

# Progettare l'ascolto

Nella realizzazione degli spazi destinati allo spettacolo, alle scelte architettoniche e formali deve coniugarsi una particolare attenzione a requisiti acustici. Parametri, indicazioni e alcuni esempi.

Cristina Azzolino

Una sala da spettacolo è uno spazio per la rappresentazione di eventi musicali o teatrali, che richiede ben precisi requisiti acustici. Si distinguono le sale per l'ascolto della musica sinfonica, lirica, da camera, ecc., dalle sale per l'ascolto della parola, quali i teatri di prosa e i cinema. In una sala da spettacolo l'obiettivo primario del progettista acustico è quello di garantire l'ottimo ascolto della parola o della musica in ciascun punto della sala stessa, ovvero di realizzare un ambiente che assicuri prestazioni acustiche differenziate in relazione al tipo di spettacolo che ospita. Esistono alcuni criteri generali di progettazione acustica necessari per giungere ad una corretta realizzazione; si tratta di indicazioni che è importante seguire sin dalle fasi iniziali del progetto, in quanto sono direttamente correlate alla forma geometrica della sala, ai materiali di rivestimento interno e alla tipologia dell'involucro edilizio. Fondamentale è il controllo del tempo di riverberazione, ma esso, da solo, non assicura la riuscita del progetto.

In una sala da spettacolo, per ottenere una buona risposta acustica, i criteri di valutazione principali da considerare sono:

- 2) il controllo delle prime riflessioni e della loro direzione di provenienza;
- 3) il controllo del livello sonoro;
- 4) il controllo del rumore di fondo.

## Il controllo della riverberazione

Il parametro di riferimento è il tempo convenzionale di riverberazione  $T_{60}$ , ossia il tempo, espresso

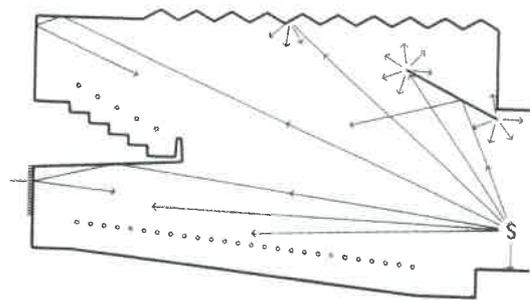
in secondi, che un suono impiega per decadere di 60 dB dal momento in cui la sorgente che lo ha generato cessa di funzionare. Descrive la "sonorità" di una sala: con un tempo di riverberazione alto si avrà un ambiente molto sonoro, con un

tempo basso si avrà un ambiente sordo. Nel caso di ambienti per la parola, l'ascoltatore è interessato a percepire ogni fonema con la massima chiarezza, cioè non mascherato dalla coda sonora dei precedenti suoni.

Negli ambienti per la musica, la riverberazione ha effetti benefici sul mescolamento dei suoni, sulla loro intensità, sulla ricchezza e sul collegamento delle note. In linea generale, per una sala conferenze il tempo di riverberazione ottimale a 1 kHz deve essere minore di 1 s, per una sala da concerto sinfonico compreso tra 1.8 e 2.2 s.

Esiste un valore ottimale del tempo di riverberazione

*Propagazione delle onde dirette e riflesse in una sala da spettacolo tipo [1].*



zione in funzione non solo della destinazione degli ambienti, parlato o musica, ma anche del loro volume.

Per procedere razionalmente al progetto acustico di un ambiente nei riguardi del fenomeno della riverberazione occorre verificare se, fissate le caratteristiche di volume, di assorbimento acustico e di superficie dell'ambiente, il valore del tempo di riverberazione si approssima sufficientemente al valore ottimale per ambienti dello stesso tipo e con la stessa destinazione, variando eventualmente il numero di unità assorbenti che debbono essere introdotte nell'ambiente.

### Il controllo delle prime riflessioni e della loro direzione di provenienza

Sull'area occupata dal pubblico è importante che le prime riflessioni, dopo l'arrivo del suono diretto, giungano frontalmente e lateralmente, entro 50 ms nel caso della voce e entro 80 ms nel caso della musica.

Esse contribuiscono infatti a "rinforzare" il suono diretto proveniente dal palcoscenico.

Un elevato numero di prime riflessioni frontali assicura una maggiore chiarezza o nitidezza del suono e un elevato numero di prime riflessioni laterali aumenta il senso di spazialità nella sala. I parametri di riferimento correnti sono la Chiarezza C50 e la Chiarezza C80, l'Indice di Definizione D, l'Istante baricentrico dell'energia o Tempo centrale  $t_s$ , la frazione della prima energia laterale (Lateral Fraction) Lf e l'efficienza laterale (Lateral Efficiency) LE. Essi si basano essenzialmente sul rapporto tra l'energia delle prime riflessioni e l'energia delle riflessioni successive alle prime, che arrivano all'ascoltatore in seguito all'emissione di un impulso sonoro nella posizione della sorgente. Un ulteriore parametro è il Tempo di primo decadimento (Early Decay Time) EDT, che è legato alla prima parte del processo di riverberazione. Se il soffitto è troppo alto o le pareti laterali troppo distanti, il numero di queste riflessioni si riduce. La scelta di una appropriata geometria e di appropriati materiali per le superfici vicine al palcoscenico, cioè il boccascena e la parte antistante del soffitto e delle pareti laterali, ha dunque una importanza fondamentale per il conseguimento di una buona risposta acustica.

Una forma della sala a pianta rettangolare allungata (shoe box) è più indicata di una forma ad arena, e per le superfici del boccascena sono indicati materiali di tipo riflettente come il legno o il cartongesso.



### Il controllo del livello sonoro

Il campo sonoro che tende a stabilirsi all'interno di un ambiente confinato è dato dalla sovrapposizione del campo diretto, costituito dalle onde provenienti direttamente dalla sorgente, e del campo riverberato, costituito dall'insieme di tutte le onde riflesse. In qualsiasi punto all'interno dell'ambiente il livello sonoro dipende, oltre che dalle caratteristiche della sorgente, anche dalle caratteristiche fisiche e geometriche dell'ambiente stesso.

*Nell'Auditorium del Lingotto a Torino (sotto), progettato da Renzo Piano, è stato adottato un rivestimento sagomato in legno di ciliegio massiccio al fine di ottenere il miglior rendimento acustico possibile; pannelli sagomati mobili nelle pareti laterali, invece, per la sala da concerti del Centro Congressi di Lucerna di Jean Nouvel (sopra).*



Il livello sonoro nei vari punti della sala deve essere sufficientemente alto in relazione al tipo di spettacolo e non molto diverso da un punto all'altro della zona occupata dagli spettatori. Tra l'ultimo posto e la ribalta del palco sono consigliate distanze non superiori a 45-50 m per la musica e 25-30 m per la parola.

Il parametro di riferimento è l'Indice di intensità  $G$ , che può essere determinato sulla base della differenza tra il livello della pressione sonora nel punto di ascolto e il livello della potenza sonora emessa dalla sorgente.

### Il controllo del rumore di fondo

Il suono generato all'interno della sala da spettacolo non deve essere disturbato dalla presenza di rumori percettibili, sia originati all'interno della sala (impianti tecnologici e di scena) sia di provenienza esterna (traffico stradale, aereo e ferroviario), sia prodotti nell'edificio che contiene la sala ma all'esterno della medesima (presenza di persone fuori dalla sala, uso di altri locali di varia destinazione). La scelta di un involucro pesante o di un doppio involucro, con particolare attenzione alle aperture collocate su di esso, potrà isolare dai rumori esterni, mentre l'adozione di impianti di trattamento e distribuzione dell'aria a bassa rumorosità eviterà l'introduzione di disturbi acu-

stici. I parametri di riferimento, indicati sul D.P.C.M. 5/12/97, sono l'isolamento acustico standardizzato di facciata  $D_{2m,nT,w}$ , l'Indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti  $R'_w$  e, per la rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici (servizi a funzionamento continuo quali impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento), il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata  $A$ ,  $L_{Aeq}$ .

Ai criteri descritti nei punti precedenti corrispondono specifici parametri prestazionali e possibili azioni progettuali (vedi tabella a fianco).

### Punti critici dovuti a riflessioni dannose e possibili soluzioni progettuali

- *Eco*: il campo acustico che raggiunge l'ascoltatore è prodotto dalla sovrapposizione delle onde dirette e riflesse. Il contributo fornito dalle onde riflesse è particolarmente importante sia ai fini dell'intelligibilità della parola sia per un buon ascolto della musica. Condizione necessaria è però che la differenza di livello sonoro e il tempo di ritardo tra onda diretta e riflessa non superi determinati valori. In caso contrario l'ascoltatore potrebbe percepire i due segnali separatamente, dando origine a un'eco. Occorre quindi porre estrema attenzione verso quelle superfici che possono produrre riflessioni con tempi di ritardo trop-

## Ne parliamo con...

arch. Arianna Astolfi, ricercatore a contratto, gruppo FTARCH, Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino

### Come garantire condizioni di riverberazione ottimali in una sala da spettacolo?

Occorre innanzitutto individuare il tempo di riverberazione ottimale in funzione della destinazione d'uso e del volume della sala, e dunque determinare l'assorbimento acustico ottimale. Successivamente, tramite l'analisi e la scelta dei materiali di rivestimento interno, operare per garantire tali condizioni.

Il tema può essere affrontato sia in caso di interventi sull'esistente, sia nel progetto di una nuova sala. Nel primo caso è necessario fare un sopralluogo durante il quale si effettueranno misure acustiche e si eseguirà il rilievo delle superfici e degli arredi. Il rilievo consiste nella determinazione della dimensione delle

superfici e del numero e della tipologia degli arredi, e nella loro caratterizzazione acustica. Dall'elaborazione dei dati misurati si determinerà il tempo di riverberazione nella sala e dunque l'assorbimento acustico globale. Tale assorbimento dovrà coincidere con quello calcolato a partire dai dati teorici ottenuti dal rilievo in campo. Se il tempo di riverberazione risulterà non coincidente con il valore ottimale si dovrà correggere in via teorica l'assorbimento acustico globale intervenendo essenzialmente sulla tipologia di rivestimento delle superfici e degli arredi. In particolare, se risulterà troppo elevato rispetto a quello ottimale, occorrerà incrementare l'assorbimento delle superfici esistenti o inserire nuove superfici fonoassorbenti. Nel secondo caso invece occorre ipotizzare un trattamento fonoassorbente di massima e calcolare il tempo di riverberazione teorico nella sala. Se non coinciderà con il valore ottimale, si potrà intervenire sulla dimensione e sulla tipologia di rivestimento delle superfici e degli arredi, nonché sul loro posizio-

amento, effettuando successive verifiche seguendo una procedura iterativa. Per ciò che riguarda il posizionamento del materiale fonoassorbente, in linea generale la prima parete da trattare è quella di fondo, e successivamente, la porzione di soffitto e di pareti laterali in fondo alla sala che, essendo lontane dal palcoscenico, non costituiscono riflettori utili per le prime riflessioni. Una ulteriore osservazione è relativa alla presenza di pubblico nella sala. Il tempo di riverberazione infatti varia sensibilmente a seconda che la sala sia vuota o piena. Per queste ragioni è consigliabile impiegare poltrone che, quando non occupate, siano caratterizzate da un coefficiente di assorbimento acustico equivalente a quello della poltrona occupata. Si tratta di poltrone rivestite con materiale ad elevata fonoassorbente posizionato sul dorso della spalliera e/o sul fondo del sedile ribaltabile. Questa soluzione, oltre a funzionare in modo ottimale in ogni condizione di affluenza di pubblico, è apprezzata dai musicisti, che durante le prove

Criteri di valutazione	Parametri prestazionali		Dove intervenire
	parola	musica	
controllo della riverberazione	$T60 < 1s$	teatri d'opera: $1.3 \leq T60 \leq 1.8 s$ sale per musica da camera: $1.4 s \leq T60 \leq 1.7 s$ grandi sale da concerto: $1.8 s \leq T60 \leq 2.2 s$	- volume della sala - caratteristiche delle superfici
controllo delle prime riflessioni e della loro direzione di provenienza	$50\% \leq D \leq 100\%$ $C50 > 0$ $C80 \geq 3 dB$ $0 ms \leq t_s \leq 50ms$	$D < 50\%$ $-4dB \leq C80 \leq 2dB$ $50ms \leq t_s \leq 250ms$ $1.8 s \leq EDT \leq 2.6 s$ Sale da concerto $L_s > 0.25$ $LE > 0.2 \div 0.3$	- forma della sala - tipologia delle pareti laterali e del soffitto
controllo del livello sonoro	oratori, attori allenati $G \geq -25 dB$	Grande orchestra sinfonica, cantanti molto allenati $G \geq -35 dB$ piccola orchestra, cantanti allenati $G \geq -30 dB$ oratori, attori allenati $G \geq -25 dB$ strumenti deboli, oratori poco allenati $G \geq -20 dB$	- dimensione massima della sala
controllo del rumore di fondo		$D_{2m,nT,w} \geq 42 dB$ $R'_w \geq 50 dB$ $L_{Aeq} \leq 35 dB$	- collocazione dell'edificio - involucro esterno - divisori interni - impianto di climatizzazione

po elevati. L'eco rappresenta sempre un difetto inaccettabile per l'acustica di una sala. Un possibile rimedio consiste nel cercare di "movimentare" la superficie che rinvia il suono con opportuni rivestimenti sagomati o comunque di materiale fonoassorbente in modo da introdurre fenomeni di diffusione, che impediscano la concentrazione del suono. In generale i punti più critici sono la parete di fondo e le pareti riflettenti più lontane dalla sorgente (vedi soluzioni adottate in: Seiji Ozawa Hall, Arsenale di Metz, Sala per musica da camera a Berlino, Auditorium del Lingotto di Torino).

- *Onde stazionarie*: il problema può presentarsi quando si ha un ambiente parallelepipedo con superfici laterali riflettenti, l'onda sonora colpisce la parete e viene riflessa verso la parete di fronte. Se la distanza fra le due pareti è un multiplo intero di mezza lunghezza d'onda, i ventri dell'onda di ritorno vanno a coincidere con quelli dell'onda incidente; la loro ampiezza risulta amplificata e si ha un'accentuazione del suono alla frequenza che corrisponde a quella lunghezza d'onda. Ne risulta una distorsione del timbro del suono e un peggioramento dell'ascolto. In genere gli ambienti

non risentono della mancanza del pubblico. Sempre per adattare la sala a diverse condizioni di occupazione o a diversi tipi di spettacolo è possibile prevedere pannelli mobili o strutture a scomparsa diversamente rivestiti da posizionare in modo opportuno, in modo da poter caratterizzare acusticamente la sala secondo le diverse esigenze.

### Quali sono le caratteristiche principali dei software per la previsione del campo sonoro nelle sale da spettacolo?

Grazie ai programmi di calcolo automatico di previsione sonora, è possibile oggi studiare ed ottimizzare al calcolatore l'acustica dei grandi ambienti. Un software in commercio di largo impiego è, ad esempio, basato sulle approssimazioni dell'acustica geometrica e permette la simulazione di fenomeni acustici in ambienti di media e grande dimensione. L'algoritmo di calcolo utilizzato è il pyramid tracing, un metodo ibrido, nato dall'evoluzione del ray tracing, che sostituisce ai

raggi sonori uniformemente distribuiti attorno alla sorgente, tipici del ray tracing, delle piramidi i cui assi coincidono con i raggi originari. I dati di input richiesti riguardano le caratteristiche geometriche ed acustiche dell'ambiente. Le caratteristiche geometriche dell'ambiente sono introdotte attraverso l'utilizzo di un sistema CAD tridimensionale interno, e le caratteristiche acustiche sono introdotte associando ad ogni superficie un materiale ed il relativo coefficiente di assorbimento. Definito l'ambiente è necessario inserire le sorgenti interne, definendo la posizione, l'orientamento, la direzione e la potenza sonora delle stesse. E' possibile introdurre una griglia di ricevitori per ottenere una mappatura dei parametri acustici nell'ambiente.

Il software può essere utilizzato sia nel caso di interventi su ambienti esistenti sia nel caso di nuova progettazione.

Nel primo caso, dopo aver effettuato delle misure in campo, occorre realizzare il modello acustico ed ese-

guirne la taratura, che consiste nel modificare per successive approssimazioni la geometria e la caratterizzazione acustica dei materiali, al fine di ottenere al calcolatore i dati acustici rilevati in campo. Completata tale fase si potranno modificare i dati in ingresso e si otterranno, in tempi brevi, risultati attendibili relativi all'intervento effettuato. Nel caso di un nuovo progetto l'utilità del software è relativa alla possibilità di confrontare fra loro soluzioni progettuali alternative. Il progettista acustico può analizzare e comparare le diverse soluzioni e valutarne le prestazioni in modo relativo. Comunque, utilizzare un programma di calcolo specializzato non esonera il progettista acustico dall'effettuare un'attenta analisi critica del problema e dei risultati ottenuti. Occorre infatti porre molta attenzione all'approssimazione geometrica dell'ambiente, all'inserimento dei dati acustici relativi alle superfici interne e agli elementi d'arredo e alla descrizione delle sorgenti sonore.

piccoli sono più a rischio. Le soluzioni possono essere:

- rivestimento con materiali altamente fonoassorbenti per ridurre l'incremento della pressione sonora;
- sagomatura delle pareti per diffrangere l'onda sonora;
- non parallelismo delle pareti che elimina alla radice il problema;
- in fase di progetto evitare rapporti numerici semplici nella distanza fra le pareti, per evitare l'esaltazione del fenomeno nelle tre dimensioni. Il problema si può presentare anche per il pavimento e il soffitto. In questi termini il cubo è la forma geometrica meno indicata (vedi soluzioni adottate in: Glass Music Hall, Seiji Ozawa Hall, Arsenale di Metz, Auditorium del Lingotto di Torino).
- *Superfici concave*: pareti e soffitti concavi creano concentrazioni di energia impedendo un'omogenea distribuzione del suono, in fase di progetto occorre evitare pareti o soffitti fortemente concavi e riflettenti, in fase di intervento occorre rivestire tali superfici concave con materiali molto assorbenti e diffondenti, ad esempio soffitti costituiti da elementi prefabbricati in calcestruzzo con avvallamenti e scanalature e rifiniti superficialmente con fibre di legno mineralizzato spruzzate (vedi soluzioni adottate in: Seiji Ozawa Hall, Teatro di Glyndebourne).
- *Zone d'ombra*: una balconata troppo profonda sulla platea impedisce al suono riflesso di raggiungere gli ultimi posti. Il rimedio, in fase di progettazione, consiste nell'evitare gallerie molto aggettanti e nell'inclinare opportunamente il soffitto; in fase di intervento si può ricorrere a "specchi acustici" che convogliano il suono nella zona in ombra. Si tratta di pannelli di materiale compatto e molto riflettente (gesso, vetro, legno) posizionati in modo tale da riflettere il suono nelle zone volute (vedi soluzioni adottate in Teatro di Glyndebourne).

### Connubio tra le esigenze di una sala da concerti e di un teatro di posa

La sala da concerto necessita di un tempo di riverberazione maggiore rispetto al teatro di prosa (vedi tabella). Se in uno stesso ambiente sono richieste rappresentazioni musicali e teatrali occorre poter modificare opportunamente il tempo di riverberazione.

Si può agire sul volume e sulla caratterizzazione acustica delle superfici delimitanti l'ambiente, in particolare:

## Il gruppo FTARCH

Il gruppo FTARCH (Fisica Tecnica Ambientale Architettura) del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino si è costituito nella seconda metà degli anni '80, quando le attività didattiche nel campo della Fisica Tecnica svolte presso la Facoltà di Architettura di Torino hanno condotto allo sviluppo di specifiche attività di ricerca riguardanti l'ambiente costruito e le tecnologie correlate. Coordinato da Marco Filippi, attualmente il gruppo è composto da altri 3 professori (C. Aghemo, V. Corrado, M. Perino), 3 ricercatori (G. Mutani, A. Pellegrino, V. Serra) e 3 tecnici laureati (C. Azzolino, A. Bo, G. Piccablotto), coadiuvati da 2 dottorandi (V. Lo Verso, S. Pezzana) e 2 ricercatori a contratto (A. Astolfi, L. Galeazzo). Il gruppo opera nei settori dell'illuminazione, dell'acustica e della climatizzazione ed i campi di applicazione che lo vedono impegnato in questi ultimi anni sono principalmente i seguenti:

- il comfort termico, acustico, visivo e la qualità dell'aria negli ambienti interni
- le tecnologie edilizie innovative ed orientate alla sostenibilità
- la termofluidodinamica ambientale
- l'energetica edilizia
- i monitoraggi ambientali in musei, archivi, biblioteche ed edifici storico-monumentali
- la qualità dell'ambiente luminoso
- l'acustica ambientale ed edilizia.

Le ricerche del gruppo sono finanziate da enti istituzionali (Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica, Consiglio Nazionale delle Ricerche), da enti pubblici e da aziende.

- per modificare il volume, si può intervenire alzando/abbassando il soffitto;

- per modificare l'assorbimento acustico, si possono prevedere tendaggi pesanti che coprono superfici riflettenti, pannelli girevoli rivestiti di diversi materiali (riflettenti e/o assorbenti), corpi mobili sporgenti dalle pareti e/o dal soffitto che consentono di incrementare la superficie assorbente/riflettente.

Quali sono i vantaggi e gli svantaggi? La variazione del volume attraverso l'abbassamento del soffitto è efficace per ridurre il tempo di riverberazione, ma ha come svantaggio l'elevato costo di costruzione, gestione e manutenzione. Inoltre occorre tener presente che per ottenere variazioni apprezzabili occorre ridurre il volume di almeno 1/3. L'intervento sulle superfici delimitanti l'ambiente comporta minori costi nella messa in opera, facilità di regolazione e possibilità di variare la risposta acustica in funzione della frequenza; lo svantaggio è la necessità di una manutenzione specializzata. Un'alternativa per la variazione del tempo di riverberazione è mediante un impianto elettroacustico. Un'altra soluzione è quella di costruire sale "divisibili", nelle quali strutture mobili consentono di utilizzare una sola parte della sala, escludendo completamente il resto dell'ambiente, in questo caso con il volume varia anche la capienza della sala.

### Bibliografia

- [1] M. Barron, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, E&FN Spon, Londra, 1998
- [2] R. Pompili, *L'acustica delle sale da spettacolo*, in AA. VV., *Manuale di progettazione edilizia: fondamenti, strumenti, norme*. Vol. 2 - *Criteri ambientali e impianti*, Hoepli, Milano, 1994
- [3] Alton Everest F., *Manuale di acustica: concetti fondamentali - acustica degli interni*, Hoepli, Milano, 1996
- [4] Moncada Lo Giudice G., Santoboni S., *Acustica*, Masson, Milano, 1995
- [5] L. L. Beranek, *Concert and Opera Halls - How They Sound*, Acoustical Society of America, USA, 1996
- [6] C. Ianniello, *La qualità del suono nelle sale da concerto. Aspetti soggettivi e criteri oggettivi*, *Rivista Italiana di Acustica*, Vol. IX, n. 2, 1985
- [7] C. Ianniello, *Auditori e sale da concerto*, *Rivista Italiana di Acustica*, Vol. XI, n. 4, 1987

## Glass Music Hall - Amsterdam

arch. P. Zaanen

acustica: Bureau Peutz

All'interno della famosa Borsa di Amsterdam, realizzata da Hendrik Petrus Berlage tra il 1896 e il 1903, è stato inserito un volume più piccolo destinato a sala prove per l'Orchestra filarmonica nazionale olandese.

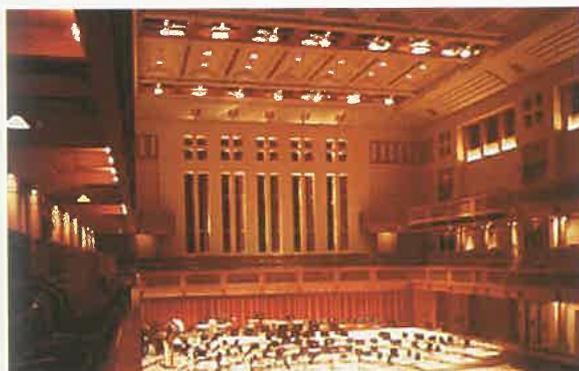
La sala prove "Sala Aga" è stata realizzata completamente in vetro utilizzando lastre di colore grigio di dimensioni 1800 x 1800 mm e con uno spessore di 8 mm. Il parallelepipedo in vetro era stato originariamente progettato con le pareti laterali parallele; in seguito, per evitare l'insorgere di onde stazionarie, una delle due pareti laterali lunghe è stata resa curva. L'acustica all'interno della sala è stata migliorata con l'impiego di pannelli triangolari fonoassorbenti di alluminio perforato, in colore naturale, riempiti con fibra di vetro.



## Seiji Ozawa Hall, Tanglewood Music Centre - Lenox

W. Rawn & associates

acustica: R. L. Kirkegaard & associates



L'auditorium è a pianta rettangolare con balconate laterali, e ha una capienza di 1180 posti.

Le gallerie, che permettono di accogliere un gran numero di spettatori, assolvono anche la funzione di riflettere il suono verso quelle zone che, per la posizione assunta all'interno della sala, non potrebbero godere di un sufficiente livello sonoro.

Per impedire che le onde sonore che si riflettono lateralmente sulle balconate si miscolino le une con le altre, i parapetti sono realizzati con dei grigliati in legno.

Il controsoffitto è stato realizzato con elementi prefabbricati in calcestruzzo che presentano avvallamenti e scalettature e sono rifiniti superficialmente con fibre di legno mineralizzato spruzzate, per uno spessore di alcuni millimetri, in modo da assorbire le alte frequenze.

Pannelli vetrati inclinati e profonde nicchie impediscono il riflettersi multiplo delle onde sonore.

Per evitare i problemi di eco, determinati dalla riflessione delle onde sonore sulle pareti longitudinali parallele, le chiusure verticali sono realizzate appositamente fuori piombo di alcuni centimetri.

## Arsenale - Metz

arch. R. Bofill & associates

acustica: Daniel Commins - Commins Acoustic Workshop - Paris

La ristrutturazione dell'edificio militare, abbandonato dal 1968, ha portato alla realizzazione di diverse sale dislocate su una superficie totale di circa 8000 m<sup>2</sup>. Nella sala principale, per tre quarti interrata a 15 m di profondità, gli spettatori prendono posto in maniera asimmetrica su gradini a forte pendenza disposti da una parte e dall'altra della scena, situata a due terzi della sala. Il soffitto è costituito da 65 cassoni a fondo variabile, realizzati con pannelli in legno di sicomoro di 4 cm di spessore, che permettono una migliore ripartizione del suono. Tale effetto è inoltre rinforzato dall'inclinazione verso la sala dei soffitti delle 16 logge laterali, situate al secondo livello, sotto il balcone.



## Sala per musica da camera - Berlino

arch. H. Scharoun & E. Wisnieski.

acustica: L. Cremer, T. Futterer

La sala si sviluppa su terrazze conformate a "vigneto" e la sua forma, non perfettamente esagonale, è stata studiata per avere un volume maggiore e più superfici di riverberazione; così, le sedie che dovevano trovarsi a livello della scena sono state rialzate e sono stati costruiti dei muretti lungo il corridoio di distribuzione intermedio e lungo i bordi delle gradonate. Inoltre superfici riflettenti posizionate di fronte agli orchestrali possono dirigere le prime riflessioni sul pubblico seduto dietro al palcoscenico.

Al soffitto sono stati appesi riflettori, diffusori e apparecchi illuminanti.

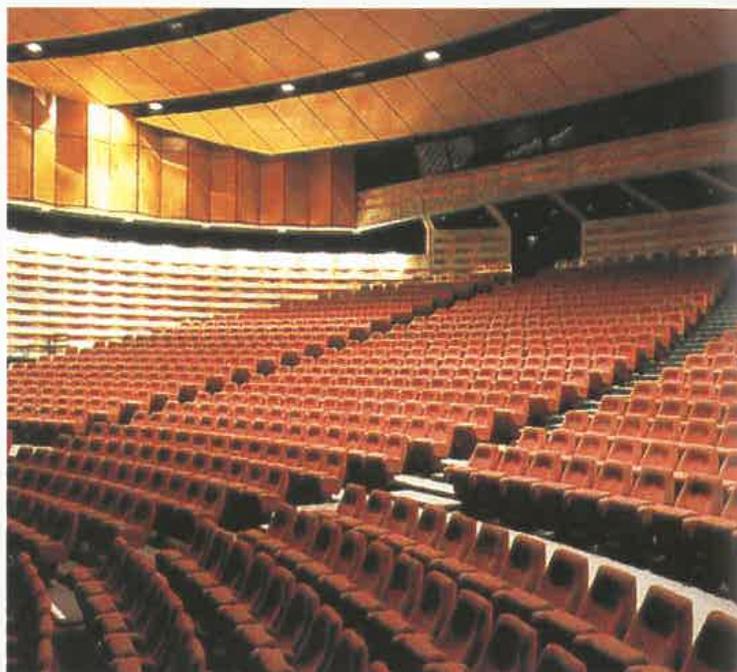


## Teatro del Centro Culturale André Malraux - Chambéry

arch. M. Botta

La sala ad anfiteatro ha una capacità di 950 posti, e le pareti curve sono caratterizzate da listelli di legno disposti a punta di diamante che permettono di distribuire meglio il suono riflesso. I listelli sono realizzati in legno perforato su lana di roccia assorbente per la parete di fondo, in legno controplaccato ignifugo riflettente per le pareti laterali.

Nella parte alta, delle pareti, sono disposti pannelli acustici orientabili.



## Teatro - Glyndebourne

arch. M. Hopkins & associates

acustica: Arup Acoustics

Il teatro ha una forma ellittica e una capienza di 1200 posti circa. Per evitare la focalizzazione di onde sonore, alle alte frequenze, dovute alla forma circolare del muro in mattoni faccia a vista, sono stati impiegati pannelli in legno convessi e fessurati per incrementare la superficie assorbente. Anche il retro della seduta delle poltrone è fessurato per aver un buon assorbimento acustico nella posizione di non utilizzo.

Il rumore di fondo generato all'interno dell'auditorium è stato tenuto sotto controllo con un'attenta progettazione dell'impianto di ventilazione e climatizzazione: immissione dell'aria dal basso, dai piedistalli delle poltrone e ripresa dall'alto. L'edificio è disturbato dal rumore degli aerei in direzione dell'aeroporto di Gatwick, e per tale ragione la muratura portante, che chiude in forma ellittica l'auditorium, la scena e il retroscena, è un doppio muro costituito da due strati di mattoni di 22 cm separati da un'intercapedine. I parapetti delle gallerie laterali hanno un andamento curvilineo, che in parte si oppone a quello concavo delle pareti, per "rinforzare" le riflessioni verso la platea.

