

Le onde stazionarie nei diffusori

Un'altra causa di colorazioni, oltre a quella vista nel mio precedente articolo sulle vibrazioni indotte, è quella delle onde stazionarie che si generano all'interno di un diffusore.

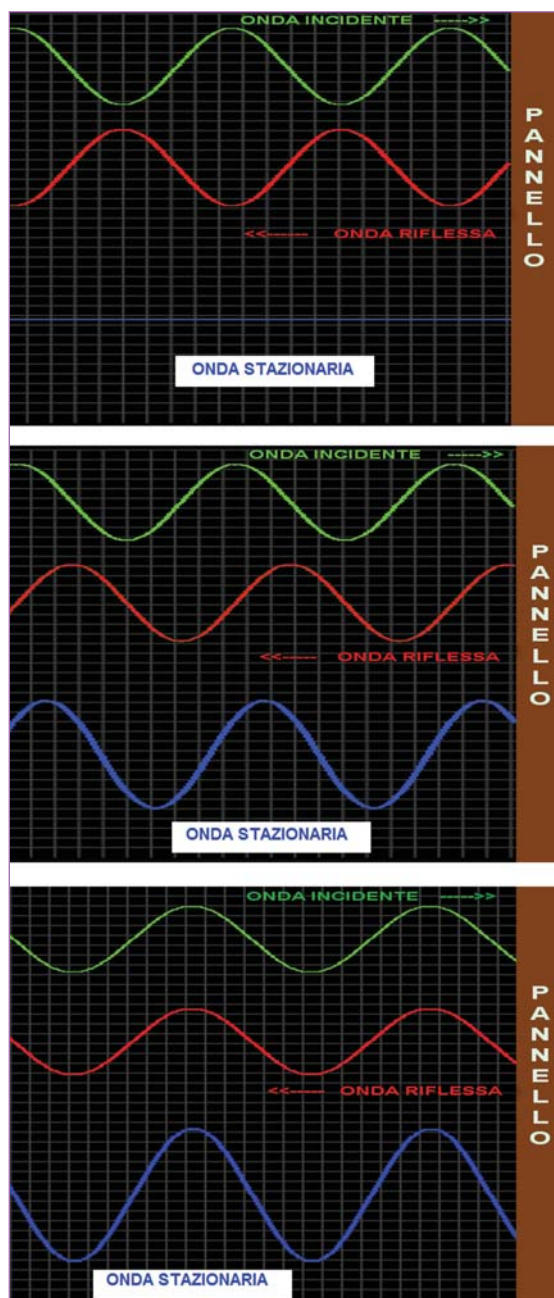


Figura 1: Esempi di onde stazionarie.

Immaginate di aver terminato di costruire la cassa (il classico parallelepipedo) del vostro ultimo progetto lungamente studiato a tavolino, e avete usato tutti gli accorgimenti per rendere sordi alle vibrazioni i pannelli: legni spessi, rinforzi da tutte le parti, pannelli smorzanti a destra e manca, insomma siete sicuri che la risposta elettri-

ca sarà da manuale. E invece, una volta messa in funzione la *Clio* o *Speaker Workshop*, notate la presenza di due o tre picchi inaspettati nella curva d'impedenza: "Signore e Signori, Vi presento le onde stazionarie!" Ma andiamo con ordine, e iniziamo a definire l'onda stazionaria: essa è la risultante di due treni d'onda aventi la stessa frequenza ma che viaggiano in senso opposto nello stesso mezzo, nel nostro caso l'aria.

Guardiamo la **figura 1**: la sinusoide verde è l'onda emessa dalla membrana posteriore del nostro altoparlante (onda incidente), che ad un certo punto incontra un ostacolo, la parete del mobile, e viene riflessa creando la sinusoide rossa (onda riflessa) che viaggia in senso opposto a quella verde; la risultante dello "scontro tra le onde" è la curva blu (onda stazionaria), caratterizzata da nodi e antinodi. I nodi sono i punti, dell'onda stazionaria, di ampiezza zero; gli antinodi, invece, sono i punti di massima ampiezza. Nei tre esempi illustrati potete vedere come può variare, in ampiezza, l'onda stazionaria: nel primo caso l'onda incidente è in contro-fase con l'onda riflessa, annullando di fatto l'onda stazionaria; nel secondo caso le due onde sono sfalsate di 90 gradi, e l'onda risultante è ben definita in ampiezza; nell'ultimo esempio l'onda stazionaria raggiunge la massima ampiezza, visto che l'onda incidente e riflessa sono in fase. Ricapitolando: l'onda stazionaria è il risultato di interferenze costruttive e distruttive tra due onde di ugual frequenza che viaggiano in direzione opposta.

Guardando il nostro diffusore di forma rettangolare, notiamo che ci sono 3 coppie di pareti parallele, ossia si formeranno 3 differenti, in frequenza, onde stazionarie assiali, alle quali bisogna aggiungere quelle dei

modi tangenziali e obliqui. Il modo assiale si riferisce a due pareti parallele ed è quello che causa più problemi; il modo tangenziale riguarda 2 coppie di pareti parallele e ha una valenza inferiore rispetto al modo assiale, grazie all'aumento di perdite causate dal maggior numero di rimbalzi e di distanza che le onde percorrono; il modo obliquo, infine, si riferisce alle sei pareti del diffusore, ed è il più complesso ma anche il meno intenso dei tre.

Per prevedere a quali frequenze si instaurano le onde stazionarie assiali, basta applicare la formula $F=345/2D$, dove D è la distanza tra due pareti parallele, espressa in metri. Quindi, se il nostro diffusore ha misure interne di, per esempio, 0,9x0,3x0,4 metri, avremo il primo modo di risonanza rispettivamente a 191 Hz, 575 Hz e 431 Hz, ossia maggiore è la distanza tra le pareti, minore sarà la frequenza dell'onda stazionaria.

Cosa possiamo fare per combattere questa fonte di colorazione? Abbiamo disponibili due strade: usare un cabinet che non produca un'onda riflessa, oppure cercare di ridurre l'ampiezza dell'onda stazionaria. La prima opzione implica l'uso di un sistema a dipolo, dove la mancanza di pareti, se non quella di supporto agli altoparlanti, non permette che le onde stazionarie possano nascere. Se invece abbiamo deciso di usare un sistema a sospensione pneumatica, bass-reflex, transmission-line e via dicendo, ovvero siamo in presenza di un cabinet chiuso, l'unica strada percorribile è quella di ridurre le onde stazionarie che si creeranno. Per fare ciò, dobbiamo lavorare sulle dimensioni del diffusore, sulla forma delle pareti e sull'assorbente acustico.

LE DIMENSIONI DEL CABINET

Riprendiamo le dimensioni del nostro cabinet d'esempio (0,9x0,3x0,4 metri), e notiamo che una dimensione è multipla di un'altra (0,3 e 0,9): questa è una situazione da evitare. Se, infatti, guardiamo le armoniche successive alla fondamentale dell'onda stazionaria della dimensione di 0,9 m (383 Hz, **575 Hz**, 777 Hz etc.), salta subito all'occhio che la frequenza della terza armonica corrisponde alla fondamentale della dimensione di 0,3 m che è di **575 Hz**, cioè le due si sommeranno rendendo più evidente e diffi-

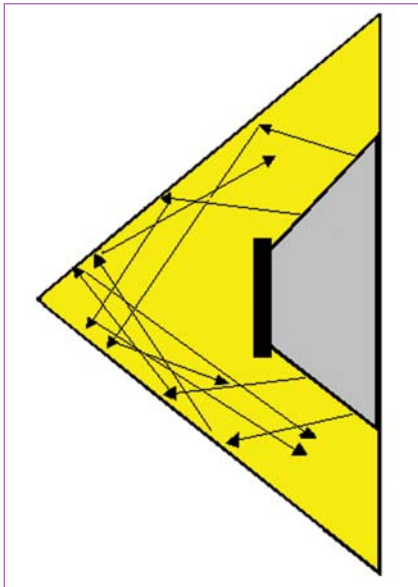


Figura 2: Riflessioni interne in un cabinet di forma triangolare.

cile da eliminare detta onda stazionaria. Ecco quindi l'importanza di usare dimensioni interne del cabinet che non siano multiple tra loro, e per facilitare il calcolo ci viene in aiuto il *rapporto aureo*, usato dagli egiziani nella costruzione delle piramidi, o uno dei suoi simili (rapporto Volkman, Sabine, Boner etc.): come esempio useremo il rapporto suggerito da Thiele¹, che è uguale a 0,6:1:1,6. Decidiamo che la dimensione minore sia quella della larghezza che quantifichiamo in 21 cm, da cui avremo che la profondità è uguale a $21 : 0,6 = 35$ cm, mentre l'altezza risulta essere $35 \times 1,6 = 56$ cm. Volendo, potete velocizzare il calcolo creando un foglio *Excel* nel quale, immettendo il volume richiesto, vengono calcolate in automatico le tre dimensioni secondo il rapporto aureo che preferite: per i più pigri, collegatevi al mio sito www.claudionegro.com e potrete scaricare il foglio *Excel* già pronto all'uso. Se non volete usare il rapporto sopra indicato, ricordatevi di non usare una dimensione che sia più del triplo

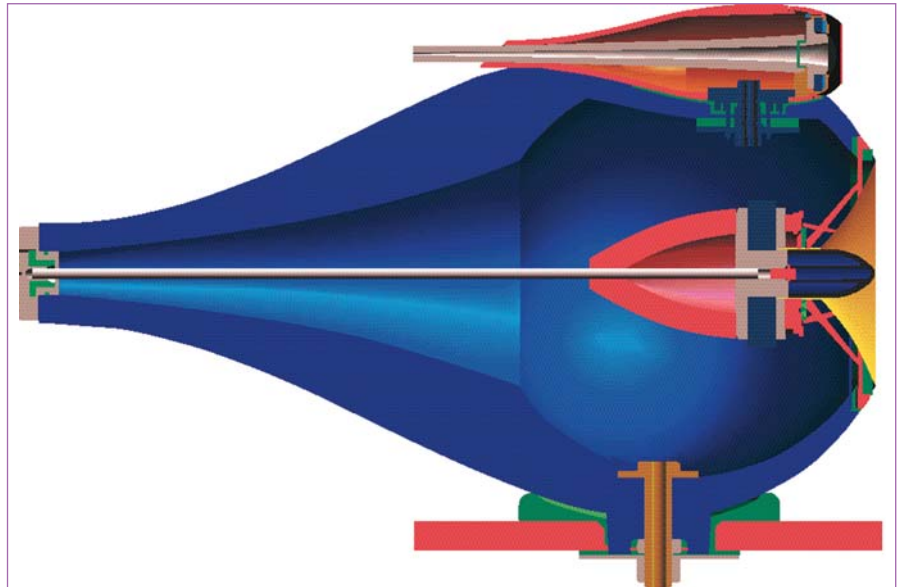


Figura 3: Il cabinet sferoidale a profilo tubolare della B&W 801

dell'altra, per non dare origine all'effetto canna d'organo, come può accadere nei diffusori a torre: per minimizzare tale effetto, vi consiglio di utilizzare dei pannelli orizzontali (*shelf bracing*) a suddividere l'interno della cassa. L'argomento *shelf bracing* è stato trattato nel mio articolo sulle vibrazioni indotte (CHF 100) e al quale vi rimando per non ripetermi.

LA FORMA DELLE PARETI

Abbiamo visto che le tre coppie di pareti parallele che vanno a formare il nostro diffusore provocano la nascita di modi assiali, tangenziali e obliqui: ma cosa succede se le pareti non sono parallele, magari usando una forma del mobile piramidale o semicilindrica?

Il risultato lo potete vedere nella **figura 2**, che rappresenta un cabinet di forma triangolare, dove appare evidente che le onde stazionarie continuano a formarsi ma sono più distribuite in frequenza, ovvero invece di averne una ne avremo tante ma di intensità minore e quindi più facili da rendere

inoffensive all'orecchio. Esempi commerciali di cabinet di forma "anti-stazionaria" ce ne sono diversi, dall'italiana Sonus Faber alle americane Wilson Audio e Thiel, per finire all'inglese B&W, per citarne alcuni, e vale sempre la pena guardare cosa fanno i grandi nomi dell'audio.

Per esempio, guardiamo le B&W Nautilus 801 e in particolare il medio (**figura 3**): esso è racchiuso in un cabinet sferico che, se da un lato offre minime diffrazioni del bordo del cabinet (cabinet edge diffraction), dall'altro soffre molto dei "modi incrociati interni", che causano un decadimento temporale non dei migliori. Un grande uso di assorbente acustico all'interno della sfera diminuisce le riflessioni interne dei modi incrociati, ma crea, all'ascolto, una perdita di trasparenza; inoltre, alla B&W avevano sottolineato come cambiasse il suono variando la dimensione della sfera e, a tal proposito, vi consiglio la lettura di uno scritto del solito James Moriyasu², il quale analizza diverse forme di cabinet per il midrange e ne riporta i risultati.

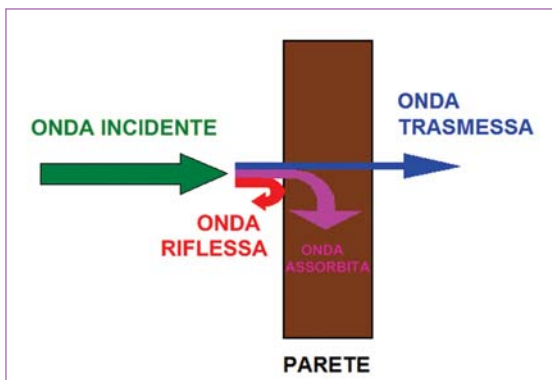


Figura 4: Scomposizione dell'onda incidente in presenza di un ostacolo.

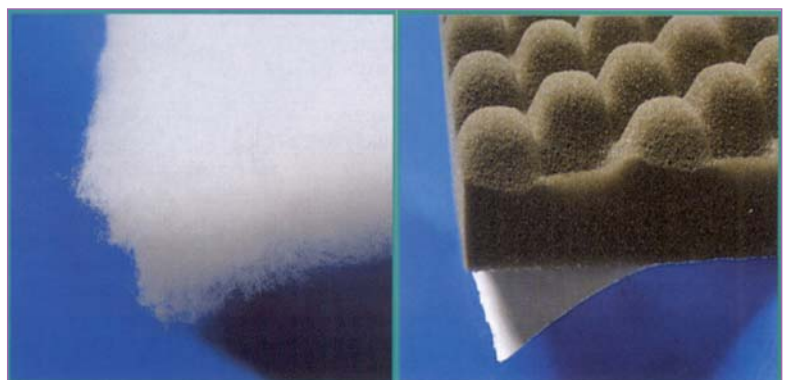


Figura 5: Fonoassorbente a struttura fibrosa (fibra di poliestere), e plastico espanso a celle aperte (poliuretano bugnato).

Tornando alle Nautilus, alla fine gli inglesi optarono per una sfera a spessore variabile, con la parete vicino al driver più sottile, e profilo tubolare, oltre a un uso oculato di assorbente. Semplice, vero?

Proseguiamo e occupiamoci della dislocazione dell'altoparlante sul pannello: può essa influire sulle stazionarie? Certo che sì, e l'analisi agli elementi finiti (FEA) di Shinichi Sakai³ ci dice che posizionando il driver nel centro del pannello, o poco al di sotto, diminuiscono le onde stazionarie dovute all'altezza e alla larghezza del cabinet, mentre quelle dovute alla profondità non trovano giovamento da tale ubicazione dell'altoparlante; una forma cilindrica o semi-cilindrica del cabinet, invece, aiuta a ridurre la stazionaria di profondità.

L'ASSORBENTE ACUSTICO

Anche se il nostro diffusore ha dimensioni oculate (rapporto aureo) e pareti non parallele, comunque si formeranno delle onde stazionarie: l'uso di materiale fonoassorbente (da non confondere con fonoisolante) ci permetterà di risolvere il problema in maniera semplice ed economica.

Ma vediamo più da vicino cosa succede quando un'onda incidente, trasmessa per via aerea, investe una parete, e guardando la **figura 4** notiamo che essa si scompone in tre onde:

Onda riflessa, a cui si associa il *coefficiente di riflessione* di un materiale;

Onda assorbita, a cui si associa il *coefficiente di assorbimento* di un materiale;

Onda trasmessa, a cui si associa il *coefficiente di trasmissione* di un materiale.

Per il nostro fine, dobbiamo ridurre l'intensità dell'onda riflessa, ossia aumentare il più possibile l'onda assorbita, attraverso l'uso di un materiale assorbente. La capacità di un materiale di assorbire un'onda sonora è espressa dal suo *coefficiente di assorbi-*

mento, che è uguale al rapporto tra l'intensità dell'onda assorbita e quella dell'onda incidente; detto coefficiente varia tra i valori 0 e 1, dove a 0 corrisponde una capacità nulla di assorbire, mentre un coefficiente di assorbimento uguale a 1 significa che tutta l'onda incidente viene assorbita dal materiale, e quindi l'onda riflessa e trasmessa hanno valenza nulla. Il valore del coefficiente di assorbimento non è fisso in tutto lo spettro di frequenza, tanto che alcune ditte di materiale assorbente forniscono, a corredo del prodotto, un grafico del coefficiente di assorbimento rispetto alla frequenza.

L'energia assorbita viene trasformata in calore: in pratica, l'onda incidente fa vibrare le particelle d'aria contenute nel materiale fonoassorbente, e l'attrito che si crea tra le molecole d'aria e i pori e le fibre del materiale dissipa l'energia sonora, trasformandola in calore.

Sebbene esistano tre categorie di materiale assorbente (materiali porosi, pannelli perforati, risonatori), ci occuperemo dei soli materiali porosi in quanto sono i più idonei ai nostri scopi. Dei materiali porosi possiamo definire due famiglie (**figura 5**):

Materiali a struttura fibrosa (fibra di vetro, lana di roccia, fibra di poliestere)

Materiali plastici espansi a celle aperte (poliuretano, schiuma di melamina).

Guardiamo ora la **tabella 1**, che ci mostra i coefficienti di assorbimento di 4 materiali fonoassorbenti prodotti da una stessa ditta, la Hodgson & Hodgson Group Ltd, a diverse frequenze e spessori. Dalla comparazione possiamo trarre alcune conclusioni: alle basse frequenze i materiali fibrosi si comportano meglio, e ad un aumento dello spessore del materiale corrisponde un aumento del coefficiente di assorbimento; dai 500 Hz in su la schiuma di melamina è la più efficace ma è anche la più costosa. Due note sulla fibra di vetro, materiale

molto usato e raccomandato in passato: è noto che sia irritante, quindi maneggiatela usando guanti, mascherina e occhiali protettivi; la lana di vetro si sfarina e questo potrebbe causare problemi alla bobina mobile dell'altoparlante. Detto ciò, io consiglio di usare la fibra di poliestere, che non irrita, non si sfalda, ha un coefficiente di assorbimento migliore della lana di vetro (perlomeno nei prodotti presi in considerazione), costa poco ed è facilmente reperibile. Ultima importante raccomandazione, quale che sia il tipo di assorbente usato, è quella di non permettere che il materiale fonoassorbente possa muoversi all'interno della cassa: i fogli di assorbente, quando liberi di "gironzolare", si comportano come dei risonatori addizionali, caratteristica che scompare una volta che sono saldamente bloccati alle pareti del diffusore.

CONCLUSIONI

Come abbiamo visto, con alcuni semplici accorgimenti si possono minimizzare le colorazioni dovute alle onde stazionarie diminuendo, così, un'altra fonte di disturbo al nostro tanto amato segnale musicale. Sicuramente qualcuno si chiederà come mai non ho incluso, tra i fonoassorbenti, la lana, il cotone o il feltro: non l'ho fatto per un motivo molto semplice, che si chiama oggettività. Chi mi legge avrà notato che, nei mie articoli, cerco sempre di supportare quanto scrivo con misurazioni o riferimenti al di sopra di ogni sospetto e, francamente, andare a misurare il coefficiente di assorbimento dei cascami di lana non è una delle mie priorità, ben cosciente della variabilità delle proprietà di tali materiali. Ecco perché mi sono attenuto ai dati disponibili di prodotti industriali di una stessa ditta, cosa che dovrebbe dare un minimo di garanzia di affidabilità.

Se poi volete parlare del *suono* dei materiali fonoassorbenti siete liberissimi di farlo, ma vi prego di farlo solo dopo aver usato una metodologia idonea (doppio cieco o simili): io mi tiro fuori da tali discorsi, non avendo fatto studi a riguardo.

Ci risentiamo presto per parlare di un'altra fonte di colorazioni (tranquilli, è l'ultima), quella causata dallo spessore del pannello di supporto dell'altoparlante.

Riferimenti:

- 1) Neville Thiele, "Loudspeaker in vented box", Volume 19 Number 5, Maggio 1971
- 2) James Moriyasu "A Study of Midrange Enclosures", Speaker Builder 07-08/2000
- 3) Shinichi Sakai, "Acoustic Field in an Enclosure and Its Effect on Sound-Pressure Responses of a Loudspeaker", JAES Volume 32 Number 4, Aprile 1984

MATERIALE	SPESSORE	COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO A VARIE FREQUENZE					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz
FIBRA DI VETRO	25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
	50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
FIBRA DI POLIESTERE	25 mm	0,16	0,26	0,43	0,60	0,70	0,77
	50 mm	0,27	0,53	0,76	0,88	0,91	0,90
SCHIUMA DI POLIURETANO	25 mm	0,10	0,19	0,49	0,66	0,67	0,84
	50 mm	0,15	0,33	0,76	0,85	0,81	1,00
SCHIUMA DI MELAMINA	25 mm	0,04	0,22	0,54	0,74	0,88	0,92
	50 mm	0,22	0,46	0,95	1,00	1,00	1,00

Tabella 1: Coefficiente di assorbimento di alcuni materiali fonoassorbenti.