



Claudio Bonechi (clavicordo)

ACUSTICA DELL'ASCOLTO MUSICALE - 2A PARTE

9 January 2012

Premessa

Riprendiamo questa breve rassegna sulle componenti ambientali dell'ascolto musicale, dando un'occhiata ad altri aspetti dell'acustica che ne influenzano direttamente la qualità.

Tempo di riverberazione

Le riflessioni che si susseguono prolungano il suono per un certo tempo dopo che la sorgente ha cessato di emetterlo, durante il quale l'energia diminuisce rapidamente. Questa durata temporale è chiamata **tempo di riverberazione (RT_{60})**, definito come il tempo necessario per un suono a diminuire in intensità di **60 dB** dall'istante della cessazione; dipende dal volume dell'ambiente e dalla sua capacità di assorbimento. Ad esempio in una sala o in un teatro l'assorbimento è maggiore con il pubblico presente rispetto alla sala vuota. Il tempo di riverberazione è uno dei parametri che si usano per valutare la **qualità acustica** di un ambiente e il suo valore ottimo è legato al tipo di ascolto a cui l'ambiente è destinato; se si tratta di una sala di conferenze, RT_{60} deve essere più basso di quello di una sala da concerto. Per esempio la grande sala Royal Albert Hall di Londra, il cui volume è poco meno di 100.000 metri cubi (3,5 milioni di piedi cubi), ha RT_{60} di 2,6 secondi (sala vuota).

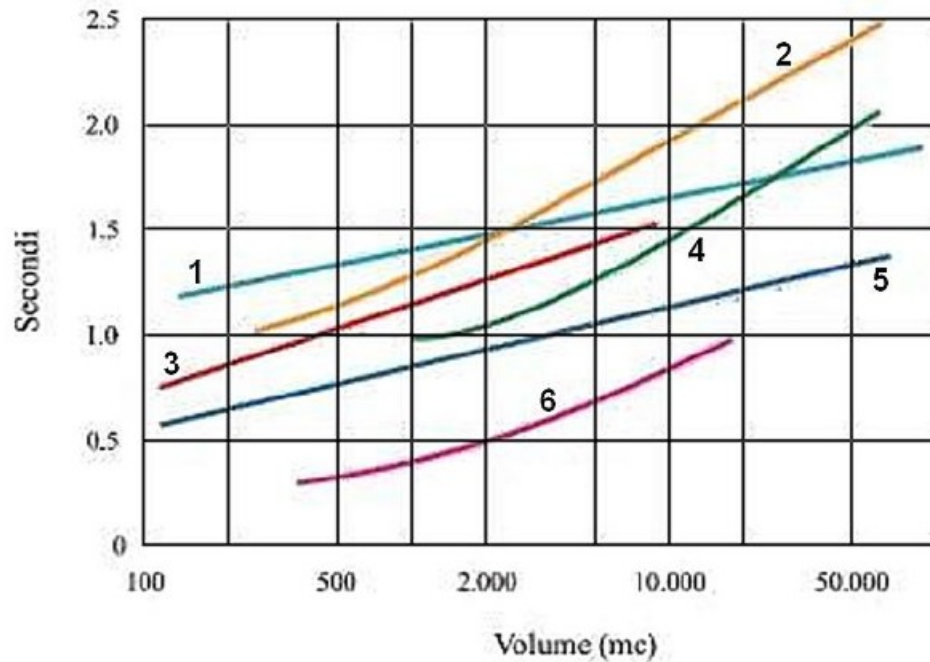
Il problema si pone anche nella sala di regia di uno studio di registrazione, in cui si vogliono ascoltare sia i suoni mentre gli esecutori li producono (RT_{60} basso) sia il risultato del missaggio, che dovrebbe rispecchiare l'ascolto casalingo (RT_{60} medio). Due esigenze contrastanti, che vengono risolte in vari modi, il più semplice dei quali è di avere due sale di ascolto separate.

Il tempo RT_{60} dipende sostanzialmente dai seguenti fattori:

- volume dell'ambiente
- coefficiente di assorbimento di tutte le superfici presenti nell'ambiente (arredamento e persone compresi)

- frequenza.

Secondo il tipo di segnale acustico sono stati individuati RT_{60} considerati ottimali:



1. sala da concerto
2. chiesa
3. ambiente scolastico (DM 18/12/1975)
4. teatro
5. sala polifunzionale
6. studio televisivo

Il sito www.inquinamentoacustico.it contiene alcuni dettagli su RT_{60} (chiamato lì solo T_{60}) che riporto di seguito:

“In un ambiente avente dimensioni abbastanza prossime fra loro il valore di T_{60} è calcolabile secondo la formula di Sabine.

$$T = 0,161 \frac{V}{A} \text{ s}$$

dove V è il volume dell'ambiente in m^3 e A è l'area equivalente di assorbimento totale in m^2 .

Il valore di A è ricavato con la seguente relazione:

$$A = \sum \alpha_i S_i \text{ m}^2$$

dove α_i è il coefficiente di assorbimento i-esimo e S_i è la superficie i-esima degli elementi presenti nell'ambiente.

La determinazione del tempo di riverberazione di un ambiente è pertanto fondamentale per poter giudicare le sue caratteristiche acustiche e decidere se intervenire sulle strutture che la delimitano aumentandone le capacità di fonoassorbimento.

Si dovrà intervenire, infatti, se il valore del tempo di riverberazione $T60$ non sia almeno pari al valore ottimale, ricavato sulla scorta di tabelle o diagrammi forniti in letteratura o da norme di settore. Per quanto riguarda gli ambienti scolastici la normativa di riferimento fa capo al D.M. 18 settembre 1975 recante "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nelle opere di edilizia scolastica", il quale indica i valori ottimali del tempo di riverberazione sia in funzione del volume dell'aula, sia in funzione delle frequenze. [...] La presenza di persone all'interno dell'ambiente influenza il valore del tempo di riverberazione, poiché determina un aumento dell'assorbimento acustico. È questo il caso dei cinema, auditori e teatri, ossia luoghi in cui l'affluenza di persone è numerosa. In questi casi, la situazione ottimale dovrà essere verificata con una capienza del locale pari a 3/4 di quella totale. Mentre, se l'ambiente è esistente, si potrà eseguire la verifica sperimentale con la sala vuota o, quantomeno, con la presenza di poche persone. Il calcolo dell'assorbimento acustico, in questo caso, può essere compiuto attribuendo ad ogni persona un'area di assorbimento equivalente (A), pari a:

Valori di assorbimento per persona

Frequenza (Hz) Area di assorbimento equivalente (m^2)

125	2,5
250	2,5
500	2,9
1.000	5,0
2.000	5,2
4.000	5,0

Nel caso, invece, l'intera superficie sia totalmente occupata dal pubblico il coefficiente di assorbimento acustico è il seguente:

Superficie totalmente occupata dal pubblico

Frequenza (Hz) Coefficiente di assorbimento equivalente (α)

125	0,39
250	0,57

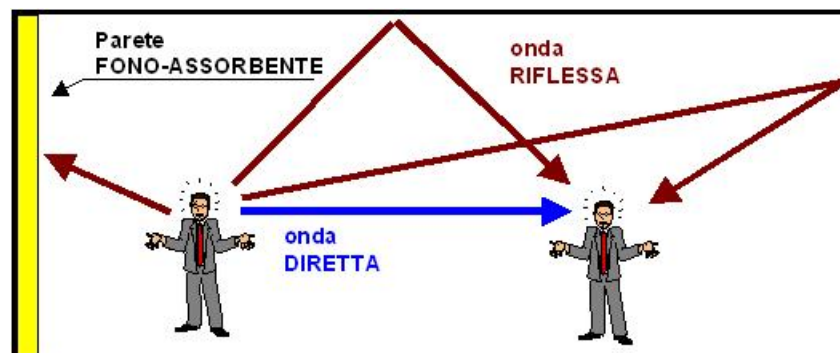
500	0,80
1.000	0,94
2.000	0,82
4.000	0,97

Il fenomeno della riverberazione presenta, tuttavia, aspetti positivi e negativi. Infatti, se un certo valore del tempo di riverberazione aiuta a rinforzare il suono diretto e quindi a migliorarne l'ascolto, per contro, un valore eccessivo della coda sonora ne compromette la qualità, rendendo il suono impastato. Ottenere valori ottimali del tempo di riverberazione rappresenta il giusto compromesso tra il raggiungimento di un livello sonoro sufficiente per un'audizione senza sforzo, in tutti i punti dell'ambiente, e la riduzione del disturbo provocato da un eccesso di riverberazione. In generale, per ambienti destinati all'ascolto della parola i valori ideali di T_{60} sono più brevi rispetto a quelli per le sale destinate all'ascolto della musica, in quanto la diffusione musicale richiede una maggiore enfattizzazione dell'effetto spaziale. Inoltre, è necessario considerare che ad un incremento del volume dell'ambiente corrisponde un aumento del tempo di riverberazione ottimale. In questo caso, è necessario compromettere lievemente l'ascolto a favore di un più elevato valore del livello sonoro."

Il sito www.isolamento.eu contiene interessanti considerazioni. Ne riporto alcune di seguito.

"SOLUZIONI PER LA RIDUZIONE DEL TEMPO DI RIVERBERO"

"In un ambiente chiuso, il suono in un certo punto è dato dalla sovrapposizione del suono diretto (onde sonore che arrivano direttamente all'orecchio di chi ascolta) e dal suono riflesso (onde sonore che prima di arrivare all'orecchio di chi ascolta rimbalzano una o più volte sulle pareti), come schematizzato nel disegno seguente:



Per migliorare il comfort acustico di un ambiente riducendo l'effetto eco/rimbombo, occorre ridurre le riflessioni e quindi ridurre il tempo di riverbero introducendo elementi fono-assorbenti ("strato giallo" in figura). La riduzione dell'effetto eco /

rimbombo (e quindi del tempo di riverbero) è proporzionale alla superficie fono-assorbente introdotta ed al coefficiente di assorbimento del materiale: maggiore è la superficie fono-assorbente, maggiore è la riduzione del tempo di riverbero. Tenendo conto che:

- l'arredamento funge da elemento fono-assorbente
- un arredamento ricco di divani, poltrone, tappeti e tendaggi è più "fono-assorbente" di un arredamento minimalista
- un ambiente con persone è più fono-assorbente dello stesso ambiente senza persone (le persone sono elementi "fono-assorbenti")

Le soluzioni più utilizzate per ridurre il tempo di riverbero sono:

- Pannelli fono-assorbenti da applicare "a vista" a soffitto
- Pannelli fono-assorbenti da applicare "a vista" alle pareti
- Colonne acustiche (per un rendimento ottimale della colonna acustica, questa deve essere dimensionata scegliendo altezza e diametro opportuni, in funzione della frequenza che deve maggiormente assorbire) La colonna acustica è conosciuta anche con il termine "tube trap"
- Complementi di arredo fono-assorbenti
- Elementi da appendere al soffitto (BAFFLES)
- Altri elementi "a vista" da applicare negli spigoli fra pareti e fra pareti e soffitto

NOTA BENE: Si ricorda che con il termine FONO-ASSORBENTE si intende "qualche cosa" che assorbe le onde sonore (e cioè che non le riflette) mentre con il termine FONO-IMPEDENTE o FONO-ISOLANTE si intende "qualche cosa" che non lascia passare le onde sonore."

Interferenza

Quando si sommano due onde della stessa ampiezza e della stessa frequenza, l'ampiezza dell'onda risultante può variare tra il doppio dell'ampiezza singola e zero. Il risultato dipende dallo sfasamento reciproco tra le due onde. Questo fenomeno si chiama interferenza. Poiché lo sfasamento è strettamente legato al tempo di propagazione, una differenza nel cammino di propagazione delle due onde si traduce immediatamente in uno sfasamento reciproco e quindi in interferenza, che passa con continuità da interferenza costruttiva (doppio dell'ampiezza singola) a interferenza distruttiva (zero).

Un caso molto noto è quello dell'altoparlante: la membrana emette due onde in opposizione di fase, che tendono quindi a cancellarsi, soprattutto alle basse frequenze, in cui la lunghezza d'onda è molto maggiore delle dimensioni della membrana. Il rimedio drastico consiste nell'"eliminare" l'onda posteriore,

circondando l'altoparlante con un contenitore; operazione non facile, perché alle basse frequenze l'assorbimento ottenibile è basso.

Un altro rimedio è il bass-reflex, in cui l'onda posteriore viene sommata a quella anteriore utilizzando lo sfasamento causato dalla riflessione sulla parete posteriore.

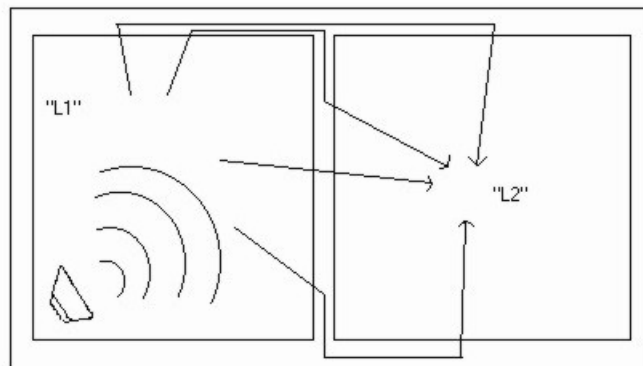
All'interno di un ambiente in cui si hanno sempre cammini multipli, l'interferenza è inevitabile. Essa è quindi responsabile di rinforzi o attenuazioni a varie frequenze e il suo controllo può essere particolarmente difficoltoso. Si cerca di farlo intervenendo con l'assorbimento selettivo (risonanza di Helmholtz) e con altri metodi, applicabili caso per caso.

Isolamento acustico bidirezionale

Un ambiente di ascolto musicale necessita di essere isolato acusticamente nelle due direzioni, da e verso l'esterno.

Rumori e suoni esterni non devono "entrare" nell'ambiente di ascolto, così come non devono "uscire"; il che significa che devono essere attenuati di quel tanto che renda "silenzioso" l'ambiente stesso o che non provochi inquinamento acustico verso l'esterno. Ci saranno casi in cui la direzione "verso l'esterno" sarà più rilevante dell'altra, come nel caso di una discoteca o di una fabbrica rumorosa. Nel presente contesto, privilegiamo la sala d'ascolto, quindi la direzione "verso l'interno".

Di quanti dB deve essere l'attenuazione? Dipende da quanto è rumoroso l'ambiente esterno e da cosa si deve intendere per "silenzioso". Per gli edifici in generale esistono delle norme nazionali, la più recente delle quali è il D.P.C.M. del 5 dicembre 1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici *pubblicato sulla G.U. n°297 del 22-12-97. Le norme prendono in considerazione anche il tempo di riverberazione, per tener conto dell'energia residua conseguente alle riflessioni.* Un modello di riferimento usato per la misura di isolamento è quello riportato in figura:



dove L1 e L2 sono i livelli sonori indicati (misurati in dB).

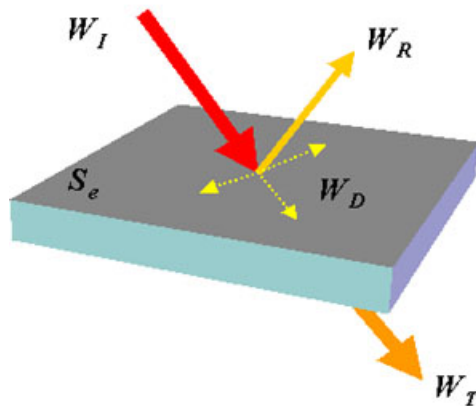
Il “potere fonoisolante” è definito inizialmente come

$$R = 10 \log \frac{1}{t}$$

in cui t è il coefficiente di trasmissione, ossia il rapporto tra la potenza W_T trasmessa attraverso una *partizione di separazione* e la potenza W_I incidente su una superficie di separazione S_e .

$$t = \frac{W_T}{W_I}$$

Come si è già detto, una parte della potenza viene riflessa (W_R) e una parte (W_D) viene dissipata all'interno della partizione.



Partizione di separazione e bilancio delle potenze acustiche

La stessa considerazione vale nella direzione opposta, dall'interno dell'ambiente di ascolto verso l'esterno. Il discorso sull'isolamento acustico è assai complesso e prevede varie tecniche e vari materiali per essere realizzato; in genere comporta anche costi alti, specie se occorre intervenire su una struttura preesistente.

I principi realizzativi comunque si basano su due approcci:

- “fermare” l'energia sonora, ossia ridurre la trasmissione attraverso pareti/soffitti/pavimenti/porte ... Ciò si ottiene soprattutto attraverso l'impiego di strutture pesanti. La differenza di impedenza acustica tra l'aria e la partizione di separazione provoca l'aumento di energia riflessa, che quindi non transita attraverso la partizione
- dissipare (in calore) l'energia sonora che riesce a superare la superficie di separazione, utilizzando materiali assorbenti

I suddetti approcci sono complementari e caso per caso occorre valutare la proporzione di impiego. In particolare l'assorbimento non può essere evitato, perché troppa energia riflessa all'interno potrebbe disturbare l'ascolto.

Inquinamento acustico

Dobbiamo constatare che, almeno in Italia, l'acustica viene assai trascurata in architettura. Una negligenza piuttosto grave, se si pensa al ruolo di rilievo che la presenza, il tipo e la quantità di suono/rumore svolgono nella percezione complessiva dell'ambiente: i due aspetti di piacere e di disturbo acustico influiscono in modo rilevante nella qualità della vita e meritano un'attenzione molto maggiore di quella attualmente praticata da noi.



Il piacere acustico, oltre che dalla musica, trae origine anche dalla distribuzione dei suoni/rumori dell'ambiente naturale, quali il canto degli uccellini, lo scorrere di un ruscello, lo stormire delle fronde e molti altri; anche le voci delle persone che ci sono care o simpatiche sono fonte di piacevolezza ... Per contro il disturbo nasce sia dal tipo sia dal livello energetico del fenomeno acustico: se il livello (volume) sale troppo può raggiungere la cosiddetta "soglia del dolore" e addirittura danneggiare l'orecchio, talvolta in modo irreversibile. Ma senza arrivare a questo, un elevato volume può creare un disagio dovuto a eccesso di stimoli acustici, variabile a seconda della costituzione timbrica, durata e distribuzione nel tempo.



Sembra ovvio pensare che l'architettura debba includere l'acustica ambientale nei propri progetti; invece da noi non lo fa quasi mai, e nessuno pare darvi alcun peso. Quante volte capita di trovarsi in ambienti pubblici (bar, mense, stazioni) che "rimbombano" e, pena l'incomprensibilità, non permettono di parlare a bassa voce? Le persone cominciano a emettere suoni sempre più forti aumentando il livello complessivo e dando vita a un processo degenerativo che si stabilizza solo quando si raggiunge la soglia dell'urlo. Là dove, poi, gli ambienti pubblici sarebbero di per sé piuttosto silenziosi, i loro gestori immediatamente si ingegnano di riempirli di "musica di sottofondo", per lo più di cattiva qualità, in modo da provocare di nuovo quel tanto di inquinamento acustico senza il quale sembra oggi di non poter vivere: si tenta forse di riempire così un vuoto mentale o affettivo, che altrimenti genererebbe troppa angoscia?



Una soluzione efficace e di una certa piacevolezza architettonica l'ho vista realizzata nel ristorante della Stazione ferroviaria di Stoccarda, in Germania, negli anni '70; forse adesso non c'è più, non so. Consisteva nel separare i tavoli con tende "scacciamosche", costituite da tanti fili metallici appesi al soffitto, accostati a formare un piano; in realtà i fili erano delle catenelle. Queste "tende", che lasciavano intravedere le persone ai tavoli, si comportavano come efficaci schermi acustici a banda piuttosto larga. Infatti, se ci si pensa, la velocità di propagazione del suono lungo la catenella varia da un massimo per i punti vicino al soffitto a un minimo per i punti all'estremità opposta. Questo perché un punto più vicino al soffitto è sottoposto a una tensione maggiore di uno più lontano, in quanto sopporta un

maggior peso: di conseguenza la sua frequenza di risonanza è maggiore. L'insieme delle catenelle risuona quindi in una banda piuttosto larga e assorbe, per attrito, una parte dell'energia sonora incidente.

Il concetto di inquinamento ambientale dovuto ad agenti chimici ha preso piede nella civiltà solo negli ultimi venti anni e ormai sembra far parte del comune modo di sentire. Quello di inquinamento acustico invece comincia solo adesso a farsi strada nella società, sebbene con molta fatica: le leggi italiane che ne stabiliscono i limiti risalgono solo a un decennio fa e sono ancora poco e male applicate.

Pare quindi che la nostra società non attribuisca alcun valore al disturbo acustico; nonostante si conoscano da tempo i danni notevoli sulle persone prodotti dall'impiego a sproposito dell'energia, compresa quella acustica, l'unico effetto uditivo considerato deleterio è la protesta da parte di alcuni "isterici". Il non prendere nemmeno in considerazione la protezione contro suoni e rumori indesiderati non è sempre riconducibile a motivi economici: intervenire nella fase iniziale di un progetto edile per garantire la corretta propagazione acustica ha costi molto contenuti o addirittura trascurabili. Si tratta piuttosto di una carenza culturale, direi, che si traduce in un'insensibilità diffusa, come quella dei vicini che si comportano come fossero "lontani" ...

Qualità del suono negli ambienti d'ascolto

Il tema dell'acustica ambientale e architettonica è molto vasto, soprattutto per la parte riferibile alla musica. Finché si tratta di limitare gli effetti di disturbo da parte di suoni/rumori indesiderati, i rimedi, benché poco applicati, sono relativamente semplici e le tecniche generalmente ben conosciute. Quando invece si vuole intervenire creativamente sulle caratteristiche acustiche di uno spazio per migliorarne la fruizione, le cose si complicano sensibilmente. Gli ambienti, sia quelli chiusi come stanze, sale da concerto, teatri o quelli aperti come strade, piazze, parchi, danno sempre il loro contributo all'esecuzione o alla registrazione/riproduzione musicale e il musicista sa che deve tenerne conto. Chi è addetto alla costruzione o alla sistemazione del luogo in cui si fa musica ha un compito estremamente difficile; sebbene oggi l'industria metta a disposizione materiali, aiuti informatici e soluzioni fino a poco tempo fa non disponibili, riuscire a realizzare una "buona acustica" è una sfida che non tutti sono in grado di raccogliere, men che meno di vincere.

Bisogna tenere presente che in generale la musica viene ascoltata in ambienti chiusi (indoor). Gli ambienti aperti pongono altri problemi: senza amplificazione elettronica, è necessaria la presenza di pareti riflettenti. Piccole piazze, porticati, palazzi con frontali leggermente convessi o con rientranze, giardini con colline a ridosso o pannelli montati dietro gli strumenti e il pubblico, tutto questo favorisce la

qualità dell'ascolto musicale, sia perché le riflessioni aumentano la potenza ricevuta sia perché possono contribuire alla regolarità della risposta in frequenza di tutto l'ambiente.

Il diffondersi dei concerti rock e pop ha indotto a sviluppare soluzioni di amplificazione adatte a compensare le carenze dell'ambiente, necessariamente molto ampio, soluzioni che traggono vantaggio (in termini di costo) anche della minore qualità di ascolto richiesta da quei generi musicali rispetto alla musica classica. Un'amplificazione adatta all'orchestra classica, ad esempio per l'esecuzione di opere liriche all'aperto, è assai difficile e può essere realizzata solo da aziende specializzate nel campo. Questa amplificazione viene applicata da qualche tempo in forma "lieve" (non rilevabile da chi non lo sa) anche in alcuni teatri, dove prima non appariva necessaria. Forse ciò è dovuto al fatto che la soglia di "ascolto comodo" in un mondo sempre più acusticamente inquinato, si è ormai elevata.

Tra i vari ambienti di ascolto possibili, prenderò brevemente in esame soltanto le sale da concerto, in cui i principi fisici dell'acustica vengono applicati estesamente.

Un discorso a parte meriterebbero le sale d'ascolto casalinghe, in cui viene sistemato l'hifi e dove gli audiofili si possono sbizzarrire con casse acustiche, pannelli, tube-trap e vari elementi con cui raggiungere l'obiettivo della qualità di suono riprodotto desiderato. Magari tornerò in seguito su questo tema.

Sale da concerto

Chi va ad ascoltare musica classica suonata dal vivo si trova prima o poi a valutare la qualità del suono che arriva nel proprio punto di ascolto, o, come si dice comunemente, l'acustica dell'ambiente. Naturalmente la valutazione è soggettiva, però esiste in questa valutazione un certo margine di oggettività. Un suono troppo "secco" o troppo "riverberato" (fino a diventare confuso) viene considerato un cattivo suono, nel senso che produce un ascolto faticoso per la percezione, quindi non gradevole. Vari studiosi, tra cui spicca Leo Beranek, hanno affrontato il problema della definizione del "bel suono"; si è giunti a individuare i fattori che caratterizzano, anche con aspetti quantitativi, la qualità di ascolto di una sala da concerto. Secondo quanto riporta Marshall Long nell'articolo "What is so special about shoebox halls? envelopment, envelopment, envelopment" (2009), I fattori principali sono:

- la capacità del suono di avvolgere l'ascoltatore (listener envelopment), in particolare dopo 80 millisecondi dall'arrivo del suono diretto;
- il carattere riverberante, quantificato nel tempo di riverberazione RT_{60} ;
- la diffusione del suono nell'ambiente;
- la costanza nella distribuzione dell'intensità nell'area di ascolto, misurata tenendo fissa la sorgente;

- la chiarezza del suono, ossia l'influenza delle prime riflessioni dopo l'arrivo del suono diretto;
- il "calore", legato soprattutto alla presenza delle basse frequenze;

A questi fattori si aggiungono la capacità di localizzare gli strumenti e, se pur meno rilevanti, la comodità della seduta, il basso livello del rumore di fondo, la facilità nel vedere gli esecutori, l'eleganza dell'ambiente.

Avendo raccolto molti pareri di critici e musicisti è stata anche fatta una classifica delle cinque sale migliori del mondo, che risultano essere Grosser Musikvereinssaal (Vienna), Symphony Hall (Boston), Teatro Colon (Buenos Aires), Konzerthaus (Berlin), Concertgebouw (Amsterdam). Esse sono state costruite tra la fine dell'800 e l'inizio del '900. La caratteristica saliente che queste sale hanno in comune è la loro forma di prisma rettangolare, detta anche shoebox ("scatola da scarpe"). Altre caratteristiche sono la larghezza piuttosto contenuta (sui 20 - 25 metri), il pavimento leggermente degradante, l'elevazione del palco dell'orchestra, spesso più alto del livello dell'ultima fila di poltrone.

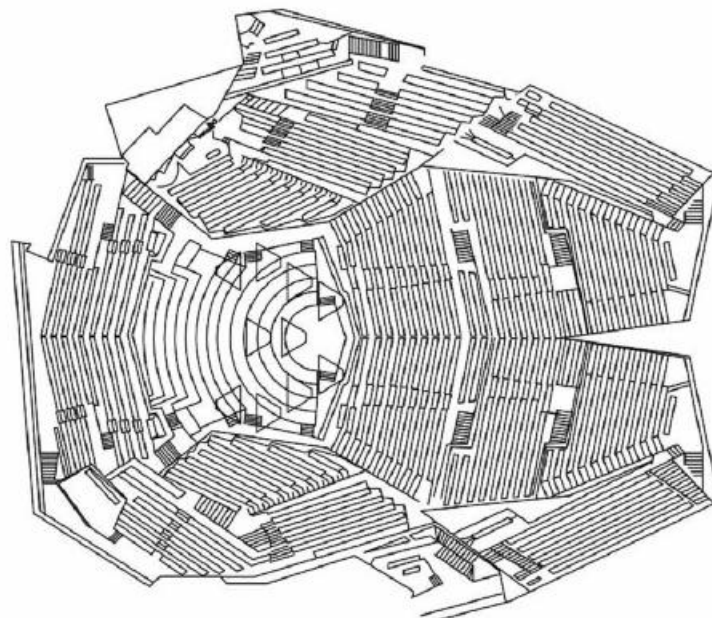
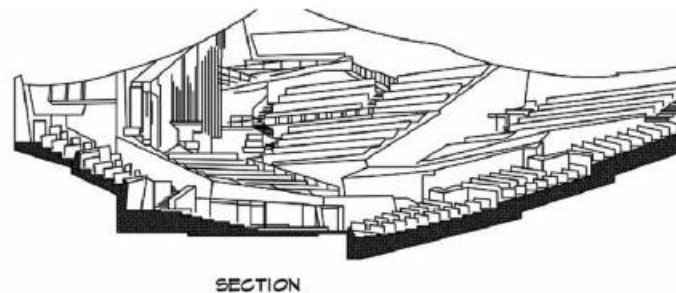
Il suono avvolgente nasce dalle riflessioni multiple su un piano posto sopra la testa dell'uditorio, rese possibili dalla vicinanza delle pareti parallele laterali e dall'elevazione del palco orchestrale; in questo modo durano più a lungo perché non vengono assorbite dall'uditorio. Come dicevo più sopra, le pareti non lisce favoriscono la dispersione e quindi la diffusione delle onde sonore. Le sale migliori hanno un numero di posti non superiore a 2400, preferibilmente anche minore. Fa eccezione la Symphony Hall con 2625. La sala Santa Cecilia dell'Auditorium parco della Musica di Roma ha 2750 posti (pare che sia la più grande al mondo) ma soffre ancora di qualche inconveniente acustico, nonostante i continui aggiustamenti.

L'altezza del soffitto delle migliori sale è maggiore di 15 metri. Ad esempio il teatro Colon è alto circa 25 metri. I soffitti sono anche molto diffusivi, ossia disperdono il suono in tutte le direzioni.

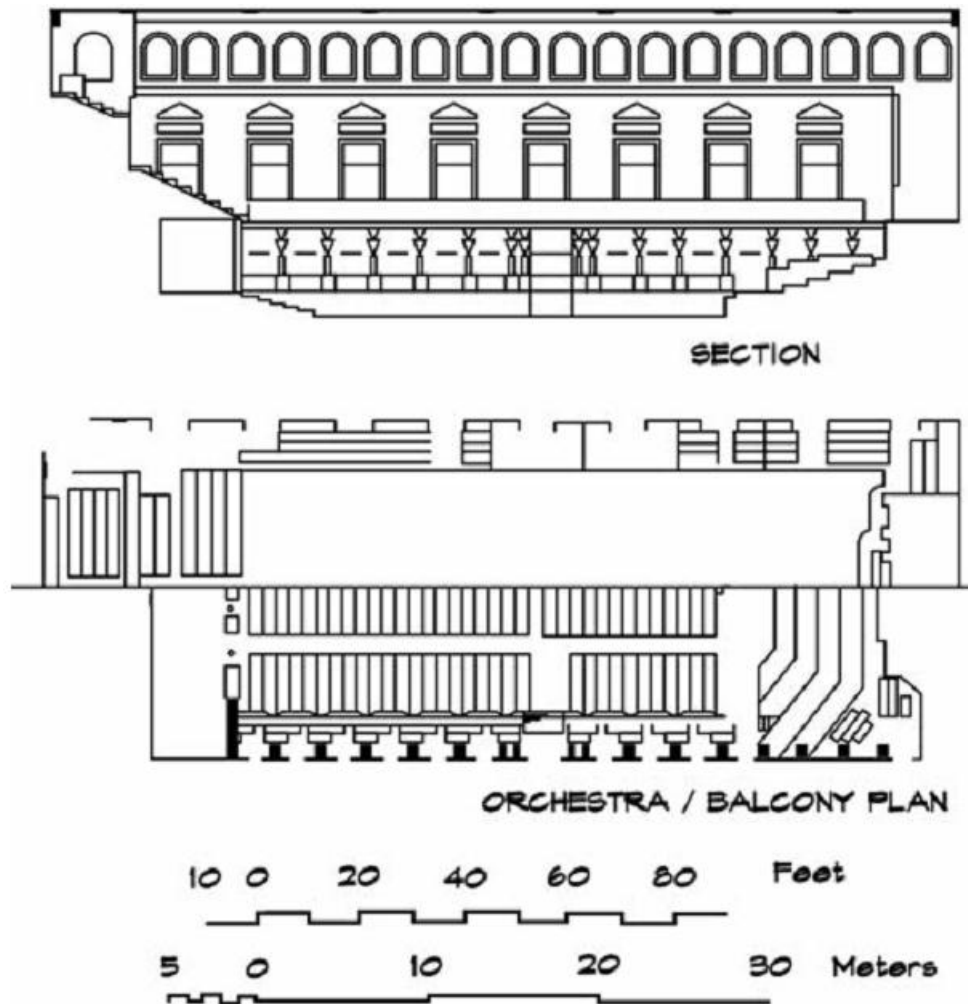
Un'ulteriore importante caratteristica è la possibilità dell'orchestra di sentire se stessa, cosa che la forma rettangolare favorisce, proprio per le riflessioni indotte nelle vicinanze dell'orchestra. Per un esecutore, il problema dell'ascolto di se stesso si pone sempre, ma soprattutto quando è presente un'amplificazione (elettroacustica); questo avviene soprattutto nei concerti rock/pop, dove il rumore di fondo è più alto e il suono amplificato è indirizzato verso la parte anteriore; strumenti come la chitarra elettrica e il basso elettrico emettono, senza amplificazione, un suono di intensità molto bassa e senza un'amplificazione ausiliaria, con altoparlanti rivolti verso se stessi, gli esecutori non sentirebbero ciò che suonano, né li sentirebbero gli altri componenti del gruppo. Nel caso dell'orchestra classica il problema è maggiore se l'orchestra è grande. L'ultimo violino di fila può essere distante vari metri dall'ultimo violoncello di fila, e può essere "coperto" a tratti da

una tromba o un corno che suona dietro di lui. La presenza del direttore d'orchestra, solo visiva, svolge una funzione anche per questo aspetto e può "rimediare" almeno in parte a un'eventuale carenza nel sentire poco altri strumentisti dell'orchestra. In sale rettangolari l'orchestra è posta a un'estremità corta della sala e beneficia delle forti riflessioni delle superfici vicine. Inoltre anche la radiazione, confinata su un angolo di 90° , aumenta di circa 6 dB rispetto a quella che si avrebbe con l'orchestra posta al centro della sala, dove l'angolo di radiazione sarebbe di 360° .

Un'altra forma utilizzata è quella di tipo "anfiteatro avvolgente" ("surround hall"), in cui il pubblico si trova anche ai lati e dietro l'orchestra. Questa forma, efficace dal punto di vista della godibilità visiva e dei tempi di riverberazione, non si rivela altrettanto capace di uguagliare i risultati della forma rettangolare come avvolgimento sonoro e potenza acustica ricevuta, e specialmente nel minimizzare le differenze di ascolto tra i vari posti del pubblico. Ciò si manifesta di più nel caso di strumenti musicali più direzionali, quali il corno francese, la tromba e il pianoforte (con coperchio aperto e inclinato verso il pubblico).



Disegno della Berlin Philharmonic Hall



Disegno della Musikvereinsaal di Vienna

Nelle sale di forma *shoebox* le riflessioni delle pareti “lunghe” non generano forti differenze di cammino acustico (e quindi di tempi di arrivo) e di intensità tra un orecchio e l’altro, proprio perché sono piuttosto strette, mentre il problema si pone per le forme ad anfiteatro avvolgente, in cui è spesso necessario disporre pannelli riflettenti, specialmente pendenti dal soffitto.

Conclusioni

La qualità del suono dipende non solo dalle caratteristiche della sorgente (radiatore acustico) ma anche dell’ambiente in cui il suono viene emesso, perché prima di giungere all’orecchio dell’ascoltatore, le onde sonore, che si propagano in senso longitudinale, subiscono alcuni fenomeni energetici, normalmente di tipo lineare. I principali sono:

- riflessione

- assorbimento
- diffrazione

Le conseguenze dei suddetti fenomeni sono varie, visto che la loro entità varia sempre con la frequenza. Alla fine tutti contribuiscono a cambiare la composizione della forma d'onda che giunge alle orecchie (non dimentichiamo che sono due) dell'ascoltatore.

Anche il sistema uditivo, naturalmente, contribuisce alla qualità della percezione sonora; mentre la variabilità delle caratteristiche fisiche delle persone è piuttosto ampia, quelle dei loro sistemi sensoriali è piuttosto bassa. Anche se la risposta in frequenza varia da persona a persona, la valutazione della qualità sonora (per un orecchio abbastanza esercitato) trova sostanzialmente d'accordo la maggior parte degli esseri umani. A me ha sempre sorpreso la precisione nel riconoscere l'intonazione: infatti la JND (Just Noticeable Difference) ossia la minima differenza distinguibile in frequenza è compresa tra 0,5% e 0,6% tra 800 e 5.000 Hz. Ma la frequenza degli impulsi neuronali è dell'ordine del millisecondo! Secondo quanto ho saputo dagli amici fisici acustici, come il sistema percettivo riesca a raggiungere tale precisione è tuttora oggetto di ricerca. La percezione acustica è comunque un capitolo a sé e spero di darne qualche descrizione un giorno o l'altro.

Riflessione. Nel contesto dell'acustica degli ambienti chiusi è il fenomeno più importante. Una parte delle onde sonore viene riflessa dalle superfici che incontra nel suo propagarsi e, ritardata dal maggiore cammino che compie, va a sommarsi alla parte che non incontra ostacoli. Ciò produce interferenza tra le due parti, che si traduce o in rinforzo o in attenuazione. In pratica, poiché le superfici non sono ideali e le riflessioni sono molteplici, si assiste a un generale rinforzo del suono, cosa che normalmente costituisce un vantaggio. Un'altra conseguenza, questa però negativa, è il formarsi di onde stazionarie (risonanze). Il fenomeno dà più problemi negli ambienti piccoli, come quelli casalinghi, mentre in quelli grandi, poiché il numero delle frequenze di risonanza aumenta, è meno dannoso in quanto più distribuito nello spettro udibile.

Assorbimento. Questo fenomeno viene utilizzato per attenuare le riflessioni, tramite l'impiego di particolari materiali. Consiste nella dissipazione dell'energia acustica in calore. E' funzione della frequenza. Un assorbimento eccessivo provoca un suono troppo "secco" e quindi poco gradevole per l'ascoltatore, oltre che problematico per l'esecutore. La presenza del pubblico varia in modo rilevante l'assorbimento e quindi anche la qualità sonora.

Diffrazione. Si manifesta per lunghezze d'onda superiori o simili alle dimensioni degli ostacoli incontrati nella propagazione. Contribuisce alla propagazione nell'aggirare gli ostacoli e, insieme alla riflessione, alla diffusione del suono in tutte le direzioni. La diffusione è utile anche per contrastare l'interferenza distruttiva a

certe frequenze, dato che i ritardi assumono una molteplicità di valori, distribuendo l'energia nel tempo e limitando così la probabilità di occorrenza di sfasamenti multipli di 180° (e dintorni, con continuità).

Non so se sono riuscito a dare un'idea degli elementi che contribuiscono alla qualità dell'ascolto. Spero comunque che sia emersa almeno la complessità dell'argomento e delle realizzazioni connesse, che costituiscono spesso una sfida non da poco per gli specialisti di questo campo, un campo considerato a torto "lussuoso". Il confort acustico infatti non dovrebbe essere considerato un lusso ma un elemento necessario alla qualità della vita.

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Clavicordo:acustica-dell-ascolto-musicale-2a-parte>"