

Grandi woofer per grandi bassi?

Pitagora (VI secolo a.C.) fu tra i primi a studiare il suono applicando le conoscenze matematiche del tempo. Più tardi Aristoxenos (IV a.C.) antepose la sensazione alla matematica: la distinzione tra "misuroni" e "ascoltoni" dura da circa 2400 anni.

Nel seguito tratteremo una misura che richiede uno strumento alla portata di tutti: il metro. Ci comporteremo da "misuroni" ma ricorreremo agli "ascoltoni" per definire i criteri di valutazione dei risultati, con buona pace di Pitagora e di Aristoxenos.

di Mario Bon

Corre voce che per avere tanti bassi serva una cassa grande... Per prima cosa, non confondiamo la quantità con l'estensione: un basso esteso fino a 20 Hz, fatto come si deve, "non si sente" finché nel programma da riprodurre non appaiono, per esempio, i 27 Hz del primo LA del pianoforte o i 32 Hz del DO con cui inizia *Così parlò Zarathustra*. In alta fedeltà i bassi non sono né tanti né pochi e si devono sentire, nella giusta quantità, quando effettivamente presenti nel programma musicale. Poi non si deve confondere il volume del cabinet con la quantità d'aria che un woofer può spostare perché sono due cose diverse e indipendenti tra loro. Un woofer sposta, al massimo, una quantità d'aria pari al prodotto della sua superficie (SD) per lo spostamento lineare (Xmax). Questa quantità è lo Spostamento Volumetrico (SV = SD x Xmax). Lo SV rappresenta il vero potenziale di un woofer: più è elevato tanto più estesa potrà essere la risposta e la pressione sonora riprodotta (non "tanti bassi" ma i bassi veri a "volume maggiore"). Un progettista sceglie se realizzare una cassa da 20 o da 200 litri, in reflex o in cassa chiusa, secondo le specifiche esigenze e sceglierà, di conseguenza, l'altoparlante più idoneo allo scopo. Tuttavia, indipendentemente dalle dimensioni della cassa, per produrre una certa pressione SPL, si deve muovere una certa quantità d'aria (avere un certo SV). Un esempio: il Woofer Fostex FW800N da 31 pollici è probabilmente il woofer più "grande" mai prodotto. Nella tabella che segue viene messo a confronto con un woofer di concezione e tecnologia attuale, realizzato dalla Aurasound, assai più piccolo. Si tratta di un gruppo da poco costituito specializzato anche nella realizzazione

di altoparlanti conto terzi sia per il settore AV di largo consumo (sound bar e affini) che di altoparlanti tradizionali da un lato e «fantascientifici» da un altro punto di vista! La bobina mobile è completamente immersa all'interno di un campo magnetico generato da un impressionante anello di neodimio e linearizzato in tutta la lunghezza utile. La corsa risulta impressionante e l'equipaggio mobile è sostenuto da un doppio spider. La soluzione di Aurasound si distingue da ogni suo attuale concorrente e, paragonata a quella implementata da Fostex nell'FE800 di molte decine di anni fa sembra davvero avveniristica: vogliamo ricordare che il supporto del Fostex presentava una forma leggermente troncoconica invece che perfettamente cilindrica in quanto, nelle massime escursioni al limite esterno la dissimetria del campo magnetico veniva "compensata" il più possibile con la forma della bobina mobile. A distanza di anni certe soluzioni fanno quasi tenerezza guardando, ad esempio, un Aurasound oppure un Bower & Wilkins!

Con il woofer "moderno" lo spostamento volumetrico è maggiore e basta una cassa da 5 a 10 volte più piccola. Dunque non serve una cassa grande ma un woofer adatto allo scopo prefissato... (Tab. 1)

Tabella 1	Woofer Fostex FW800N	Woofer Aura NS 15-992
Diametro esterno	80 centimetri	39.3 centimetri
SD superficie	0.4015 m2	0.0765 m2
Xmax spostamento lineare	2.3 mm.	19 mm.
SV Spostamento Volumetrico	0.92345 litri	1.4535 litri
Volume consigliato per la cassa	da 500 a 800 litri	da 80 a 100 litri
Dimensioni interne della cassa	80 x 80 x 1200 cm = 768 litri	40 x 35 x 65 cm. = 91 litri
Massimo SPL a 28.4 Hz	100 dB	103.9 dB

UNO STRUMENTO ALLA PORTATA DI TUTTI: IL METRO

È il momento di sfatare un altro mito: non è detto che per ottenere informazioni interessanti su un diffusore acustico sia necessario disporre di una camera anecoica o di un analizzatore di spettro. Lo Spostamento Volumetrico (SV) si misura con il metro o semplicemente leggendo le specifiche dichiarate dal costruttore degli altoparlanti. Lo SV misura il massimo volume d'aria che l'altoparlante può spostare nel suo movimento (più precisamente dovrebbe chiamarsi Spostamento Volumetrico di Picco) e la sua conoscenza permette di ottenere il SPL prodotto ad una certa frequenza e, su tale base, classificare i diffusori in relazione alle effettive condizioni ed esigenze d'uso. Lo SV fornisce anche un criterio di valutazione per l'intero diffusore (la capacità di produrre un determinato SPL su tutto lo spettro a partire da una certa frequenza in su) ed è direttamente correlato all'attributo del suono definito da Beranek come "Loudness" e tradotto in italiano come "Forza". Varrebbe la pena di includerlo nel set di misure standard dei diffusori acustici. Sempre utilizzando il metro, o meglio attraverso considerazioni di tipo geometrico, si possono stimare altre caratteristiche

di un diffusore acustico quali la dispersione, la risposta in potenza e anche la risposta in frequenza in ambiente (in condizioni particolari ma è possibile). Noto lo SV, si ottengono (box A):

- la potenza acustica massima (ad una certa frequenza)
- il livello SPL prodotto dall'altoparlante (ad una certa frequenza)
- la minima frequenza alla quale è possibile riprodurre un SPL prefissato.

Queste quantità sono sufficienti per dividere gli altoparlanti (e i diffusori acustici) in due categorie: quelli che raggiungono il livello SPL desiderato ad una certa frequenza e tutti gli altri. Lo SV determina il massimo livello SPL riproducibile dall'altoparlante e quindi misura la Forza (attributo dal suono definito da Beranek come Loudness e applicabile anche agli altoparlanti). Lo SV è una quantità misurabile oggettiva, direttamente correlata ad un attributo del suono, inserita da Small tra i parametri relativi ai "grandi segnali", che permette di ordinare i diffusori per Forza ma che non viene esplicitamente riportata nei test. Il box B mostra quanta aria si deve spostare per ottenere un certo SPL a frequenze via via più basse (in regime sinusoidale). Per dimezzare la frequenza, a parità di SPL prodotto, lo SV deve quadruplicare. Come dire che, se un woofer produce un certo SPL a 110 Hz, per produrre lo stesso SPL a 55 Hz servono quattro woofer e 16 per arrivare a 27.5 Hz (il LA corrispondente al primo tasto del pianoforte). Per produrre 106 SPL a 27 Hz lo SV richiesto è nell'ordine dei litri. Se questi sono i numeri c'è da chiedersi come sia possibile riprodurre le basse frequenze con

i "normali" diffusori acustici che hanno SV spesso inferiori a un decimo di litro. I casi sono due: o le frequenze basse sono presenti ma ad un livello abbastanza basso oppure il livello SPL calcolato in linea teorica è troppo elevato. Sappiamo che il contenuto energetico delle prime ottave dipende dal genere musicale (box C) e non tutti i generi ne sono ricchi. Va poi tenuto conto che la vicinanza delle pareti (riducendo l'angolo "solido" su cui viene emessa la potenza acustica) produce un aumento di livello valutabile in 3 dB per ogni parete vicina (box D). Per quanto riguarda il livello SPL da riprodurre in ambiente ci sono almeno due scuole di pensiero. La prima ritiene di dover ricostruire gli stessi livelli riscontrabili dal vivo (tipo 130 dB di picco a 4 metri dai diffusori) mentre la seconda, tipicamente inglese, ha pretese anche troppo minimaliste. Come possiamo stabilire l'effettivo SV necessario "nelle effettive condizioni d'uso"? Escludiamo le soluzioni estreme e affidiamoci ai risultati dei test soggettivi di ascolto critico (in poche parole i test di ascolto che si leggono nelle riviste specializzate come SUONO). Consideriamo il diffusore X che è stato testato da otto riviste del settore (tra cui SUONO) ricevendo due "best buy" (in Inghilterra e a Hong Kong) ed è stato giudicato, unanimemente, in grado di sonorizzare adeguatamente gli ambienti in cui è stato provato. I giudizi espressi dipendono dalle condizioni di prova (l'ambiente, la distanza dal punto di ascolto, l'amplificazione...) e per buona parte dalla scelta del programma musicale. Gli otto test sono stati condotti in condizioni diverse e proprio per questo possiamo dire che "in generale" il diffusore X soddisfa le esigenze della sonorizzazione domestica. Per quanto riguarda gli ambienti dove sono avvenuti i test, avendo assunto qualche informazione in merito, sappiamo che presentano superficie compresa tra 20 e 40 metri quadri e tempi di riverberazioni di circa 0.4-0.6 secondi. In letteratura gli ambienti utilizzati, o consigliati per i test, vanno da un minimo di 15 m² (Gilford) a circa 40 m² (26.8 m² per Toole, 30 m² per l'ambiente normalizzato IEC, 39 m² per Nippon-Gakki) e in questo range rientra anche il tipico

Box A	
$L_w = 10 \log (W/W_{rif})$	definizione di Livello di potenza acustica L_w rispetto al riferimento $W_{rif} = 10^{-12}$. Un Watt acustico produce $L_w=120$ dB
$L_p = 10 \log (p/prif)^2 = 20 \log (p/prif) = SPL$	definizione di Livello di Pressione acustica L_p rispetto al riferimento $prif = 20 \cdot 10^{-5}$ Pa. P = Pressione RMS. La pressione atmosferica (101325 Pa) corrisponde a 193 dB.
$L_w = SPL+11$ oppure $SPL = L_w-11$	Relazione tra livello di potenza e livello SPL (sorgente puntiforme, campo libero, a 1 metro)
$L_w = SPL+8$ oppure $SPL = L_w-8$	Come sopra ma sorgente puntiforme su schermo infinito (mezzo spazio) campo libero, a 1 metro.
$W = 10^{0.1(SPL+11)-120}$	potenza acustica calcolata invertendo l'espressione di L_w (nato SPL si ottiene W = potenza acustica)
$S_v = \frac{0.608}{f^2} \sqrt{2\pi W}$ in m3	Espressioni per il calcolo della potenza acustica (in Watt) e dello SV (in m ³) su mezzo spazio (2π), la frequenza f è in Hz. Per ottenere potenza e SV sull'intero spazio sostituire 2π con 4π . (un metro cubo= 1000 litri).
$W = \left(\frac{S_v f^2}{0.608}\right)^2 \frac{1}{2\pi}$	
Espressioni per Livello di Potenza, Livello di Pressione, Spostamento Volumetrico e Potenza Acustica in funzione della frequenza (nella approssimazione di sorgente puntiforme a un metro di distanza)	

A1	
SPL = 106	Livello di pressione richiesta
$\alpha = 2 \cdot \pi$	Alfa = Angolo solido = Mezzo spazio $\pi=3.1415...$
$SV = X_{max} \cdot SD$	in metri cubi - spostamento volumetrico di picco
$A = SPL - 109$	
$B = 10^{A/10}$	Dieci elevato alla (A/10)
$Watt = 2 \cdot B$	Potenza di picco
$f = \sqrt{Watt \cdot \alpha} \cdot 0.608 / SV$	$f = \text{radice quadrata}$
$f = \sqrt{Watt \cdot \alpha} \cdot 0.608 / SV$	$f = \text{frequenza limite inferiore in Hz}$
Passi per il Calcolo della frequenza alla quale si ottiene un livello SPL = 106 dB	

A2	
freq=55	frequenza richiesta in Hz
sv=100	spostamento volumetrico cm ³ (litri x 1000)
$\alpha = 6.28$	angolo solido di radiazione (2π o 4π)
$watt = sv / 608000$	
$watt = watt \cdot freq \cdot freq$	
$watt = watt \cdot watt / \alpha$	
$watt = watt / 2$	potenza RMS
$watt = LOG10(watt) + 120$	$L_w = \text{livello di potenza rms}$
$SPL = watt - 10.8$	
Passi per il Calcolo del livello SPL fissata la frequenza e lo SV dell'altoparlante	

Box B						Spostamento Volumetrico prodotto da 1 a 64 woofer da 5" nominali con SD=94 cm ² e Xmax = 7 mm (in cassa chiusa). Viene indicata la frequenza alla quale si raggiungono 106.2 dB (su mezzo spazio). Lo spostamento volumetrico è espresso in litri. Per dimezzare la frequenza si deve quadruplicare lo SV. 27 Hz corrispondono alla nota più bassa del pianoforte (circa).
numero	SD	Xmax	Spost.Vol	Hz	SPL dB	
1	94	7	0.0658	152	106.2	
2	94	7	0.131	108	106.2	
4	94	7	0.263	76	106.2	
8	94	7	0.526	54	106.2	
16	94	7	1.052	38	106.2	
32	94	7	2.105	27	106.2	
64	94	7	4.211	19	106.2	

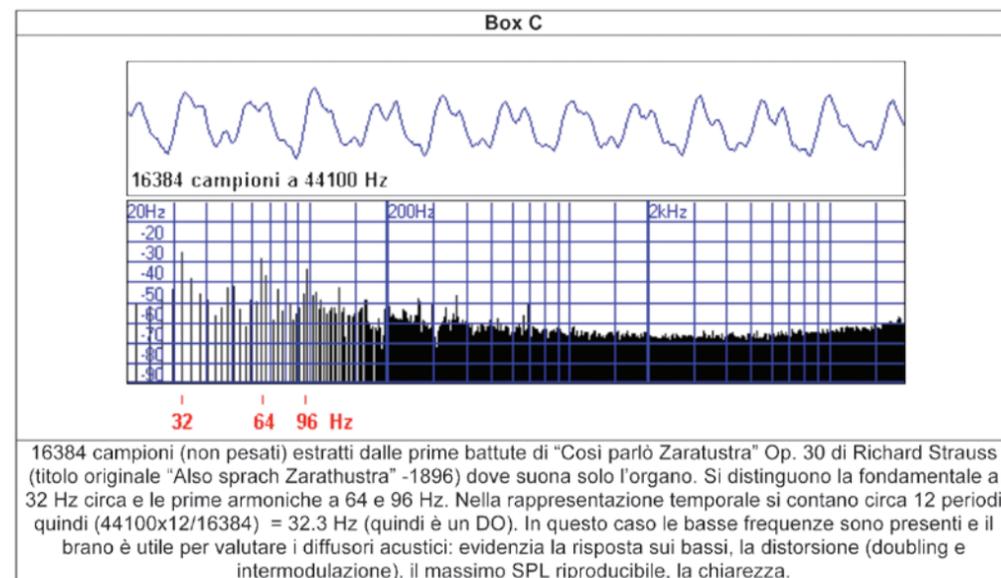
soggiorno italiano. La distanza dal punto di ascolto è compresa tra 2 e 3 metri. Lo SV del diffusore X (un decimo di litro) "numericamente" è sufficiente per produrre:

- 104.2 dB SPL a partire da 110 Hz (terzo LA del pianoforte)
- 99.2 dB SPL a partire da 82.41 Hz (primo MI della voce di basso e della chitarra)

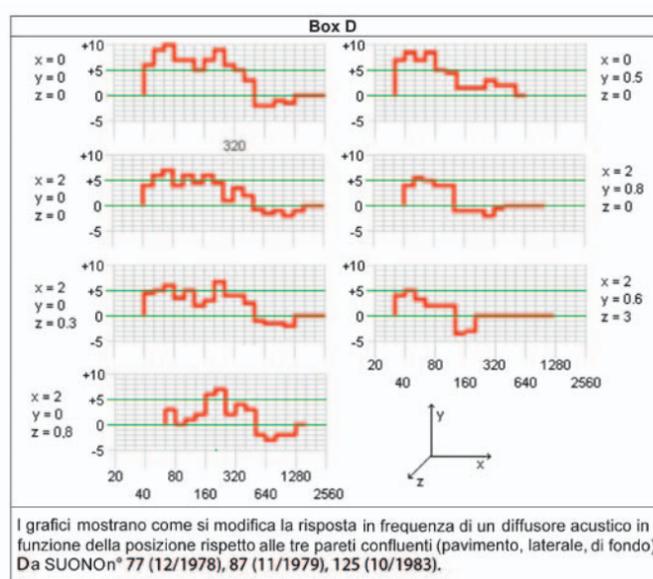
- 95.2 dB SPL a partire da 65.41 Hz (secondo DO del pianoforte)
- 92.2 dB SPL a partire da 55.0 Hz (secondo LA del pianoforte)
- 87.2 dB SPL a partire da 41.2 Hz (primo MI della chitarra basso)
- 83.2 dB SPL a partire da 32.7 Hz (primo DO del pianoforte e della tastiera dell'organo)

- 80.2 dB SPL a partire da 27.5 Hz (primo LA del pianoforte)

Questi dati riguardano il campo diretto alla distanza di un metro su mezzo spazio (ovvero vicino ad almeno una parete, per esempio il pavimento). La massima pressione di picco prodotta dal diffusore X vale 110 dB (a 1 metro in gamma media) ottenibili con un amplificatore da 100



Wrms/8 Ohm (con più potenza arriva a 117 dB). Se è vero che il diffusore X è "in generale" adeguato alla sonorizzazione del soggiorno medio, il suo SV può essere preso come riferimento: valori maggiori vanno bene, valori inferiori vanno bene lo stesso ma per applicazioni diverse. In realtà non è importante che il riferimento sia proprio 0.1 ma che si possa definire un riferimento e che questo non sia un numero "teorico" ma rappresenti le effettive condizioni d'uso. Una volta quantificato il valore di riferimento formiamo due classi (diffusori con SV maggiore e minore). Se un diffusore presenta SV inferiore al limite scelto non significa che non sia buono o che suoni male ma piuttosto che è adatto ad ambienti non grandi o che richiede un punto di ascolto ravvicinato o che predilige determinati generi musicali e può essere ottimo, per esempio, per riprodurre la musica da camera in un ambiente di 15 metri quadri con il punto di ascolto a un metro e mezzo. Dall'altra parte un diffusore con SV superiore al litro sarà scelto da chi desidera sonorizzare un grande ambiente con qualsiasi genere musicale e il punto di ascolto a 4 metri. Ogni raddoppio dello SV comporta un incremento di SPL di 6 dB che può essere gestito per aumentare il livello, per allontanare il punto di ascolto o estendere la risposta verso il basso. Per esempio, se con 0.1 litri di SV si ottengono 95 dB SPL a



partire da 65 Hz a un metro, quadruplicandolo a 0.4 si ottiene la stessa pressione a 32 Hz (alla stessa distanza) oppure 101 dB SPL a partire da 65 Hz ma a distanza doppia. Quello che appare evidente è che, per ottenere dei miglioramenti sensibili, lo SV deve aumentare almeno del 40% (+3 dB SPL). Esempio - rispetto al diffusore X si vuole:

- raddoppiare la distanza del punto di ascolto (+6 dB -> SV x 2)
- aumentare il livello SPL di 6 dB (SV x 2)
- estendere di una ottava la risposta verso le basse frequenze (SV x 4)

Rispetto al diffusore X, lo SV va moltiplicato $x2 \times x2 \times x4 = 16$ e diventa di 1.6 litri. Questo è un valore che pochi diffusori possono garantire: inevitabilmente non tutti i diffusori sono adatti per qualsiasi genere musicale o per qualsiasi ambiente. Se associamo allo SV il dato di sensibilità (per valutare la potenza di pilotaggio richiesta) e la curva di impedenza (per valutare il corretto interfacciamento con l'amplificatore) e aggiungiamo un giudizio soggettivo attendibile sulle qualità sonore, disponiamo di quanto serve per scegliere i diffusori acustici con cognizione di causa. È importante rimarcare l'aspetto

metodologico di quanto fin qui esposto:

- esiste una grandezza misurabile (lo SV)
- tale grandezza rappresenta un attributo del suono (la Forza)
- la valutazione numerica indica dei valori elevati
- le prove di ascolto indicano come adeguati valori di un ordine di grandezza inferiori
- si assumono come validi i valori indicati dalle prove di ascolto nelle effettive condizioni d'uso.

Se non ragioniamo in questo modo cadiamo in una situazione analoga a quella già sperimentata con gli amplificatori a valvole che sembrano suonare più forte dei pari potenza allo stato solido: le valutazioni non possono prescindere dalle "effettive condizioni d'uso" che riguardano (in ordine casuale) l'ambiente, la posizione dei diffusori nell'ambiente, la distanza del punto di ascolto e il contenuto spettrale ed energetico dei programmi musicali. Lo stesso metodo andrebbe applicato a tutti gli attributi del suono individuando le grandezze misurabili che li rappresentano e quantificandoli nelle effettive condizioni d'uso.

IL CALCOLO

Lo SV è il prodotto della superficie di radiazione dell'altoparlante (SD) moltiplicato per il massimo spostamento lineare (Xmax). Entrambe queste quantità si trovano nelle specifiche fornite dai costruttori di altoparlanti o possono essere misurate direttamente (con il metro). Lo spostamento del diaframma di un altoparlante viene espresso come spostamento di picco o picco-picco. Lo spostamento Xmax vale la metà dello spostamento picco-picco e si calcola come segue (1981, Mark Gander - JBL):

$$2 X_{max} = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{altezza della bobina mobile}}{\text{altezza della piastra polare}} \right)$$

Preso in modulo l'espressione è valida sia per bobine *underhang* che *overhang* (box E). Quando lo spostamento dell'apparato mobile dell'altoparlante supera Xmax, la bobina esce dal traferro, il fattore di forza BL diminuisce, compaiono i fenomeni di compressione e la distorsione aumenta vistosamente.

Per quanto riguarda la superficie di radiazione SD si deve tenere conto anche della sospensione esterna e utilizzare il "diametro efficace" calcolato come media tra il diametro esterno ed il diametro interno della sospensione esterna o rim (vedi box F). Esiste comunque un altro metodo molto più preciso ma meno diretto. Noto il diametro si calcola la superficie.

In un sistema a più vie lo SV dei diversi altoparlanti deve consentire al diffusore di riprodurre lo stesso SPL su tutto lo spettro audio (da una certa frequenza in su). Per esempio, se il woofer produce 106 dB a 88 Hz allora anche il midrange ed il tweeter devono poter fare lo stesso alla frequenza più bassa di loro competenza. Questo serve per garantire la continuità delle prestazioni attraverso le zone di transizione da una via all'altra e verso le alte frequenze.

Considerato che il midrange, alla frequenza di incrocio, emette metà della pressione rispetto al suo centro banda, questo trasduttore è chiamato a produrre 6 dB in meno (e analogo discorso vale per il tweeter). Per cominciare si calcola lo SV dei singoli trasduttori e la minima frequenza alla quale viene prodotto lo SPL richiesto (nell'esempio 106 dB a un metro). Vedi ad esempio Tab. 2.

Questo ipotetico diffusore a tre vie, chiamato a produrre 106 dB SPL a un metro, sopporta un taglio tra medio e tweeter a 2090 Hz, un taglio tra woofer e medio a 179 Hz (abbastanza basso) ed il woofer produce i 106 dB richiesti a partire da 88 Hz. Quindi con le frequenze di crossover fissate, per esempio, a 200 e 2100 Hz gli altoparlanti sono correttamente utilizzati. Lo SV di questo woofer vale 0.198 (quasi il doppio del diffusore X) ed è più che adeguato "in generale" alla riproduzione domestica e potrà essere impiegato in un ambiente più vasto o a distanza maggiore o con una risposta più estesa verso il basso (+ 40% rispetto al diffusore X). Lo SV aumenta con la superficie SD e con Xmax. Basta aumentare Xmax e il gioco è fatto... purtroppo aumentare lo spostamento, in particolare

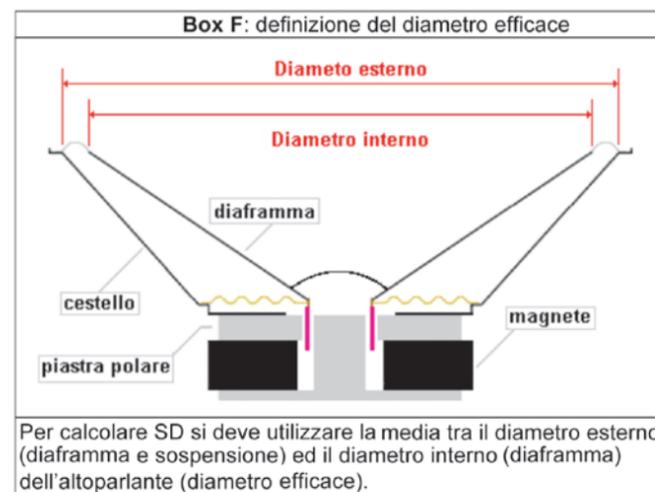
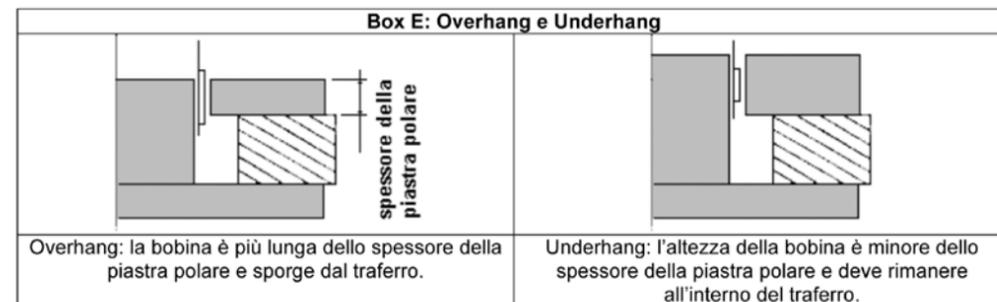


Tabella 2

Altoparlante	SD cm2	Xmax in millimetri	Frequenza minima per SPL richiesto	SPL richiesto a un metro
tweeter 1"	7	0.25 mm	2090 Hz	106 - 6 = 100 dB
midrange 5"	80	3 mm	179 Hz	106 - 6 = 100 dB
woofer 10"	330	6 mm	88 Hz	106 dB

a parità degli altri parametri, comporta la completa riprogettazione dell'altoparlante e, in pratica, l'aumento di Xmax è causa di un notevole aumento dei costi. Ci sono poi altre questioni: consideriamo un complesso magnetico di tipo *overhang* (box E). Per aumentare Xmax, a parità di spessore della piastra polare, si deve allungare la bobina mobile. Con la lunghezza aumentano il peso (Mms) la resistenza (Re) l'induttanza (Le) e conseguentemente diminuiscono l'efficienza e la sensibilità. Non per nulla gli altoparlanti efficienti hanno la bobina mobile corta e spesso producono, a parità di SPL,

più distorsione di altoparlanti meno efficienti ma con Xmax maggiore. Infatti, fissato lo SPL da riprodurre e a parità di superficie di radiazione, lo SV è indipendente dall'efficienza o dalla sensibilità dell'altoparlante: lo SV è un parametro geometrico (è un volume) mentre efficienza e sensibilità sono parametri elettro-meccanici. In sostanza, se si chiede ad un woofer di produrre 100 dB a 40 Hz lo SV deve (deve) essere di 0.47 litri anche se il diffusore produce 100 dB SPL con 2.83 Wrms a un metro: si può essere efficienti quanto vuoi ma se non si sposta la quantità d'aria necessaria i bassi restano

una chimera. Esiste, in questo senso, un limite fisico che impedisce di realizzare woofer di alta qualità con sensibilità superiore a 93-95 dB (senza ricorrere alle trombe). Tale limite è determinato dall'equilibrio richiesto tra leggerezza, spostamento e rigidità che, nella pratica, impedisce di ottenere altoparlanti contemporaneamente rigidi, leggeri e con una bobina mobile "lunga". L'uso di materiali particolari permette di realizzare diaframmi rigidi e leggeri ma l'avvolgimento della bobina mobile è fatto di rame o alluminio e il peso del metallo è quello che è. Gli attuali magneti al neodimio consentono di raggiungere valori elevati per il fattore di forza (BL) che da una parte aumentano l'efficienza ma dall'altra limitano il fattore di merito totale (Qts). Questi altoparlanti, rigidi, leggeri e con Qts basso, sono più adatti per il caricamento a tromba che per un reflex (o una cassa chiusa). Se il complesso magnetico è di tipo *underhang*, sempre a parità di spessore della piastra polare, per aumentare Xmax la lunghezza della bobina deve diminuire, il che riduce BL e sensibilità... è il classico problema della coperta corta. Infine un cenno all'errore di misura. L'errore sul calcolo dello SPL dipende dalla precisione con cui sono noti i valori di SD e Xmax e dalla distorsione (dell'altoparlante, filtro crossover, causata dalla cavitazione dell'aria in prossimità del diaframma, ecc.). Xmax e SD possono essere misurati con accuratezza. Per quanto riguarda la distorsione, i moderni diffusori acustici di qualità consentono di raggiungere lo SPL massimo con tassi di distorsione contenuti (poche parti per cento) e l'errore massimo su SPL rimane nell'ordine di mezzo dB.