

MIGLIORAMENTO DEL COMFORT ACUSTICO NEGLI AMBIENTI INTERNI

dei "Gasometri" oggetto di riqualificazione e trasformazione

Ing. Ezio Rendina, Viva Consulting

La Fondazione Politecnico di Milano ha richiesto la progettazione degli interventi finalizzati al miglioramento del comfort interno e della comprensione della parola non amplificata degli ambienti interni dei "Gasometri" a Milano oggetto di riqualificazione e trasformazione. Il presente articolo descrive una parte del progetto di valutazione del comfort acustico e conseguente correzione acustica degli ambienti interni in obbedienza alle specifiche previste nei Criteri Ambientali Minimi (CAM).

ANALISI DEL QUADRO GIURIDICO

Il Decreto dell'11 ottobre 2017, Criteri ambientali minimi (CAM) per l'affidamento di servizi di progettazione e per i lavori di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, al punto 2.3.5.6 definisce che: "gli ambienti interni devono essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532 (almeno il tempo di riverberazione RT60 e lo STI)."

La norma definisce in relazione alle diverse destinazioni d'uso degli ambienti, i descrittori acustici che meglio rappresentano le qualità acustiche degli ambienti, attraverso dei valori di riferimento. Di seguito si riporta la suddivisione in categorie definita dalla norma UNI 11532-2.

Il tempo di riverberazione T_r è determi-

nato dall'area di assorbimento equivalente, dal volume dell'ambiente vuoto chiuso e dalla parte di elementi:

$$T_r = 55,3 * [V / (c_0 * A)]$$

dove:

c_0 è la velocità del suono in aria, in m/s;
V è il volume dell'ambiente espresso in m^3 ;

A è l'area totale di assorbimento equivalente, in m^2 .

Il tempo di riverberazione ottimale T_{ott} , definito dalla norma UNI 11532-2, corrispondente ad un'occupazione convenzionale dell'ambiente pari all'80% ad eccezione della categoria A5 (Sport), è determinato in relazione alla destinazione d'uso specifica dell'ambiente considerato ed al suo volume, attraverso le formule di calcolo riportate di seguito:

Formule di calcolo di T_{ott} per le categorie da A1 a A5

Categoria	Ambiente occupato all'80%	
A1	$T_{ott,A1} = (0,45 \log V + 0,07)$	$30 m^3 \leq V < 1000 m^3$
A2	$T_{ott,A2} = (0,37 \log V - 0,14)$	$50 m^3 \leq V < 5000 m^3$
A3	$T_{ott,A3} = (0,32 \log V - 0,17)$	$30 m^3 \leq V < 5000 m^3$
A4	$T_{ott,A4} = (0,26 \log V - 0,14)$	$30 m^3 \leq V < 500 m^3$
Categoria	Ambiente non occupato	
A5	$T_{ott,A5} = (0,75 \log V - 1,00)$ $T_{ott,A5} = 2,00$	$200 m^3 \leq V < 10000 m^3$ $V \geq 10000 m^3$

L'indice STI (Speech Transmission Index) è un indicatore rappresentativo dell'intelligibilità del parlato. Con intelligibilità del parlato si intende la comprensibilità di un suono, di una conversazione, da parte di un ascoltatore. Esso è determinato dal rapporto tra l'ampiezza della modulazione pervenuta al ricevitore e la corrispondente modulazione generata dalla sorgente, un rumore rosa filtrato per bande di ottava nell'intervallo di 125Hz e 8kHz. L'intelligibilità si esprime in una scala che parte da 0 a 1, dove 1 indica la massima comprensione. La norma UNI 11532-1 definisce in una tabella la relazione tra lo STI e la comprensione del parlato.

La norma UNI 11532-2 definisce invece i valori di riferimento dell'indice STI.

Relazione tra STI e qualità della comprensione del parlato

Valori di STI	Qualità del parlato in accordo con la CEI EN 60268-16
$0 < STI \leq 0,3$	Pessimo
$0,3 < STI \leq 0,45$	Scarso
$0,45 < STI \leq 0,6$	Accettabile
$0,6 < STI \leq 0,75$	Buono
$0,75 < STI \leq 1$	Eccellente



Categorie degli ambienti in relazione all'attività

Categoria	Attività in ambiente	Modalità d'intervento
A1	Musica	Obiettivo raggiunto con progettazione integrata di geometrie, arredo, controllo del rumore residuo
A2	Parlato /conferenza	
A3	Lezione/comunicazione come parlato/ conferenza (aule grandi) interazione insegnante studente	
A4	Lezione/comunicazione, incluse aule speciali	
A5	Sport	
A6	Arete e spazi non destinati all'apprendimento e biblioteche	Obiettivo raggiunto con assorbimento acustico ed il controllo del rumore residuo

Valori di riferimento del descrittore STI

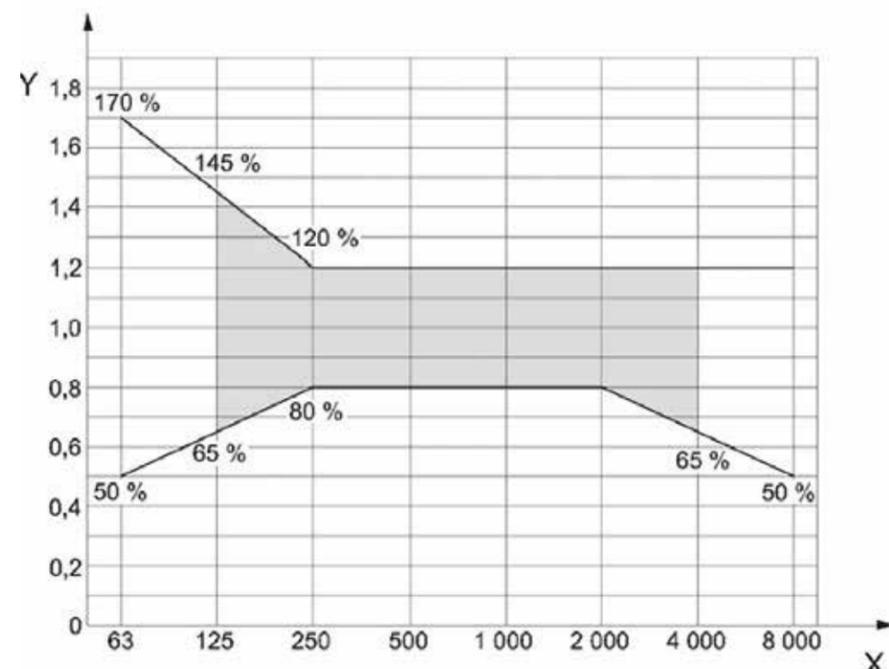
	< 250 m ³	≥ 250 m ³
Senza impianto di amplificazione o con impianto spento	≥ 0,55 con segnale di emissione ad 1 m in asse alla sorgente pari a 60 dB(A).	≥ 0,50 con segnale di emissione ad 1 m in asse alla sorgente pari a 70 dB(A).
Con impianto di amplificazione	≥ 0,60 con segnale di emissione come in normali condizioni d'uso dell'impianto di amplificazione	

Andamento ed intervallo di conformità del tempo di riverberazione T in funzione della frequenza per le categorie da A1 a A4

Legenda

X f = frequenza [Hz]

Y T/T_{ott} = tempo di riverberazione dipendente dalla frequenza T rispetto al tempo di riverberazione desiderato T_{ott} [adimensionale]



Nel presente articolo ci si sofferma sul più grande degli ambienti esaminati: l'Auditorium.

Per quanto riguarda i valori di RT60, la norma UNI 11532-2 definisce un intervallo di conformità in funzione della frequenza e del tempo ottimale calcolato. Di seguito si riporta un estratto della norma in cui viene definito l'intervallo di conformità.

Per l'ambiente analizzato quindi sarà necessario confrontare il tempo di riverbero calcolato tra le frequenze di 125 e 4.000 Hz con l'intervallo di conformità definito sopra.

Il già citato CAM è stato poi aggiornato (Gazzetta Ufficiale del 6 agosto 2022, n. 183) con il D.M. 23 giugno 2022 entrato in vigore il 4 dicembre 2022. Questo aggiornamento, redatto dal ministero della Transizione ecologica, colma alcuni vuoti normativi lasciati dai precedenti decreti, precisando alcuni punti precedentemente non pienamente definiti e soggetti all'interpretazione del singolo progettista. Il paragrafo del nuovo decreto che parla di "Prestazioni e comfort acustici" è il 2.4.11: «Fatti salvi i requisiti di legge di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997 «Determinazione dei requisiti acustici degli edifici» (nel caso in cui il presente criterio ed il citato decreto prevedano il raggiungimento di prestazioni dif-

ferenti per lo stesso indicatore, sono da considerarsi, quali valori da conseguire, quelli che prevedano le prestazioni più restrittive tra i due), i valori prestazionali dei requisiti acustici passivi dei singoli elementi tecnici dell'edificio, partizioni orizzontali e verticali, facciate, impianti tecnici, definiti dalla norma UNI 11367 corrispondono almeno a quelli della classe II del prospetto 1 di tale norma. I singoli elementi tecnici di ospedali e case di cura soddisfano il livello di "prestazione superiore" riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A di tale norma e rispettano, inoltre, i valori caratterizzati come "prestazione buona" nel prospetto B.1 dell'Appendice B di tale norma. Le scuole soddisfano alme-

no i valori di riferimento di requisiti acustici passivi e comfort acustico interno indicati nella UNI 11532-2. Gli ambienti interni, ad esclusione delle scuole, rispettano i valori indicati nell'appendice C della UNI 11367. Nel caso di interventi su edifici esistenti, si applicano le prescrizioni sopra indicate se l'intervento riguarda la ristrutturazione totale degli elementi edilizi di separazione tra ambienti interni ed ambienti esterni o tra unità immobiliari differenti e contermini, la realizzazione di nuove partizioni o di nuovi impianti.

Per gli altri interventi su edifici esistenti va assicurato il miglioramento dei requisiti acustici passivi preesistenti. Detto miglioramento non è richiesto quando l'elemento tecnico rispetti le prescrizioni sopra indicate, quando esistano vincoli architettonici o divieti legati a regolamenti edilizi e regolamenti locali che precludano la realizzazione di soluzioni per il miglioramento dei requisiti acustici passivi, o in caso di impossibilità tecnica ad apportare un miglioramento dei requisiti acustici esistenti degli elementi tecnici coinvolti.

La sussistenza dei precedenti casi va dimostrata con apposita relazione tecnica redatta da un tecnico competente in acustica di cui all'articolo 2, comma 6

della legge 26 ottobre 1995, n. 447. Anche nei casi nei quali non è possibile apportare un miglioramento, va assicurato almeno il mantenimento dei requisiti acustici passivi preesistenti».

ANALISI ACUSTICA DEGLI AMBIENTI

La simulazione dei tempi di riverbero e il calcolo dell'indice STI negli ambienti sopra elencati sono stati effettuati con il software Bose Modeler (versione 6.11.6), software di modellazione 3D per il design ed analisi acustica. In particolare, è stato generato un modello 3D degli ambienti e sono poi stati inseriti i materiali che compongono le pareti, il pavimento, i soffitti e i serramenti con i relativi coefficienti di assorbimento, riportati nella tabella sottostante.

Gli algoritmi del software prevedono le prestazioni acustiche di uno spazio, valutando l'energia sonora diretta e riflessa fino alla decima riflessione e calcolando l'indice di trasmissione vocale (STI). L'indice STI, come già detto, misura l'intelligibilità del parlato. Il software Bose Modeler è in grado anche di fornire una stima puntuale dell'indice STI. Il calcolo è stato effettuato utilizzando l'algoritmo STI con una risoluzione di 1,5 m.

In tabella a pagina seguente si riportano le curve di fonoassorbimento dei materiali inseriti nel modello e che quindi dovranno essere considerate come specifiche di acquisizione del materiale.

L'Auditorium occuperà i livelli a piano terra e primo piano e avrà un volume di circa 2.850 m³. Sarà dotato di un impianto tecnologico audio e video asservito alle funzioni della sala, che verrà descritto nel seguito.

ANALISI ACUSTICA DELLA SALA

In primo luogo si è proceduto al calcolo del tempo di riverberazione della sala e altri parametri acustici fondamentali tramite implementazione di mo-

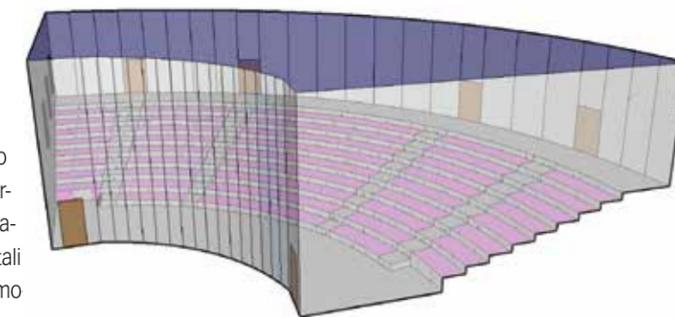


TABELLA 2: CURVE DI FONOASSORBIMENTO DEI MATERIALI INSERITI NEL MODELLO DI CALCOLO

MATERIALE	CURVA DI FONOASSORBIMENTO									
	31 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2kHz	4k Hz	8k Hz	16k Hz
Pareti in cemento armato	0,10	0,10	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08
Pareti in cartongesso	0,55	0,55	0,55	0,14	0,08	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
Pareti in legno	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02
Pavimenti in parquet	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
Pavimento in gomma	0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06
Pavimenti: marmo o piastrelle	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Pannello fonoassorbente (fibra di legno microforata)	0,5	0,5	0,75	0,8	0,81	0,9	0,82	0,75	0,6	0,4
Metallico a doghe con feltro acustico	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,85	0,75	0,7	0,6	0,5
Porte	0,15	0,15	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07
Vetrata	0,25	0,25	0,25	0,10	0,07	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02



FIGURA 1 - INTERVALLO DI CONFORMITÀ DEL TEMPO DI RIVERBERO

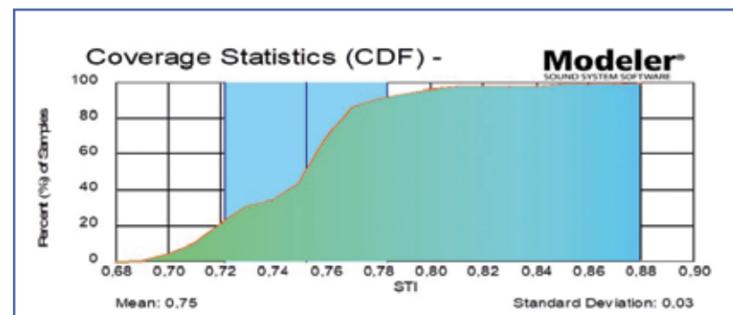
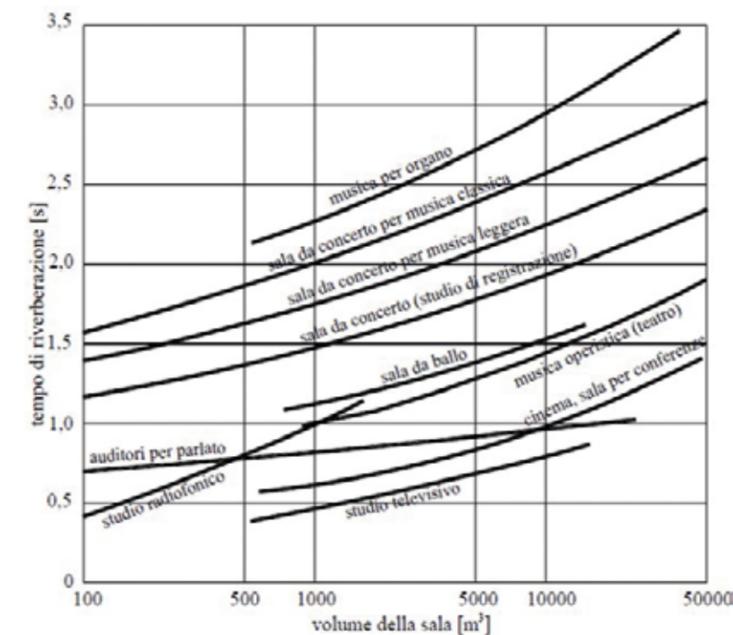


FIGURA 2 - DISTRIBUZIONE CUMULATA DELL'INDICE STI



dello 3D utilizzando i software sketchup, Bose Modeler eEase.

Il modello è stato implementato rispettando i materiali in progetto, che attualmente prevedono il controsoffitto come unica superficie fonoassorbente.

Il controsoffitto utilizzato per le simulazioni è un controsoffitto monolitico costituito da lastre microforate, con intercapedine di 50 cm dal solaio strutturale e con retroposta lana minerale.

Dal grafico in Figura 1 si nota che il tempo di riverbero calcolato è contenuto all'interno dell'intervallo di conformità per tutte le frequenze comprese tra 125 Hz e 4.000 Hz. I valori di RT60 calcolati rispettano, quindi, i limiti definiti dalla norma UNI 11532.

La Figura 2 mostra la distribuzione cumulata dell'indice di intelligibilità del parlato (STI) del locale.

Da letteratura scientifica i tempi di riverberazione ottimali per ambienti dedicati al parlato con volume pari a quello della sala Auditorium si attestano intorno a 0.8÷1 s (valore che si concilia con le prescrizioni contenute nei CAM).

I valori previsti sono più alti di quelli ottimali ma rientrano comunque in un intervallo di valori di buona qualità, quindi ammissibili.

Inoltre si è dimensionato l'impianto elettroacustico in grado di fornire una copertura omogenea su tutta la sala e supplire a eventuali difetti legati all'acustica passiva dell'ambiente. Di seguito le simulazioni prodotte con software Ease.

Si noti come l'impiego di due array lineari ad onde piane permetta di avere una pressione sonora assolutamente omogenea all'interno dell'interno volume senza necessità quindi di disporre di altri altoparlanti per potrebbero creare degli eco parassiti. In sostanza si ha una intelligibilità del parlato pressoché omogenea all'interno di tutto il volume della sala.

ALLESTIMENTO

AUDIO/VIDEO SALA AUDITORIUM

Lo schema della sala è basato sulla matrice AV CrossPoint 108 di Extron (pressoché uno standard per le aule universitarie).

È prevista una dotazione sulla cattedra con due ingressi HDMI e due microfoni gooseneck, più un monitor 15" a scomparsa e un touchpanel 7" per il controllo di tutte le funzioni AV di sala.

Si è prevista una postazione podio con un ingresso HDMI e un microfono gooseneck.

Si è previsto un sistema di recording/streaming (come per le sale formazioni).

Si è prevista la predisposizione per connessione a sistema di video conferenza. Si è prevista una dotazione di radiomicrofono con 2 palmari, una spilla da cravatta e un archetto + sistema d'antenna.

Si è previsto un line array ultra compatto (vedi simulazione allegata) completo di processore audio con Acoustic Echo-Cancellation/VoIP/interfacciaAOLP DANTE e amplificatori da installazione ad alte prestazioni.

La necessità di un array ultracompacto nasce dalla necessità di lasciare il più possibile libera la visuale verso il muro di fondo, convesso, che sarà anche lo schermo di proiezione delle immagini.

SALA REGIA

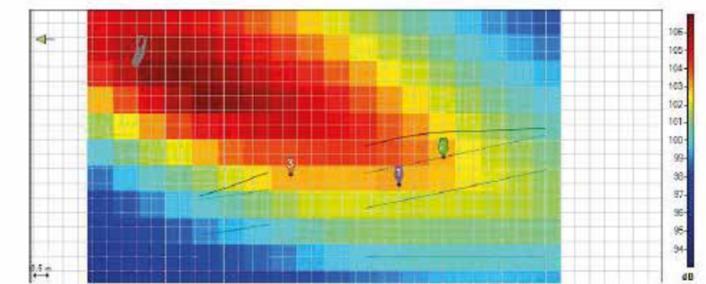
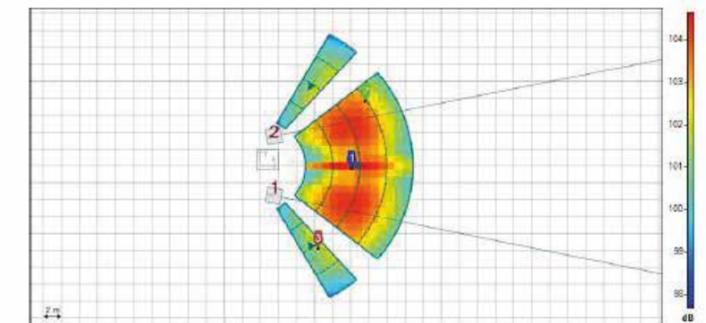
PER LA SALA AUDITORIUM

La realizzazione di un impianto come quello appena descritto richiede la presenza di una sala regia interna o contigua alla sala Auditorium che ospiti tecnico e traduttori simultanei.

"Tecnico Competente in acustica ambientale" ai sensi del D.L. n.42 del 17/02/2017

1 Informazioni progetto

Titolo progetto:	Nuovo progetto EASE Focus
Data:	Lunedì 20 aprile 2020
Autore:	
Temperatura:	20,0°C
Pressione:	Normale (1010 hPa)
Umidità:	Normale (60%)
Mappatura:	Banda udibile - Nessuna pesatura



2 Sorgenti sonore

Etichetta	Tipo	Sistema	X [m]	Y [m]	Z [m]	Orizz. [°]	Vert. [°]	Rot [°]	
1	L35 1	Line array	L35	1,50	-3,30	7,50	-11,5	-10,5	0,0
2	L35 1 1	Line array	L35	1,50	3,30	7,50	11,2	-10,5	0,0

3 Distribuzione

Media:	102,0 dB ±1,5
Media - dev. std.:	100,4 dB
Media + dev. std.:	103,5 dB

