

Comfort acustico e accessibilità a scuola

Acoustic Comfort and Accessibility at School

Noise pollution is one of the most disturbing environmental factors, which may affect health and cognitive activities. In school environment, acoustic quality is a paramount requirement for successful educational activities; in this specific context, acoustics depend on both incoming noise from outside and internal reverberation time, both of which can directly impact the speech intelligibility.

Even though national legislation and standards have acknowledged the importance of good acoustic quality within places of learning, the Italian school building stock is mainly composed of old buildings, often born with a different intended use, which have inadequate reverberation times. High reverberation times cause discomfort to all users, teachers, and pupils, especially in subjects with language or learning deficits or more or less severe hearing impairments. For these individuals, poor acoustics is a real perceptual barrier, limiting the accessibility of school spaces. In this context, the Department of Architecture of Florence in collaboration with the Municipality of Florence and the IO-PARLO Association (a group of families with children with hearing impairments) has carried out many measurements within classrooms of primary and secondary schools, to design and implement acoustic correction interventions. Parents of hearing-impaired pupils have always appreciated the results achieved within school environments, which have greatly improved the listening conditions of their children.

Veronica Amodeo Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura. Architetto e tecnico competente in Acustica. Attualmente dottoranda in Tecnologia dell'architettura presso l'Università degli Studi di Firenze. Le sue attività di ricerca rientrano nell'ambito dell'acustica architettonica, in particolare della qualità acustica degli ambienti pubblici.

Simone Secchi Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura. Professore associato di Tecnologia dell'architettura presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze. Svolge attività di ricerca nel campo della qualità ambientale, dell'analisi prestazionale dei componenti edilizi, dell'acustica e dell'illuminotecnica in ambienti interni ed esterni.

La qualità acustica degli spazi scolastici

Negli anni, la didattica ha subito forti cambiamenti, aprendosi a nuovi scenari che promuovono lo sviluppo della personalità e delle capacità relazionali, prediligendo approcci laboratoriali e partecipativi (MIUR, 2018). Siamo passati da una scuola con impostazione frontale, nella quale il soggetto principale era il docente che trasmetteva il proprio sapere agli alunni, a un'impostazione in cui i soggetti principali sono gli alunni, al centro di un sistema di apprendimento collaborativo, nel quale ognuno partecipa e arricchisce l'esperienza altrui con le proprie peculiarità. Di conseguenza, la classe deve configurarsi come uno scenario adeguato alle diversità, flessibile e in divenire, in grado di valorizzare l'esperienza e le percezioni dell'utenza; uno spazio dove la conoscenza può crescere grazie all'ambiente costruito per favorire l'apprendimento (Futura, 2022). Per ottenere un ambiente adeguato all'interazione tra studenti e docenti, è necessario prestare attenzione a più fattori, tra questi la qualità acustica interna, la quale deve essere tale da consentire una buona comprensione della parola.

Nella "nuova scuola", gli spazi della didattica curano e valorizzano tutti gli aspetti della percezione e, diversamente dal passato, hanno caratteristiche acustiche differenti in base alle differenti destinazioni d'uso. Nonostante la tendenza, sempre maggiore, a progettare spazi scolastici in grado di rispondere a diversi contesti educativi mutevoli nel tempo, ancora oggi il principale riferimento legislativo italiano per l'edilizia scolastica viene rappresentato dalle *Norme Tecniche* del 1975, ormai culturalmente superate (DM 18/12/1975).

Dal 2015, sono stati introdotti i Criteri Ambientali Minimi, come supporto alle pubbliche amministrazioni nell'individuazione e nella valorizzazione delle soluzioni progettuali, dei prodotti o dei servizi più sostenibili da un punto di vista ambientale, sociale ed economico. Attualmente, è in vigore il Decreto Ministeriale *Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi* (DM 23/06/2022), nel quale è presente una sezione specifica per quanto riguarda il comfort acustico negli ambienti pubblici.

All'interno di un ambiente confinato è necessario limitare sia il rumore proveniente dall'esterno che quello generato all'interno. La quantità di rumore trasmessa dall'ambiente esterno o, nel caso delle aule scolastiche, soprattutto dagli ambienti adiacenti, è dovuta alle prestazioni proprie degli elementi tecnologici che compongono l'edificio, quali facciate, partizioni verticali e partizioni orizzontali. Il rumore generato all'interno, invece, è principalmente dovuto all'interazione tra alunni e insegnanti e alle attività didattiche che vengono svolte durante l'intera giornata.

La particolarità dello scenario acustico degli spazi didattici è proprio dovuta alla doppia condizione dell'utenza, la quale si ritrova allo stesso tempo a generare il rumore e a subirlo inconsciamente. Esempio di ciò avviene con il così detto "effetto Lombard": in presenza di rumorosità di fondo elevata, l'insegnante tende involontariamente ad aumentare sempre di più il tono della voce per farsi sentire dalla classe, incrementando a sua volta la rumorosità stessa.

Oltre a limitare la rumorosità immessa all'interno dell'involucro, quindi, è necessario avere il controllo su tutte le specifiche acustiche che caratterizzano l'edificio, al fine di contenere gli effetti negativi sulla trasmissione del messaggio vocale, dovuti solitamente alla geometria dell'ambiente e alle riflessioni che in esso si generano.

Quando una sorgente sonora in funzione si arresta, il livello di pressione sonora generato continua a persistere per un certo arco di tempo prima di divenire impercettibile; questo "prolungamento" del suono viene definito come coda sonora e indica il decadimento del suono prima di estinguersi. Un'eccessiva durata della coda sonora produce una transizione dei fonemi di cui le parole sono composte, provocando un mascheramento delle sillabe adiacenti e conseguentemente una cattiva comprensione del messaggio vocale. Nel caso di ambienti destinati

alla trasmissione del parlato, come gli ambienti scolastici, il controllo della lunghezza della coda sonora diventa fondamentale per una buona comprensione del messaggio sonoro.

La lunghezza della coda sonora viene espressa dal Tempo di riverbero (T60), convenzionalmente definito come il tempo necessario affinché il suono, una volta interrotto, diminuisca di 60 dB. Oltre al riverbero, la qualità acustica di un ambiente interno adibito al parlato viene descritta anche dalla Chiarezza e dallo *Speech Transmission Index*.

La Chiarezza (C50), espressa in decibel (dB), descrive la qualità del trasferimento del segnale vocale che dall'oratore giunge all'ascoltare, confrontando l'energia sonora delle prime riflessioni acustiche (nei primi 50 ms), con quelle che arrivano successivamente.

Lo *Speech Transmission Index* (STI), invece, indica quanto il messaggio vocale sia intellegibile, e viene espresso come un indice che va da 0 a 1. L'intelligibilità del parlato è influenzata sia da caratteristiche soggettive di chi parla e di chi ascolta, sia da caratteristiche oggettive del contesto nel quale avviene la conversazione, che possono provocare una perdita di informazioni indispensabili alla codifica del parlato.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, l'inquinamento acustico è uno dei fattori ambientali più preoccupanti, in grado di inficiare direttamente sia sulla salute che sulle attività cognitive (WHO, 1999). Numerosi studi internazionali mettono in luce come la qualità acustica negli ambienti scolastici sia strettamente correlata alla corretta riuscita delle attività in classe e quindi al comfort di tutta l'utenza: docenti e discenti. Nello specifico, un'esposizione acuta o cronica al rumore, generato internamente o trasmesso dall'esterno, ha effetti negativi sulla percezione, sulla comprensione e sulla lettura, soprattutto in età scolare. Inoltre, è stato dimostrato come esista una correlazione tra la qualità acustica delle aule scolastiche e le prestazioni degli alunni; in particolare, chi usufruisce nel proprio percorso scolastico di un'aula con una buona acustica ha maggiori probabilità di avere un rendimento superiore a chi viene esposto costantemente a livelli di rumore elevati. In questi anni di ricerca condotti dal Dipartimento di Architettura (DIDA) in collaborazione con il Dipartimento di Formazione, Lingue, Intercultura, Lettere e Psicologia (FORLIPSI), è emerso come condizioni di acustica inadeguata durante le prove in classe, vadano a incidere sui compiti che necessitano l'utilizzo di memoria di lavoro verbale (Vettori *et al.*, 2019; Vettori *et al.*, 2022). Nel caso in cui tra gli alunni vi siano soggetti con difficoltà di attenzione o di linguaggio, non di madre lingua o con ipoacusie più o meno gravi, l'acustica interna comporta effetti ancora più incisivi. Per le persone con ipoacusie, in particolare, un'acustica inadeguata rappresenta una vera e propria barriera percettiva, che limita l'accessibilità degli spazi scolastici.

Qualità acustica e accessibilità

L'azione della scuola è quella di educare e stimolare gli alunni, il linguaggio verbale è il modo in cui l'alunno può ricevere, ma anche esprimere e rielaborare i contenuti dell'attività in classe. Da un'indagine Istat del 2009 viene stimato come il 39 % degli studenti presenti bisogni educativi speciali, l'11% non sia di madre lingua e il 6% soffra di ipoacusie più o meno gravi. All'interno degli edifici scolastici, una progettazione inclusiva è fondamentale, poiché mette ogni gruppo utenza nella migliore condizione di comfort possibile, specialmente in ambienti destinati a ospitare persone vulnerabili. Della scarsa qualità acustica delle aule scolastiche ne risentono tutti ma, in particolare per chi presenta deficit uditivi, essa rappresenta un limite a una piena esperienza scolastica. Per questo motivo, le scuole sono tenute ad attuare strategie atte a mettere gli alunni con disabilità nelle condizioni di partecipare appieno alle attività scolastiche, migliorando l'ambiente, se necessario.

Durante la Pandemia di COVID-19, l'intera popolazione si è ritrovata confinata all'interno delle abitazioni, avvolta da un insolito silenzio che ha condotto a inevitabili riflessioni

sull'importanza dei suoni che caratterizzano la quotidianità, sia all'interno che all'esterno delle mura domestiche. Tornati alla "normalità", molte più persone hanno sviluppato una maggiore sensibilità per la tematica, forse perché rispetto agli altri sensi l'udito è quello di cui meno abbiamo il controllo, non possiamo fare altro che subirlo, dato che "*We cannot close our ears; we have no ear lids!*", come scriveva R. Murray Schafer, padre delle teorie sul Paesaggio Sonoro, in *The Tuning of the World* (1977). Negli ambienti scolastici, però, il problema della scarsa qualità acustica è sempre esistito.

Il DM 23/06/2022 impone alle pubbliche amministrazioni l'adozione dei Criteri Ambientali Minimi anche per quanto riguarda il comfort acustico delle scuole, richiamando direttamente la Norma *Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico* (UNI 11532-2:2020), rendendola di conseguenza obbligatoria sia in fase progettuale che in fase di verifica finale.

Per garantire condizioni acustiche idonee al comfort e all'apprendimento, la norma prevede la verifica in fase di progettazione e di collaudo del Tempo di riverberazione (T_{30}), della Chiarezza (C_{50}) e dello *Speech Transmission Index* (STI) – quest'ultimo solo per le aule con volume superiore a 250 m³ – suddividendo gli ambienti in categorie, in base alla destinazione d'uso, e fornendo valori limiti maggiormente stringenti per le aule destinate a ospitare alunni con deficit uditivi.

Nonostante ciò, i dati rilevati in numerose campagne di misura condotte negli ultimi anni dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, e da altri centri di ricerca, evidenziano come i tempi di riverberazione misurati in un campione di oltre cento aule, appartenenti a varie regioni, risultino quasi sempre superiori ai valori minimi indicati in normativa. Tali risultati, sono probabilmente in parte dovuti all'età media delle scuole italiane, circa cinquant'anni, delle quali due terzi realizzate ante 1975, o con destinazione d'uso differente, e quindi inadeguate ai limiti dalle più recenti normative.

L'impatto sull'utenza

All'interno di questo contesto, il Dipartimento di Architettura, in collaborazione con il Comune di Firenze e l'Associazione IO-PARLO (associazione di genitori di alunni ipoacusici), ha eseguito numerose attività di ricerca¹ (Lauria *et al.*, 2020; Vettori *et al.*, 2019; Vettori *et al.*, 2022), di sensibilizzazione (Amodeo *et al.*, 2020) e di misurazione e adeguamento acustico degli ambienti scolastici comunali (Amodeo e Secchi, 2021). Quest'ultime, in particolare, confermano l'interesse delle amministrazioni verso la tematica.

Ogni anno, infatti, il Comune di Firenze continua a investire parte dei fondi destinati al mantenimento del patrimonio edilizio in campagne di misura all'interno di ambienti scolastici destinati a ospitare bambini ipoacusici, al fine di adeguare le aule e i refettori in accordo con la UNI 11532-2:2020.

Per ogni ambiente segnalato dal Comune, il Dipartimento, confrontandosi con la Direzione dei servizi tecnici e con le Istituzioni Scolastiche, provvede a misurare i parametri di qualità acustica previsti dalle recenti normative, quali Tempo di Riverbero, Chiarezza e STI. Le misurazioni e il dialogo permettono di definire progetti di adeguamento che rispondano sia alle normative, che ai requisiti tecnici funzionali (sicurezza, igiene, resistenza al fuoco, ecc.) ed economici, che alle esigenze dell'utenza (Fig. 01 e 02).

Successivamente alla realizzazione degli interventi, vengono eseguite delle misure per verificarne l'efficacia, affiancate da un confronto attivo con le amministrazioni, i genitori e gli insegnanti.

¹ Progetto di ricerca finanziato dall'Ente Cassa di Risparmio dal titolo *La Qualità Acustica delle Aule Scolastiche. Indagine sulla relazione tra percezione dei suoni e rendimento scolastico*, al fine di progettare un kit di supporto per la correzione acustica delle aule, 2018. Hanno collaborato il Dipartimento di Architettura, il Dipartimento di Ingegneria Industriale e il Dipartimento di Scienza della Formazione e Psicologia dell'Università degli Studi di Firenze.



Fig.01 Aula scuola materna Carducci del Comune di Firenze, ante intervento di correzione acustica.



Fig.02 Aula scuola materna Carducci del Comune di Firenze, post intervento di correzione acustica.

In oltre sei anni di campagne di misura, è stata valutata la qualità acustica interna di oltre 70 ambienti scolastici di scuole pubbliche di ogni ordine e grado, e sono stati progettati e realizzati numerosi interventi di adeguamento acustico (Fig. 03 e 04).

Per meglio comprendere le effettive esperienze dell'utenza, negli anni sono state condotte alcune interviste. Di seguito sono riportati alcuni estratti.

“Quando si parla di barriere si pensa sempre a quelle architettoniche. Anch'io da genitore mi ero sempre fermata a questo aspetto, ma per mio figlio (i figli ipoacusici) la barriera è acustica. Non ce ne eravamo mai veramente accorti. Pensavamo fosse una barriera uditiva (relativa alla sua persona), per cui protesi, logopedia e quant'altro. Mentre la scoperta che c'è un altro aspetto, [...] ossia la barriera data dal riverbero sonoro della classe, è stata una scoperta”. *Intervista a una mamma di bambino ipoacusico*

Tempi di riverbero elevati, causati da maggiore entità delle riflessioni, si traducono in un rumore di fondo elevato, che maschera il messaggio sonoro.

A scuola, condizioni molto riverberanti portano il bambino, soprattutto se con deficit uditivi, a un vero e proprio disagio psicologico o crollo motivazionale. In un'aula in cui vi è un elevato rumore di fondo, dovuto ad un tempo di riverberazione inadeguato, il bambino ipoacusico con apparecchio acustico sente una sorta di fruscio costante che copre parte del messaggio sonoro; perdendo parte del discorso proveniente dall'insegnante, non riesce a capire la lezione e questo lo porta ad una forte demoralizzazione, non rendendosi conto che il problema è dovuto alla scarsa qualità acustica dell'ambiente in cui si trova e non a sé stesso:

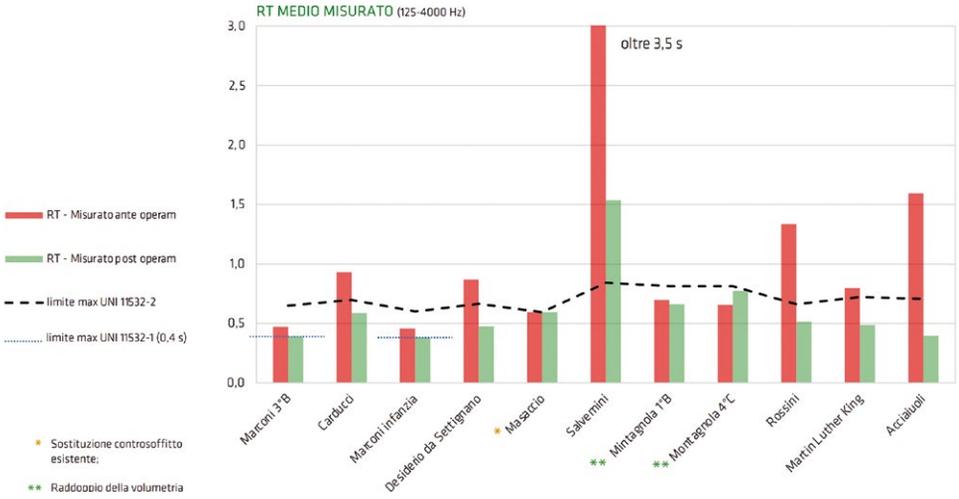


Fig.03 Tempo di riverbero misurato ante e post intervento, in alcuni locali scolastici del Comune di Firenze. Amodeo e Secchi, 2021

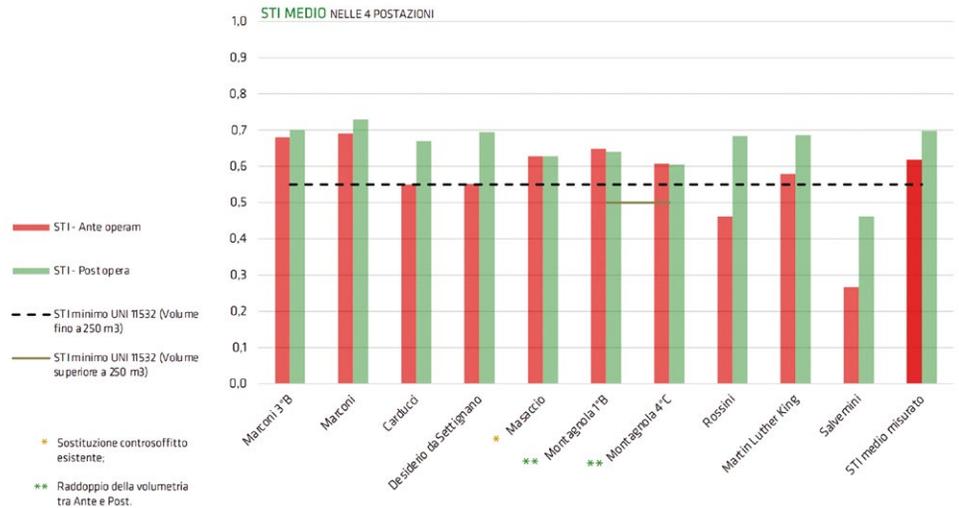


Fig.04 Speech Transmission Index misurato ante e post intervento, in alcuni locali scolastici del Comune di Firenze. Amodeo e Secchi, 2021

“Per una persona ipoacusica, il riverbero sonoro si riflette in una spiccata difficoltà a focalizzare la voce di chi parla [...], cioè non arriva la voce della maestra, ma soltanto un fruscio, un rumore (continuo), che causa un profondo disagio: non riuscendo a capire, si è sempre in dubbio, in tensione. Questo dubbio nel bambino [...] a volte sfocia in un disturbo psicologico, poiché la non comprensione non viene imputata al fatto che effettivamente non è arrivata parte del messaggio sonoro, ma al fatto che non ha capito”.
Intervista a persona ipoacusica

Ecco che il bambino ipoacusico, all'interno di una classe troppo riverberante, viene penalizzato durante tutte quelle attività didattiche laboratoriali, che implicano un approccio collettivo:

“Quando ci sono delle persone che dialogano (contemporaneamente), chi ha un normale udito è in grado di prestare attenzione solo a chi vuole, nel bambino ipoacusico questo ascolto preferenziale non esiste, sente un misto, un fruscio di suoni e dialoghi e quindi non può scegliere a chi dare attenzione”. *Intervista a persona ipoacusica*

L'efficacia dei numerosi interventi realizzati dal Comune di Firenze è stata confermata sia dalle misurazioni eseguite post intervento, che dai genitori:

“Abbiamo fatto richiesta e l'aula di (nostro figlio) è stata velocemente insonorizzata. Qual è stata la nostra esperienza: abbiamo visto che (nostro figlio) è sempre stato un bimbo sereno a scuola, questo per noi è la misura che abbia avuto intorno a sé le esperienze migliori, [...] di cui l'insonorizzazione fa parte”. *Intervista a una mamma di bambino ipoacusico*

Gli insegnanti delle scuole trattate, lavorando a stretto contatto con gli alunni, hanno descritto positivamente la differenza tra ante e post intervento:

“Poter lavorare in un ambiente insonorizzato ha dato degli effetti positivi, i risultati sono stati notevoli sia per quanto riguarda l'apprendimento del bambino ipoacusico, che dell'intera classe, in quanto i bambini si sono concentrati maggiormente, sia nell'ascolto che nello svolgimento dei compiti più complessi”. *Intervista a una maestra*

Inoltre, hanno potuto sperimentare in prima persona quanto un ambiente di lavoro opportunamente trattato vada a incidere sullo sforzo vocale impiegato quotidianamente:

“Effetti positivi ci sono stati anche per quanto riguarda il lavoro in classe poiché non c'è più bisogno di tenere un tono della voce alto, quindi questo crea una situazione di relazione tra insegnante e classe, ma anche tra bambini stessi, positiva, senza aggressività e senza bisogno di alzare i toni, in un ambiente più favorevole”. *Intervista a una maestra*

Conclusioni

Il comfort acustico di un ambiente confinato è uno dei principali fattori che determinano la qualità interna (IEQ *Indoor Environment Quality*), insieme al comfort termoigrometrico, la qualità dell'aria (IAQ *Indoor Air Quality*) e il comfort visivo.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità l'inquinamento acustico risulta essere uno dei fattori ambientali più preoccupanti, in grado di incidere direttamente sia la salute che le attività cognitive di tutti noi. Per questo motivo, numerose ricerche scientifiche hanno messo in luce l'importanza di una corretta qualità acustica all'interno degli ambienti, la quale è stata dimostrata essere strettamente correlata alla corretta riuscita delle attività in classe e quindi al comfort di tutta l'utenza. In particolar modo, essa risulta essere di primaria importanza per i soggetti con deficit uditivi, per i quali una scarsa qualità acustica all'interno di un ambiente adibito alla comprensione della parola si configura come una vera e propria barriera percettiva che mina la corretta fruizione del servizio.

In Italia, il DM 23/06/22, per quanto riguarda il comfort acustico degli ambienti scolastici, obbliga a garantire il rispetto dei parametri indicati nella UNI 11532-2:2020 in ogni categoria di ambiente.

Nonostante i riferimenti normativi siano chiari, spesso all'interno degli edifici scolastici italiani, in prevalenza antecedenti al 1975, non è facile rispettare gli standard previsti.

In questo panorama, il Dipartimento di Architettura di Firenze ha svolto numerose attività di misurazione e di supporto alla progettazione di interventi di miglioramento acustico negli ambienti delle scuole del Comune. Dalle interviste svolte durante la ricerca, si evince come l'evidente miglioramento, successivo all'inserimento di sistemi fonoassorbenti opportunamente progettati, sia stato fortemente apprezzato dall'utenza, che ne ha percepito la reale efficacia. Ulteriore prova del successo di questi anni di attività risiede nell'interesse mostrato da parte del Comune di Firenze, che continua a programmare nuovi interventi ogni anno, in modo da garantire un grado di manutenzione e adeguamento costante della qualità acustica delle scuole fiorentine.

Riferimenti bibliografici

- Amodeo, V., Brocchi, F., Lunardi, M., Pavoni Belli, A., Secchi, S. (2020). Uno strumento per capire l'effetto del riverbero: il corridoio fonoassorbente. *neo-Eubios*, n. 73, pp. 34-45.
- Amodeo, V., Secchi S. (2021). *Misure comparate di speech transmission index e tempo di riverbero in edifici scolastici ante e post interventi di miglioramento*. 47° Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica, 24-28 maggio 2021.
- DM 18/12/1975 (1975). *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*.
- DM 23/06/2022 (2022). *Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici*.
- Lauria, A., Secchi, S., Vessella, L. (2020). Acoustic Comfort as a salutogenic resource in learning environments – A proposal for design of system to improve the acoustic quality of classroom. *Sustainability*, n. 12(22), p. 9733. Doi: <https://doi.org/10.3390/su12229733>
- Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, Dipartimento per il sistema educativo di istruzione e formazione Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici e la valutazione del sistema nazionale di istruzione (2018). *Indicazioni nazionali e nuovi scenari - Documento a cura del Comitato Scientifico Nazionale per le Indicazioni Nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione*.
- Ministero dell'Istruzione (2022). *Futura - progettare, costruire e abitare la scuola, Linee guida orientative*.
- Murray Schafer, R. (1977). *The Tuning of the World*. New York: Random House.
- UNI 11532-2:2020 (2020). *Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico*.
- Vettori, G., Secchi, S., Bigozzi, L. (2019). *Performance di lavoro verbale in differenti condizioni di qualità acustica*. XXVIII Congresso Nazionale AIRIPA, I disturbi dell'apprendimento, Ferrara, 27-28 sett. 2019.
- Vettori, G., Di Leonardo, L., Secchi, S., Astolfi, A., Bigozzi, L. (2022). Primary school children's verbal working memory performances in classrooms with different acoustic conditions. *Cognitive Developments*, n. 64(3). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2022.101256>
- World Health Organization (1999). *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization: Geneva, Switzerland.