

Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2005)

Heft: 4

Artikel: Criteri generali di valutazione delle qualità acustiche di una sala

Autor: Semini, Franco

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-133222>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Criteri generali di valutazione delle qualità acustiche di una sala

Franco Semini

Nel raggiungimento delle condizioni acustiche ottimali in una sala destinata ad un uso polivalente, è indispensabile conoscere sia le caratteristiche geometriche (volume, superficie, forma, geometria dei dettagli ecc.), sia quelle acustiche di tutti i materiali e degli elementi contenuti. Le qualità specifiche della sala si differiscono inoltre in funzione dell'uso cui essa è destinata. Il parlato, il canto o i differenti generi di musica sono espressioni sonore che richiedono soluzioni ad hoc, ottenibili sulla base di concetti teorici stabiliti a priori.

Cenni teorici

Suono diretto e suono riverberato

A differenza dello spazio aperto, in una sala il suono che raggiunge l'ascoltatore per via diretta è solo una frazione di quello che gli perviene complessivamente. Quest'ultimo comprende anche le onde riflesse dal pavimento, dal soffitto, dalle pareti e tutte quelle che subiscono riflessioni multiple. In particolar modo nelle sale di grandi dimensioni, il suono riverberato è perciò di fondamentale importanza poiché, lontano dalla sorgente, senza il suo contributo non sarebbe possibile udire i segnali più deboli. Invece, grazie alle riflessioni, una buona sala consente di avere un livello di suono relativamente uniforme e proporzionale a quello generato, indipendentemente dalla sua intensità.

Specialmente nel caso di esecuzioni musicali, le prime onde riflesse (quelle che pervengono all'uditorio entro un tempo di circa un decimo di secondo) risultano a tutti gli effetti sovrapposte al suono diretto e hanno l'effetto di rafforzarlo. Esse contribuiscono a creare la sensazione di un più intimo rapporto tra esecutori ed ascoltatori, perché attenuano l'effetto estraniante della distanza e allargano spazialmente la sorgente. Perché tutto ciò si verifichi, occorre che l'intensità del suono riverberato su tempi brevi sia elevata.

Diverso è il discorso per le onde che, subendo ripetute riflessioni, giungono all'uditorio in tempi successivi al decimo di secondo. L'effetto di queste onde è di dare al suono una coda temporale che lo rende più continuo, fluido, caldo e spazioso. La durata di questa coda è detta tempo di river-

berazione caratteristico della sala. Poiché una sala polifunzionale necessita di un ambiente sonoro differente in funzione dell'uso, si progetta acusticamente questo locale in modo preferenziale per l'ascolto del parlato. È poi buona norma, per renderlo acusticamente confortevole durante l'esecuzione di musica, dotarlo di un impianto elettronico di diffusione sonora.

Nella valutazione della qualità acustica ambientale, il parametro relativo al tempo di riverberazione è quello maggiormente utilizzato per caratterizzare il comportamento sonoro.

Trattandosi di un parametro globale, non si presta a valutazioni locali nei vari punti di ascolto e non tiene conto delle proprietà di emissione delle sorgenti sonore e delle caratteristiche percettive degli ascoltatori. Per moltissime destinazioni d'uso il tempo di riverberazione offre tuttavia un contributo immediato alla caratterizzazione del campo sonoro. Si definisce tempo di riverberazione l'intervallo temporale che corrisponde ad una caduta dell'intensità sonora di 1 milione di volte (60 dB) dal suo valore massimo. Esso dipende dalle dimensioni e dalla geometria della sala, oltre che dagli effetti di assorbimento del suono. Il tempo di riverberazione ottimale risulta da un compromesso tra chiarezza del suono (che richiede un tempo di riverberazione corto) e vivezza e pienezza (che invece lo richiedono lungo). Tale tempo si rivela variabile in funzione delle differenti sorgenti del suono: parlato o musica, grande orchestra o piccolo complesso di esecutori ecc. Il suo valore è fortemente dipendente dal volume della sala analizzata.

Echi ripetuti possono verificarsi se due superfici riverberanti, tipicamente le pareti laterali, si rimpallano il suono avanti e indietro. In questo caso, tra le due onde si può anche avere interferenza distruttiva, o costruttiva, con effetti di ondulazione del suono (flutter). Le due pareti laterali non devono quindi essere eccessivamente riflettenti al fine di evitare effetti di ondulazione o interferenza del suono. Ciò è ancor più vero per la pareti di fondo, che altrimenti produrrebbe singoli echi ritardati, «sdoppiando» il suono.

Per determinare inoltre un corretto ambiente sonoro in un auditorio, il rumore di fondo non dovrebbe superare il livello di pressione sonora equivalente di circa 30 dB(A).

Vi sono infine sale – vecchie e nuove – in cui sono stati introdotti elementi di acustica variabile, che permettono di alterare il tempo di riverberazione e altri fattori essenziali con l'inserimento occasionale di superfici assorbenti oppure riflettenti, a seconda delle esigenze.

Semplificazione del processo d'assorbimento acustico

Tanto maggiore è la quantità d'energia assorbita, quanto più elevata sarà l'idoneità del materiale utilizzato. Esso dovrà pertanto consentire al suono di penetrare al proprio interno; la conseguente variazione di pressione, dipendente dai mutamenti di velocità dell'onda sonora, determina la vibrazione delle molecole d'aria contenute negli interstizi. A causa dell'effetto combinato della viscosità dell'aria e della sua aderenza alle pareti, le oscillazioni provocate all'interno dei pori inducono una dissipazione d'energia sotto forma di attrito. Su una parete rigida la velocità di oscillazione delle particelle d'aria tende ad annullarsi permettendo la riflessione dei suoni. Sono pertanto il grado di porosità, il peso specifico, la resistività al flusso (se il materiale è troppo rado o leggero, l'onda lo attraversa senza dissipare sufficiente energia) e la velocità del moto oscillatorio trasmesso alle particelle d'aria a influenzare le prestazioni d'assorbimento acustico di un materiale. Poiché la velocità di oscillazione aumenta con lo spessore del materiale poroso, questo dovrà avere uno spessore non troppo inferiore rispetto alla lunghezza d'onda del suono incidente. Il coefficiente d'assorbimento α si mantiene costante ed elevato solo con uno spessore del materiale assorbente che supera quello corrispondente a $1/4$, $1/8$ delle rispettive bande di frequenza.

Questa considerazione è esposta nello schema dal quale si può dedurre che, in luogo d'utilizzare un materiale assorbente di spessore identico, è più interessante realizzare la struttura pannello-intercapedine posata a una distanza dalla parete o dal soffitto uguale a $1/4$ della lunghezza d'onda incidente. Le distanze di posa dell'elemento poroso più comunemente adottate per ottenere un buon effetto assorbente sono di circa 20 oppure 40 cm dalla parete rigida di supporto.

Caso pratico di una sala conferenze esistente – Tempi di riverberazione e criteri d'intervento

Sulla base dei concetti precedentemente esposti è facile comprendere perché, ai fini di giudicare la qualità dell'ascolto, sia tanto importante cono-

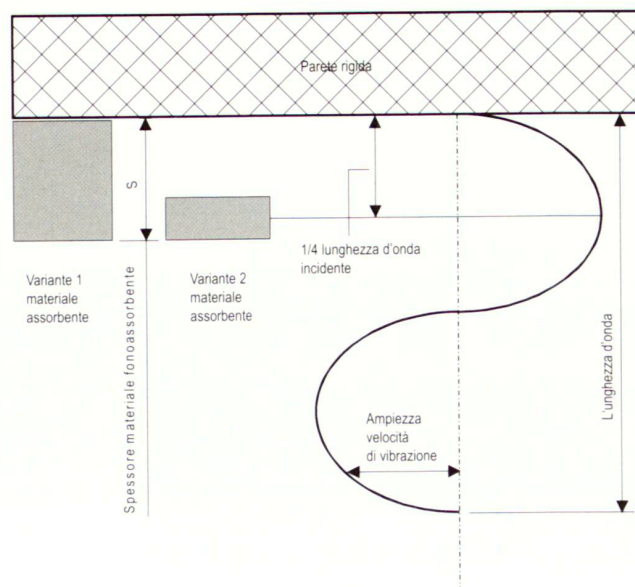


Fig. 1 – Schema d'assorbimento di un'onda sonora

scere la rapidità di estinzione del campo sonoro riverberato (coda sonora - transitorio d'estinzione). Come succede in una sala conferenze esaminata, in locali scarsamente ammobiliati (assenza di elementi morbidi come tappeti, divani, tendaggi ecc.) per effetto di un'eccessiva riverberazione l'intelligibilità del parlato è in parte compromessa: una comunicazione orale può invece essere compresa più facilmente in stanze caratterizzate da tempi di riverberazione brevi.

Il controllo del rumore riveste quindi un aspetto di fondamentale importanza: l'elevata rumorosità di fondo, accentuata dalla presenza di una riverberazione troppo lunga, pregiudica la vivibilità nell'ambiente, l'attività svolta e la concentrazione del pubblico. Per un'audizione senza sforzo, il raggiungimento di un campo sonoro corretto è ottenibile con la riduzione del disturbo provocato da una riverberazione eccessivamente lunga. L'impiego di materiali fonoassorbenti ha pertanto il preciso scopo di ridurre il più possibile le caratteristiche disturbanti delle riflessioni; all'orecchio dovranno arrivare solamente la componente diretta e, in un'entità non disturbante, le riflessioni.

Per evitare il disturbo che determina la riduzione del comfort ambientale, è sempre necessario eseguire uno studio atto a definire la corretta progettazione del risanamento acustico. Per definire le caratteristiche di una sala esistente, in luogo di eseguire una valutazione esclusivamente matematica della situazione è preferibile eseguire il rilievo dei tempi di riverberazione. L'immagine (Fig. 2) mostra gli strumenti necessari per una campagna di rilievi: fonometro integratore con

analizzatore statistico in tempo reale (contrassegnato con il n° 1), microfono 2), calibratore, generatore di rumori rosa per terzi di Banda d'ottava 3), altoparlante dodecaedrico 4) e amplificatore 5).



Fig. 2 - Strumenti per la valutazione dell'acustica ambientale

I rilievi fonometrici hanno consentito di disporre dei tempi di riverberazione caratteristici della sala conferenze alle varie frequenze riportati nello spettrogramma 1.

Tempi di riverberazione ideali

Come già scritto, il tempo di riverberazione è una delle caratteristiche acustiche di un locale che si traduce nel poter intendere i suoni senza essere disturbati da riflessioni sonore indesiderate. Il tempo di riverberazione ideale, come per esempio per locali destinati unicamente all'ascolto del parlato, è determinabile con formule matematiche empiriche. Per la sala in esame, l'utilizzo di tale approccio ha portato a stimare il tempo di riverberazione ottimale a 500 Hz pari a 0,5 secondi.

Con la conoscenza delle caratteristiche costruttive del locale analizzato e dei coefficienti di correzione che permettono di stabilire i tempi ideali anche a frequenze differenti da 500 Hz, si sono ottenuti i tempi di riverberazione ideali per ogni Banda d'ottava. Lo spettrogramma 2 mette a confronto la situazione acustica misurata con quella ideale da ottenere.

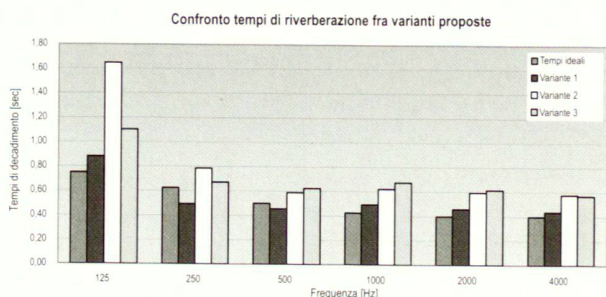
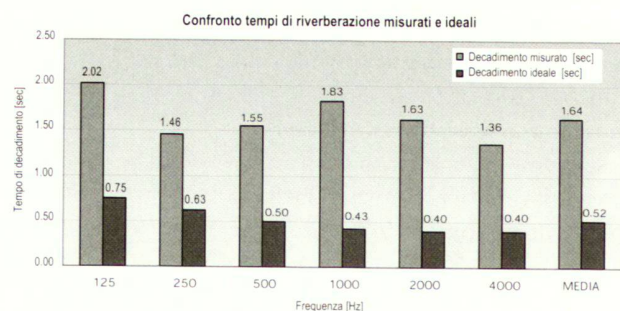
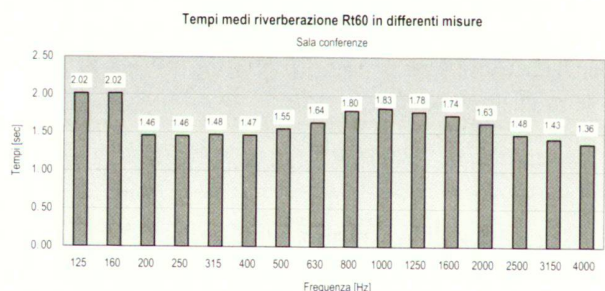
Criteri di risanamento

Dal confronto fra i tempi di riverberazione esistenti e quelli necessari per ottenere un ambiente sonoro adatto alla destinazione d'uso del locale, si evince che è necessario intervenire mediante la posa di pannelli fortemente fonoassorbenti a tutte le frequenze. Nel caso della sala analizzata, si sono definite le caratteristiche dei materiali da impiegare a conclusione di un processo decisionale che ha contemplato i seguenti fattori:

- materiali fonoassorbenti da applicare direttamente contro parete;
- materiali fortemente assorbenti da applicare a soffitto con un'intercapedine d'aria di circa 200 millimetri;
- requisiti di durabilità (resistenza all'usura, allo sporco, agli agenti chimici), manutenibilità (pulibilità, sostituibilità) e resistenza meccanica al rischio d'impatto (per quanto concerne i pannelli da disporre a parete);
- economicità dei materiali.

Nello spettrogramma 3 sono riportate le tre differenti varianti esecutive per il risanamento acustico:

- variante 1: sostituzione soffitto ribassato esistente con nuovo soffitto acustico con pannelli in fibra di vetro pressata (la cui superficie è formata da numerosissimi micropori attraverso i quali l'onda sonora penetra cedendo l'energia acustica);
- variante 2: posa di pannelli fonoassorbenti a parete a tutta altezza;
- variante 3: posa di pannelli fonoassorbenti a soffitto, sotto i tavoli e dietro i tabelloni pubblicitari.



1- misura dei tempi di riverberazione

2- confronto tra i tempi di riverberazione misurati e quelli ideali

3- confronto dei tempi di riverberazione tra 3 differenti proposte esecutive

Progettazione acustico-architettonica di nuovi ambienti

Come spesso accade, non solo in campo architettonico, prevenire è meglio che curare. In altre parole, una corretta progettazione e previsione del campo sonoro di ambienti confinati permette di evitare in seguito complesse e costose opere di risanamento per l'acustica architettonica.

Per la maggior parte degli spazi chiusi è possibile l'applicazione di metodi per la previsione delle caratteristiche del campo sonoro basati sui presupposti dell'acustica statistica (campo perfettamente diffuso).

La progettazione di ambienti che richiedono elevate caratteristiche per gestire il suono e il suo ascolto, deve essere quindi sviluppata tenendo conto simultaneamente delle geometrie e delle capacità assorbenti dei materiali adottati. La teoria sviluppata da Sabine permette di prevedere, noti geometria e materiali utilizzati, quali siano i tempi di riverberazione caratteristici alle varie frequenze. Disponendo di tali informazioni sarà quindi possibile procedere, in modo analogo all'esame esposto precedentemente, alla scelta dei materiali fonoassorbenti più adatti a una specifica applicazione. Si comprende perciò facilmente quanto risulti efficiente, dal lato tecnico-architettonico-impiantistico e da quello economico-funzionale seguire un approccio analogo a quello descritto.

Conclusioni

Il risanamento acustico di un ambiente caratterizzato da tempi di riverberazione lunghi (che, in modo errato, viene comunemente chiamato eco o rimbombo) deve essere affrontato necessariamente da uno specialista del settore. Egli sarà in grado di misurare la situazione in atto se il locale è esistente o di prevedere il campo sonoro se si è ancora in fase progettuale. La scelta dei materiali dovrà essere effettuata in base alla necessità di controllare i tempi di riverberazione alle alte, medie e basse frequenze. È proprio in questa fase che l'acustico dovrà scegliere i materiali idonei in base ai loro coefficienti di fonoassorbimento alle varie bande di lunghezza d'onda.

Specialmente nel caso di ambienti di grandi dimensioni, con molte sorgenti di rumore e molteplici superfici interne riflettenti, la complessità della situazione impedisce l'approccio basato sui presupposti dell'acustica statistica per prevedere il campo sonoro.

Dove le esigenze impongono analisi estremamente particolareggiate, le tecniche di *Ray-Tracing* permettono di stabilire, in ogni punto desiderato

del locale, le relative caratteristiche sonore. Tale metodologia prevede che dalla sorgente venga lanciato un elevato numero di raggi sonori per un percorso equivalente a numerosissime riflessioni sulle superfici del locale; la valutazione verte sulla conoscenza della densità sonora associata a ciascun raggio riflesso.