

AURI, UN DIFFUSORE REFLEX A DOPPIA CAMERA

"A volte ritornano ancora" è il titolo di film horror del 1996: in questo articolo non c'è niente di spaventoso, ma solo una vecchia variante reflex che riappare.

Auri è un diffusore da pavimento a due vie con accordo **reflex a doppia camera (DCR)**. Questo tipo di sistema venne proposto nel Dicembre 1961 su *Electronics World* dall'americano G.L. Augspurger ed in seguito ripreso prima da R. N. Marsh (*Speaker Builder* 03/80) e poi da David B. Weems in due suoi articoli su *Speaker Builder* (04/1985 e 01/1992) ed in vari libri dello stesso autore. Per non creare confusione, guardate la Fig.1 che mostra il Bass Reflex e quattro sue varianti, tra cui quella di Augspurger-Weems: questo tipo di accordo, non convenzionale, mi ha permesso di diminuire efficacemente il problema delle onde stazionarie tipico delle casse a torre, cioè alte e strette, come anche di sperimentare qualcosa che uscisse dai soliti canoni (sospensione pneumatica, bass-reflex, linea di trasmissione). Tutte le misure sono state fatte usando il software gratuito *Speaker Workshop* (1) ad eccezione della misura in ambiente; nelle misure acustiche il valore di SPL non è assoluto.

CONOSCIAMO IL DCR

Il diffusore è composto da due camere, **una il doppio dell'altra**, con quella maggiore che alloggia il woofer (Fig.2). Nella prima camera, V_1 , ci sono due condotti; il primo, P_1 , accorda V_1 con l'esterno mentre il secondo condotto, P_2 , accorda le due camere, $V_1 - V_2$; infine il terzo condotto, P_3 , accorda V_2 con l'esterno. Si vengono a creare, quindi, tre differenti frequenze risonanza: F_1 relativa a $V_1 - P_1$; F_2 relativa a $V_1 / V_2 - P_2$; F_3 relativa a $V_2 - P_3$. Mantenendo il volume di $V_1 = 2 \times V_2$ ed i tre condotti uguali tra loro, in lunghezza e diametro, avremo che $F_2 = 1,126 \times F_1$ mentre $F_3 = 2,17 \times F_1 = 1,93 \times F_2$.

Guardando la curva dell'impedenza di un sistema DCR avremo tre picchi invece dei classici due propri del bass reflex; si noteranno quindi due F_3 : quella inferiore (F_2) dove l'altoparlante vede un'unica camera ($V_1 + V_2$), come se la partizione tra le due camere non esistesse; l'altra (F_3) si presenta a poco meno di una ottava di F_2 essendo $F_3 = 1,93 \times F_2$. Nel grafico della risposta dell'impedenza visibile nella Fig.3, si ha che $F_2 = 46,1$ Hz ed $F_3 = 89$ Hz, valori che sono confermati applicando le formule anzidette.

Per confermare che la F_2 del DCR corrisponda alla F_3 della stessa cassa in configurazione reflex, cioè senza la paratia di divisione e con gli stessi condotti di accordo, ho comparato le impedenze delle due non usando materiale fonoassorbente al loro interno; a titolo d'informazione il volume del sistema reflex era di 0,8 litri maggiore a causa della mancanza della paratia divisoria usata nel DCR.

Il risultato (Fig.4) non fa che confermarci che alla F_2 il DCR vede un'unica camera ($V_1 + V_2$), come se la partizione tra le due camere non esistesse, semplificandone la progettazione.

La risposta in frequenza tipica dei sistemi DCR presenta un'avvallamento (*dip*) ad una frequenza di poco superiore a F_3 e che comunque non è pregiudiziale, a detta di Augspurger e Weems, in quanto di lieve entità ed anche perché sono i picchi e non gli avvallamenti ad essere più evidenti all'ascolto. Nel caso detto *dip* sia molto pronunciato, Weems consiglia di inserire dell'assorbente acustico all'interno di P_2 , cosa che però porterebbe ad aumentare le perdite proprie del condotto e quindi a variare i valori in uso di una forma non facilmente deducibile. Il grafico della Fig.5 mostra la risposta in campo vicino del solo woofer, senza cioè aver misurato ed aggiunto la risposta dei condotti di accordo, ed è valido dai 20 Hz; la F_2 viene identificata dal profondo buco, visto che negli accordi reflex il punto di minor emissione energetica del woofer avviene proprio alla sua frequenza di accordo: potete notare che la F_2 , in questo grafico, risulta uguale a 44,5 Hz mentre la avevamo trovata uguale a 46,1 Hz nel grafico dell'impedenza. Questa differenza è normale poiché le misure acustiche non coincidono esattamente con quelle elettriche; comunque sia, usare il buco della risposta in campo vicino per definire la frequenza di accordo del sistema è il metodo più accurato. Potete vedere il dip tipico del DCR nei pressi di F_3 . **Per capire cosa causa l'avvallamento tipico della DCR**, dobbiamo analizzare le emissioni acustiche delle due porte esterne, $P_1 - P_3$, guardando il grafico della risposta in campo vicino relativo alla fase di $P_1 - P_3$ e del woofer (Fig.6): al di sotto di F_2 le porte sono in fase tra loro ma fuori fase rispetto al woofer; tra $F_2 - F_3$ le porte

sono in fase tra loro e anche con il woofer; sopra F_3 le porte sono fuori fase tra loro, ed è proprio questo sfasamento a causare l'avvallamento nella risposta.

I vantaggi del DCR rispetto ad un convenzionale sistema reflex, come riportato da D. B. Keele, sono una riduzione dell'escursione del cono dell'altoparlante anche intorno alla F_3 , con conseguente riduzione della distorsione: sappiamo che in un sistema reflex l'escursione del cono sia minima alla F_B (mentre nei sistemi a cassa chiusa la massima escursione avviene nei pressi della F_C), quindi sia la distorsione di non linearità del diaframma che la distorsione di intermodulazione sono minori, nell'intorno della frequenza di accordo, rispetto ad un sistema in cassa chiusa; in un sistema DCR detta riduzione dell'escursione del cono avviene a due frequenze, F_2 ed F_3 , cioè in uno range di frequenza più ampio rispetto ad un sistema reflex. Inoltre l'uso di due camere in diffusori a torre, cioè là dove è più facile l'instaurarsi di onde stazionarie, aiuta non poco a diminuirle. Infatti se andiamo a rivedere il confronto dell'impedenza del DCR con quella del corrispondente sistema reflex di Fig.4, notiamo che il picco della reflex a 180 Hz, dovuto all'altezza del mobile, è scomparso e non si notano altri picchi pericolosi se non quello tipico del DCR a 89 Hz.

PROGETTIAMO IL DCR

Per progettare un sistema a doppia camera, iniziate con il scegliere l'allineamento reflex che ritenete valido per il woofer che usere, aiutandovi con i vari programmi di simulazione esistenti o usando le tavole di Thiele. Poi dividete il volume totale del reflex (V_B) così da ottenere, attraverso un pannello divisorio, due camere disuguali, con quella più grande il doppio di quella piccola; il woofer è montato nella camera maggiore. Per esempio se il vostro sistema reflex ha un V_B di 60 litri, dividetelo per 3 per ottenere il volume della camera minore ($V_2 = 20$ litri) che a sua volta è moltiplicato per 2 per ottenere il volume della camera maggiore ($V_1 = 20 \times 2 = 40$ litri). Come abbiamo già visto nel grafico dell'impedenza, sappiamo che $F_3 = F_2$, quindi possiamo calcolare F_1 e F_3 usando le formule già viste. **Ma che cosa accade** quando i volumi delle camere non sono mantenuti nella proporzione di 2:1? Il mio studio è stato fatto lasciando il volume di V_2 sempre lo stesso e cambiando quello di V_1 così da avere prima una camera più grande di un litro (curva verde) e poi una più piccola di due litri (curva rossa), rispetto al volume ideale di 2:1 (curva gialla). Il volume totale ($V_1 + V_2$) è di 35 litri. Il risultato è visibile nel grafico dell'impedenza di Fig.7: mentre la F_2 è quasi la stessa per le tre curve, la F_3 evidenzia alcune differenze notevoli nella curva rossa, che si riferisce al volume più piccolo di due litri rispetto all'ideale.

Per meglio capire cosa significano le differenze evidenziate nella risposta dell'impedenza, ho comparato la risposta in campo vicino dei tre sistemi; queste misurazioni sono state fatte senza aggiungere la risposta delle porte, dato che volevo vedere la frequenza di accordo rilevata dal tipico buco nella risposta. Le curve delle risposte in campo vicino confermano ciò che si era visto nella comparativa delle impedenze, come era prevedibile (Fig.8); le tre curve mostrano una F_2 compresa entro 0,8 Hz; oltre i 70 Hz la curva verde (camera V_1 più grande di 1 litro) e gialla (rateo ideale di 2:1) sono praticamente identiche nella forma mentre quella rossa (camera V_1 più piccola di 2 litri) comincia a cadere ad 83 Hz designando un'avvallamento più profondo e largo, e sicuramente più udibile. **La mia conclusione** è che è meglio mantenere il volume di V_1 mai inferiore a $2 \times V_2$, visto che il dip tipico del DCR diventerebbe più evidente; usare un volume di $V_1 > 2 \times V_2$ (fino al 5% di aumento) non crea problemi ma permette una F_2 più profonda in comparazione alla risposta ideale ottenuta usando il rapporto dei volumi uguale a 2:1.

Per calcolare le dimensioni dei condotti di accordo, conoscendo i volumi delle camere e la F_2 desiderata, bisogna usare le note formule per il loro calcolo considerando il volume della camera maggiore (V_1) che si accorda alla F_1 ; ricordate che $F_2 = 1,126 \times F_1$ quindi $F_1 = F_2 / 1,126$. Le dimensioni trovate per far risuonare V_1 alla F_1 devono essere usate per tutti e tre i condotti che hanno, quindi, le dimensioni uguali. Un altro punto che ho voluto approfondire, era la posizione del condotto P_2 : il tubo di accordo



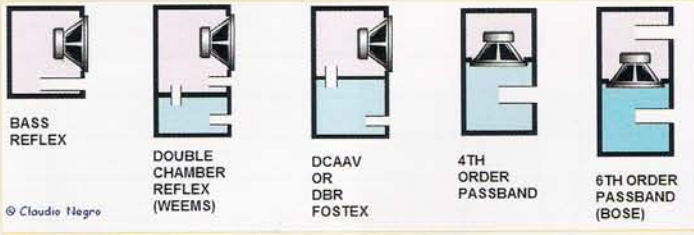


Figura1: Il Bass Reflex ed alcune sue varianti

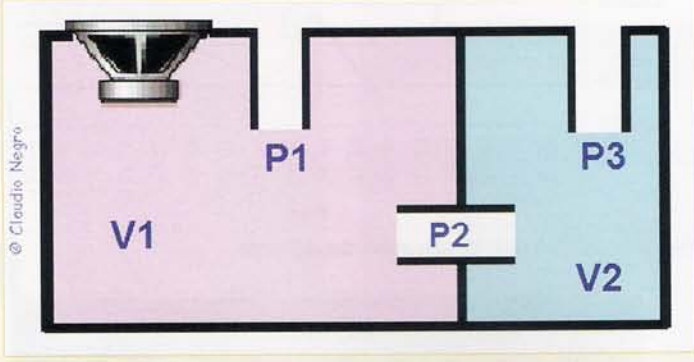


Figura2: DCR camere e porte

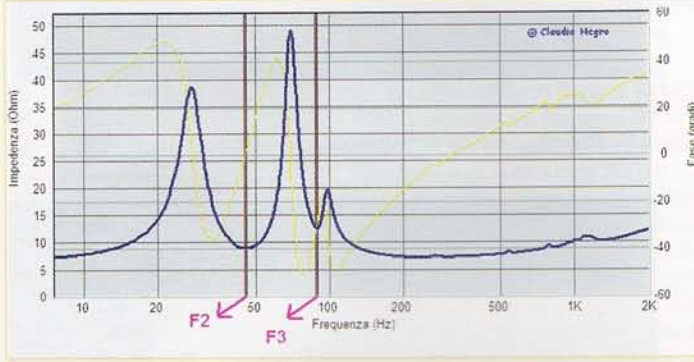


Figura3: DCR risposta dell'impedenza

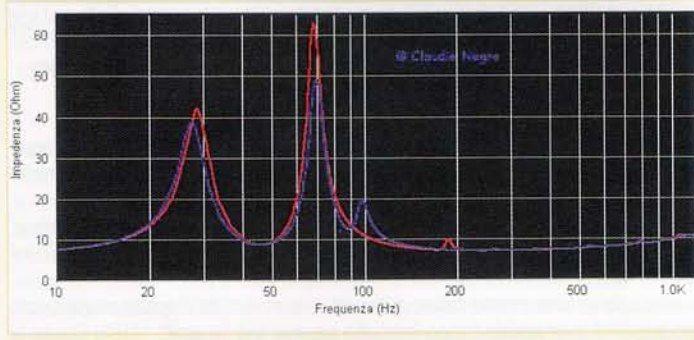


Figura4: Comparativa risposte dell'impedenza: REFLEX (Rossa) - DCR (Blu)

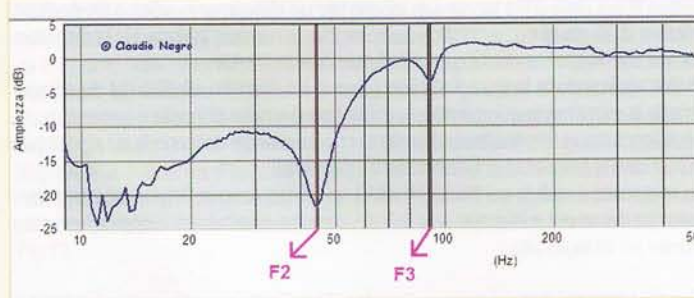


Figura5: DCR risposta in campo vicino senza le porte d'accordo

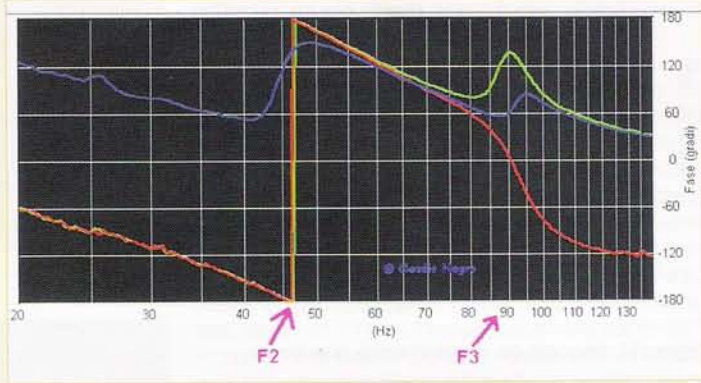


Figura6: DCR risposta fase in campo vicino: P₁ (verde) - P₃ (rosso) - Woofer (Blu)

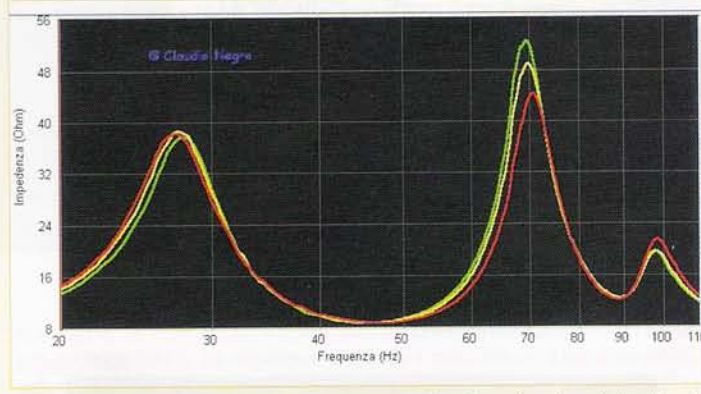


Figura7: DCR comparativa impedenza con V₁: Maggiore (verde) - Ideale (giallo) - Minore (rosso)

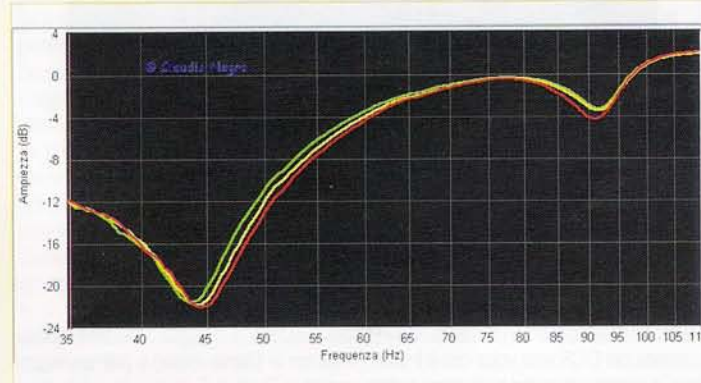


Figura8: DCR comparativa in campo vicino con V₁: Maggiore (verde) - Ideale (giallo) - Minore (rosso)

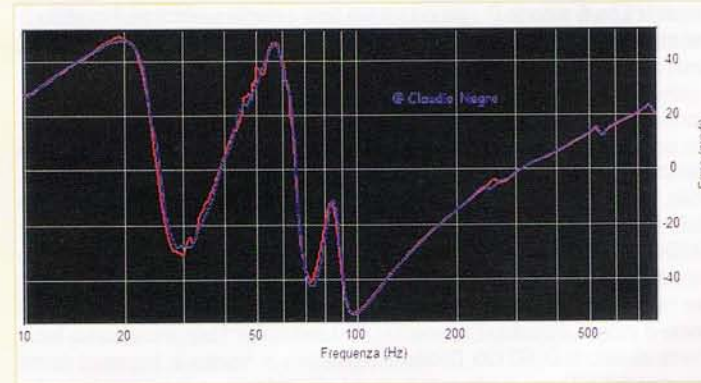


Figura9: DCR Fase dell'impedenza: condotto P₂ Dentro V₁ (rossa) - Nel mezzo (Blu)



Figura 11: Risposta dei driver in cassa non filtrati

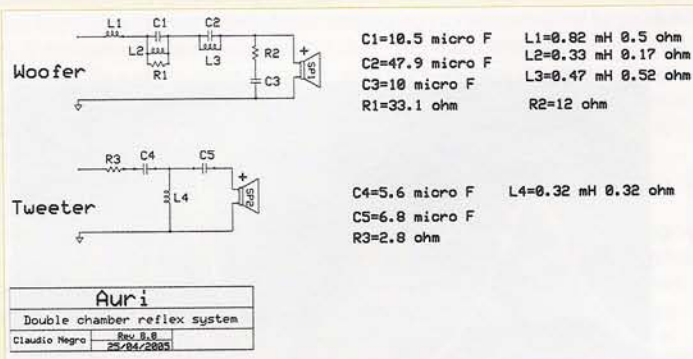


Figura 12: Schema del crossover

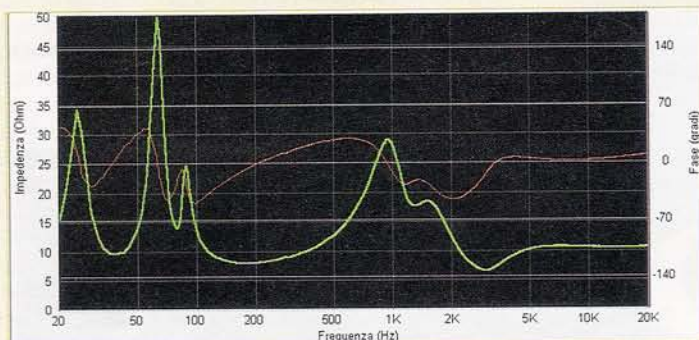


Figura 13: Risposta dell'impedenza del diffusore

dovrebbe stare dentro V_1 o dentro V_2 ? Ho così misurato la risposta della fase dell'impedenza del DCR una volta con il tubo P_2 dentro V_1 (curva rossa) e poi nel mezzo delle due camere (curva blu): come potete vedere in Fig.9, la F_2 (secondo punto dove la fase=0°) è uguale per entrambe le curve, ragion per cui la posizione del tubo di accordo è irrilevante. Tuttavia guardando la fase relativa al tubo di P_2 dentro V_1 (curva rossa) si possono notare diversi spikes, sicuramente causati dalla sua maggior vicinanza al tubo di accordo P_1 , per cui nel mio caso è meglio posizionare il condotto P_2 nel mezzo delle due camere.

I COMPONENTI

Sono partito con la scelta del **tweeter**: volevo usare un componente a nastro, sempre per il gusto della sperimentazione visto che non sono molti i progetti che usano questo tipo di driver. Uno dei limiti di detto componente è la dispersione sull'asse verticale, che da alcuni è visto positivamente poiché rende il driver meno dipendente dalla stanza di ascolto essendo molto direttivo: nel mio caso ho deciso di optare per l'**ATD DDRT120**, la cui F_s intorno ai 1.100 Hz ben si adattava per un sistema a due vie con incrocio oltre i 2.000 Hz. Apro una breve parentesi a riguardo del marchio ATD per riferirvi della mia esperienza: navigando per quel grande database che prende il nome di internet, ho notato il tweeter YAG20-1 della Silver Flute, che appariva fisicamente identico al DDRT120. Decido di confrontare la risposta in frequenza da me misurata dell'ATD con quella pubblicata sul sito della Silver Flute, ottenendo due curve sovrapponibili, ossia i due drivers hanno solo il nome differente. Incuriosito dalla cosa, guardo anche altri modelli di tweeter nel catalogo ATD (catalogo visibile sul sito della V. Franchi di Milano, visto che la ATD non ha un sito internet), per scoprire altre

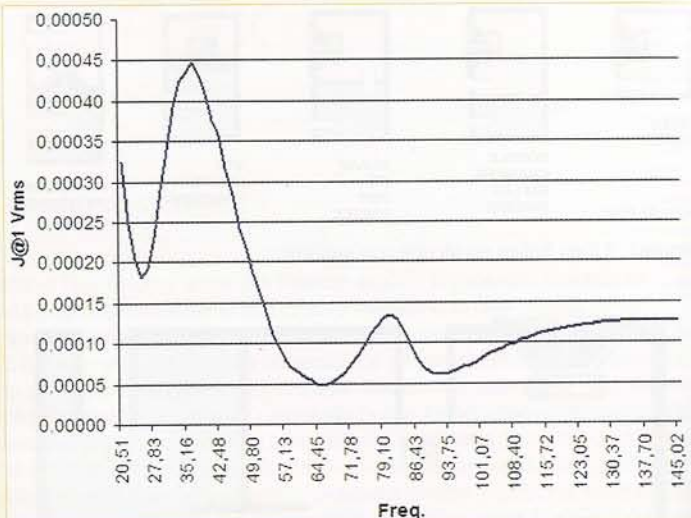


Figura 14: Grafico dell'energia attiva del diffusore

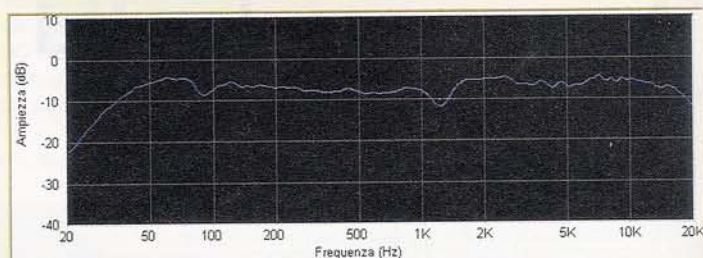


Figura 15: Risposta acustica semi-anechoica del diffusore

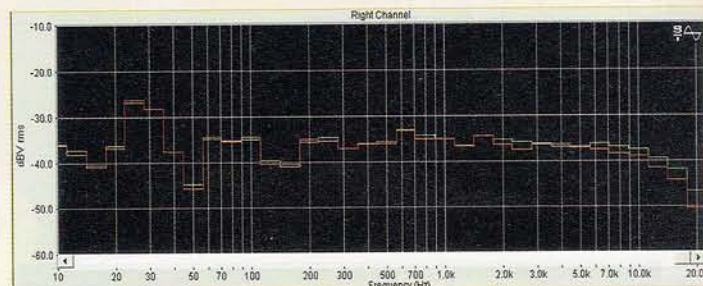


Figura 16: Risposta acustica in ambiente, in asse (verde) ed a 30° (rossa)

somiglianze con i modelli della Aurum Cantus e della Hi-Vi Research: l'unica differenza è il prezzo di vendita, ossia negli USA i corrispettivi dei driver ATD costano molto meno, anche includendo le spese di spedizione, l'IVA e i dazi doganali.

Tornando al DDRT120, esso viene venduto in una confezione del tutto anonima, senza nessuno datasheet e in coppie non selezionate, e le differenze tra i due ATD si vedono nella risposta in frequenza.

In conclusione, sono rimasto deluso dalla politica commerciale di questo marchio dato che reputo di aver pagato troppo l'etichetta adesiva con su scritto "ATD". Chiusa la parentesi.

Per il **woofer** cercavo qualcosa che avesse almeno 90 dB di sensibilità, una risposta estesa fino a circa 3000 Hz, un Qts idoneo per un allineamento reflex e un diametro effettivo di 15 cm al massimo: il diametro regola, in maniera inversa, sia la dispersione alle alte frequenze che la capacità di scendere in basso.

Inoltre applicando la formula $F=345/2d$ (dove d è il diametro effettivo del driver) scopriamò la massima frequenza oltre la quale il cono smette di irradiare come un pistone rigido; tuttavia bisogna tener a conto anche il materiale del cono la cui rigidità può aumentare la frequenza di funzionamento a pistone.

La mia scelta è caduta sul **Focal 7K 4412**, un 7" con cono in Polykevlar, che è venduto con datasheet e in coppie selezionate, e che ha mostrato una risposta fuori asse idonea ad un taglio alto.

Questi i parametri misurati usando *Speaker Workshop*:

Fs : 44,9 Hz **Qts** : 0,42 **Qms** : 6,99 **Qes** : 0,44
Re : 6,06 Ohm **Vas** : 37,6 litri **Sd** : 176,7 cm²

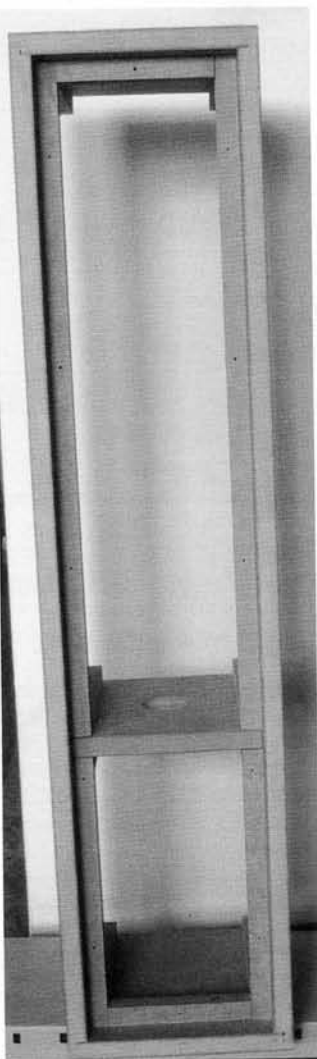


Foto 1

del dip, spiegandomi che la ragione per cui non lo si vede nel grafico è dovuta alla metodologia di misurazione usata, su pannello infinito, che tende a gonfiare la risposta fino alla frequenza di break-up del driver, compensando il dip a 1100 Hz. La causa del buco in frequenza sembra essere dovuta a un leggero disadattamento meccanico tra il cono e il surround in gomma.

L'ACCORDO

Auri è accordata a 40 Hz circa, in un volume fisico di 34,5 litri mediante tre tubi di accordo (due esterni ed uno interno tra le due camere) aventi diametro uguale a 5 cm e lunghezza di 14,5 cm. Il rapporto tra i volumi delle due camere è di 2:1, come precedentemente visto, ed è stato ottenuto tenendo a conto gli ingombri dei drivers e del crossover che si trovano nella prima camera, quella maggiore. La parte più lunga nella costruzione di Auri è stata proprio nella **scelta del crossover**, durata circa sei mesi, alterando simulazioni al computer con ascolti e misurazioni. La situazione di partenza la potete vedere nella risposta dei componenti non filtrati di Fig.11, dove saltano subito all'occhio i due picchi del Focal a 1000 e 2800 Hz, e quello dell'ATD a 1500 Hz a cui fa seguito un buco non indifferente. Per il woofer ho usato due celle RLC parallelo in serie al segnale per abbattere i due picchi, ed un filtro del 2° ordine; sulla seconda cella RLC, che si occupa del picco a 1000 Hz, ho eliminato la resistenza in quanto nelle misurazioni ottenevo una risposta più lineare nell'intorno di quella frequenza; la resistenza R2 in serie al condensatore C3 serve a regolare il Q del filtro. Sul tweeter, dopo una resistenza di caduta per allineare la sensibilità a quella del woofer, ho usato un filtro del 3° ordine; ambo i drivers sono collegati in fase con il segnale e la frequenza d'incrocio è a circa 2700 Hz. Durante la simulazione ho cercato di ottenere, nell'intorno della frequenza di incrocio, la fase dei drivers simile e una risposta complessiva fuori asse priva di buchi; lo schema del crossover è visibile alla Fig.12.

LE MISURAZIONI DEL DIFFUSORE

La curva dell'impedenza di Fig.13 mostra i tre picchi tipici degli accordi a doppia camera, come anche la mancanza di risonanze dovute al mobile; inoltre il carico che

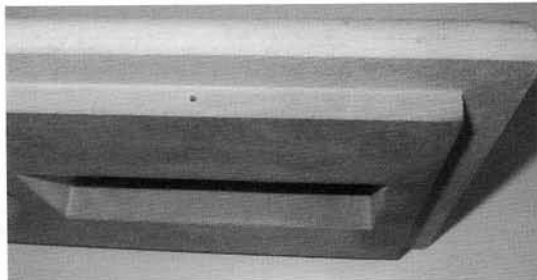


Foto 2

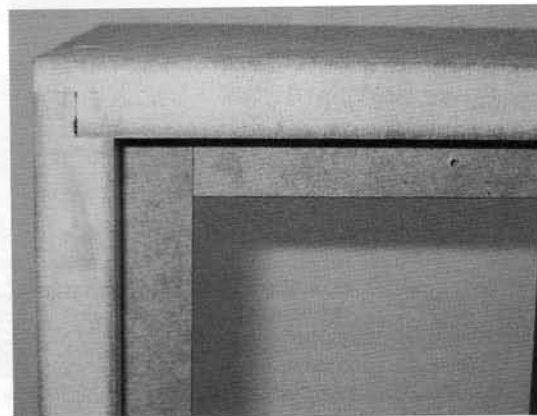


Foto 3

La risposta in frequenza presenta un picco molto pronunciato alla frequenza di break-up, circa 2.800 Hz, tipico dei coni di materiale rigido, e un buco a circa 1100 Hz che non è presente nella risposta fornita dalla Focal. Guardando la curva d'impedenza, sia quella da me misurata che quella nel datasheet, si nota un picco proprio a quella frequenza che comprova l'attendibilità della mia misurazione; decido quindi di contattare la Focal che mi conferma dell'esistenza

il sistema offre all'amplificatore è di quelli facili: infatti il modulo dell'impedenza non scende sotto i 6 ohm, oltretutto con un argomento andante verso il positivo al suo minimo.

L'impedenza è un numero complesso formato da una parte reale (modulo) ed una parte immaginaria (argomento): con qualche semplice calcolo si possono ottenere utili informazioni. Se consideriamo la sola parte reale dell'impedenza, con la formula $R_s = Z \cdot \cos(\varphi)$, è possibile conoscere il massimo carico offerto dal diffusore: per esempio, dalla curva dell'impedenza ho che $\text{Freq.}(f) = 41 \text{ Hz}$, $\text{Impedenza}(Z) = 9,9 \text{ ohm}$, $\text{Fase}(\varphi) = +9,5^\circ$; convertendo la fase da gradi in radianti e applicando la formula abbiamo che $R_s = 9,9 \cdot \cos(0,16) = 9,7 \text{ ohm}$, ossia a 41 Hz è come se l'amplificatore sia connesso ad un carico resistivo di 9,7 ohm. Il massimo carico delle Auri è a 2819 Hz con 6,2 ohm resistivi. E ancora, considerando sia la parte reale che quella immaginaria dell'impedenza possiamo calcolare l'energia richiesta dalla cassa ad ogni frequenza usando la formula $W = \cos(\varphi) / (|Z| \cdot 2\pi f)$:

$W = \cos(0,16) / (9,9 \cdot 257,4) = 0,000386 \text{ Joule a } 1 \text{ Vrms}$. Vi consiglio di creare un grafico con i valori di energia attiva calcolati fino a 150 Hz, dato che l'energia diminuisce all'aumentare della frequenza, e di guardare la curva ottenuta: un picco stretto e alto significa una richiesta di energia repentina, di sicuro più difficile da gestire dall'amplificatore rispetto ad una curva più aperta. Per creare la curva dell'energia visibile in Fig.14, ho esportato la curva di impedenza misurata con *Speaker Workshop* ed importato il file nel foglio elettronico Excel, applicato le formule e disegnato il grafico, il tutto in pochi e veloci click. Un doveroso grazie a *Valerio Maglietta*, per l'aiuto dato a meglio capire l'impedenza e per le relative formule.

La risposta semi-anechoica misurata ad un metro dal diffusore è alla Fig.15: il primo buco, è quello tipico del DCR mentre quello a 1200 Hz è proprio del Focal 7k4412. La risposta in ambiente è stata fatta con il microfono posizionato nel punto d'ascolto, le casse nella posizione definitiva nella stanza e con ambedue le casse funzionanti, alimentate con generatori indipendenti di rumore rosa a terzi d'ottava. Non avendo due generatori disponibili, potete creare un file wave di rumore rosa con il programma *Sound Forge*, che è capace di generare una traccia non clica e totalmente differente per i due canali, salvarla su CD e usare il vostro lettore CD come doppio generatore. Nell'area download del mio sito (5) trovate il file in questione già pronto per essere scaricato.

L'uso del doppio generatore è condizione necessaria se volete usare la curva di Henning Møller come riferimento: in verità di detta curva se ne parla poco, nonostante sia stata presentata nel lontano 1974 (6). Per fortuna persone come Renato Giussani continuano a ricordarne l'esistenza e la sua importanza, visto che riuscire ad ottenere una risposta in ambiente simile a quella di Møller sarebbe già una sicurezza di avere un diffusore ben suonante. E' comunque di fondamentale importanza avere una curva di riferimento, per capire quali enfasi e buchi nella risposta siano dovuti all'ambiente e quali al diffusore vero e proprio; io ho usato la risposta in ambiente di una coppia di Dynaudio Contour 1.8 MKII come riferimento. Ecco quindi la risposta in ambiente (Fig.16), misurata secondo le modalità sopra esposte, delle Auri in asse e a 30°.

CONCLUSIONI

Mi ritengo soddisfatto delle Auri, specialmente per la resa dell'accordo scelto che è andato oltre le mie aspettative; il dettaglio del tweeter a nastro mi è piaciuto anche se il prezzo pagato è sproporzionato al risultato, ma queste sono cose che vanno oltre il piacere della musica. Il miglior posizionamento dei diffusori è stato ad una distanza di almeno 50 cm dalla parete di fondo, e non convergenti al punto d'ascolto ossia paralleli l'uno all'altro. Dulcis in fundo la reperibilità del Focal è difficile, dopo la decisione del marchio francese di interrompere la vendita dei prodotti home.

RIFERIMENTI:

- 1) <http://www.speakerworkshop.com/>
- 2) Joseph D'apollito, "Testing loudspeakers", 1998, pag. 59; James Moriyasu, "Acoustic diffraction: does it matter?", *Audioexpress* 2/2003.
- 3) Vance Dickason, "The loudspeaker design cookbook", 2000, pag. 102.
- 4) James Moriyasu, "Panel damping studies: reducing loudspeaker enclosure vibrations", *Audioexpress* 2/2002.
- 5) www.claudionegro.com
- 6) Henning Møller, "Hi-Fi Tests-with 1/3 Octave Pink Weighted Random Noise", AES convention 47 (February 1974), Preprint Number A-5; Suono n. 41, pag. 73.

