

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

PARTE II - LA DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELL'ENERGIA SONORA

a cura di

* *Dario D'Orazio*

Introduzione

Il presente contributo vuole proseguire il precedente “criteri generali e controllo della riverberazione in condizione di ambiente occupato” (Neo-Eubios 72, 22-31), in un'ideale rassegna delle novità introdotte dalla UNI 11532-2:2020. Se nel precedente erano stati analizzati i nuovi requisiti per il tempo di riverberazione mediante un caso di studio, nel presente contributo si introducono i criteri di intelligibilità del parlato. E' utile fornire qualche richiamo sulle differenze fisiche sottintese, rispettivamente, al tempo di riverberazione e ai criteri di intelligibilità. Tali differenze saranno sviluppate in dettaglio nelle sezioni 2 e 3, mentre nella 4 sarà introdotta una delle novità della norma, ovvero la formula previsionale per la Chiarezza C_{50} . Questi contributi non vogliono essere un'inutile parentesi teorica ma rappresentano a parere dello scrivente il ponte necessario tra il caso applicativo visto nella parte I e i temi che saranno trattati nelle parti future di questa disamina di una norma tecnica che fornisce molti contributi innovativi.

Il tempo di riverberazione come parametro dell'ambiente

Il tempo di riverberazione è un parametro di progettazione e di verifica in opera utilizzato dai TCA in molteplici applicazioni. Può essere quindi utile un approfondimento sulle ragioni per cui la norma UNI 11532-2 lo consideri come parametro di qualità acustica (come analizzato nella prima parte di questo contributo) ma allo stesso tempo richieda l'utilizzo di un secondo criterio di qualità legato all'intelligibilità del parlato. Il tempo di riverberazione è stato proposto all'i-

nizio del ventesimo secolo proprio come metrica di qualità per la correzione acustica delle aule universitarie [1]. W. C. Sabine si basò su modelli empirici misurati in alcuni casi di studio dell'università di Boston. Successivamente trovò un modello teorico che legittimasse le sue osservazioni, e quel modello teorico si basa su alcuni assunti presi in prestito dalla meccanica analitica. Un approccio, quindi, statistico, che ha come dominio l'intero ambiente: il tempo di riverberazione è quindi, a tutti gli effetti, una proprietà dell'ambiente. Gli anni hanno codificato la prassi di misura, per mantenere l'aderenza all'ipotesi statistica che sta dietro al tempo di riverberazione e permettere l'espressione di un solo valore di T, minimizzando l'incertezza: da qui le prescrizioni ISO 3382-2 per la scelta del numero di sorgenti e ricevitori, l'utilizzo del solo range $-5 \div -35$ della curva di decadimento temporale per eliminare le prime riflessioni deterministiche, oltre ad ulteriori attenzioni secondarie. Anche la teoria ha raffinato l'approccio senza distaccarsi significativamente dalla prima intuizione Sabiniana, si vedano per approfondimenti le generalizzazioni sulla statistica dei cammini medi negli anni '70 [2], o la relativamente più recente descrizione della riverberazione in termini di teoria dei biliardi [3].

L'esperienza tecnica ci conferma tutto questo: in volumi non accoppiati (ma anche in quelli accoppiati è possibile usare un'estensione del modello Sabiniano), e eliminando la regione modale in bassa frequenza, il tempo di riverberazione misurato su diverse coppie di sorgente-ricevitore ha scostamenti in genere minimi, tanto da poter essere considerato costante, e quindi parametro d'ambiente.

I criteri di intelligibilità come parametri di una comunicazione punto-punto

A differenza del tempo di riverberazione, lo studio dell'intelligibilità del parlato prevede, sia in forma previsionale che in verifica in opera, la definizione delle mutue posizioni di sorgente sonora e di ricevitore. Sull'intelligibilità del parlato - e non solo - pesa infatti la quantità e la qualità delle prime riflessioni. Maggiore sarà la quantità di prime riflessioni sul peso totale del decadimento dell'energia sonora, maggiore sarà la "Chiarezza". Più adatte a non 'degradare' le modulazioni del parlato saranno qualitativamente le prime riflessioni, più alto in generale sarà lo Speech Transmission Index, introdotto in questa rivista in

un contributo precedente (Neo-Eubios 65, settembre 2018, pag. 5-12). Le prime riflessioni, per quantità e qualità, sono influenzate dalla mutua posizione di sorgente sonora e ricevitore. Le geometrie e le caratteristiche acustiche delle superfici intorno all'oratore, o meglio le 'sponde' (continuando l'analogia con il biliardo) tra oratore e ascoltatore, influenzano le prime riflessioni. Materiali assorbenti posti in questi punti avranno l'effetto di attenuare le prime riflessioni, attenuando l'energia nella prima parte del decadimento e quindi diminuendo il valore di chiarezza al ricevitore. Per questo motivo la UNI 11532 propone un abaco per il posizionamento di materiale assorbente nel controsoffitto e nelle pareti laterali, che si riporta in fig. 1.

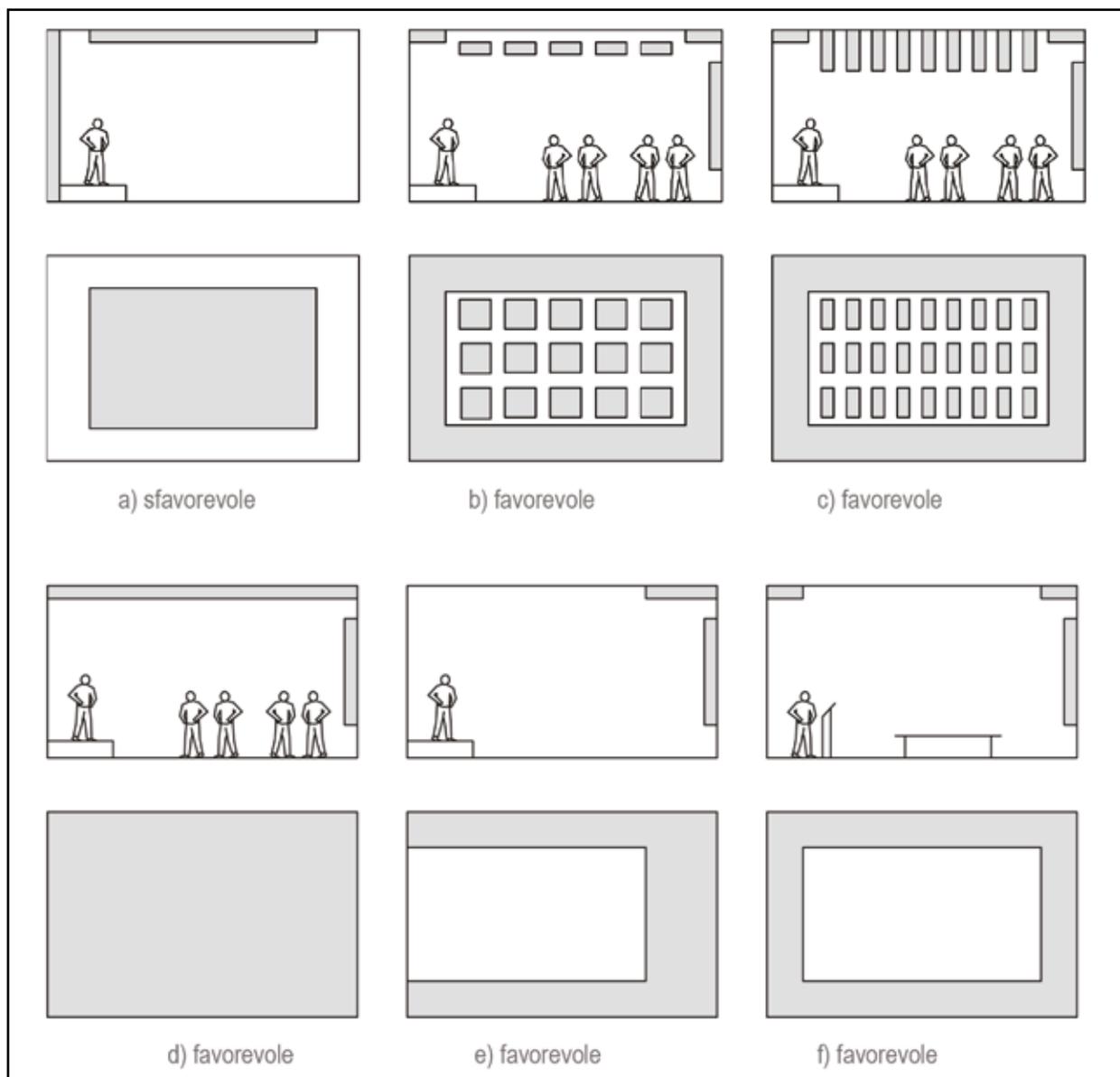


Fig. 1: Disposizioni di materiale fonoassorbente all'interno di ambienti di piccola e media dimensione così come raccomandati nella UNI 11532, appendice B.

Si può vedere il contesto trattato in questa e nella precedente sezione anche da un punto di vista in opera: l'analisi del decadimento sonoro.

Sia concessa all'autore una piccola digressione su questo punto: il decadimento sonoro può essere registrato direttamente interrompendo il rumore (rosa) stazionario usando finestre temporali molto strette, oppure computato indirettamente tramite integrazione 'al contrario' (Backward Integration) della risposta impulsiva precedentemente misurata con tecniche impulsive o pseudo-impulsive. La UNI 11532 richiama a tal proposito la ISO 3382 e permette il calcolo con entrambi gli approcci ma richiede di mediare più volte i decadimenti registrati con il rumore (rosa) stazionario interrotto affinché i risultati di queste due tecniche siano comparabili. Inoltre la sorgente sonora utilizzabile nei collaudi deve rispettare i requisiti di direttività specificati dalla stessa ISO 3382. Questo significa, nei fatti, l'obbligo di utilizzare un dodecaedro in entrambi i contesti. Come approfondimento su quest'ultimo punto, si veda sul tema il recente e esauriente articolo di review [4] sulle sorgenti sonore.

Ora, in un ambiente scolastico, le prime riflessioni si collocano nei primi 3-5 dB del decadimento sonoro, ovvero il range 0 ÷ -5 dB. Il tempo di riverberazione invece si valuta sul range -5 ÷ -35 dB, in cui risulta dominante il campo diffuso, che per definizione non dipende dal punto di misura. Le variazioni di chiarezza tra un ricevitore e l'altro corrispondono quindi a un rapporto tra la prima parte del decadimento (che varia in funzione del ricevitore) e la seconda parte del decadimento (che è costante). Il requisito normativo della chiarezza C_{50} prevede valori positivi di questo descrittore: questo significa che il numeratore del rapporto dovrà essere sempre predominante sul denominatore e quindi la Chiarezza in un ambiente scolastico sarà fortemente dipendente dalle sole prime riflessioni e dunque dipendente dalla posizione del ricevitore (come vedremo nella sezione successiva).

La distribuzione spaziale dell'energia sonora

A questo punto il normatore si trova di fronte a un problema di metodo previsionale: proporre una formulazione dei parametri di intelligibilità del parlato in funzione di un parametro – quale il tempo di riverberazione – di cui esista una formula previsionale piuttosto consolidata (la cd. formula di Sabine), robusta nelle condizioni di utilizzo (alpha medio

dell'ambiente inferiore a 0.3) e per la quale esistano dataset dei materiali (ad es. i valori di assorbimento acustico alpha in funzione della frequenza misurati con la ISO 354, oppure le aree di assorbimento equivalente degli arredi A_{obj}). Alla luce di quello che abbiamo visto questo sembrerebbe paradossale, poiché i parametri di intelligibilità dipendono dai primi 3-5 dB della curva di decadimento – mentre il tempo di riverberazione non considera la prima parte del decadimento. Con la categoria 'parametri di intelligibilità' ci riferiamo in questo frangente alla Chiarezza C_{50} ma - come analizzeremo nella futura parte 3 - per lo *STI* la situazione non è dissimile.

Il punto di contatto tra chiarezza e tempo di riverberazione è rappresentato dall'energia sonora della risposta all'impulso, usata spesso nella sua forma normalizzata rispetto all'energia del campo diretto riferito a 10 m, e nota in quest'ultimo caso come Sound Strength (o G). Nella forma di G , il parametro è stato ed è usato per valutare la distribuzione spaziale dell'energia negli spazi performativi. Uno degli aspetti interessanti – e utili a risolvere il problema che abbiamo sollevato – è che esiste la possibilità di esprimere la C_{50} in funzione di G e la G in funzione del tempo di riverberazione T . Quest'ultima espressione è nota come revised theory di M. Barron [5] e tiene conto dell'incremento di attenuazione per divergenza geometrica non solo del campo diretto, ma anche delle prime riflessioni, quando il ricevitore si allontana dalla sorgente. Utilizzando quindi la G come 'ponte' e senza esprimerlo direttamente, è possibile formulare previsionale la C_{50} in funzione del tempo di riverberazione T e della distanza sorgente ricevitore r . Tale formulazione come riportata nella UNI 11532-1:2018 (errata corrige) ha la forma:

$$c_{50} = 10 \log \frac{\frac{100}{r^2} + (31200 \frac{T}{V}) \left(1 - e^{-\frac{0.691}{T}} \right) e^{-\left(\frac{0.04}{T} r\right)}}{e^{-\left(\frac{0.04}{T} r\right)} \left(\frac{31200 T}{V} \right) \left(e^{-\frac{0.691}{T}} \right)} \quad (1)$$

La formula previsionale è supportata da letteratura [6] e anche da esperienze di misura dirette dello scrivente. In figura 2 sono riportati gli andamenti, in funzione della distanza sorgente-ricevitore, dei parametri di intelligibilità in funzione della distanza sorgente-ricevitore in 16 aule universitarie di grandi dimensioni non trattate.

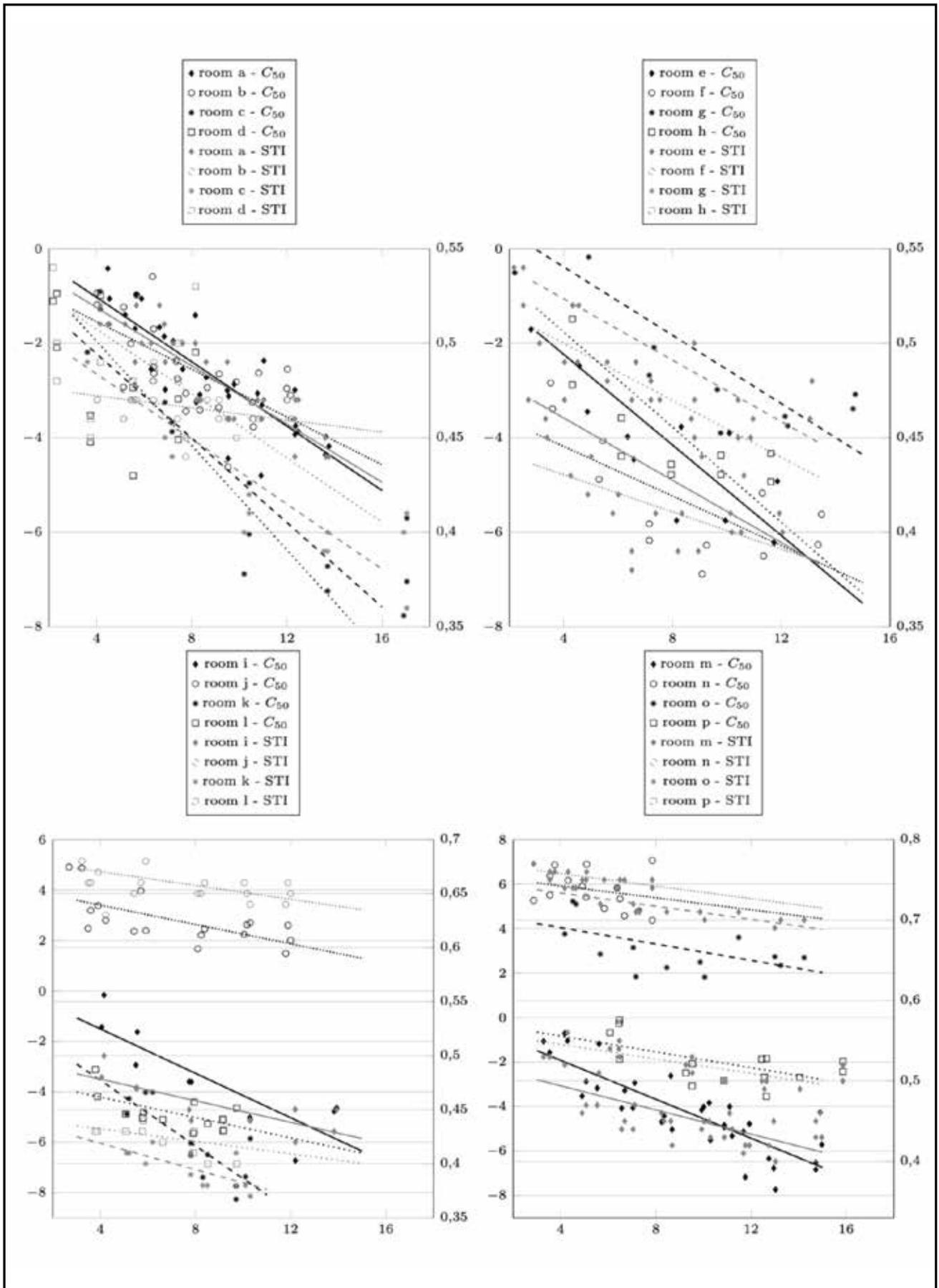


Fig. 2: C₅₀ e STI in funzione della distanza sorgente-ricevitore per 16 aule di grandi dimensioni [7].

Si può apprezzare la correlazione tra l'andamento spaziale dei descrittori, che giustifica l'approccio generale utilizzato nel presente contributo riguardo i criteri di intelligibilità del parlato. Si può inoltre dimostrare quanto i contesti misurati rappresentino un caso limite inferiore: l'esperienza dimostra quanto l'incremento dell'assorbimento dell'ambiente faccia convergere le curve empiriche alla curva previsionale dell'eq. (1). **E**

**Dario D'Orazio,
Università di Bologna.*

Bibliografia

- [1] W.C. Sabine, Collected papers on acoustics, Peninsula Pub, 1993 – Pubblicato originariamente nel 1922.
- [2] H. Kuttruff; A Simple Iteration Scheme for the Computation of Decay Constants in Enclosures with Diffusely Reflecting Boundaries; J. Acoust. Soc. Am. 98 (1), 1995, 288 - pubblicato originariamente in tedesco nel 1976.
- [3] J. D. Pollack, Playing billiards in file concert hall: the mathematical foundations of geometrical room acoustics. Appl. Acoust., 38, (1993) 235-244
- [4] N. M. Papadakis e G. E. Stavroulakis: Review of Acoustic Sources Alternatives to a Dodecahedron Speaker, Appl. Sci. 2019, 9, 3705;
- [5] M. Barron, L-J. Lee: Energy relations in concert auditoriums. I, J. Acoust. Soc. Am. 84(2):618-628, 1988
- [6] A. Astolfi, V. Corrado, A. Griginis (2008). Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms. Appl. Acoust., 69(11), 966-976.
- [7] D. De Salvio, D. D'Orazio, G. Fratoni, M. Garai, Lecture halls inside of historical buildings: an acoustic survey. Submitted to Appl. Sci., 2021