

Il diffusore vibra?

15 dicembre 2010
di Mario Bon

Tra i luoghi comuni che circolano nel mondo dell' HiFi c'è anche questo: "più un diffusore acustico è pesante e meglio è". Nel seguito parleremo di vibrazioni: dove nascono, come si trasmettono, il loro effetto e come contrastarle. Le vibrazioni si misurano con l'accelerometro (alcuni "auscultano" le vibrazioni con lo stetoscopio) ma se il diffusore vibra lo si sente bene anche appoggiandoci sopra una mano.

Le cause

Accendiamo l'impianto e facciamo partire un CD. L'amplificatore eroga corrente ai diffusori acustici e gli altoparlanti suonano. Devono suonare solo (solo) gli altoparlanti. Non il controsoffitto. Non il tavolo che regge l'impianto. Non i trasformatori dell'amplificatore. Non i cavi (quelli con guaina in PVC e PVDF sono piezoelettrici e suonano). Non il mobile del diffusore acustico. Se il mobile del diffusore vibra significa che parte dell'energia erogata dall'amplificatore è stata sottratta all'altoparlante e "dirottata" al mobile. L'energia si conserva anche in HiFi. Quindi il "motore" delle vibrazioni è l'altoparlante stesso più precisamente il suo "equipaggio mobile" (bobina e diaframma).

La trasmissione

Le vibrazioni vengono trasmesse al mobile in due modi:

- attraverso la variazione di pressione (nel mobile) causata dal moto dell'altoparlante (**box 1**)
- per via strutturale: vibrazioni trasmesse dall'altoparlante al pannello cui è fissato (**box 2**)

La variazione di pressione è rilevante alle frequenze più basse (dove la lunghezza d'onda è maggiore delle dimensioni del mobile) e viene contrastata dalla rigidità della struttura. Tuttavia un diffusore infinitamente rigido ma leggero non basta: quando la membrana dell'altoparlante va avanti il mobile va indietro (rinculo, come quando si spara con il fucile) e cede energia al mobile. Il rinculo si contrasta con il peso quindi il diffusore acustico deve essere contemporaneamente rigido e pesante.

Effetti

Le vibrazioni del mobile hanno un effetto meccanico e un effetto "sonoro". L'energia sottratta all'altoparlante produce irregolarità nella risposta sia in fase che in frequenza (l'energia ceduta al mobile non è costante con la frequenza). Sempre dal punto di vista meccanico le vibrazioni del pannello frontale del diffusore possono essere captate dal medio e dal tweeter ed interferire con il loro funzionamento (vedi oltre). Se la vibrazione raggiunge le superfici (esterne) del mobile si trasforma in suono che interferisce con quello prodotto dall'altoparlante. Questo causa risonanze con code spesso udibili in gamma medio bassa che degradano la Definizione Orizzontale (l'aspetto della Chiarezza che valuta la capacità di distinguere le note suonate in rapida successione, in orizzontale sullo spartito).

Le contromisure

Solo qualche mini-diffusore è realizzato interamente in massello e, su piccoli volumi, questo materiale non dà problemi. Il massello però non è un materiale omogeneo e presenta elasticità diversa a seconda della direzione della venatura e, per questo motivo, non sarebbe propriamente adatto per un diffusore acustico per contro è molto elegante e bello da vedere. Non per nulla l'MDF viene impiallacciato. La maggioranza dei diffusori acustici è realizzata in Medium Density (MDF) e una minoranza utilizza materiali compositi, vetro, plexiglass, marmo, alluminio, ecc. . Tutti questi materiali sono omogenei e, aumentando lo spessore, aumentano rigidità e peso. Il **box 8** confronta materiali diversi a parità di peso e a parità di spessore. E' molto istruttivo notare come, per ottenere lo spostamento dei modi normali verso le frequenze più alte (maggiore rigidità) sia fondamentale agire sullo spessore: a parità di peso l'MDF presenta il primo modo a frequenza maggiore rispetto a ad ogni altro materiale preso in esame.

A volte le pareti interne del diffusore vengono coibentate per smorzare le vibrazioni. Lo smorzamento riduce l'ampiezza delle vibrazioni e con essa la vibrazione trasmessa all'aria circostante. Ciò non significa che il problema sia stato risolto: lo scopo è "non sottrarre" energia all'altoparlante. Il fatto che la superficie esterna del mobile non vibri non significa che non sia stata sottratta energia, ma che l'energia sottratta è stata convertita in calore. Lo smorzamento risolve una parte del problema. Altri diffusori adottano doppie pareti separate da uno strato di materiale smorzante. Questo è un ottimo sistema, in edilizia, per aumentare

l'isolamento tra due ambienti contigui ma non è altrettanto valido se applicato al diffusore acustico: si tratta anzi di una soluzione controproducente (box 5).

Isolamento interno/esterno

L'altro fenomeno che coinvolge il peso è l'isolamento acustico tra l'interno e l'esterno del mobile che è regolato dalla "legge di massa" secondo la quale l'isolamento offerto da una lastra (pannello, parete) è proporzionale alla sua massa: raddoppiando la massa raddoppia l'isolamento (box 4). Alle frequenze medie il suono emesso dall'altoparlante all'interno del mobile deve essere assorbito affinché non "riemerge" all'esterno attraversando la "leggera" membrana dell'altoparlante (mascheramento). Un efficace fono assorbimento all'interno del mobile aumenta anche l'isolamento semplicemente perché resta poco da trasmettere.

La frequenza di risonanza del tweeter

Un altoparlante è un dispositivo reversibile: se eccitato da una tensione produce un suono, se eccitato da un suono produce una tensione. La struttura del tweeter dinamico a cupola e del microfono dinamico sono identiche (con ingresso e uscite invertite). La massa dinamica di un tweeter a cupola da un pollice non arriva a mezzo grammo ed è troppo piccola per eccitare il mobile. Per lo stesso motivo però il tweeter è sensibile alle vibrazioni del pannello che lo sostiene (eccitato dal woofer e dal medio). Vediamo un esempio che riguarda un diffusore a tre vie realizzato con un mobile non particolarmente rigido (un prototipo da 70 litri in MDF da 18 millimetri di spessore). In figura 1 è mostrato il set up della misura: woofer e medio sono dotati di filtro cross-over e sono alimentati con rumore rosa. L'ingresso del filtro del tweeter invece è cortocircuitato (come se fosse collegato ad un amplificatore con fattore di smorzamento infinito che non produce alcun segnale). Per confronto è stata rilevata la tensione ai capi del tweeter senza filtro (come se fosse collegato ad un amplificatore con fattore di smorzamento nullo che non produce alcun segnale). Il grafico in figura 2 mostra le tensioni misurate ai terminali degli altoparlanti. In assenza del filtro passa alto si nota un picco di trasmissione in corrispondenza alla risonanza del tweeter (500 Hz). Il filtro passa alto, ed in particolare la bobina L verso massa, controllata il picco di trasmissione sia a 500 Hz che in corrispondenza alla risonanza del woofer. Questo dimostra che anche il filtro cross-over ha un ruolo, sottovalutato, nel controllo delle vibrazioni (box 6). E' altresì evidente l'effetto microfonico che fa captare al tweeter il rumore ambientale proprio come se fosse un microfono.

Costi-benefici

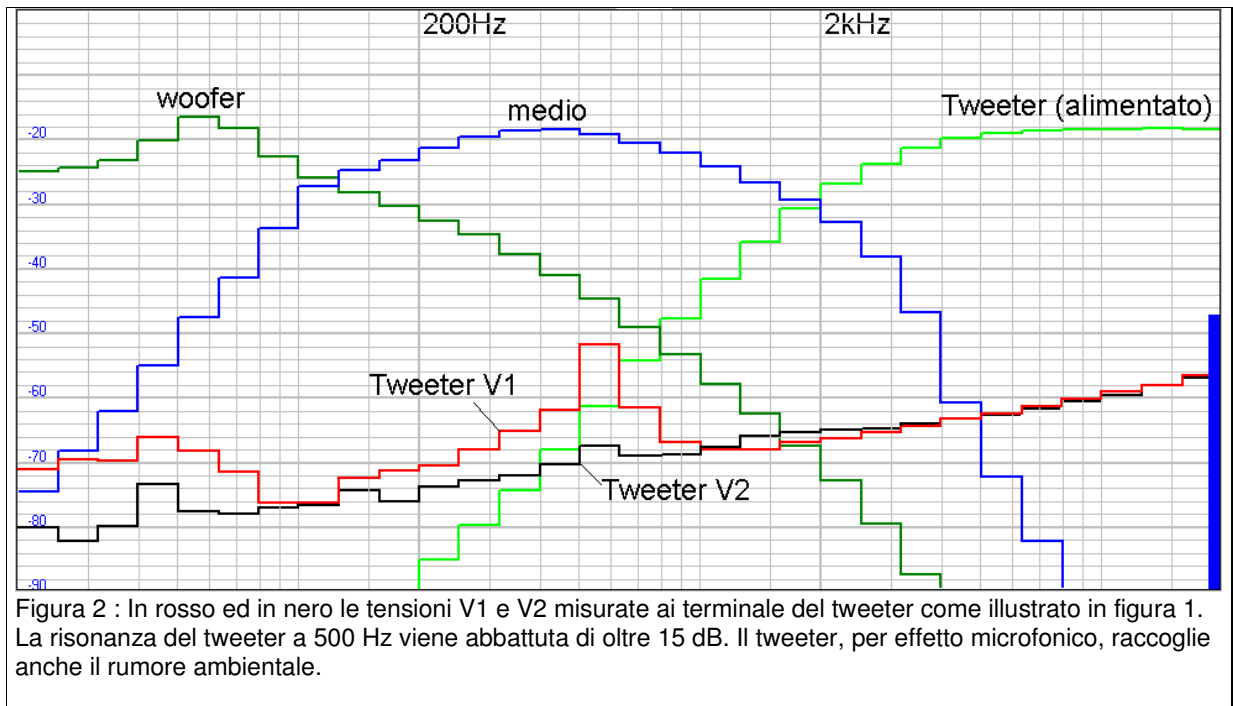
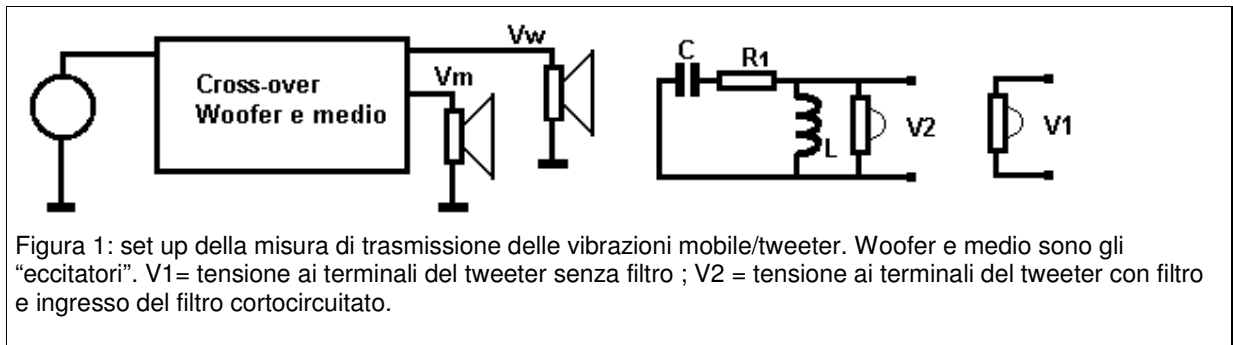
Come in tutte le cose c'è un limite superato il quale un incremento di peso comporta maggiori costi senza apportare benefici udibili: quando il peso del cabinet è 500-1000 volte maggiore della peso dell'apparato mobile dell'altoparlante (Mms) è probabile che emergano all'ascolto altri difetti quali il mascheramento causato dalle riflessioni interne, la distorsione, la diffrazione ai bordi, ecc.. Quando poi il peso è sufficiente la rigidità può essere incrementata con rinforzi (collegamenti tra le pareti opposte) o aumentando la tensione delle pareti (multistrato curvato). Per quanto detto sorge il dubbio che certe soluzioni, quali doppi telai flottanti, funzionino più in virtù del notevole peso che per altri motivi.

Conclusioni

Il peso del diffusore acustico è importante per diversi motivi: riduce l'energia sottratta all'altoparlante, limita la trasmissione delle vibrazioni, aumenta l'isolamento tra l'interno e l'esterno del mobile e aumenta la rigidità (se ottenuto aumentando lo spessore delle pareti).

Il legame tra peso e rigidità passa attraverso lo spessore quindi l'affermazione "tanto più è pesante e meglio è va corretta in "tanto più spesse sono le pareti, tanto più pesa la cassa e meglio è". La qualità del mobile è determinata dallo spessore della sua parete più sottile.

Abbiamo visto che, a parità di peso, l'MDF è ancora il materiale migliore e che una singola parete spessa è preferibile ad una doppia parete con intercapedine. Abbiamo visto l'effetto microfonico di un tweeter e come anche il cross-over abbia un ruolo nel controllo delle vibrazioni strutturali. Il box 7 completa il quadro illustrando la funzione delle punte.



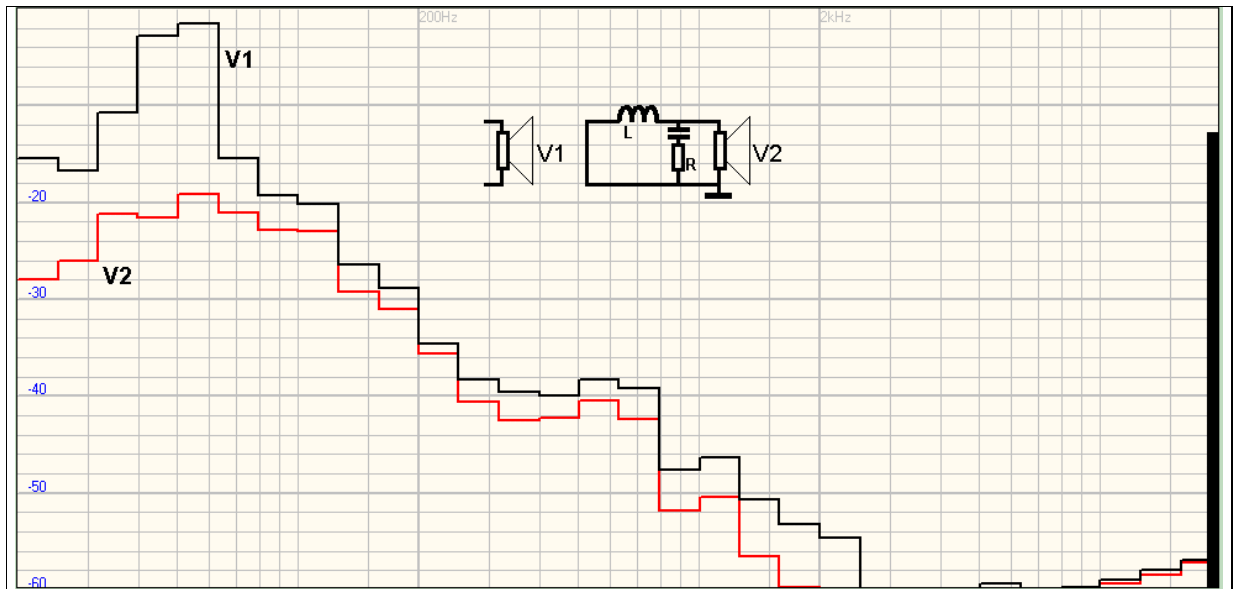
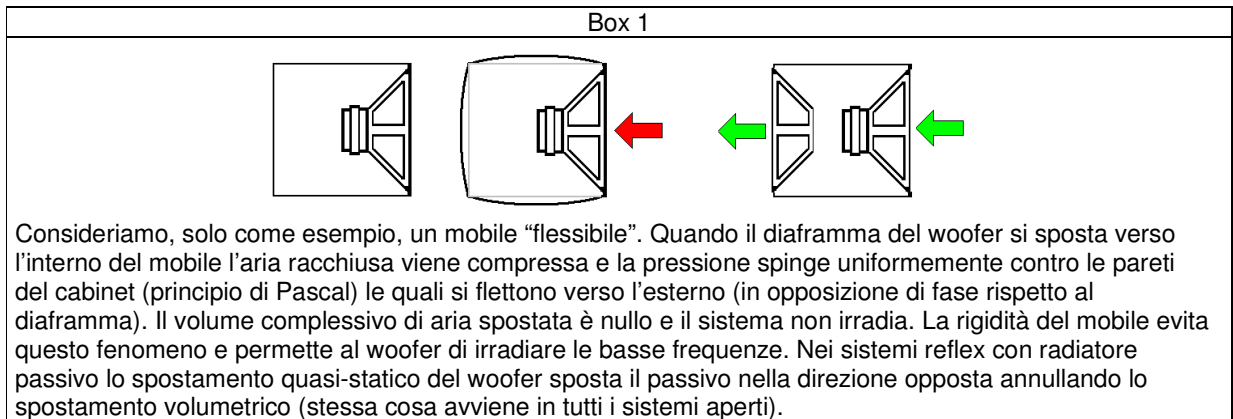
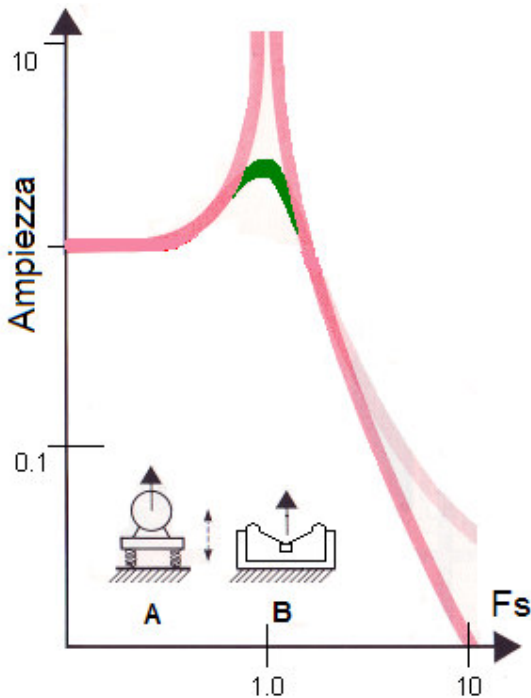


Figura 2a : Un diffusore produce rumore rosa mentre l'altro, scollegato, viene usato come "microfono". Nero: effetto microfonico di un woofer da 8" (senza filtro). In rosso effetto microfonico ridotto dalla presenza del filtro passa basso. In questo caso il filtro abbatte l'effetto microfonico per circa 18 dB nell'intorno della risonanza.



Box 2: dall'altoparlante al box



Un dispositivo vibrante B (diaframma altoparlante), fissato a una base (mobile) attraverso elementi elastici (sospensioni) acquista una frequenza di risonanza (F_s) che dipende dalla sua massa (M_{ms}) e dalla cedevolezza complessiva delle sospensioni (C_{ms}). F_s cade tra 20 e 100 Hz. Al di sotto della risonanza F_s le vibrazioni vengono trasmesse al piano di appoggio (mobile). In corrispondenza alla frequenza di risonanza si osserva (in assenza di smorzamento) un picco di trasmissione. Per frequenze maggiori di F_s la vibrazione trasmessa si attenua di 6 dB per ottava e, a frequenza elevata, vibra soltanto il dispositivo (diaframma altoparlante) e la base rimane indisturbata. Il cestello dell'altoparlante si considera parte del mobile.

In A è rappresentata una macchina su sospensioni elastiche. Tanto più le sospensioni sono rigide, tanto più la risonanza si sposta verso le alte frequenze. Le punte equivalgono ad una "sospensione" perfettamente rigida che trasferisce al pavimento le vibrazioni a tutte le frequenze. Le punte sono indispensabili quando il pavimento è rivestito da moquette (box 7).

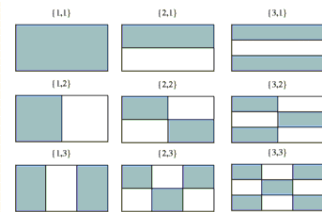
Box 3: modi normali di una lastra di spessore s

Dal punto di vista strutturale le pareti del mobile sono "lastre" vincolate ai bordi e, come tali, vibrano in corrispondenza ai propri modi normali. A quelle particolari frequenze l'ampiezza della vibrazione presenta dei picchi tanto che queste risonanze possono diventare udibili. Disaccoppiare l'altoparlante dal mobile è controproducente perché il solo cestello dell'altoparlante pesa meno del complesso cestello+mobile e il diaframma perderebbe una quantità di energia maggiore. L'altoparlante deve essere fissato ad una struttura pesante.

$$f_{m,n} = s \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{E}{3\rho \cdot (1-\nu^2)}} \left[\left(\frac{m}{l_m}\right)^2 + \left(\frac{n}{l_n}\right)^2 \right] = s \left[\chi \right]$$

s = spessore
 l_m, l_n = lunghezza e larghezza
 m, n = numeri interi
 E = modulo di Young
 ν = modulo di Poisson
 ρ = densità
 Unita di misura MKSA

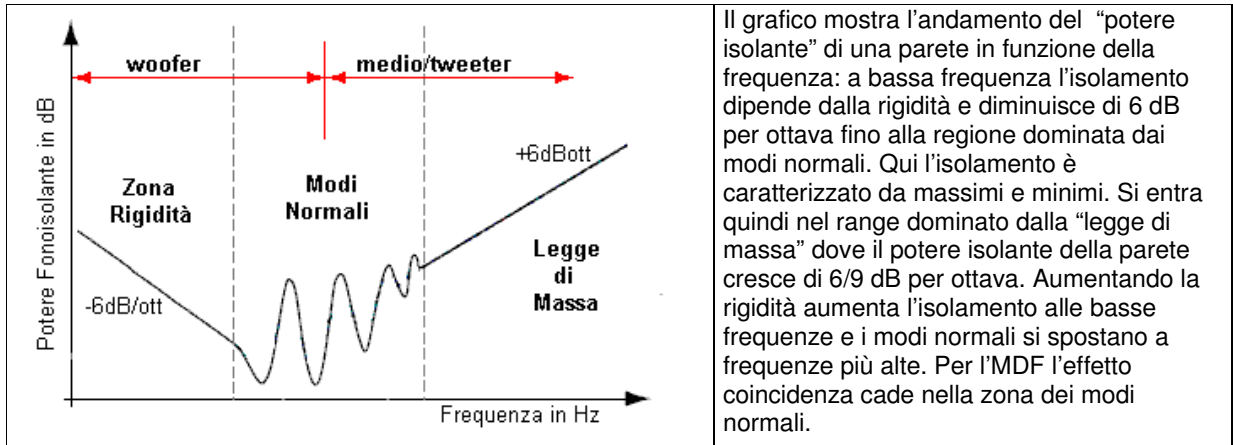
Le frequenze $f_{m,n}$ dei modi normali di una lastra omogenea dipendono dal materiale e dalle dimensioni. Raddoppiando lo spessore le risonanze si spostano una ottava più in alto. Aumentare lo spessore è il modo più diretto per aumentare la rigidità. Se il primo modo cade oltre il range di frequenze riprodotte dall'altoparlante la lastra non viene eccitata e tutto avviene come se il mobile fosse perfettamente rigido. Lo scopo quindi è aumentare la frequenza di risonanza del primo modo (1,1). La figura a fianco mostra i primi 9 modi normali da (1,1) a (3,3).



Box 3a: differenza tra lastre, membrane e solidi

Membrana	Elemento bidimensionale di spessore trascurabile, per esempio la pelle di un tamburo
Lastra	Elemento tridimensionale con spessore piccolo rispetto a larghezza e lunghezza, per esempio una parete, un pannello in MDF, ecc.
Solido	Elemento tridimensionale le cui nessuna dimensione è trascurabile.

Box 4: potere isolante di una lastra



Box 5: pareti con intercapedine

A

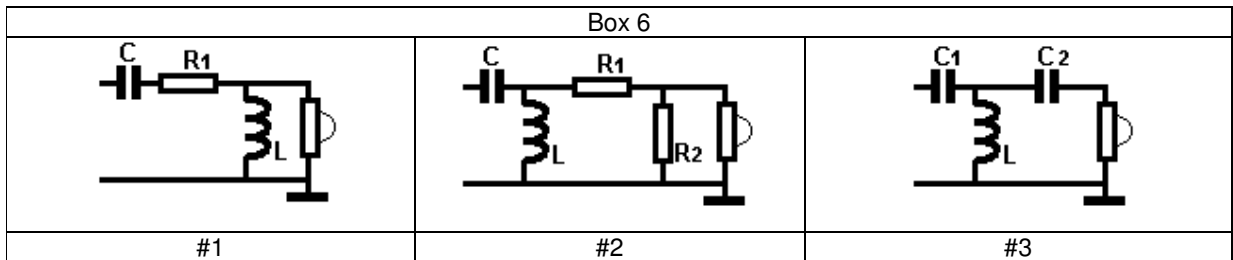
B

A : due pareti con intercapedine riempita da materiale smorzante (verde).

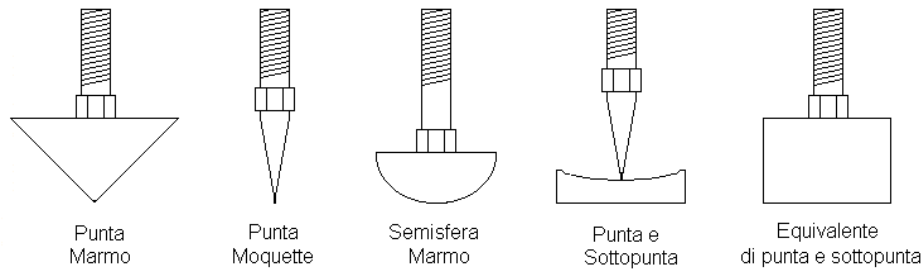
B : parete singola con strato smorzante su una superficie.

La soluzione B, meno costosa, è più efficiente perché il primo modo normale della parete singola di spessore doppio si trova una ottava più in alto (più rigida) e lo smorzamento è più efficace. (vedere anche box 3 e 8).

Un altro buon sistema per irrigidire il mobile è aumentare la tensione delle pareti (MDF impiallacciato, multistrato curvato) o inserire dei rinforzi tra le pareti più ampie e contrapposte (bracing).



Le vibrazioni meccaniche che giungono alla cupola del tweeter possono essere limitate dal filtro cross-over. Il filtro #1 è il migliore: il tweeter vede, alle frequenze basse, una impedenza che tende a zero (massimo smorzamento). Più R1 è piccola e meglio è. In #2 lo smorzamento è limitato da R1 e nel caso #3 lo smorzamento verso le frequenze basse tende a zero (a causa di C₂) e l'amplificatore non ha alcun controllo sul moto della cupola. I filtri del primo ordine, da questo stesso punto di vista, non sono i più indicati.



È opinione comune che le vibrazioni del mobile debbano essere scaricate sul pavimento. In presenza di moquette la funzione delle punte, che devono essere molto acuminate e penetranti, è forarla completamente fino a far poggiare il diffusore sulla soletta in cemento sottostante. Se invece il pavimento è in marmo o piastrelle, a parità di superficie di contatto, l'angolo di apertura della punta è indifferente e la stessa può essere sostituita da una sfera (vedasi B&W 802D dotata di punte metalliche o sfere in teflon). L'uso di pad o sottopunte rende la punta inefficace: la superficie di contatto non è più quella della punta ma quella del pad. Il pavimento deve comunque essere rigido.

Box 8: confronto tra materiali

Nelle due tabelle che seguono viene riportata la frequenza del primo modo normale per lastre 50x50 cm. di diversi materiali. Nella tabella A il peso della lastra è costante e varia lo spessore, nella tabella B lo spessore è costante e il peso cambia di conseguenza. Il tutto è riferito al Medium Density (MDF). Alluminio e acciaio, a parità di spessore, presentano il primo modo a frequenze molto prossime mentre a parità di peso l'alluminio è ampiamente favorito. Tra granito e alluminio, a parità di peso o spessore, è ancora preferibile l'alluminio. A parità di peso l' MDF offre un ottimo rapporto prestazioni/costo (migliore per esempio del Plaxiglass). Il multistrato presenta modulo elastico superiore all'MDF ($E=3800-4100$) e le caratteristiche migliorano ulteriormente nel multistrato curvato grazie alle colle ed alla tensione interna cui è sottoposto. Purtroppo non è facile reperire i dati necessari per il calcolo. Dovendo stilare una classifica: Alluminio (1 cm), multistrato curvato (2.5 cm), MDF (2.5 cm).

Materiale	MDF	Plaxiglass	Vetro	Granito	Alluminio	Acciaio
Densità	800	1190	2500	2630	2700	7870
Spessore in cm	2.5	1.68	0.80	0.76	0.74	0.25
1° modo Hz	178	111	157	128	139	49
Peso in kg	5					

Tabella A: frequenza del primo modo normale per diversi materiali a parità di peso (lastra 50x50 cm)

Materiale	MDF	Plaxiglass	Vetro	Granito	Alluminio	Acciaio
Spessore in cm	2.5					
1° modo Hz	178	165	492	419	470	479
Peso in kg	5	7.44	15.63	16.4	16.9	49.2

Tabella B: come sopra ma a parità di spessore (lastra 50x50 cm)

Spessore di MDF cm	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1° modo Hz	107	142	178	213	249	285
Peso in kg	3	4	5	6	7	8

Tabella B: frequenza del primo modo normale per diversi spessori di MDF (lastra 50x50 cm). Per un diffusore acustico lo spessore minimo è di 2 centimetri.

Spessore Alluminio cm	0.5	.75	.95	1.5	2.0	2.5
1° modo Hz	94	141	178	282	276	470
Peso in kg	3.38	5.06	6.41	10.13	13.50	16.88

Tabella C: frequenza del primo modo normale per diversi spessori di Alluminio (lastra 50x50 cm). Per ottenere il primo modo a 170 Hz servono 2.5 cm di MDF o 9 mm. di Alluminio.