Szalma, P. A. Hancock, Noise effects on human performance: A metanalytic synthesis, *Psychological Bulletin*. 137(4) (2011) 682-707.
- [4] A. Astolfi, F. Pellerey, Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms, *J Acoust Soc Am*. 123 (2008) 163–173. <https://doi.org/10.1121/1.2816563>.
- [5] B. Shield, R. Conetta, J. Dockrell, D. Connolly, T. Cox, C. Mydlarz, A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England, *J Acoust Soc Am*. 137 (2015) 177–188. <https://doi.org/10.1121/1.4904528>.
- [6] A. Astolfi, F. Pellerey, Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms, *J Acoust Soc Am*. 123 (2008), 163–173. <https://doi.org/10.1121/1.2816563>.
- [7] A. Astolfi, G. E. Puglisi, S. Murgia, G. Minelli, F. Pellerey, A. Prato, T. Sacco, Influence of Classroom Acoustics on Noise Disturbance and Well-Being for First Graders, *Front. Psychol.* 10:2736. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02736
- [8] E. Sala, L. Rantala, Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland, *Applied Acoustics*, vol 114 (2016) 252–259.
- [9] F. Cotana, F. Asdrubali, G. Arcangeli, F. Sanjust, L. Cerini, Extra-Auditory Effects from Noise Exposure in Schools: Results of Nine Italian Case Studies, *Acoustics*. 5(1) (2023) 216-241. <https://doi.org/10.3390/acoustics5010013>.
- [10] I. Polewczuk, M. Jarosz, “Teachers’ and Students’ Assessment of the Influence of School Rooms Acoustic Treatment on Their Performance and Wellbeing,” *Archives of Acoustics*, vol. 45, Art. no. 3, 2020, doi: 10.24425/aoa.2020.134057.
- [11] S. Secchi, V. Amodeo, Misure comparate di Speech Transmission Index e Tempo di Riverbero in edifici scolastici ante e post interventi di miglioramento, in atti del 47° Convegno Nazionale della Associazione Italiana di Acustica, on-line, 24-28 maggio 2021.
- [12] UNI EN ISO 3382-2:2008 Acustica – Misurazione dei parametri acustici degli ambienti – Parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinari.

