

Gli attributi del suono

di Mario Bon

www.mariobon.com

17 aprile 2015

Parole chiave: altoparlanti, attributi del suono, misure, Alta Fedeltà

1.1 Premessa

La premessa è tratta da un articolo di C. Bordone Sacerdote e G. G. Sacerdote pubblicato nel 1976:

da "Altoparlanti e normalizzazione" di C. Bordone Sacerdote – G. G. Sacerdote
Istituto Nazionale Galileo Ferrarsi – c.so Massimo D’Azeglio, 42 – 10135 Torino
VOL. LXIII – N, 10 – Ottobre 1976 (pag 840)

Un problema fondamentale in elettroacustica è la valutazione della qualità e delle prestazioni di un altoparlante (o diffusore acustico): finora non si può dire che da misure puramente fisiche si abbiano elementi sufficienti per poter esprimere un giudizio esauriente.

Si seguono in genere metodi tradizionali di misura di alcune caratteristiche, i quali hanno consentito di apportare un notevole contributo alle nostre conoscenze: ma l’adozione di questi metodi, se può essere considerata necessaria, non risulta tuttavia sufficiente.

Parallelamente a queste misure vengono raccolti giudizi di ascolto, i quali non possono in genere portare a una uniformità e sicurezza di valutazione poiché soggettivamente la qualità del suono emesso dall’altoparlante non trova unanimità di giudizio. Tuttavia la misura fisica deve essere considerata fondamentale, anche se non esauriente, per il fatto che è ripetibile, analizzabile e confrontabile con altre simili di diversi altoparlanti.

Nel seguito ci proponiamo di stabilire la correlazione tra la qualità percepita del suono ed i risultati delle misure eseguite in laboratorio. La prima cosa da fare è costruire un contesto consistente per questo scopo.

1.2 La corrispondenza tra Misure e Attributi della Percezione

Nello schema di figura 1.2.1 si vedono tre insiemi: Dispositivi, Misure e Percezione. I dispositivi sono giradischi, lettori CD, amplificatori, diffusori acustici ecc. Sembrerebbe naturale leggere questo schema da sinistra a destra: dato un dispositivo vengono eseguite su di esso una serie di misure per poi metterle in relazione con la qualità del suono riprodotto. Si deve invece procedere da destra a sinistra:

- determinare gli attributi della percezione del suono o attributi del suono
- individuare le grandezze fisiche che li rappresentano (e progettare le misure per quantificarle)
- applicare le misure più adatte al dispositivo da esaminare.

Questo corrisponde ad un cambio di prospettiva non banale perché l’attenzione viene spostata dal dispositivo in sé alla qualità del suono che produce.

Si noti che tra gli elementi dell’insieme delle percezioni e gli elementi dell’insieme delle misure è stata indicata una corrispondenza biunivoca: si tratta della condizione ideale e più auspicabile. Ancor più desiderabile sarebbe stabilire un isomorfismo tra l’insieme delle misure e l’insieme delle percezioni.

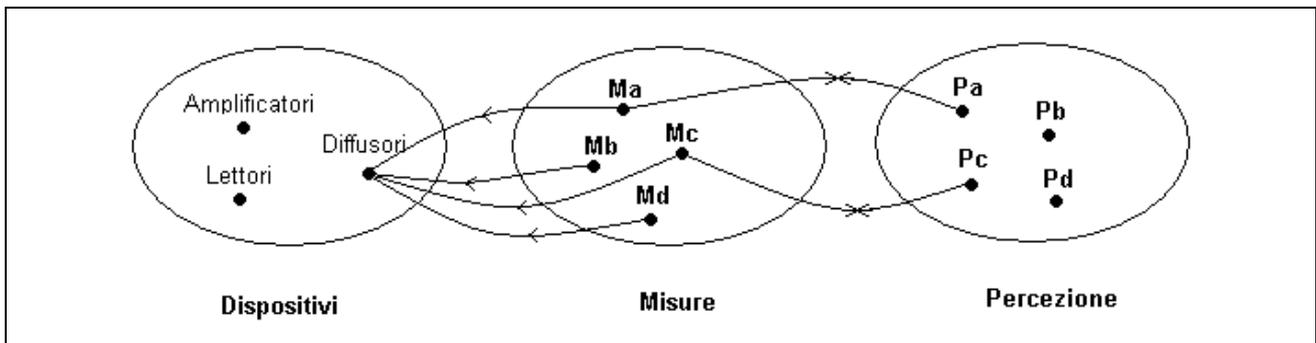


Figura 1.2.1 Corrispondenza tra Dispositivi, Misure e Percezione. Questo schema appare nell’articolo di Amar G. Bose. (Technology Review, Volume 75, numero 7 Giugno 1973 e numero 8 luglio/agosto 1973). Gli attributi della percezione sono sempre gli stessi mentre le misure che si da eseguire su un amplificatore o su

un diffusore acustico sono diverse.

La determinazione degli attributi del suono è stata fatta, a partire dal 1962 da Leo Beranek nell'ambito dell'Acustica Architettonica. La cosa è avvenuta come segue: gruppi di studenti sono stati sottoposti a delle sedute di ascolto di musica riprodotta (ascoltavano musica registrata dal vivo in diversi teatri ed auditori attraverso un impianto stereo). Concluso l'ascolto a ciascuno veniva chiesto, attraverso un questionario, di descrivere il suono che aveva percepito. Parallelamente, a diversi direttori di orchestra, è stato chiesto di descrivere il suono delle sale da concerto indicandone pregi e difetti e indicando quelle che ritenevano essere le migliori. Attraverso i questionari sono stati "isolati" gli attributi del suono (in sostanza gli aggettivi più ricorrenti utilizzati per descrivere il suono percepito) quindi sono state individuate le quantità misurabili correlate a detti attributi (attraverso una lunga serie di misure nei luoghi dove erano avvenute le registrazioni) e definiti i metodi di misura. Tutto ciò, grazie al contributo di molti altri ricercatori, ha portato alla formulazione di criteri che consentono oggi di prevedere il "suono" di un auditorio con evidenti vantaggi nella progettazione (<http://www.concerthalls.unomaha.edu/>). Beranek ha definito molti attributi (probabilmente troppi). Nel tempo questo numero è stato modificato e ogni autore ha proposto un proprio set di attributi.

Autore	Anno	Numero di attributi
Beranek	1962	18
Hawkes e Douglas	1971	5
Ando	1985	3
Barron	1993	5

Al di là del numero di attributi, quello che conta è il metodo ed il fatto che gli attributi siano stati definiti ascoltando musica riprodotta attraverso un impianto di riproduzione stereofonica (registratore, amplificatore e diffusori acustici). Questo consente di utilizzare gli stessi attributi anche per caratterizzare il suono dei diffusori acustici come pure di qualsiasi altro dispositivo della catena di riproduzione. Gli attributi del suono, infatti, descrivono "il suono" indipendentemente da come è stato prodotto o riprodotto.

La validità del metodo e dei risultati ottenuti ha indotto l'ISO a standardizzare 5 attributi e le relative procedure di misura (ISO 3382). Per gli altri attributi non esistono ancora procedure di misura sufficientemente condivise. Gli attributi del suono sono il punto di partenza. Affinché tutto funzioni al meglio gli attributi del suono dovrebbero essere tra loro indipendenti (ortogonali) ciò significa che un attributo non deve interferire con gli altri. L'ortogonalità degli attributi del suono è uno degli argomenti più dibattuti. Nel seguito si considerano, come punto di partenza, otto attributi utilizzati per caratterizzare il suono percepito in un auditorium:

Rumore di fondo:	il livello di rumore presente nell'ambiente dovuto a sorgenti (per es. l'impianto di condizionamento) o a scarso isolamento rispetto i rumore esterni.
Riverberazione	Il tempo di riverberazione dell'ambiente
Calore (Warmth)	misura la capacità dell'ascoltatore di percepire le frequenze medio-basse morbide ed avvolgenti.
Forza (Loudness)	misura la capacità dell'ascoltatore di percepire la musica ad un livello sufficientemente elevato.
Chiarezza (Clarity, Deutlichkeit, Definizione, Dettaglio)	la Chiarezza ha due aspetti: capacità di distinguere le note suonate in successione rapida (Definizione Orizzontale) e la Capacità di distinguere note suonate contemporaneamente (Definizione Verticale). La Definizione Verticale riguarda in particolare la capacità di distinguere uno strumento dall'altro.
Intimità (Intimacy, Presenza)	misura la capacità dell'ascoltatore di percepire la vicinanza della sorgente.
Spazialità (Spaciousnes)	riguarda il giudizio che esprime l'ascoltatore sulle "dimensioni geometriche" dello spazio che lo circonda. Questo attributo è stato introdotto dal 1970 per misurare la capacità dell'ascoltatore sentirsi avvolto dalla musica piuttosto che assistere all'evento che se fosse "alla finestra". Si distinguono due aspetti: Apparent Source Width (ASW) o larghezza apparente della sorgente e Listener Envelopment (LE o LEV) che descrive la sensazione dell'ascoltatore di essere avvolto dalla musica. All'aperto la LEV è assente.
Brillanza (Brilliance)	misura la capacità dell'ascoltatore di percepire le frequenze acute come limpide e cristalline (Beranek).

Tabella 1.2.2: Principali attributi del suono per un auditorio -

La tabella che segue elenca i 5 attributi per i quali la norma ISO 3382 definisce le procedure di misura. Essi sono riconducibili a Riverberazione, Chiarezza, Forza e Spazialità (EDT, LFC e LG). Cambiano i nomi ma resta la sostanza.

Aspetto soggettivo	Parametro soggettivo	Frequenze mediate Hz	JND	Valori tipici	Attributo corrispondente
Livello del suono soggettivo	Indice di intensità	da 500 a 1000	1 dB	Da .2 a 10 dB	Forza
Riverberazione percepita	Early Decay Time, EDT (s)	da 500 a 1000	5%	Da 1 a 3 secondi	Riverberazione
Chiarezza percepita	Chiarezza, C80 dB Definizione D50 Tempo Centrale TS	da 500 a 1000 da 500 a 1000 da 500 a 1000	1 dB 0.05 10 mS	Da -5 a +5 Da 0.3 a 0.7 Da 50 a 260 mS	Chiarezza
Ampiezza apparente	Early Lateral Energy Fraction, LF o LFC	da 125 a 1000	0.05	Da 0.05 a 0.35	Spazialità
Avvolgimento sonoro	Late Lateral Sound Level, LG (dB)	da 125 a 1000	1 dB	Da -7 dB a + 3 dB	

Tabella 1.2.3: Principali attributi del suono definiti dalla Normativa ISO 3382. Si noti la definizione della JND (Just Noticeable Difference = minima variazione percepibile).

Gli attributi del suono vengono utilizzati dalla rivista Audiophile Sound per descrivere il suono di CD e LP. Nella tabella che segue sono messi a confronto con gli attributi corrispondenti.

Attributo Audiophile Sound	Descrizione	Attributo corrispondente
Dinamica	rappresenta la capacità della registrazione di restituire correttamente l'espressione che il musicista o i musicisti affidano alle variazioni di volume del loro o dei loro strumenti, ovvero la capacità della registrazione di restituire i pianissimi ed i fortissimi passando dagli uni agli altri, ed il viceversa, con una gamma di volumi intermedi più o meno ricca.	Forza e Chiarezza
Palcoscenico Sonoro (sound stage)	con questo parametro si vuole identificare la capacità di una incisione di restituire la sensazione di percezione tridimensionale dello spazio all'interno del quale è avvenuto l'evento sonoro, in altri termini il palcoscenico sonoro definisce la buona, o meno, riuscita del tentativo di non deformare l'ambiente che contorna l'evento sonoro, da parte dell'incisore.	Spazialità
Equilibrio Tonale (tonal balance):	questo parametro definisce l'aderenza o meno del timbro di un insieme di suoni registrati al timbro che questi posseggono nella realtà: ogni registrazione, rispetto ad una esecuzione reale, può essere complessivamente più o meno colorata e risultare complessivamente più cupa, eccedendo in una equalizzazione che privilegia le basse frequenze, o più brillante, denunciando una eccessiva benevolenza verso le medio alte frequenze: l'equilibrio tonale riassume la nostra impressione sulla qualità timbrica, o equalizzazione del suono complessivo.	Calore
Dettaglio	è la capacità di una registrazione di fornire all'ascoltatore la possibilità di individuare più o meno confusamente ogni singolo strumento e, di questo, la sonorità e le altezze durante i fraseggi: maggiore è il dettaglio, maggiore è la differenziazione fra ogni evento sonoro, con termini di distinzione di ogni strumento da un altro e di ogni nota eseguita dall'altra	Chiarezza

Tabella 1.2.2: Attributi del suono utilizzati dalla rivista Audiophile Sound

Gli attributi del suono, per essere utili, devono essere associati a delle quantità misurabili. Anche per questo conviene definirli in modo che siano indipendenti uno dall'altro in modo che i risultati delle diverse misure, a loro volta, possano essere riferite ad un singolo aspetto del suono percepito. Quando due quantità sono

indipendenti una dall'altra si dice che sono ortogonali. L'ortogonalità degli attributi consente anche di definire lo "stato" del sistema.

La tabella 1.2.3 presenta gli attributi scelti per caratterizzare il suono del diffusore acustico: Calore, Fatica da Ascolto, Forza; Chiarezza, Spazialità, Brillanza e Interfacciabilità. Come si vede "Intimità", "Rumore di Fondo" e "Riverberazione" non sono presenti in quanto:

- l'intimità e riverberazione sono tipici dell'ambiente
- i diffusori acustici (almeno quelli passivi) non producono rumore udibile

In ogni modo gli ambienti domestici, date le dimensioni, sono sempre "intimi" e per la riproduzione HiFi devono essere silenziosi e con un tempo di riverberazione appropriato.

La Fatica da Ascolto e l'Interfacciabilità sono stati aggiunti perché tipici dei diffusori acustici. La Brillanza è risultata essere, ad una più attenta analisi, legata alla disponibilità di una sorgente ausiliaria. Si sarà notato che tra gli attributi manca la dinamica che non è un attributo del suono del diffusore acustico ma una caratteristica del programma musicale. Il diffusore acustico deve avere Forza sufficiente per riprodurre i picchi di pressione più intensi e Chiarezza necessaria per riprodurre tutti i dettagli.

Le prestazioni di un diffusore acustico dipendono da due aspetti tra loro indipendenti (separabili, ortogonali) :

- la qualità intrinseca dei componenti (altoparlante, filtro cross-over, cabinet, ecc.)
- il modo in cui i componenti sono utilizzati (tipo di carico, disposizione geometrica degli altoparlanti, ecc.).

Si usa dire che un buon diffusore acustico è quello che non degrada la qualità degli altoparlanti che lo compongono: in effetti non sempre gli altoparlanti vengono utilizzati al meglio e il solo fatto di montare un altoparlante su uno schermo limitato produce il fenomeno della diffrazione ai bordi che ne degrada le prestazioni.

La tabella 1.2.3 è divisa in tre sezioni: campo diretto, campo riflesso e interfacciabilità. I primi quattro attributi descrivono il campo diretto prodotto dal singolo diffusore. Questi attributi si dicono "monodimensionali" perché si misurano in un punto dello spazio. Il gruppo successivo, relativo al campo riflesso, comprende la Spazialità e la Brillanza. Questo secondo gruppo è detto "tridimensionale" perché riguarda la distribuzione del campo sonoro nello spazio.

Per misurare gli attributi monodimensionali si utilizza un singolo microfono posto sull'asse di radiazione principale del diffusore. Per misurare le quantità tridimensionali si devono fare più misure nello spazio attorno ai diffusori. Il terzo gruppo riguarda l'interfacciabilità e non richiede misure acustiche. Ricapitolando:

Interfacciabilità	Nessun microfono	Un diffusore
Campo diretto (monodimensionali)	Un microfono	Un diffusore
Campo riflesso (tridimensionali)	Molti microfoni	Coppia di diffusori

E' importante notare che il suono diretto (o campo diretto) prodotto da una sorgente, per definizione, è sempre lo stesso in qualsiasi ambiente. Da qui la convenienza a distinguere attributi mono e tridimensionali. Ciò suggerisce anche che il diffusore acustico debba poter alimentare indipendentemente i due campi (come avviene per i diffusori Opera dotati di CLD e tripletta che alimentano il campo riflesso indipendentemente dagli altoparlanti frontali agendo sulla Brillanza).

La tabella che segue elenca gli attributi del suono utili per caratterizzare un diffusore acustico indicando anche le misure ad essi associate.

Campo diretto (monodimensionale)			
	Attributo	Descrizione	Misura associata
1	Calore	bilanciamento tonale, estensione della risposta (timbrica)	risposta in frequenza – massima e minima frequenza riprodotta per piccoli segnali
2	Fatica da ascolto	Senso di affaticamento che si manifesta durante l'ascolto prolungato	distorsione non lineare dei componenti nelle effettive condizioni d'uso
3	Chiarezza	risoluzione nel tempo e nella frequenza (Risoluzione, Articolazione, Presenza, micro-dettaglio, velocità, coerenza)	risposta ai transienti - eccesso di fase – Waterfall - riflessioni e risonanze interne del cabinet
4	Forza	Livello, Dinamica	massimo livello SPL,

		(macro-dettaglio)	spostamento volumetrico compressione termica e meccanica
Campo riflesso (tridimensionale)			
5	Spazialità	ricostruzione dello spazio sonoro nelle tre dimensioni	dispersione, differenza tra i canali dx e sx – posizione del centro acustico virtuale con la frequenza, variazione della distanza critica con la frequenza
6	Brillanza	percezione delle note più alte limpide e cristalline	(richiede una sorgente ausiliaria) campo riverberato da 2 a 4kHz dispersione

Interfacciabilità			
7	ampli-diffusore	sensibilità, efficienza	SPL @ 2.83Volt 1 metro SPL ponderato (SPL @ 1 Watt RMS)
8	ampli-diffusore	Impedenza elettrica	Impedenza Elettrica Z (norme DIN) minimo valore della parte reale di Z
9	diffusore-ambiente	sensibilità rispetto alla posizione nell'ambiente	Risposta in ambiente con rumore a terzi di ottava
10	diffusore-uomo	Qualità/Prezzo	Livello delle finiture , Valutazione della realizzazione del cabinet - ergonomia

Tabella 1.2.3

Consideriamo tre diversi ambienti:

camera anecoica	l'ascoltatore percepisce solo suono diretto
ambiente semi riverberante (ambiente domestico)	L'ascoltatore percepisce suono diretto e suono riflesso (per es. esperisce l'effetto delle riflessioni laterali)
camera riverberante	l'ascoltatore percepisce prevalentemente suono riflesso (il suono diretto è trascurabile)

Nella tre situazioni ora descritte il suono diretto prodotto dal diffusore è sempre lo stesso ma la percezione dell' evento sonoro è molto diversa. La differenza dipende dalle diverse condizioni del campo riflesso o meglio dal diverso rapporto tra suono diretto e suono riflesso nel punto di ascolto.

Tra gli attributi presi in esame gli unici attributi effettivamente ortogonali sono Forza e Interfacciabilità. Tuttavia, considerandoli uno come prerequisito del successivo e nell'ordine proposto, gli attributi acquistano l'ortogonalità. Per esempio se un sistema di altoparlanti presenta una risposta eccessivamente sbilanciata verso le alte frequenze la riproduzione risulta affaticante. Ma se imponiamo al Calore una certa regolarità allora la Fatica da Ascolto dipenderà principalmente, se non esclusivamente, dalla distorsione non lineare prodotta dai componenti utilizzati (cabinet, altoparlanti e cross-over). Il Calore può essere misurato in regime di piccoli segnali, la distorsione definisce "quanto grandi" possono essere i piccoli segnali La Forza riguarda invece i "grandi segnali" e viene al terzo posto. Segue la Chiarezza legata alla risposta ai transitori. La Chiarezza dipende anche dalla distorsione non lineare che rientra nella Fatica da Ascolto. Ma, se imponiamo un limite alla Fatica da Ascolto, la Chiarezza dipenderà prevalentemente dalla risposta impulsiva, dall'eccesso di fase e dalla diffrazione ai bordi.

Ogni attributo presente nella tabella 1.2.3 rappresenta una condizione necessaria ma non sufficiente per ottenere una buona qualità sonora. In pratica tutti gli attributi devono risultare contemporaneamente "buoni": se il Calore è carente o la Forza insufficiente non ha senso andare avanti. Dall'altra parte se la Spazialità è buona questo implica che tutti gli attributi che la precedono debbano essere più che buoni. Visto come stanno le cose è molto improbabile che si possa individuare una unica condizione (necessaria e sufficiente) verificata la quale si possa affermare che la qualità della riproduzione è ottimale. L' unica possibilità sarebbe quella di ricorrere alla "testimonianza autorevole": un sistema suona bene se Alvin Gold dice che suona bene (Alvin Gold è uno dei giornalisti ritenuti più autorevoli nel campo HiFi). Accettando la "testimonianza autorevole", rinunciando quindi al proprio senso critico, l'alta fedeltà diventa un atto di fede e quindi a religione.

2. Gli attributi del suono in dettaglio

Vediamo ora gli attributi del suono del diffusore acustico in dettaglio

2.1 Calore

Il Calore descrive il bilanciamento tonale (neutralità, timbrica) e si valuta attraverso la risposta in frequenza ripresa con il microfono sull'asse privilegiato di radiazione del diffusore a distanza ed altezza congrua. Della risposta in frequenza si deve valutare la regolarità e l'estensione. I dettagli più fini e la risposta in fase competono alla Chiarezza.

La regolarità della risposta in frequenza è la prima condizione necessaria: se non è buona è inutile continuare. Una difficoltà connaturata nella misura di risposta in frequenza riguarda il corretto posizionamento del microfono rispetto al diffusore. Il microfono deve essere posizionato nel campo lontano della sorgente. Questo non è un problema con i piccoli diffusori acustici a due vie (alti meno di mezzo metro) dove la distanza tra i centri di emissione dei due altoparlanti è "piccola". Con diffusori più grandi si può aumentare la distanza del microfono a due metri. A due metri dal diffusore una differenza di 10 centimetri nell'altezza del microfono di misura corrisponde ad una variazione angolare inferiore a 3° che difficilmente comporta differenze sensibili anche con diffusori ragionevolmente direttivi.

Con i diffusori più estesi la distanza del microfono dovrebbe essere ulteriormente aumentata.

Se un diffusore è alto 2 metri (per esempio un pannello elettrostatico molto ampio) il campo lontano potrebbe trovarsi oltre alla normale distanza di ascolto nelle effettive condizioni d'uso. Questo, oltre a richiedere una misura in camera anecoica (di adeguate dimensioni) o in campo libero, pone un problema di interpretazione della misura stessa che non potrà essere riferita alle effettive condizioni d'uso.

Un diffusore acustico dovrebbe essere progettato per consentire di porre il punto di ascolto ad una distanza minima di circa 2-2.5 metri il che significa che le condizioni di campo lontano devono essere raggiunte a quella distanza dal diffusore. Contrariamente sarebbe opportuno specificare che un certo diffusore è fatto per essere ascoltato, per esempio, a quattro metri (e quattro metri dovrebbe essere misurato).

Stando alla normativa, la sensibilità misurata va riferita alla distanza di un metro quando il diffusore è alimentato con un segnale di 2.83Vrms. Per esempio se il microfono è a 2 metri dal diffusore e misura 84 dB, la sensibilità va aumentata di 6 dB. Ciò al fine di consentire di confrontare diffusori diversi senza troppe complicazioni. Per quanto riguarda l'altezza del microfono di misura da terra ci si deve riferire alle effettive condizioni d'uso. La musica si ascolta stando seduti quindi il microfono di misura va posto all'altezza dell'orecchio di una persona seduta.

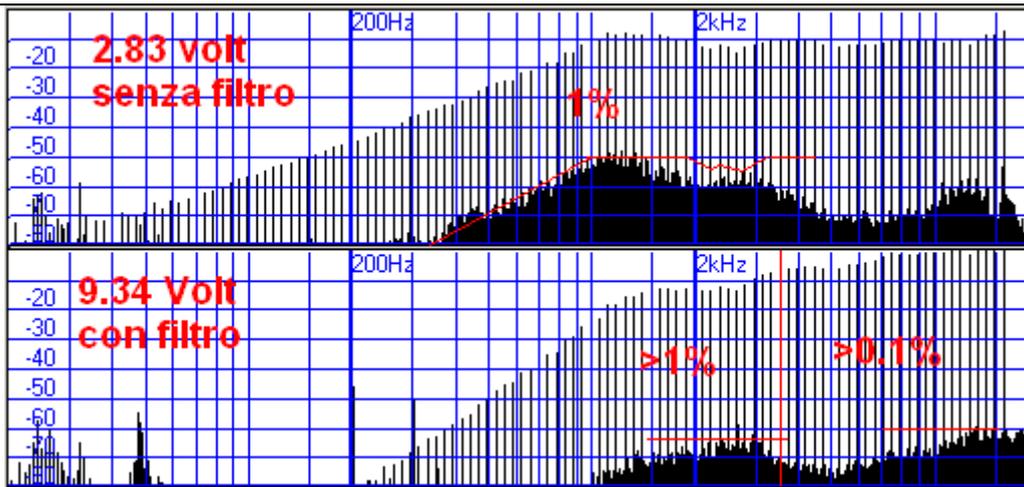
2.2 Fatica da ascolto

Se il diffusore acustico in esame possiede una risposta in frequenza ragionevolmente equilibrata, tale da non provocare di per sé Fatica da Ascolto, questa ultima dipenderà prevalentemente dalla distorsione non lineare prodotta dai singoli componenti (altoparlanti, cross-over, ecc.). La distorsione, in un altoparlante, è causata da meccanismi diversi e viene suddivisa in tre tipi:

- distorsione armonica
- distorsione di intermodulazione
- distorsione Doppler

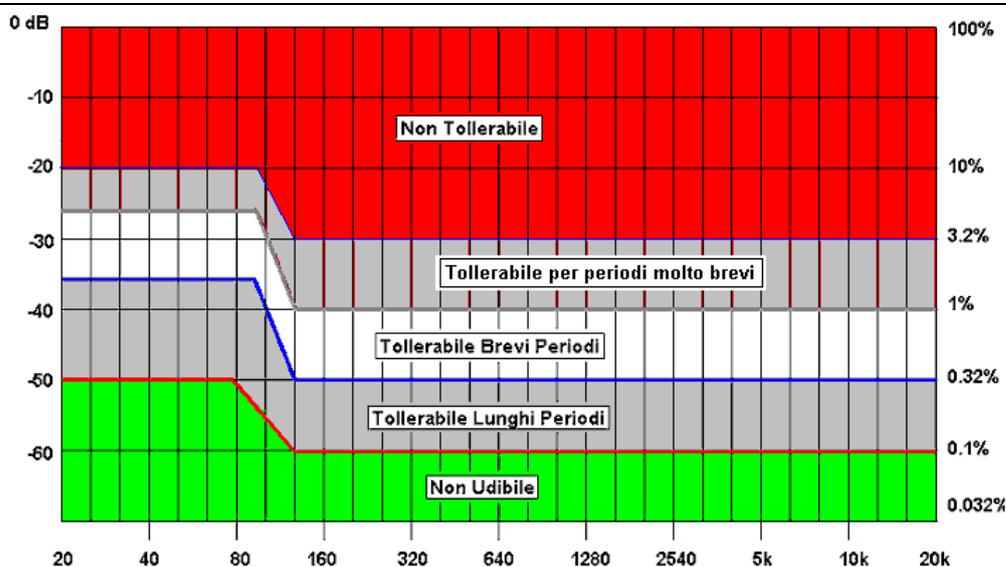
In più la distorsione ha due aspetti: la "distorsione stazionaria" (legata al valore RMS del segnale in ingresso) e la "distorsione di forma" che si manifesta sotto forma di compressione (termica o meccanica) sui picchi di segnale. La distorsione di forma, in condizioni opportune, è normalmente tollerabile e quindi "conta meno" della distorsione in regime stazionario.

Per misurare la distorsione di un altoparlante, a differenza di un amplificatore, non si possono utilizzare frammenti musicali e non è possibile quindi ottenere una misura nelle effettive condizioni d'uso. La soluzione è utilizzare stimoli che riproducano almeno le caratteristiche principali del segnale musicale (spettro, valore RMS e fattore di cresta). La tendenza attuale è quella di misurare la distorsione con stimoli multitono (utilizzati anche dal sistema Klippel). Lo stimolo migliore, secondo chi scrive, è composto dalla sovrapposizione di 120 sinusoidi la cui frequenza corrisponde alle note musicali (una ogni semitono da 16 a 16000 Hz). Tale misura è stata chiamata "Distorsione Integrale". Gli stimoli multitono provocano la contemporanea produzione di tutte le possibili distorsioni (armonica, intermodulazione, doppler) e mostra il lo spettro della distorsione direttamente sovrapposto allo spettro dello stimolo. L'apparato uditivo umano percepisce la distorsione in modo integrale trasformandola in Fatica da Ascolto e poco importa distinguere il tipo di distorsione quindi, ai fini della valutazione della qualità di riproduzione, non servono misure separate per ogni tipo di distorsione.



Esempio di misura della Distorsione Integrata per un tweeter a cupola. La spettro della distorsione misurata con 2.83 Vrms applicati, senza filtri, raggiunge l'1% tra 1k e 2 kHz. Con il filtro passa alto e con 9.34 Vrms applicati (+10 dB) la distorsione diminuisce su tutta la banda passante. Da circa 3kHz in su lo spettro della distorsione rimane almeno 60 dB sotto allo stimolo (<0.1%).

La distorsione misurata è un dato oggettivo. Dal punto di vista soggettivo si deve distinguere: la distorsione "Non Uditibile" (DNU), la distorsione "Non Tollerabile" (DNT) e la "Distorsione Tollerabile" (DT). La distorsione non udibile è come se non ci fosse e quindi non interessa. Interessa, e molto, sotto a quale tasso la distorsione non è udibile (JDD Just Detectable Distortion = distorsione appena percepibile - introdotta da Moir). Lo stesso vale per la distorsione non tollerabile: la DNT, all'ascolto, è subito evidente senza tante misure. Tutto quello che sta tra la distorsione non udibile e la distorsione non tollerabile è "Distorsione Tollerabile" che, in un tempo più o meno lungo, si trasforma in Fatica da Ascolto. JDD e DNT sono soggettive e i soggetti "istruiti" (abituati a valutare la distorsione all'ascolto) sono i più sensibili.



Limiti di udibilità e tollerabilità della distorsione integrale al livello di 90 dB SPL a un metro. Il fattore di cresta dello stimolo è compreso tra a tre e quattro (picchi di 100-102 dB). A bassa frequenza l'apparato uditivo è più tollerante. Il limite di 60 dB è coerente con la definizione di tempo di riverberazione. Autorevoli ricercatori sostengono che qualsiasi suono il cui spettro resti 40 dB sotto al livello dello spettro dello stimolo non sia udibile (in accordo con il limite di udibilità del suono trasmesso per via ossea). La distorsione di forma prodotta da picchi di segnale brevi (diciamo 10 milli secondi) intensi e isolati, separati da almeno 100 milli secondi, non è udibile.

La DT é distorsione udibile e produce effetti subdoli: quando è non è abbastanza bassa, ma nemmeno troppo alta, peggiora la Chiarezza (magari solo su una certa banda di frequenze) e determina qualche fastidio più marcato nei passaggi più complicati del programma musicale. E' in queste situazioni "intermedie"

che si colgono negli ascoltatori i giudizi più variegati (in funzione del programma musicale, del livello SPL riprodotto e di altri fattori soggettivi).

La fatica da ascolto non dipende solo dalla distorsione del sistema di altoparlanti. La causa più frequente di distorsione dipende dal clipping dell'amplificatore e dalle sovramodulazioni eventualmente presenti nel programma musicale. La tabella che segue riassume alcuni effetti dovuti alle elettroniche a molte del sistema di altoparlanti.

Clipping di un canale dell'amplificatore	Confusione nel posizionamento spaziale delle sorgenti virtuali
Clipping contemporaneo dei due canali dell'amplificatore	Verticalizzazione dell'immagine al centro
Intervento delle protezioni dell'amplificatore	Effetto Chatter Degrado della Chiarezza
Eccessive Sibilanti	Potrebbero dipendere da sovramodulazioni presenti nel CD (vds. Loudness war)

Va anche detto che l'ascolto di musica riprodotta in stereofonia costringe l'apparato uditivo a ricostruire continuamente la localizzazione delle sorgenti virtuali e questo, alla lunga, produce comunque una certa dose di Fatica da Ascolto. Per evitare questo particolare effetto basta valutare la qualità della riproduzione audio attraverso la visione di un DVD (il che solleva completamente l'apparato uditivo dalla localizzazione della sorgente che avviene tramite la vista)..

La valutazione della Fatica da Ascolto attraverso test soggettivi è immediata nei casi eclatanti (molto bene o molto male). Si complica nelle situazioni intermedie: quanto deve durare il test? Se un test di due ore ha dato esito incerto va ripetuto per altre due ore abbassando un poco il livello SPL di ascolto?

Una misura dura pochi minuti e fornisce un risultato oggettivo. Per questo motivo ci si deve sforzare di individuare gli stimoli e la JDD di applicazione più generale possibile.

2.3 Forza

La distorsione non lineare definisce un limite di utilizzo in regime stazionario. In regime musicale il massimo livello SPL raggiungibile è limitato dalla Forza che corrisponde, numericamente, al valore del massimo spostamento volumetrico. Per ottenere un certo livello SPL ad una certa frequenza si deve porre in movimento una determinata quantità d'aria. Questa quantità d'aria è pari al prodotto della superficie radiante per il massimo spostamento lineare della superficie stessa. Lo spostamento volumetrico caratterizza tutte le sorgenti sonore e tutti i tipi di trasduttore elettroacustico (elettrostatico, isodinamico, dinamico, a ioni, al plasma, e qualsiasi altro tipo che sarà inventato in futuro).

All'ascolto si valuta la capacità del sistema di altoparlanti di riprodurre le variazioni di livello dal pianissimo al fortissimo (grande orchestra e pianoforte) senza apparente distorsione. La Forza (come rappresentata dallo spostamento volumetrico) è ortogonale rispetto agli altri attributi.

Normalmente si valuta lo spostamento volumetrico del woofer. In realtà ci si deve anche assicurare che il midrange ed il tweeter posseggano uno spostamento volumetrico proporzionato a quello del woofer.

2.4 Chiarezza.

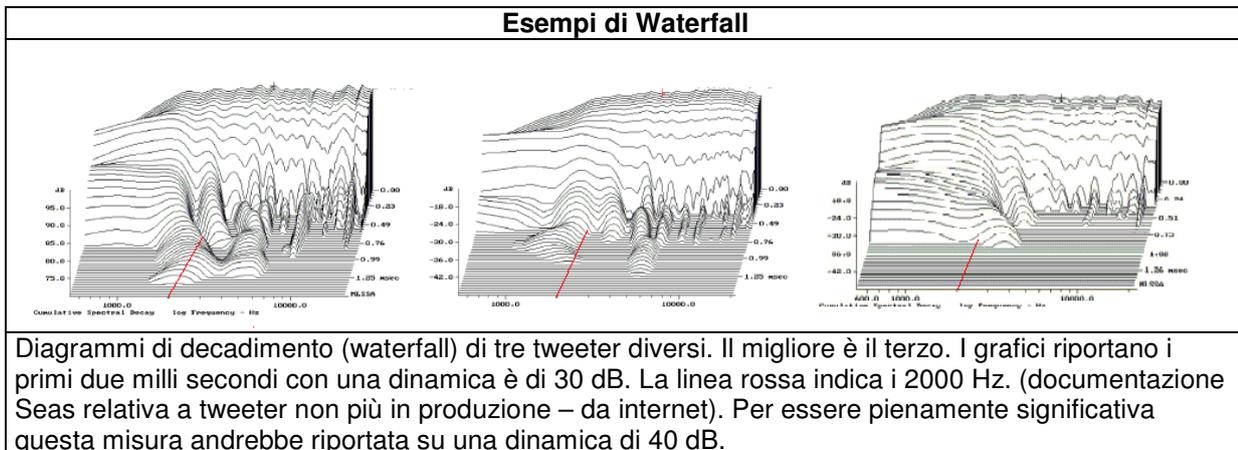
La Chiarezza dipende sia dalle caratteristiche intrinseche dei singoli componenti che da come vengono utilizzati (riflessioni interne e risonanze del cabinet, diffrazione ai bordi, ecc.).

La Chiarezza ha due aspetti:

Definizione Orizzontale	capacità di distinguere note suonate in rapida successione (in orizzontale sullo spartito)
Definizione Verticale	capacità di distinguere strumenti diversi (in verticale sullo spartito)

La Definizione Orizzontale si valuta con un test di intelligibilità del parlato (ALCONS - vedi normativa) e riproducendo brani musicali che contengono fraseggi molto veloci. Particolare attenzione va posta al riconoscimento di "d" "t" "r" "s" (blesità) e di "m" "b" "v". La Definizione Verticale si valuta invece riproducendo partiture dove suonano contemporaneamente più strumenti diversi. La misura correlata alla Chiarezza è la waterfall (diagrammi di accumulazione e decadimento) e più in generale le misure impulsive (per es. risposta allo scalino e ETC). I modi normali (del diaframma e del cabinet) accumulano energia elastica che rilasciano nel tempo generando code sonore. Queste "code" si riconoscono, nella waterfall, perché il segnale prima si riduce e quindi riprende vigore. Sono queste code che mascherano i transitori successivi. Per valutare soggettivamente la Chiarezza il tempo di riverberazione dell'ambiente deve essere

breve (0.3-0.4 secondi) perché la riverberazione maschera i transienti e rende l'apparato uditivo ancora più insensibile alla distorsione di fase. In alternativa si deve ridurre la distanza tra punto di ascolto e diffusore (per aumentare il campo diretto rispetto al campo riflesso).



2.5 Spazialità

A questo punto possiamo avere un diffusore con una risposta in frequenza regolare, bassa distorsione, Forza sufficiente per riprodurre la dinamica del programma musicale e una buona capacità di risolvere i transienti. Tutto ciò è necessario per riprodurre un effetto di spazialità ma non è sufficiente. La Spazialità dipende dalle caratteristiche della coppia di diffusori.

Per una coppia di diffusori acustici si parla anche di “risoluzione spaziale” descritta come capacità di riprodurre i vari strumenti distinti tra loro nello spazio. Questa qualità, che deve essere presente nella registrazione, dipende anche da come sono disposti i diffusori nell’ambiente rispetto al punto d’ascolto (ed in particolare dalla distanza tra loro e dal punto di ascolto).

Ricostruire la Spazialità di un evento sonoro significa ricreare uno “spazio sonoro” (stage sonoro, immagine o scena sonora) nel quale ogni strumento occupa una posizione definita e stabile con dei rapporti dimensionali consistenti e proporzionati. Ora non si può pretendere di ricostruire il fronte sonoro generato da una orchestra di 75 elementi nel soggiorno domestico: si deve accettare una riproduzione “in scala” ma si può pretendere che siano mantenute certe proporzioni.

La ricostruzione dello “spazio sonoro” dipende dalla coppia di diffusori nel suo insieme e dall’ambiente ma le informazioni relative alla Spazialità devono essere presenti nel programma musicale. Infatti stiamo parlando di riprodurre il modello spaziale presente nella registrazione e non un modello spaziale arbitrario o il modello spaziale dell’ evento sonoro originale. In buona sostanza quello che possiamo prevedere, tramite opportune misure, è se una coppia di diffusori è potenzialmente in grado di riprodurre il modello spaziale presente nel programma musicale ma il risultato dipenderà anche da come saranno disposti i diffusori nell’ambiente.

Prescindendo per un attimo dall’ambiente: lo sviluppo orizzontale dello stage sonoro riprodotto dipende dalla distanza tra i diffusori, la profondità dipende dalla riverberazione contenuta nella registrazione (se c’è) mentre l’altezza delle sorgenti e l’estensione verticale delle scena è costruita arbitrariamente dai diffusori acustici con la complicità della particolare forma del padiglione auricolare dell’ascoltatore. La ripresa stereofonica, infatti, non contiene alcuna informazione sulla dimensione verticale delle sorgenti reali. Tutto ciò viene poi ulteriormente condizionato dall’ambiente.

Si potrebbe pretendere che chi produce i diffusori indicasse anche come disporli per ottenere il miglior risultato. Purtroppo le stesse indicazioni non hanno lo stesso effetto in ambienti diversi o anche con generi musicali diversi e i costruttori possono fornire solo indicazioni generiche e invitare l’utente a ricercare la migliore posizione nel proprio particolare ambiente. Fanno eccezione solo quei sistemi che devono essere obbligatoriamente posizionati ad angolo o incassati a parete.

2.5.1 L’ambiente di ascolto e Spazialità

La ricostruzione della Spazialità interessa lo stesso range di frequenze coinvolto nella localizzazione della sorgente ovvero da circa 300-500 in su. Un altro aspetto molto importante riguarda le prime riflessioni laterali. Toole, studiando il problema, è giunto alla conclusione che la risposta fuori asse del diffusore, sul piano orizzontale, deve essere regolare in modo che lo spettro delle prime riflessioni non sia discontinuo rispetto allo spettro del suono diretto (in altre parole non ci devono essere “buchi” nella risposta in frequenza

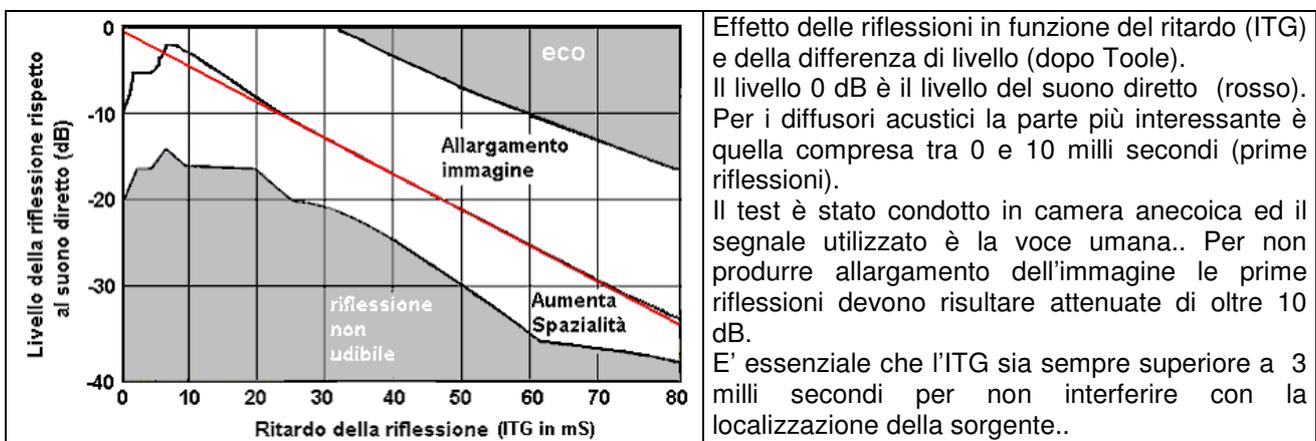
fuori asse). Sempre Toole afferma anche che un diffusore, con una risposta discontinua fuori asse, può ugualmente suonare bene a patto che le pareti laterali siano sufficientemente fonoassorbenti. In sostanza i difetti presenti nella dispersione orizzontale si attenuano o scompaiono riducendo l'intensità delle riflessioni laterali in eccesso (o anche solo ruotando il diffusore verso il punto di ascolto). In conclusione, per Toole, la dispersione orizzontale è importante ma anche no. Toole ha ragione: il risultato è condizionato dal fonoassorbimento delle pareti laterali come dall'orientamento e dalla inclinazione dei diffusori. Questo è ancor più vero se il punto di ascolto è "lontano" dai diffusori dove prevale il suono riflesso e la risposta diffusore+ambiente tende ad uniformarsi con la risposta in potenza del sistema di riproduzione. Dato che una dispersione regolare produce anche una risposta in potenza regolare, teniamo per buono il criterio di regolarità della risposta fuori asse. Il ruolo del suono diretto (definito dagli attributi monodimensionali) non viene messo in dubbio da nessun ricercatore.

Per definire una corrispondenza sufficientemente precisa tra qualità sonora percepita ed i risultati di misure oggettive si dovrebbero imporre delle condizioni stringenti sia ai diffusori che all'ambiente. Imporre delle condizioni troppo stringenti al diffusore significa sposare una filosofia di progetto (cosa che i diversi produttori già fanno). Non c'è dubbio che l'ambiente debba rispettare delle condizioni. La norma IEC suggerisce, per il tipico ambiente domestico dedicato alla riproduzione musicale, un tempo di riverberazione non superiore a 0.8 secondi fino a 125 Hz e non superiore a 0.4 secondi oltre 125 Hz. Alcuni giudicano 0.8 secondi un tempo eccessivo in particolare per la musica elettronica. La norma IEC parla di modi normali e non dice come debbano essere distribuite le superfici fonoassorbenti ed il grado di diffusione necessario. Anche le diverse control room sono realizzate con criteri antitetici ma tutte puntano alla eliminazione dello slap echo, delle riflessioni laterali e dei modi normali.

2.5.2 L'ambiente di ascolto e riflessioni laterali

Ci sono almeno due buoni motivi per ridurre le prime riflessioni provenienti dalle pareti laterali. Per prima cosa, per percepire la riverberazione presente nel programma musicale, la riverberazione dell'ambiente deve essere limitata (il T60 dell'ambiente deve essere meno della metà della riverberazione contenuta nel programma musicale). Il secondo motivo è legato allo ITG (Initial Time Gap). L'ITG è l'intervallo di tempo che intercorre tra l'arrivo del suono diretto e l'arrivo della "sua" prima riflessione. Durante questo intervallo di tempo l'apparato uditivo localizza la sorgente. Se nella registrazione l'ITG vale 10 millisecondi dovrebbe mantenere lo stesso valore anche durante la riproduzione. Ciò significa che le prime riflessioni devono giungere nel punto di ascolto con un ritardo di 10 millisecondi. In termini di spazio significa che la distanza che percorre la prima riflessione deve essere almeno 3.4 metri più lunga di quella che percorre il suono diretto. Non è difficile rendersi conto che questo risultato sia raggiungibile solo negli ambienti più grandi e con i diffusori acustici ben lontani dalle pareti. Ne segue che le prime riflessioni, spesso, vanno almeno attenuate o diffuse. A questo punto è anche chiaro perché i diffusori suonino "meglio" quando sono lontani dalle pareti (l'ITG è maggiore).

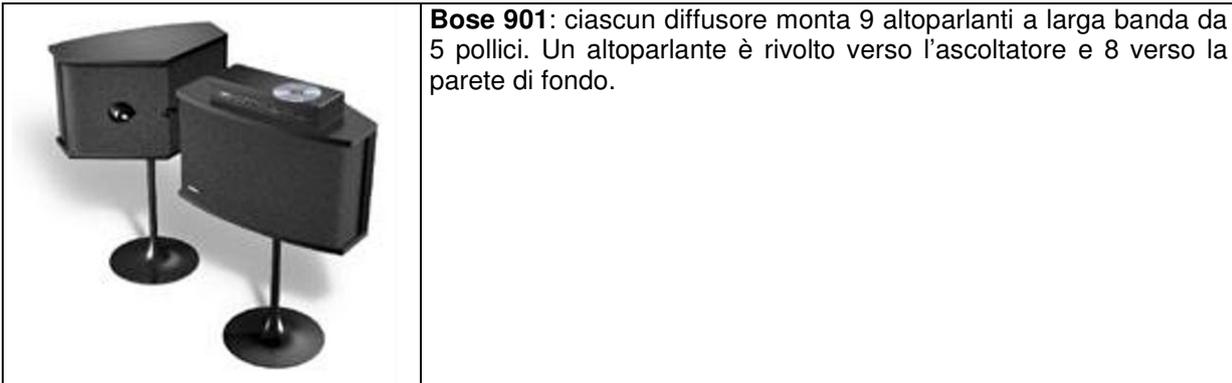
Per contro ridurre le riflessioni riduce il tempo di riverberazione e la qualità della riproduzione dipende anche dal corretto rapporto tra suono diretto e suono riflesso: se prevale il suono diretto la riproduzione diventa affaticante se prevale il suono riflesso perde in Chiarezza. A ciò si pone rimedio regolando la distanza del punto di ascolto (più vicino negli ambienti riverberanti, più lontano negli ambienti più assorbenti). E' anche possibile riequilibrare il rapporto suono diretto/riflesso con una sorgente ausiliaria (vedere Brillanza).



2.6 Brillanza

La Brillanza dipende dall'ambiente e anche dalla disponibilità di una sorgente ausiliaria. Prima però è opportuno un breve riassunto. Gli attributi che caratterizzano il suono di un diffusore acustico sono di tre tipi:

monodimensionali, tridimensionali e di interfaccia. Quelli monodimensionali descrivono il suono diretto del singolo diffusore e si misurano ponendo il microfono in un punto sull'asse di radiazione principale del diffusore stesso. Quelli tridimensionali riguardano il campo acustico generato dal diffusore e richiedono più misure da eseguire nello spazio attorno ai diffusori (dispersione orizzontale e verticale). Gli effetti sulla qualità sonora dovuti al suono diretto ed al suono riflesso sono separabili (almeno finché uno non rende non udibile l'altro). Amar G. Bose è stato tra i primi a comprendere l'importanza del suono diretto e del rapporto suono diretto/riflesso. Bose osserva che a teatro l'ascoltatore percepisce più suono riflesso che suono diretto e progetta un sistema per ricreare la stessa situazione anche nell'ambiente domestico (la serie 901 nata nel 1968 chiamata, non a caso, Direct/Reflecting). Bose propone il principio della "risposta in potenza piatta" contrapposta alla "risposta in frequenza piatta". La Bose 901 è anche un esempio di diffusore acustico con sorgente ausiliaria anche se, visto come è realizzata, la sorgente ausiliaria sembra essere più quella frontale che quella posteriore.



Le Bose 901 e altre realizzazioni del passato (Allison One, AR LST e MST) hanno in comune una caratteristica: il coinvolgimento dell'ambiente. Bose lo fece per aumentare il Listener Envelopment (avvolgimento dell'ascoltatore) cosa che ottenne a scapito della Chiarezza. Oggi i modelli di diffusori proposti da Allison e AR sembrano abbandonati mentre le Bose 901 sono ancora in produzione ed hanno una non trascurabile schiera di estimatori. Altri produttori hanno adottato sorgenti ausiliarie seppur con modalità e filosofie diverse. Un sistema dipolare è costituito da due sorgenti che irradiano in direzioni opposte: la faccia posteriore del pannello radiante può essere considerata una sorgente ausiliaria.

Torniamo alla Brillanza. Secondo Beranek un suono si dice "brillante" quando l'ascoltatore "*percepisce le frequenze acute come limpide e cristalline*". La Brillanza di un ambiente è misurata dal rapporto tra il tempo di riverberazione (T60) misurato sulle ottave centrate a 2000 e 4000 Hz e il T60 in gamma media.

$$\text{Brillanza} = \frac{T60(2\text{kHz}) + T60(4\text{kHz})}{T60(500\text{Hz}) + T60(1000\text{Hz})} = \frac{T60(\text{range } 1400 - 5600)}{T60(\text{range } 350 - 1400)}$$

Nota T(500) indica il tempo di riverberazione dell'ottava centrata a 500 Hz che va da 350 a 700 Hz.

In un ambiente "brillante" le note acute persistono per un tempo maggiore rispetto alla gamma media. Si noti che la gamma media per Beranek va da 350 a 1400 Hz. L'aumento della Brillanza non può essere ottenuto con un boost delle frequenze medio-alte del suono diretto: si deve aumentare la persistenza delle frequenze medio-alte e non il loro livello.

Può, un diffusore acustico, modificare il tempo di riverberazione di un ambiente? Dipende.

Un ambiente si dice sabiniano quando il tempo di riverberazione corrisponde a quello calcolato con la formula di Sabine. Ciò richiede, tra l'altro, che il fonoassorbimento delle pareti sia omogeneo e omogeneamente distribuito e che il campo riverberato perfettamente diffuso (stesso livello in ogni punto). In un tale ambiente una sorgente non può modificare il tempo di riverberazione se non in modo molto marginale.

In un ambiente qualsiasi il T60 dipende dalla distribuzione delle superfici fonoassorbenti, dalla dispersione della sorgente e anche da come questa è orientata. Questo è illustrato dalla figura 2.6.1

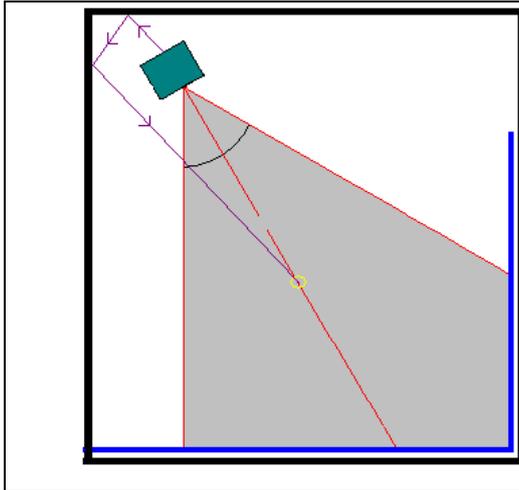


Figura 2.6.1

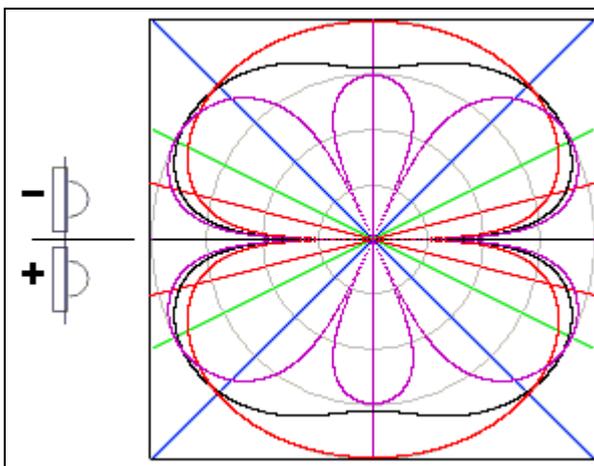
Qui a fianco è rappresentato un caso estremo di ambiente non sabiniano dove una sorgente molto direzionale emette verso due superfici molto fonoassorbenti. Se l'assorbimento è perfetto la riflessione è nulla, non c'è campo riflesso e il tempo di riverberazione è nullo. Se la sorgente fosse posizionata nell'angolo opposto ed emettesse verso le pareti riflettenti si instaurerebbe un campo riflesso non perfettamente diffuso (più intenso in prossimità delle pareti riflettenti e meno intenso in prossimità delle pareti assorbenti).

In viola è rappresentato un "raggio" acustico prodotto da una ipotetica sorgente ausiliaria posta sul retro del diffusore che raggiunge il punto di ascolto (il ritardo dipende dalla distanza delle pareti) introducendo una riverberazione.

La Brillanza, in un ambiente non sabiniano, può essere incrementata sfruttando la distribuzione non omogenea delle superfici fonoassorbenti. Anzi torna utile, come spesso avviene, che la parete alle spalle dei diffusori sia riflettente e che i "materiali assorbenti" (poltrone, divano, mobili ecc.) si trovino concentrati sul lato dell'ascoltatore. Si può discutere sull'opportunità di rendere diffondente la parete alle spalle dei diffusori (come del resto avviene nelle contro room del tipo environmental).

Sicuramente esisteranno più modi per aumentare la Brillanza ma il più semplice è utilizzare una sorgente ausiliaria diretta verso la parete alle spalle dei diffusori a patto che le frequenze medio-alte, immesse nell'ambiente in questo modo, non interferiscano con il suono diretto (per non degradare la Chiarezza). Le scelte possibili sono due: utilizzare una sorgente fortemente direzionale (opportunamente orientata) o scegliere una sorgente anisotropa (che irradia solo in certe direzioni).

Per aumentare la Brillanza la sorgente ausiliaria deve emettere a partire da 1400 Hz. Da questa frequenza, e per almeno una ottava, un tweeter irradia in tutte le direzioni e non può essere usato così come è ma si può utilizzare, per esempio, un dipolo configurato in modo che "l'asse di radiazione nulla" coincida con l'asse di radiazione del suono diretto. In tal modo la sorgente ausiliaria alimenta solo il campo riflesso mentre il suono diretto rimane uguale a se stesso. Il dipolo irradia principalmente verso l'alto e verso il basso e non provoca l'allargamento laterale dello scena sonora.



Un dipolo è costituito da due sorgenti uguali, pilotate in controfase, separate da una certa distanza. A causa della interferenza distruttiva lungo l'asse di simmetria del dipolo la radiazione è nulla.

Qui a sinistra la dispersione sul piano verticale di un dipolo a frequenze crescenti. La radiazione avviene sempre verso l'alto e verso il basso.

La fase relativa tra la sorgenti principale e quella ausiliaria non ha alcuna importanza: il concetto di fase è estraneo al campo riverberato che è la sovrapposizione di una moltitudine di suoni riflessi.

Gli effetti della sorgente ausiliaria, progettata secondo i criteri esposti, sono molteplici:

- aumenta la potenza acustica irradiata
- aumenta la Brillanza
- aumenta Chiarezza e Spazialità
- riduce la distanza critica alle frequenze medio-alte

e tutto ciò senza aumentare le riflessioni laterali e quindi senza allargare l'immagine. La sorgente ausiliaria realizza, senza controindicazioni, l'idea originale di Bose che era, e rimane, valida.

La radiazione della sorgente ausiliaria incrementa sia il numero di informazioni che giungono all'orecchio durante il "tempo di fusione" (i primi 16-35 mS) sia la differenza di informazioni che giungono alle due orecchie (IACCA = Interaural Cross-Correlation Coefficient). In tal modo migliorano Chiarezza e Spazialità. L'immissione di frequenza medio-alte direttamente nel campo riflesso consente di ridurre l'angolo di dispersione orizzontale e verticale della radiazione diretta limitando le riflessioni sulle pareti laterali, soffitto e pavimento.

Come detto l'effetto quantitativo dipende dalla distribuzione delle superfici fonoassorbenti nell'ambiente. Nei normali ambienti domestici la presenza della sorgente ausiliaria è chiaramente percepibile.

Una radiazione verso la parete alle spalle dei diffusori è presente nei dipoli e nei diffusori omnidirezionali. Ma i diffusori a dipolo irradiano posteriormente tutto lo spettro. La stessa cosa vale per i diffusori omnidirezionali con l'aggravante di non poter modulare le riflessioni laterali orientandoli verso il punto di ascolto. Le prestazioni dei diffusori omnidirezionali possono essere ottimizzate modificando l'assorbimento delle pareti laterali (come suggerisce Toole) ma probabilmente chi li sceglie ne apprezza il particolare tipo di radiazione e non vorrà farlo.

Per completezza accenniamo alla eventualità di orientare la sorgente ausiliaria: se la sorgente è un dipolo, vista la "geometria" della radiazione, l'orientamento può avere solo effetti marginali ed è inutile. Se la sorgente ausiliaria non è un dipolo sussiste la possibilità di interferenza con il suono diretto e, orientandola, questa probabilità può aumentare. Ha senso invece prevedere la possibilità di regolare il livello dell'emissione della sorgente ausiliaria.

In passato chi scrive ha considerato la Brillanza come prerequisito della Spazialità. E' stato un errore. La Brillanza non è un prerequisito della Spazialità ma la influenza, non è un prerequisito della Chiarezza ma la influenza, non è nemmeno un prerequisito del Calore o della Fatica da Ascolto (che non ne sono influenzate). La Brillanza non si ottiene con un boost delle frequenze medio-alte. Richiede una sorgente ausiliaria. I prerequisiti per una sorgente ausiliaria sono due: non deve interferire con il suono diretto e non deve alterare la localizzazione. La cosa meno sbagliata è limitare gli attributi del suono di una coppia di diffusori a 6 (Calore, Fatica da Ascolto, Forza, Chiarezza, Spazialità e Interfacciabilità) e considerare la Brillanza come un attributo in più per i diffusori in grado di incidere sulla Brillanza. Avremo così la Spazialità per la coppia di diffusori e la Brillanza per una coppia di diffusori più una coppia di sorgenti ausiliarie (4 sorgenti). Per valutare l'effetto della sorgente ausiliaria si devono condurre due test di ascolto (con e senza sorgente ausiliaria).

2.7 Interfacciabilità

L'interfacciabilità del diffusore acustico ha tre aspetti: verso l'amplificatore, verso l'ambiente e verso l'utilizzatore (vds tabella). Per semplicità conviene considerare i cavi di collegamento come parte dell'amplificatore (modificano il fattore di smorzamento). I parametri di interfacciabilità hanno conseguenze sulla qualità sonora che si materializzano, per esempio, abbinando il diffusore ad un amplificatore, a un cavo e/o ad un ambiente non adatti.

Per quanto riguarda l'interfacciabilità a monte, il diffusore non deve causare il degrado delle prestazioni dell'amplificatore (come accade se i minimi di impedenza elettrica scendono a valori troppo bassi). L'amplificatore è un dispositivo limitato in potenza: è il diffusore acustico (il carico) che non lo deve mettere in crisi. E' poi del tutto evidente che un diffusore che debba essere posto in un punto esatto di una sala appositamente progettata per accoglierlo non ha interesse commerciale (interfacciabilità a valle). Lo stesso vale se, per essere pilotato, il diffusore esige un amplificatore di prezzo sproporzionato o se l'utilizzatore non riesce ad adoperarlo propriamente o a ripararlo quando necessario.

Impedenza elettrica e sensibilità (del diffusore) possono essere trascurate attribuendo all'amplificatore l'onere di sopperire ad eventuali carenze (impedenza e sensibilità troppo basse). Questo però incide sul costo del sistema. I parametri di interfacciabilità producono un impatto diretto sul costo (o sul rapporto qualità/prezzo) e uno indiretto sulla qualità sonora che si materializza abbinando il diffusore ad un amplificatore e/o ad un ambiente che non gli competono.

Gli aspetti estetici non funzionali, estranei alla qualità sonora, non rientrano in questa trattazione e vanno valutati a parte. Purtroppo il prezzo di un diffusore è quello che è e non si può scindere la parte funzionale da quella estetica. Questo non impedisce però di attribuire un "punteggio" alla qualità sonora indipendente dalla realizzazione estetica. Proprio a causa delle soluzioni estetiche, spesso molto onerose, il rapporto qualità/prezzo risulta forviante: un diffusore mediocre dal costo molto basso ha un buon rapporto

qualità/prezzo ma suona male. Al contrario un diffusore tempestato di diamanti può suonare divinamente ma avrà sempre un pessimo rapporto qualità/prezzo. Valutando la qualità sonora con un punteggio assoluto si rende l'utente libero di scegliere se investire in qualità sonore, estetica o entrambe

Interfacciabilità		
ampli-diffusore	Sensibilità	SPL @ 2.83Volt 1 metro
	Impedenza elettrica	minimo valore della parte reale di Z
diffusore-ambiente	Sensibilità rispetto alla posizione nell'ambiente	Risposta in ambiente con rumore a terzi di ottava
diffusore-uomo	Altro	estetica, ergonomia, finiture, ecc.

L'interfaccia ampli-diffusore riguarda la sensibilità e l'impedenza elettrica. La sensibilità, di per sé, non influenza la qualità sonora ma determina la potenza dell'amplificatore per ottenere il livello SPL desiderato. L'impedenza elettrica non sarebbe un problema se solo le vecchie norme DIN 45500 rappresentassero un obbligo e fossero rispettate. In pratica ci sono diffusori che richiedono amplificatori in grado di pilotare carichi anche inferiori a 2 Ohm.

L'interfaccia diffusore-ambiente riguarda le frequenze inferiori a 150-300 Hz (dipendendo dalle dimensioni dell'ambiente). Le caratteristiche che determinano il comportamento del diffusore alle basse frequenze sono il tipo di allineamento scelto per le basse frequenze e la posizione del o dei woofer. Ogni diffusore, in funzione della posizione del woofer, può richiedere un posizionamento più o meno "faticoso". L'interfaccia diffusore-ambiente valuta questo aspetto almeno per l'ambiente dove ha avuto luogo il test. Per ultima l'interfaccia diffusore-uomo riassume gli aspetti estranei alla qualità sonora come estetica, ergonomia, il livello di finiture, ecc.. Questi aspetti non hanno alcuna influenza sul suono a volte, purtroppo, vengono sacrificati all'estetica anche gli aspetti funzionali.

3. Test e misure

3.1 Test e misure soggettive

Le misure forniscono un insieme di risultati sotto forma di numeri, grafici e tabelle che non tutti sanno leggere. Difficilmente una persona normale che deve acquistare un impianto stereo spenderà ore per imparare nozioni che probabilmente nemmeno gli interessano. Quindi non è inutile prevedere dei test completamente soggettivi che riportano solo le impressioni di ascolto.

L'importante è rispettare un formato standardizzato in modo da rendere i test facilmente confrontabili tra loro. Un formato possibile è il seguente:

Attributo	Descrizione	Voto soggettivo
Calore	Estensione in basso	Da 0 a 10
	Estensione in alto	Da 0 a 10
	Bilanciamento timbrico	Da 0 a 10 per esempio C
Fatica da ascolto		Da 0 a C per esempio F
Forza	Massimo livello riproducibile	Da 0 a 10
Chiarezza	Definizione orizzontale	Da 0 a F per esempio Ch1
	Definizione verticale	Da 0 a F per esempio Ch2
Spazialità	ricostruzione orizzontale	Da 0 al minimo tra Ch1 e Ch2 Per esempio B
	ricostruzione profondità	Da 0 a B
	ricostruzione altezza	Da 0 a 10
Brillanza		Da 0 a 10
Interfacciabilità	Ampli-diffusore	Da 0 a 10
	Diffusore-ambiente	Da 0 a 10
	Sensibilità	Da 0 a 10
Altro	Versatilità, estetica e finiture	Da 0 a 10

Si noti come il massimo voto attribuibile alla Fatica da Ascolto non possa superare il voto dato al Calore (e lo stesso per la Chiarezza e la Spazialità) in questo modo si tiene conto della gerarchia degli attributi e si impedisce di attribuire un voto soggettivamente alto, per esempio alla Spazialità, quando la Chiarezza o il

Calore sono stati giudicati non ottimali. Con questo sistema per ottenere 10 in Spazialità si deve ottenere 10 anche in Calore, Fatica da Ascolto e Chiarezza. Gli attributi effettivamente ortogonali sono valutati con voti da 0 a 10.

3.2 Test e misure oggettive

Riportiamo in questa sezione un set di misure oggettive relativo ad un sistema di altoparlanti stereofonico a due canali solo per far notare che ad un singolo attributo possono corrispondere più misure distinte.

Il set di misure			
un diffusore	in asse a 90 dB	Risposta in frequenza, waterfall, sensibilità (SPL a un metro con 2.83Vrms).	(Calore) (Chiarezza) (Interfacciabilità)
	in asse a 85 dB	Distorsione Integrale	Distorsione non lineare (Fatica da ascolto)
	in asse a 90 dB	Distorsione Integrale	
	in asse a 95 dB	Distorsione Integrale	
	in asse a 100 dB	Distorsione Integrale	
	30° a 90 dB	Risposta in frequenza	Dispersione orizzontale (Spazialità)
	60° a 90 dB	Risposta in frequenza	Dispersione verticale (Spazialità)
	15° in alto a 90 dB	Risposta in frequenza	
	15° in basso a 90 dB	Risposta in frequenza	
	a banco	Impedenza elettrica e minimo della parte reale	(Interfacciabilità)
a banco	Spostamento volumetrico	(Forza)	
due diffusori speculari	Asse di simmetria	Risposta in frequenza destro+sinistro in parallelo e in controfase	Differenza canale destro/sinistro (Spazialità)

Appendici:

A1 - Chiarezza e risposta in fase

In un dispositivo a "fase minima" le risposte in fase ed in frequenza sono legate da una relazione biunivoca per cui fissata una l'altra è univocamente determinata l'altra e viceversa.

In condizioni di fase minima, ed in assenza di distorsione non lineare, la Chiarezza si fonde con il Calore (la condizione di fase minima richiede, necessariamente, che lo stimolo di ingresso raggiunga l'uscita percorrendo un unico canale non dispersivo -> assenza di riflessioni interne, risonanze e diffrazione ai bordi).

Per un diffusore acustico da stand o da pavimento, a causa della diffrazione ai bordi sul cabinet, la condizione di fase minima non può mai essere verificata (senza l'intervento di particolari processor di segnale quali il DRC). Se il diffusore è montato su schermo infinito o se i fenomeni di diffrazione ai bordi sono trascurabili allora c'è una possibilità. Per esempio per un diffusore a due vie la condizione di fase minima si può verificare lungo una direzione e su una zona più o meno limitata di spazio. Per con un numero di vie diverso da due la condizione di fase potrebbe non essere mai verificata. Nessuna sorgente estesa fa eccezione.

Oggi esiste un dispositivo (il DRC) in grado di correggere l'eccesso di fase di un sistema di altoparlanti e di portarlo "artificialmente" alla condizione di fase minima. Ciò avviene in una limitata regione di spazio ma, almeno teoricamente, può essere fatto. Il DRC, tuttavia, non è la panacea di tutti i mali e va utilizzato con cautela e un buon grado di consapevolezza.

La "distorsione di fase" (meglio l'eccesso di fase) presente in un diffusore acustico viene percepita in un ritratto range di frequenza che va da circa 500 a circa 2000 Hz. Alcuni autori si fermano a 1000 Hz. Oggi sappiamo anche che la distorsione di fase diventa udibile quando il tempo di riverberazione dell'ambiente è basso e con segnali particolari (percussioni o segnali artificiali). L'apparato uditivo reagisce ai transitori di attacco che utilizza sia per distinguere le consonanti (intelligibilità, definizione orizzontale) che per localizzare la sorgente (effetto Fransenn) ne segue che la risposta in fase (o ai transitori) non può essere trascurata. Negli ambienti più riflettenti i transitori riprodotti dai diffusori vengono mascherati dalla

riverberazione e, a causa di ciò, la riproduzione perde Chiarezza. In tali condizioni anche un sistema non particolarmente performante può, con certi generi musicali, suonare gradevolmente.

A2 - Slap Echo e Glare

Glare in inglese significa abbagliante. Se in un auditorio sono stati posizionati dei pannelli piani e piatti in prossimità della sorgente (per aumentare le prime riflessioni) il suono può apparire secco, freddo, duro...analogo ad un abbagliamento ottico. Il glare acustico si previene rendendo le superfici dispersive (irregolari o opportunamente curvate). Lo slap echo è la successione di riflessioni che rimbalzano tra le pareti di fronte ed alle spalle dell'ascoltatore (piccoli ambienti). Lo slap echo produce un effetto simile al glare. Negli ambienti domestici anche le dimensioni e la forma del diffusore acustico diventano importanti: un diffusore con un pannello frontale largo disposto parallelamente alle pareti genera slap echo.

A3 - Prime Riflessioni laterali

Se l'angolo di radiazione orizzontale vale +/- 30° e i diffusori sono orientati verso il punto di ascolto (ancora di 30°) le riflessioni laterali sono molto scarse (assenti nella situazione schematizzata il figura) e quelle poche finiscono alle spalle del punto di ascolto dove dovrebbero trovare una superficie assorbente o molto diffondente a seconde delle specifiche situazioni. Il fonoassorbimento delle pareti laterali, in questa situazione, è meno importante.

A4 – Attributi del suono per Sorgente, amplificatore e Diffusori acustici

