

CARICHI ACUSTICI NON CONVENZIONALI

Doppio Carico Asimmetrico A Vista Doppio Carico Asimmetrico Chiuso

Se si potesse stilare una classifica dei desideri di chi progetta sistemi di altoparlanti, certamente troveremmo nei primissimi posti il desiderio di una maggiore estensione alle basse frequenze. Con le configurazioni non convenzionali che presentiamo, risolte dal punto di vista matematico e conseguentemente inserite in AUDIO For Windows, è possibile ottenere anche con altoparlanti tutt'altro che estremi quella sorta di chimera rappresentata dal connubio tra estensione in basso, smorzamento e notevole capacità di generare pressione.

In genere comunque si va molto al di là della sola estensione. Visto che "desiderare" costa poco, l'elenco dei desideri in bassa frequenza potrebbe essere condensato nella richiesta che un giorno di tantissimi anni fa mi rivolse un noto costruttore di altoparlanti per uso car. Senza mezzi termini esordì così: "Matarazzo, mi servirebbe un subwoofer da mettere in abitacolo, diciamo al massimo cinque litri con un tredici centimetri in un carico magari strano, che scenda almeno a 40 Hz con una tenuta in potenza strepitosa, diciamo un centinaio di watt. Se fai un progetto così sarei perfino disposto a pagarti." Gli spiegai che se fossi stato capace di realizzare qualcosa di simile mi sarei automaticamente candidato al Nobel per la fisica, e che una operazione in questo senso era praticamente impossibile. In quegli anni Amar Bose aveva appena tirato fuori dal cilindro di prestigitatore il doppio carico reflex (Fig. 1) e c'era tutto un fiorire di ipotesi fantasiose circa l'estensione in gamma bassa di tale dispositivo, un nuovo miracolo acustico come recitava la pubblicità, che faceva suonare soltanto l'aria nei condotti, con la membrana dell'altoparlante che se ne stava pra-

ticamente ferma. Ancora prima altri costruttori avevano messo in commercio diffusori con più camere in serie, e ne elogiavano in maniera forse meno vistosa le qualità. Già da molti anni infatti si erano fatti studi su camere risonanti poste in configurazioni serie e parallelo. Con tale dicitura vogliamo portare una distinzione precisa tra i volumi che sono posti a risonare in un altro volume (in serie) e quelli che partendo dal movimento dell'altoparlante emettono una parte di pressione ognuno per proprio conto in modo che il risultato finale dipende dalla somma delle emissioni (in parallelo). Poco tempo prima, agli inizi degli anni ottanta la Kef aveva messo in commercio i primi diffusori con un carico simmetrico "sdoppiato" al suo interno ma ricorreva ad una poderosa equalizzazione esterna per poter estendere l'emissione fino ai fatidici 20 Hz (Fig. 2). Già allora devo confessare che ero attratto da tutto quanto consentisse di poter ben lavorare alle bassissime frequenze, interessato tanto all'estensione quanto alla tenuta in potenza, convinto allora come oggi che l'estensione stratosferica senza tenuta in potenza fosse soltanto un simpatico gadget. D'altro canto arti-

coli come quelli di James Novak [1] già dal 1959 ci spiegavano, per sommi capi, le relazioni tra velocità di volume, velocità lineare del pistone ed impedenza elettrica, facendo ampio riferimento alla modellizzazione matematica. Al di là degli articoli "copia e incolla" di alcuni ricercatori nostrani, che riportavano pari pari le ricerche pubblicate sui volumi dell'AES cambiando magari solo le lettere alle variabili, al di là di quelli che ne sapevano ancora meno e pontificavano ipotesi assurde non c'era nulla. Mi convinsi allora che occorreva studiare

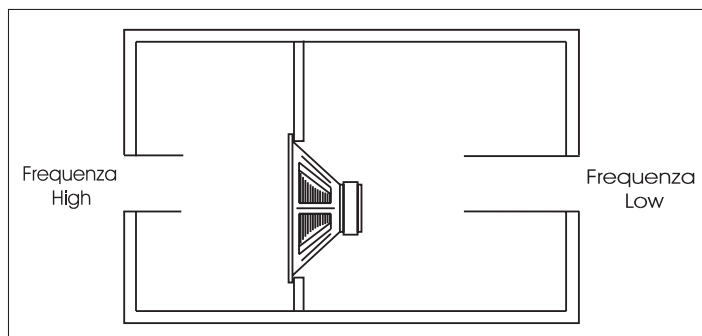


Figura 1. Il doppio carico reflex parallelo, ossia con le due cavità che emettono separatamente dai due lati della membrana. Il primo brevetto di tale configurazione fu richiesto in Francia nel lontano 1932.

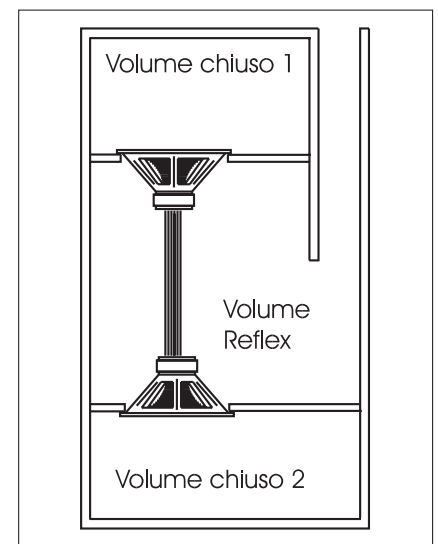


Figura 2. Il carico simmetrico proposto dalla Kef alla fine degli anni ottanta vedeva il volume totalmente chiuso sdoppiato in due con altrettanti woofer da circa dieci pollici. La cavità accordata era una sola, così da consentire uno sviluppo estremamente lineare del condotto di accordo, dalla superficie addirittura esuberante.

attentamente i principi della modellizzazione in generale, per potersi "permettere" poi il calcolo di qualunque tipo di carico. Altri grossi costruttori e progettisti stavano producendo diffusori estremamente interessanti a base di doppie camere in serie, basandosi su studi e formule empiriche. J.M. Reynaud propose un doppio risonatore che vedeva da un lato un bass reflex e dall'altro una linea di trasmissione (Fig. 3). Ho conosciuto JMR durante una visita all'Audax ed ho avuto modo di parlare di questa configurazione, ricavando la netta impressione che il "suo" modello fosse basato su convinzioni non legate tanto all'estensione quanto allo smorzamento. Altri due carichi interessanti da questo punto di vista sono quelli di Fig. 4 e Fig. 5. Il primo vedeva due camere in serie con tre condotti reflex di cui due verso l'esterno, mentre il secondo, visto su una Dynaudio mi sembra, prevedeva l'uso di due woofer di caratteristiche nettamente differenti posizionati come in figura. Dopo le modellizzazioni più semplici, quella di un woofer in aria libera e quella di una sospensione pneumatica, mi resi conto che occorreva un poderoso laboratorio di misure per poter affiancare teoria, pratica e verifiche, visto che non tutto appariva scontato. Per fortuna l'avanzare del mezzo informatico consentiva un più veloce sviluppo dei calcoli ripetitivi ed una simulazione veritiera "quasi" in tempo reale, tanto che spesso ho provato ad immaginare come dovesse essere la vita di quei ricercatori che sviluppavano diffusori con carichi di tale complessità. Mi fornì la risposta un progettista con i capelli bianchi che pure aveva prodotto un diffusore del genere: "Tante convinzioni empiriche, una solida conoscenza dei fenomeni ed un gran laboratorio di misura, ove tentare con pazienza l'allineamento della risposta." Glaciale, ma efficace. Anche l'articolo di Jean Hiraga sulla modellizzazione di un carico identico a quello che vi illustrerò tra poco (Fig. 6), partendo dagli studi di Ohara e Kondo del 1987 illustrava il modello meccanico e pur non fornendo una funzione di trasferimento definitiva ne metteva in luce pregi e difetti grazie anche a qualche suggerimento empirico. Personalmente avevo letto di tutto, sviluppato software per la simulazione teorica dei modelli più comuni ed avevo allestito un buon laboratorio misure elettroacustiche. Ma non bastava. Quello che non ero riuscito a trovare e che avevo in mente era un modello "universale", una specie di "domino" da poter comporre a seconda delle necessità. Già perché nelle modellizzazioni basta spostare un condotto o inserire una resistenza di perdita che cambia tutto e devi rifare i calcoli da capo. Mi resi anche conto che molti andavano alle conclusioni del proprio modello dimenticando le premesse di mobile "ideale" con le

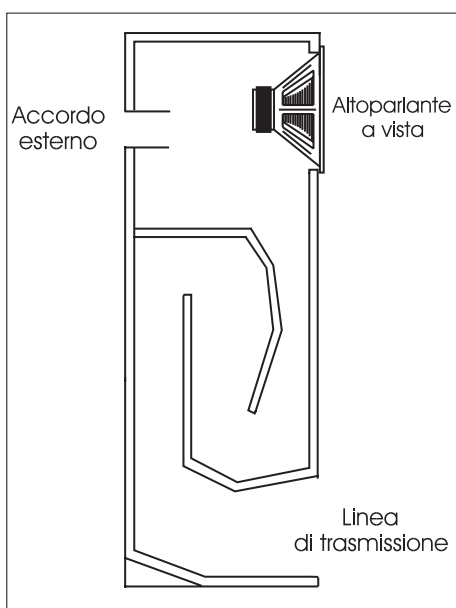


Figura 3. Il doppio carico di J.M. Reynaud prevedeva una prima cavità accordata verso l'esterno ed una linea di trasmissione che caricava le basse frequenze. Era caratterizzata da una risposta ben estesa in gamma profonda anche se molto smorzata.

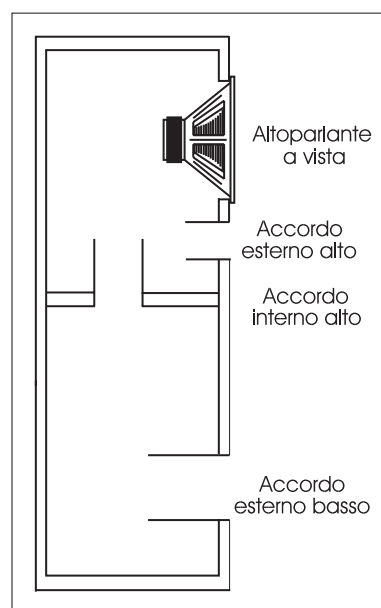


Figura 4. Il doppio carico caratterizzato da tre condotti di accordo godette di una buona reputazione nei primi anni 90. Ad un ascolto comparativo si distingueva rispetto al bass reflex per una gamma mediobassa notevolmente più dinamica.

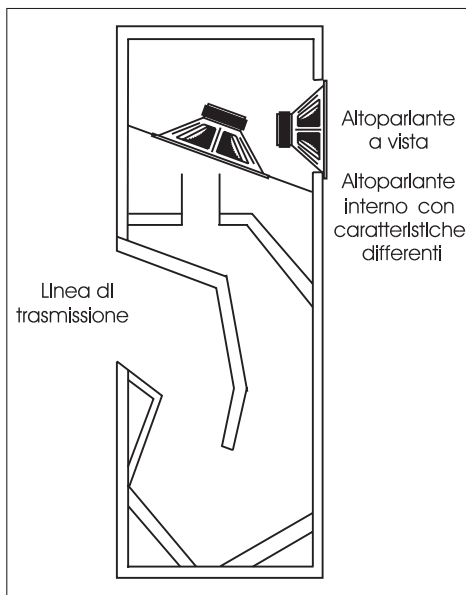


Figura 5. Una variante del doppio carico asimmetrico fu tentata da diversi costruttori nordici. Univa i vantaggi del doppio carico in termini di gamma mediobassa alla possibilità di impiegare due altoparlanti dai parametri e dalle dimensioni differenti.

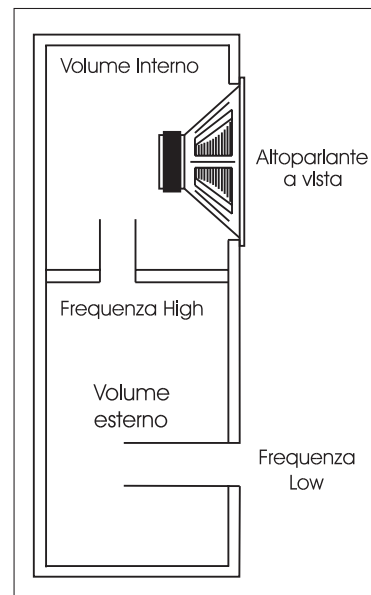


Figura 6. Il doppio carico-serie nella sua configurazione a vista, col woofer cioè che irradia all'esterno della casa. Anche in questo caso le caratteristiche dinamiche e soprattutto di smorzamento ne rendono estremamente appetibile la realizzazione.

perdite nulle, glissando poi sull'assorbente usato o proponendo perdite generiche da infilare qua e là, mentre l'evidenza delle misure ne mostrava l'effetto dannoso come una delle maggiori fonti di errore. Oltre a ciò mi ero anche accorto che le perdite dovute al mobile ed

all'assorbente non erano del tutto costanti, bensì aumentavano al diminuire della frequenza, con un andamento simile ad un filtro elettrico. Dalla curiosità di provare il doppio carico come quello di figura 6 partì tutto il mio interesse per i risonatori in serie. Studiai

quanto disponibile e mi accorsi che chi aveva veramente realizzato qualcosa non sapeva bene cosa accadeva nella realtà, mentre chi aveva teorizzato il modello partiva sempre e comunque da un approccio eccessivamente semplice. Mobili senza perdite, condotti perfetti e moduli dell'impedenza realmente misurati non sono mai andati d'accordo, motivo per il quale, come per il doppio carico reflex, mi sobbarcai l'onere di rifare tutto ex novo, partendo dai blocchi circuitali a me noti: driver, cavità, accordi e relativi accessori.

I risonatori in serie: il DCAAV

I carichi in serie sono costituiti da più cavità accordate "l'una nell'altra" col primo condotto reflex che invece di emettere verso l'esterno va a finire in un secondo volume che a sua volta emette finalmente verso l'esterno del mobile. Il circuito equivalente al Doppio Carico Asimmetrico A Vista (DCAAV) è visibile in Fig. 7 dove ho racchiuso tra rettangoli colorati i singoli blocchi, utilizzando lo stesso colore per gli stessi circuiti equivalenti. Per pura esercitazione tracciamo insieme il percorso del segnale e cerchiamo di farcene un'idea approfondita. Allora, partiamo dal generatore elettrico (l'amplificatore) che deve subire un trattamento per essere adattato al circuito acustico. Basta in effetti moltiplicarne la tensione rms per il fattore di forza $B \times L$ e dividere il tutto per il quadrato dell'area della membrana del woofer impiegato e per la resistenza elettrica dello stesso, a cui possiamo sommare delle resistenze di perdita assommate in R_g . Si tratta della resistenza d'uscita dell'amplificatore e la resisten-

za di perdita dell'eventuale induttanza o delle induttanze in serie al trasduttore come filtro crossover. Il primo blocco che il segnale si trova davanti è costituito ovviamente dal driver che deve convertire il segnale elettrico dell'amplificatore in moto alternato dell'aria. L'altoparlante dal punto di vista acustico è costituito da una serie di tre componenti R_{at} , M_{as} e C_{as} le cui definizioni sono state relegate nella **Tabella 1**. Brevemente dirò che R_{as} rappresenta l'equivalente acustico della resistenza meccanica delle sospensioni sommata all'equivalente acustico della resistenza elettrica R_e . Come possiamo vedere dalla figura 6 il driver ha un lato della membrana che emette verso l'esterno e che entrerà direttamente nel computo della risposta, mentre dal lato posteriore emette verso il volume reflex interno ed il condotto reflex interno. Il volume, oltre alla propria cedevolezza interna, non svolge più alcuna funzione e pertanto viene connesso a massa. In questo blocco riconosciamo R_{al} , la resistenza immessa dalle perdite del mobile, R_{ab} la resistenza di perdita immessa con il materiale fonoassorbente, ed infine C_{ab} , l'equivalente acustico del volume stesso. Rimane il condotto interno, attraverso il quale si giunge nel secondo volume accordato. Il condotto interno è quantificabile come una massa acustica M_{ap} , vista elettricamente come una induttanza e la resistenza R_{ap} che tiene conto sia della superficie che la natura del condotto di accordo. Uscendo da questo condotto ci troviamo, come abbiamo già visto, un altro condotto ed un altro accordo le cui equazioni sono simili a quelle viste e che quindi non ripeterò. Facendo ancora riferimento alla figura 6 osserviamo che

se spingiamo la membrana verso l'interno del box uscirà aria dal condotto di accordo esterno, mentre se soffiamo attraverso questo condotto la membrana viene avanti. Ciò vuol dire che la membrana ed il condotto esterno hanno un verso di emissione che è l'uno l'opposto dell'altro. Alla fine dell'analisi possiamo definire i vari blocchi definendo Z_{ad} il blocco di impedenza del woofer usato, che possiamo indicare come:

$$Z_{ad} = R_{ay} + j(X_1 + X_c)$$

con $X_1 = w \times M_{as}$ e $X_c = -\frac{1}{w \times C_{as}}$,
 $w = 2 \times p_g \times f$ e $J =$ notazione complessa.

Il blocco di impedenza del condotto vale

$$Z_{ap} = R_{ap} + jX_p$$

con $X_p = w \times M_{ap}$

Il blocco di impedenza del volume è quello più complesso a causa del parallelo tra R_{al} ed il circuito RC dato da R_{ab} e C_{ab} :

$$Z_{ab} = \frac{(R_{ab} + jX_b) \times R_{al}}{R_{al} + R_{ab} + jX_b}$$

Con $X_b = -\frac{1}{W \times C_{ab}}$ = reattanza capacitiva del volume interno.

Se poniamo $R_t = R_{ab} + R_{al}$ ed $R_s = R_{ab} \times R_{al}$ possiamo alla fine ottenere che:

$$Z_{ab} = \frac{(R_s \times R_t) + (R_{al} \times X_b^2) + j(R_{al} \times R_t \times X_b) - (R_s \times X_b)}{R_t^2 + X_b^2}$$

Una volta definiti i vari blocchi utilizzando due pedici diversi per la cavità e l'accordo interni e quelli esterni possiamo alla fine definire la corrente che attraversa il driver, che vale:

$$U_d = \frac{V_{gen}}{((Z_{ab2} // Z_{ap2}) + Z_{ap1}) // Z_{ab1} + Z_{ad}}$$

Una volta risolta questo calcolo abbastanza lungo e pieno di trappole sottili possiamo disegnare la risposta del solo woofer. Per avere la risposta completa occorre calcolare la corrente che attraversa Z_{ap1} e che viene denominata U_{a1} , che poi è la stessa che si divide attraverso Z_{ab2} e Z_{ap2} . La corrente che ci interessa può essere calcolata con:

$$U_{a2} = U_{a1} \times \frac{Z_{ab2}}{Z_{ap2} + Z_{ab2}}$$

Giunti a conoscere, frequenza per frequenza, i valori complessi delle due correnti che ci interessano ne operiamo la

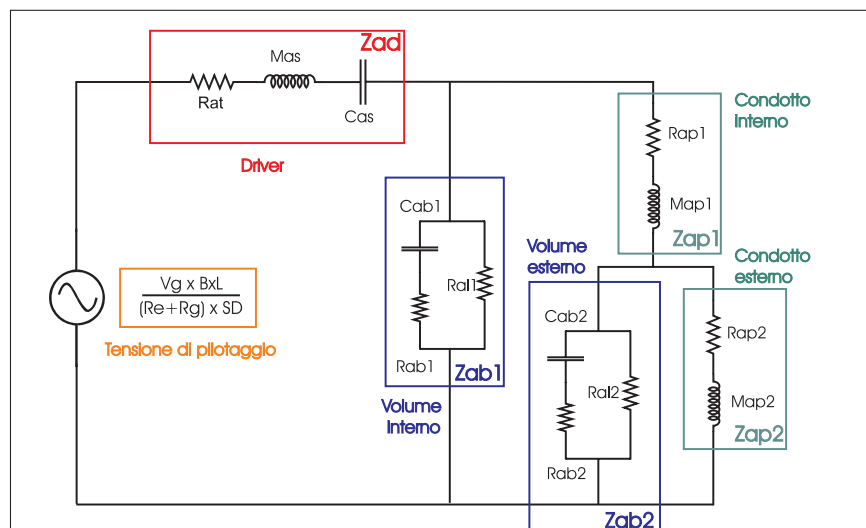


Figura 7. Il circuito elettrico equivalente del DCAAV. Notate come blocchi simili siano stati chiusi in rettangoli dello stesso colore. I due condotti sono costituiti da M_{ap1} e M_{ap2} mentre i due volumi da C_{ab1} e C_{ab2} . L'analisi e lo sviluppo dei singoli moduli consente di inserire una ulteriore capacità in serie alle induttanze che descrivono i due condotti estendendo così l'analisi anche ai woofer passivi.

differenza per la storia già vista dei flussi in controfase ed otteniamo, dopo qualche ulteriore calcolo, la pressione che deve essere sommata o sottratta alla sensibilità nominale. A mano mi sono occorse quattro pagine in formato A4 per definire tutte le equazioni per la sola risposta ed altrettante per il calcolo dello spostamento del pistone e dell'impedenza, tanto da capire il motivo di tante semplificazioni nel computo dei vecchi modelli matematici!

Per finire diamo ancora uno sguardo alla figura 7 giusto per fare una considerazione: cortocircuitando il volume esterno ed il condotto esterno verso massa potremmo mettere in contatto con la stessa massa di segnale il condotto interno ed ottenere un bass reflex tradizionale, mentre assumendo una resistenza del condotto molto grande, al limite infinita, potremmo trovarci di fronte la buona e cara sospensione pneumatica, e notate bene che la stessa cosa accadrebbe al modello matematico meccanico per il calcolo dello spostamento del pistone ed a quello elettrico per il calcolo dell'impedenza. Praticamente l'effetto della stesura di un modello a blocchi, quel "domino" che volevo ottenere all'inizio dello studio.

Il DCAAV in pratica

Il Doppio Carico Asimmetrico A Vista deve questa lunga denominazione a ...me, allorché dovetti trovare un nome per la stesura del primo articolo ad esso dedicato, apparso sul numero 258 della rivista Suono nel dicembre del 1994. In quell'articolo spiegavo come il nome fosse dovuto alla mia poca immaginazione, che si limitava alla definizione acustica. Doppio perché ci sono due risonatori in serie, asimmetrico perché i

Tabella 1

$C = 344 \text{ m/s}$: Velocità del suono
$R_o = 1,18 \text{ kg/m}^3$: densità dell'aria
$\pi = 3,1415$: pi greco
F_b	: frequenza di accordo
$M_{as} = M_{ms}/SD^2$: equivalente acustico della massa mobile
$C_{as} = C_{ms} \times SD^2$: equivalente acustico della cedevolezza
$R_{as} = R_{ms}/SD^2$: equivalente acustico della resistenza delle sospensioni
$R_{ae} = BL^2/(SD^2 \times Re)$: equivalente acustico della Re
$R_{at} = R_{as} + R_{ae}$: somma delle resistenze in serie
$C_{ab} = \frac{V_b}{R_o \times C^2}$: Cedevolezza acustica del volume chiuso V_b
$R_{ab} = \frac{1}{2\pi F_b \times Q_a \times C_{ab}}$: Resistenza dovuta alle perdite dell'assorbente
$M_{ap} = \frac{1}{(2\pi F_b)^2 \times C_{ab}}$: Massa acustica del condotto di accordo
$R_{ap} = \frac{1}{2\pi F_b \times Q_p \times C_{ab}}$: Resistenza acustica attraverso il condotto di accordo

due risonatori sono dallo stesso lato della membrana ed "a vista" perché...avevo già realizzato il doppio carico asimmetrico chiuso (DCAC) dal quale si differenziava proprio per il woofer che sommarla la sua emissione al condotto. Progettare un DCAAV non è eccessivamente difficile, almeno non tanto quanto paventato dai "guru" che di questa tipologia di carico in serie hanno parlato senza grande assennatezza. I parametri da tenere sott'occhio e che condizionano la prestazione di questo carico sono sostanzialmente due: il rapporto tra i due volumi e l'attenzione paranoica per le perdite. Va da se che la seconda cavità, quella che emette verso l'esterno "è messa in moto" dal condotto della prima cavità e che se questo, per le perdite immesse dal cabinet o dall'assorbente, è più fiacca di quanto ipotizzato il livello

di pressione emessa dal condotto scende. Il primo campanello d'allarme è costituito dalla curva di impedenza reale, quella misurata, che reca in sé le tracce di tutto quello che si trova o non si trova. L'esatta locazione delle frequenze dei tre picchi caratteristici ci indica l'esattezza dei volumi ottenuti rispetto a quelli simulati, mentre la correttezza dei due minimi di impedenza ci dice che le frequenze di accordo sono esatte. Il valore in modulo dei tre picchi e quelli dei due minimi ci può far concludere che le perdite sono corrette. Come facile notare sin dalla prima simulazione, i minimi di impedenza non sono relati apparentemente alle due frequenze di accordo scelte. In particolare il primo minimo è più basso della frequenza di accordo esterna, mentre il secondo picco è poco superiore alla frequenza di accordo in-

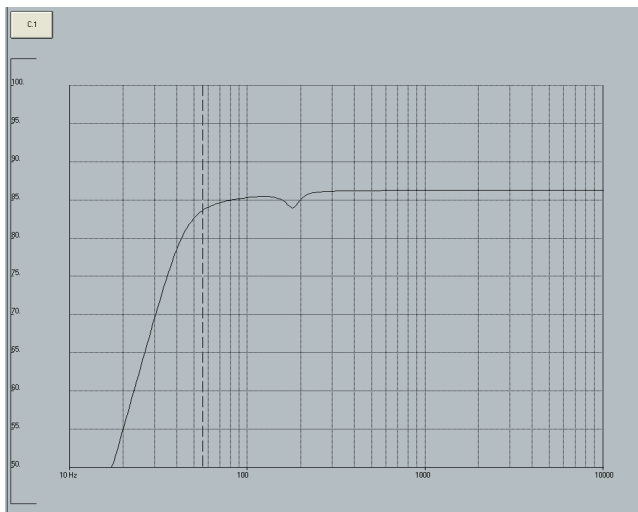


Figura 8. La simulazione con Audio For Windows della risposta di un DCAAV calcolato dal programma partendo dai parametri caratteristici del trasduttore usato. Notare la leggera esitazione a circa 180 Hz caratteristica di questo tipo di carico.

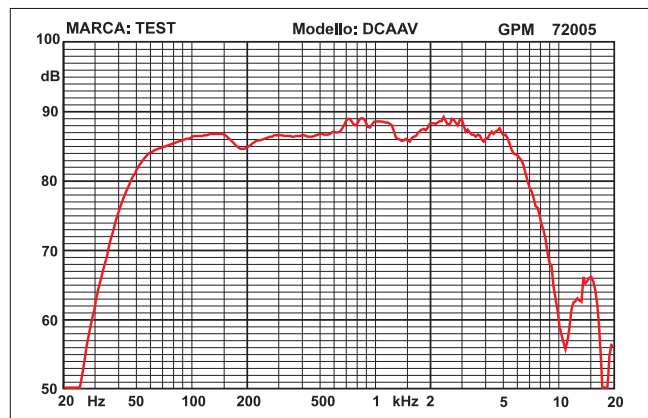


Figura 9. La misura effettuata sulla realizzazione pratica mostra una corrispondenza quasi perfetta con la simulazione, che consente di scegliere con attenzione l'andamento desiderato. È abbastanza ovvio che per ottenere questo risultato è necessario sviluppare il modello del sistema nella sua complessità, fatta anche di perdite, volumi virtuali, costanti non propriamente concentrate. Semplificazione ed aderenza alla realtà fisica non vanno per nulla d'accordo quando si parla di accordi complessi come il DCAAV ed il DCAC.

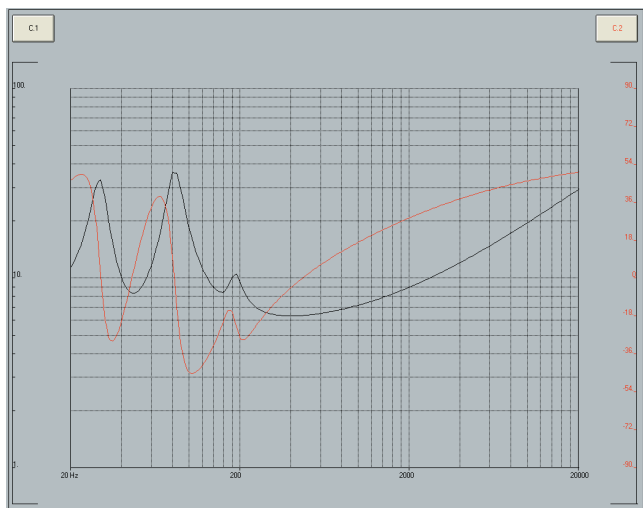


Figura 10. La simulazione della curva di impedenza del DCAAV. Va ricordato che questa appare come una verifica fondamentale per confrontare l'esattezza dei volumi, degli accordi e delle perdite con l'unico tipo di verifica strumentale che non richiede microfoni e camere più o meno anecoiche.

terna. Questo comportamento è caratteristico di tutti i risonatori in serie ed ha a che fare con l'interazione di ogni condotto con entrambe le cavità. All'epoca della stesura dei primi calcoli e del primissimo software eseguii una indagine al contrario, cercando il volume a cui i due condotti calcolati risuonavano alle frequenze evidenziate dalla simulazione. Scoprii che con buona precisione il condotto interno produceva un minimo uguale a quello simulato in un volume corrispondente alle due cedevolezza poste in serie, come a dire ad un volume uguale a $(V_h \times V_l) / (V_h + V_l)$ mentre il condotto inferiore produceva un minimo alla somma delle due cedevolezza, e cioè a $(V_h + V_l)$. L'aspetto divertente di tutta questa faccenda è che i primi realizzatori di DCAAV, dal 1987 in poi, non si sono mai accorti di questa prevedibile discrepanza, indicando i due minimi misurati come le frequenze di accordo reali, e non commentando affatto la differente dimensione dei condotti. Un altro problema che è stato ignorato da tutti quelli che hanno trattato questo carico, e che potrebbe costituire una ulteriore differenza tra simulazioni e verifiche strumentali, è costituito dal volume più grande, quello che tramite il secondo condotto emette verso l'esterno. Se andiamo a fare due conti pratici notiamo che lo sviluppo di un DCAAV è sostanzialmente verticale, col secondo condotto di accordo relativamente distante dal woofer. Ciò lascia ipotizzare che non tutta l'aria contenuta nel volume accordato sia messa in moto dal driver. Il professor Carmine Ianniello, docente di acustica applicata e mio amico, ipotizzò che si poteva stimare in un 10-15% il volume "inerte" non visto dal condotto, e devo ammettere che una ve-

rifica abbastanza attenta delle risposte ottenute rispetto alla simulazione dimostrò che "il coefficiente Ianniello" era in linea con quanto effettivamente verificato. Ma questo non vi tocca più di tanto, visto che nel dimensionare il carico AFW pro si preoccupa ovviamente di sottrarre questo valore al volume calcolato, e tiene conto di tale sottrazione anche per definire la lunghezza del condotto di accordo. Piuttosto occorre ribadire che il risultato finale in gamma bassa dipende in maniera abbastanza diretta dalle perdite del mobile, dell'assorbente e quelle dovute alla lontananza del condotto esterno dal woofer. Va ricordato che le perdite del cabinet non sono lineari alle bassissime frequenze e potrebbero alterare pendenze e pressioni. È ovvio ed implicito nel significato stesso di intercambiabilità dei modelli acustico, meccanico ed elettrico che se il grafico dell'impedenza è ben aderente alla simulazione del software anche la risposta in frequenza sarà identica.

Una realizzazione pratica

Per illustrare le buone caratteristiche del DCAAV ho misurato con la fida CLIO 7 un midwoofer da 11 centimetri che avevo sviluppato in passato proprio per la realizzazione di un diffusore di piccole dimensioni. Alla fine del veloce test ho potuto visualizzare questi parametri:

Fs = 56,45 Hz, Re = 6,2 ohm, Qms 3,8, Qts= 0,38, SD= 56,75 cm2, Vas = 5,35 litri, Pe 30 W, Xmax= 3,5 mm.

In barba a tutti i suggerimenti del software ho adattato un mobile, in verità un pò deboluccio come costruzione,

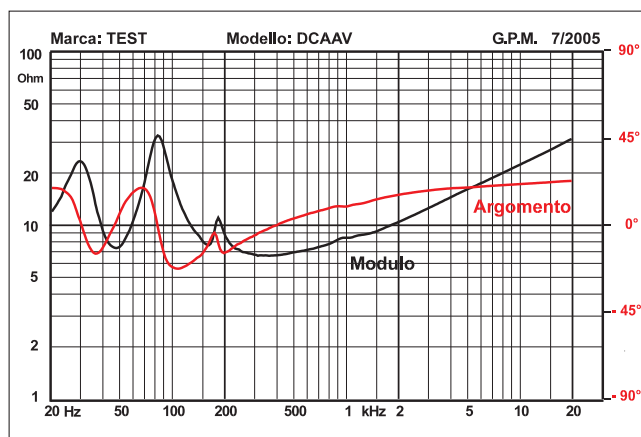


Figura 11. La verifica strumentale mostra come l'esatta valutazione delle perdite trovi riscontro nell'ampiezza dei tre picchi caratteristici di questo carico, mentre la localizzazione in frequenza dei picchi confrontata con la simulazione indica la corrispondenza dei volumi di carico, assorbente compreso.

dividendo il volume a disposizione in due subvolumi da 2,5 e 4,4 litri. Ho fornito i parametri dell'altoparlante al nuovo AFW pro, spostandomi sul potente cursore delle due frequenze di accordo fino ad ottenere un andamento ben regolare. Alla fine ho accordato il volume interno a 130 Hz e quello che emette all'esterno a 62 Hz, cercando di utilizzare dei condotti non molto grandi, visto che non avevo voglia di realizzazioni complesse, cercando tra le cose che avevo. Realizzato tutto con cura ho provveduto a misurarne la risposta e l'impedenza e poi a paragonare quanto misurato con le simulazioni. Va notato che il fattore delle perdite del cabinet è stato impostato a 9 per il volume interno e 7 per quello esterno visto che, come ho detto, le pareti del box sono di multi-

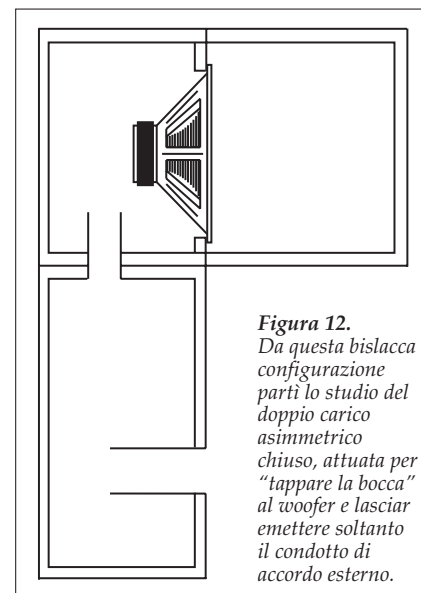


Figura 12. Da questa bislacca configurazione parti lo studio del doppio carico asimmetrico chiuso, attuata per "tappare la bocca" al woofer e lasciando emettere soltanto il condotto di accordo esterno.

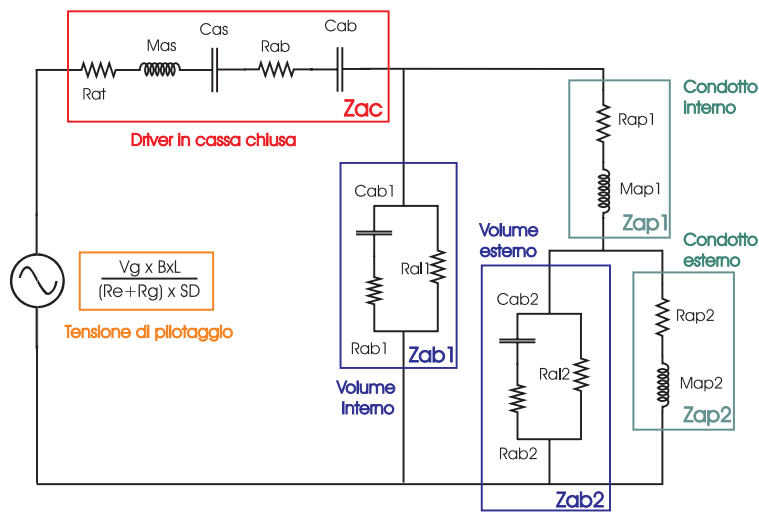


Figura 13. Il circuito elettrico equivalente del doppio carico asimmetrico chiuso è molto simile a quello visto prima, differenziandosi per il solo blocco rosso del driver a cui è stata aggiunta la cedevolezza del mobile chiuso ed una resistenza che ne simula le perdite.

strato di 15 millimetri. Il volume interno è appena appena coibentato con un piccolo foglio di acrilico posto sulla parete posteriore mentre il volume inferiore è totalmente vuoto, tanto che i fattori di merito sono stati impostati in 30 e 50 rispettivamente. In Fig.8 possiamo vedere la simulazione del diffusore mentre nel grafico di Fig.9 possiamo verificare come la misura effettuata sia molto simile alla misura effettuata sul prototipo. Allo stesso modo Fig. 10 e Fig. 11 mostrano rispettivamente l'impedenza simulata e quella effettivamente misurata. Anche in questo caso possiamo annotare una buona congruenza degli andamenti del modulo, col solo primo picco che risulta leggermente più elevato nella simulazione. Tale comportamento va ricercato nella non costanza delle perdite a bassa frequenza del cabinet, difficili (ma non impossibili, vedremo nelle prossime release) da quantificare e da implementare nel software. Ovvio che in questo stesso range di frequenze anche la risposta mostra un abbassamento della pressione rispetto alla simulazione. Come possiamo notare dalla risposta misurata possiamo comunque contare su una risposta ben estesa in gamma bassa in un box di pochi litri.

Il Doppio Carico Asimmetrico Chiuso: la storia

Il doppio carico asimmetrico chiuso, DCAC per gli amici, è il frutto di una ricerca che effettuai negli stessi anni della formulazione del DCAAV. In tutte le configurazioni di carico brevettate da molti progettisti dell'epoca si poteva notare la forte determinazione ad ottenere due qualità: la effettiva filtratura acustica del passa basso naturale, che nel cari-

co simmetrico in genere è una pia illusione per via della blanda pendenza passa-basso, e l'estensione a tutti i costi in gamma bassissima, senza preoccuparsi minimamente della pendenza che si ottiene. Bene, io feci un ragionamento leggermente meno commerciale, pensando che alla fin fine i woofer caricati con una cavità accordata posteriormente ed anteriormente, tipo doppio reflex per intenderci, emettevano in gamma profonda come un bass reflex tradizionale, mentre i sistemi che in qualche modo facevano uso di una camera chiusa avevano una pendenza in gamma bassa certamente più musicale. Devo ammettere che nonostante queste sane convinzioni non sapevo bene come orientarmi pur sapendo che, tempo a parte, potevo più o meno realizzare tutti i modelli a parametri concentrati che volevo. L'occasione venne con la misura di un DCAAV realizzato per i test. Si trattava di un diffusore da pavimento che impiegava un bel woofer da 18 centimetri della Siare, caratterizzato dall'aver un condotto esterno posizionato posteriormente. Nella misura della risposta in campo vicino occorreva ovviamente eseguire due rilevazioni separate per il woofer ed il condotto. Nella misura del condotto di accordo rimasi stupito dell'estensione in gamma bassa, della pendenza abbastanza dolce e di quella viceversa molto elevata del passa basso: se solo avessi potuto tappare la bocca in qualche maniera al woofer per annullarne l'emissione! Ci pensai su e mi dissi che l'unica maniera che conoscevo per ammutolire un woofer era quello di "abbatterlo" in un volume chiuso. Detto fatto costruii un volume chiuso e lo incollai avanti al prototipo di DCAAV, come in Fig. 12. Rimisurai il condotto e

notai un picco enorme in gamma bassa, una risposta sciagurata dal punto di vista dello smorzamento ...ed ovviamente un suono disgustosamente lungo. Ma la gamma bassa era molto profonda. Mentre ero praticamente fermo nel traffico del rientro a casa mi ritrovai a pensare che per il modello matematico non dovevo fare altro che sommare un condensatore equivalente al volume chiuso in serie alla cedevolezza acustica delle sospensioni del woofer nel programma appena sviluppato per il DCAAV. Potevo poi aggiungere Rab per simulare le perdite del box chiuso e, per ultimo, sommare a Mas l'equivalente acustico della massa del carico d'aria posteriore. In pratica, partendo dal modello del driver:

$$Zad = Ras + Rae + J w Mas - J \frac{1}{w Cas}$$

dove Rae è l'equivalente acustico della resistenza elettrica E Ras è l'equivalente acustico di Rms, resistenza meccanica delle sospensioni:

$$Rae = BL^2 / (Re \times SD^2)$$

$$Ras = Rms / SD^2$$

Con la cedevolezza acustica del volume chiuso si può imporre:

$$Cat = \frac{Cab \times Cas}{Cab + Cas}$$

E sostituire nel software il driver «nudo» con la cassa chiusa equivalente calcolando la resistenza acustica totale:

$$Ratc = Ras + Rae + Rab$$

e sommando la massa acustica equivalente al peso della membrana alla massa del carico d'aria posteriore

$$Mac = Mas + Maair$$

per ottenere

$$Zac = Ratc + J w Mac - J \frac{1}{w Cat}$$

Più difficile a dirsi che a farsi, come è possibile vedere comparando la Fig. 7 col modello del DCAC di Fig. 13. Appena definito il modello occorre calcolare la corrente circolante in Zap2 una volta conosciuta quella circolante nel condotto interno e definita da Zap 1. In buona sostanza si applica la regola dello shunt ponendo:

$$U2 = U1 \times \frac{Zab2}{Zab2 + Zap2}$$

Che moltiplicato e diviso per Zap2 ci semplifica il calcolo avendosi

$$U2 = U1 \times \frac{Zab2 / Zap2}{Zap2}$$

Con Zap 2, l'impedenza acustica del condotto di accordo che emette verso l'esterno ed il parallelo Zap2/Zab2 già calcolato in sede di definizione delle impedenze acustiche iniziali. Finita la modifica del software passai un po' titubante ed anche emozionata alla simulazione grafica per poter ammirare il frutto di una giornata di calcoli. Che delusione! Venne fuori un "coso" orribile. Modificai il modificabile per un paio di giorni rendendo il software sempre più completo, ma non riuscii ad ottenere nulla di "lineare", motivo per il quale chiusi tutto senza aver ottenuto alcun risultato. Ma la cosa continuava a "navigarmi" nella mente, perché questo carico almeno dal punto di vista teorico sembrava una vera panacea, e poi perché mi piaceva l'idea di un passa banda che modificasse la risposta come una sospensione pneumatica. Alla fine, per una coincidenza fortuita, buttai dentro dei dati a casaccio e l'evento tanto sperato si produsse: un sub dalla risposta lineare, estesa, ben pendente sul passa basso, con una estensione incredibile ed una tenuta veramente coriacea. Da quel punto in poi iniziai a pensare sempre più seriamente al DCAC, documentandomi su una sua eventuale pre-esistenza. Nonostante avessi letto il poderoso "libro" dei carichi brevettati dal gruppo di progettisti facenti capo ad Amar Bose e da altri costruttori, non riuscii a trovare nulla di simile. Ci vollero quasi tre anni prima di "scovare" un brevetto simile al DCAC concesso alla Panasonic per un carico assimilabile al DCAC, ma la cui implementazione pratica era votata alla sola estensione senza alcuna cura per lo smorzamento. Ricordo bene come rimasero stupiti quando videro il test del loro diffusore, scoverato a fondo da una rivista italiana, mentre in America, in Germania ed in Inghilterra la stampa specializzata non aveva saputo far meglio che tradurre parola per parola il press-kit originale.

Il modello del DCAC

Come ormai sappiamo il DCAC si compone di una cavità totalmente chiusa al-

le spalle del woofer, cavità che ne definisce lo smorzamento alle basse frequenze. La faccia anteriore del woofer irradia in due risonatori reflex in serie, composti da una cavità interna che irradia attraverso il suo condotto in una seconda cavità esterna che a sua volta emette con un secondo condotto di accordo verso l'esterno, come visibile in Fig. 14. La cavità reflex interna è quella accordata alla frequenza più alta mentre quella esterna è accordata alla frequenza più bassa che in unione alla frequenza di risonanza della cassa chiusa ne definisce in qualche modo l'intervallo della banda passante. La prima qualità che possiamo notare di questo carico è la relativa facilità con cui si può modulare l'antitesi tra estensione e sensibilità del passa banda in base a quello che vogliamo ottenere. Diversamente dagli altri carichi è molto facile allargare l'intervallo lineare di riproduzione rinunciando alla sensibilità oppure restringere "la campana" e guadagnare in sensibilità rinunciando ad una porzione di gamma bassa, e farlo sempre riuscendo ad ottenere un andamento regolare del passa banda. Nella pratica con questo carico ho definito nel tempo quattro diverse configurazioni dipendenti dalla risposta che si vuole ottenere:

- 1) Allineamento massimamente esteso
- 2) Minimo volume
- 3) Massima sensibilità
- 4) Extra bass

Il primo ovviamente è quello che massimizza un po' tutte le caratteristiche del DCAC e che perde qualche decibel rispetto alla sensibilità del woofer impiegato, ma garantisce un intervallo di frequenze riprodotte notevole ed una eccellente tenuta in potenza. Il secondo tipo di accordo vede ridurre il volume totale del sub con una estensione ancora notevole. Gli ultimi due come chiaramente indicato massimizzano rispettivamente sensibilità ed estensione in gamma bassa. Quest'ultimo tipo di allineamento in genere ripaga della perdita di circa quattro decibel sulla sensibilità del trasduttore in aria libera con una estensione che arriva fino alla fre-

quenza di risonanza in aria, un risultato difficilmente raggiungibile con qualunque altro tipo di carico.

Esplorando le quattro opzioni ci possiamo rendere conto che comunque, nel bene e nel male il volume totale è sempre leggermente maggiore di qualunque altro carico a meno di non impiegare woofer con cedevolezza ultrabassa. Va però anche notato che, in maniera simile al carico simmetrico, la frequenza di accordo più bassa è pari quasi al doppio della frequenza a -3 decibel effettivamente riprodotta. Ciò torna utile nella definizione dei condotti e delle dimensioni spesso improponibili che vengono fuori dai calcoli. La potenza e la flessibilità di AUDIO per Windows consentono poi di poter variare in tempo reale i volumi, le frequenze di accordo ed i fattori di merito delle perdite in modo da poter addivinare molto velocemente alla risposta desiderata. Per fattori di merito più elevati della norma o per cedevolezza molto basse può capitare che la risposta a centro banda appaia leggermente attenuata rispetto agli estremi, ed in questo caso un abbassamento del volume interno riesce a riallineare completamente il passa banda. Quando viceversa è soltanto il passa alto naturale ad apparire "appuntito" a bassa frequenza è sufficientemente abbassare la frequenza di risonanza della cassa chiusa aumentandone il volume di lavoro. Non conviene in genere smorzare la risposta con un massiccio uso di assorbitore nel tentativo di regolarizzare F_c e Q_t , visto che come sappiamo è tutto il diffusore chiuso che costituisce "il driver" per le due cavità accordate in serie. Le frequenze basse ed il livello medio di pressione riprodotta sono gestiti quasi totalmente dalla cavità reflex esterna. Aumentando infatti il volume senza modificare la frequenza di accordo si ottiene un innalzamento della sensibilità mentre abbassando la sola frequenza di accordo si ottiene un abbassamento della sensibilità unito ad un allargamento della banda passante, a patto che la frequenza di risonanza del volume chiuso diminuisca in proporzione. Come per il DCAAV tutta la gestione della risposta è legata a doppio filo alle perdite del cabinet ed alla curva di impedenza. L'analisi di questa consente, anche con una strumentazione estremamente limitata, la verifica del lavoro eseguito. Le regole da seguire sono sempre le stesse: le perdite "gestiscono" l'ampiezza del modulo dei tre picchi e dei due avvallamenti, mentre la localizzazione in frequenza dei due minimi mostra la correttezza dei due accordi. La corrispondenza in frequenza dei tre picchi rispetto alla simulazione testimonia che i tre volumi di carico sono esatti nelle condizioni di effettivo funzionamento. La distanza tra i picchi di impedenza in relazione ai vo-

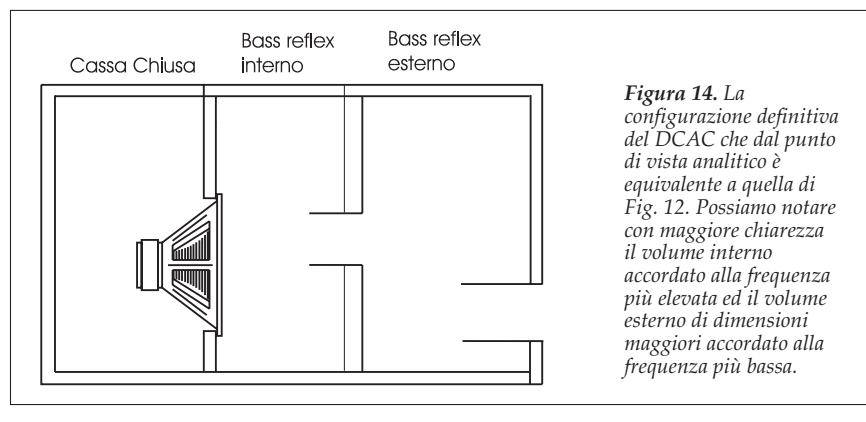


Figura 14. La configurazione definitiva del DCAC che dal punto di vista analitico è equivalente a quella di Fig. 12. Possiamo notare con maggiore chiarezza il volume interno accordato alla frequenza più elevata ed il volume esterno di dimensioni maggiori accordato alla frequenza più bassa.

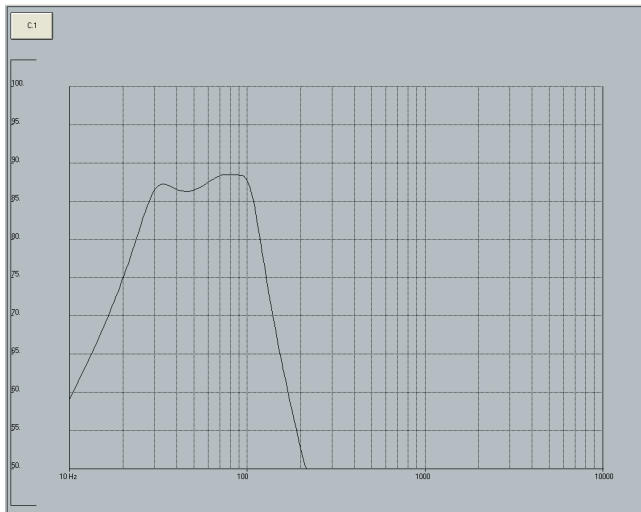


Figura 15. La risposta simulata del DCAC effettivamente realizzato non è proprio il massimo in termini di linearità a causa della sostituzione del woofer originalmente previsto. Tuttavia è utilissima per la verifica strumentale che ha il compito esclusivo di verificare le ipotesi fatte in sede di simulazione.

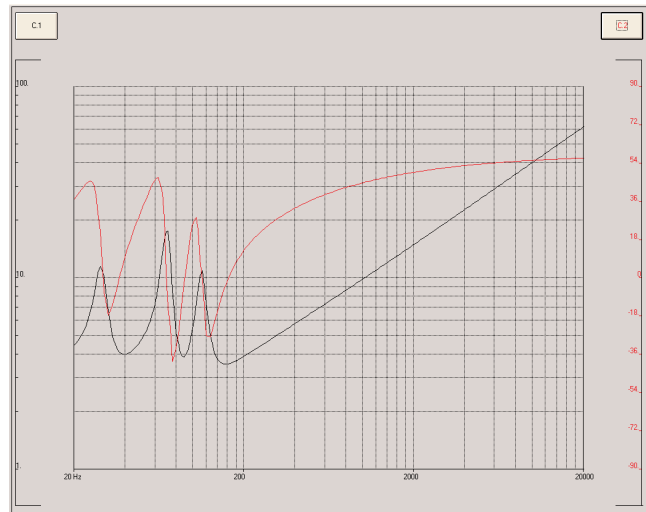


Figura 16. Al pari della simulazione della risposta ecco la simulazione della curva di impedenza da utilizzare, come per tutti i carichi, i volumi, le frequenze di accordo e le perdite.

lumi scelti è un controllo che può essere effettuato in generale con tutti i carichi accordati. Fermi restando i minimi di impedenza alle frequenze di accordo possiamo notare che all'aumentare del volume di lavoro i picchi attorno all'accordo si restringono mentre viceversa diminuendo il volume di accordo i picchi si allontanano tra di loro. Con AFW possiamo renderci conto di questo fenomeno dimensionando un reflex qualsiasi, modificando il volume di accordo con le apposite frecce "up & down" e monitorando i due picchi caratteristici nella simulazione dell'impedenza che può essere ingrandita. Anche in questo caso come nel DCAAV l'uso dell'assorbente deve essere ridotto al minimo possibile, pena una certa perdita di pressione, ma ciò non toglie che per interventi "estremi" o comunque tesi a minimizzare il volume totale l'uso di assorbente è ovviamente consentito. L'azione di quest'ultimo nel volume chiuso è scontata: aumento del volume effettivamente "visto" dal woofer, conseguente abbassamento della frequenza di risonanza, diminuzione del Q totale ed ovviamente aumento delle perdite. Come possiamo notare dai dati forniti da AFW il Qtc deve essere sempre in genere sempre minore a 0,82, condizione limite imposta per la configurazione di massima sensibilità. Tale valore in genere oscilla tra 0,56 e 0,68 per l'ottenimento dei risultati migliori dal punto di vista della regolarità di emissione. Comunque possiamo notare come la bassa pendenza di emissione ci consenta anche un leggero innalzamento del Qtc, diciamo fino a 0,8 ottenendo come conseguenza un leggero avvallamento in banda passante che può essere ridotto come illustrato precedentemente.

Un esempio concreto

Il subwoofer che illustrerò ha subito un "leggero" rodaggio a colpi di 150 watt per circa tre anni in un impianto multicanale a cui sono seguiti altri tre anni di assoluta quiete. Non so quale delle due condizioni abbia nociuto maggiormente al valoroso PL 22 Boxline della Vifa, ma rimane il fatto che alla misura eseguita in laboratorio ha fatto riscontro un andamento sostanzialmente diverso da quello che mi ricordavo essere una risposta estesa e sufficientemente piatta. Una volta rimosso il trasduttore dal volume chiuso ho notato come la risonanza sia diminuita fino a 16-17 Hz e come la cedevolezza sia salita oltre i due millimetri per Newton. Praticamente inusabile per i nostri scopi. Per fortuna ho ritrovato i dati del cabinet a disposizione ed ho faticato relativamente poco a trovare un sostituto che poteva adattarsi abbastanza ai volumi a disposizione. Altra seduta di CLIO 7 ed altra "striscia" di parametri con cui fare i conti:

$F_s = 22,14 \text{ Hz}$, $R_e = 3,18 \text{ ohm}$, $D = 168,8 \text{ mm}$, $Q_{ms} = 4,14$, $Q_{ts} = 0,284$, $V_{as} = 61,55 \text{ L}$, $BL = 9,22 \text{ Txm}$, $M_{ms} = 58,66 \text{ gr}$, $C_{ms} = 0,88 \text{ mm/N}$.

Con questo tipo di parametri il diffusore ipotizzato da AFW viene abbastanza grande, e comunque non compatibile con quello a disposizione. Ho fissato allora innanzitutto i tre volumi, quello chiuso, quello interno e quello esterno imponendo:

$V_c = 10 \text{ litri}$ con $Q_b = 200$ (volume assolutamente vuoto)
 $V_{int} = 7 \text{ litri}$ con una modesta quantità di assorbente molto rigido per evitare

risonanze in gamma media con un $Q_a = 20$ ed un Q_{box} identico. $V_{est} = 15 \text{ litri}$ con fattori di merito Q_a e Q_b identici e molto alti (99) a causa del volume totalmente vuoto.

Giunto a questo punto ho iniziato a combinare le due frequenze di accordo fino ad ottenere in quel volume il grafico di risposta di Fig. 15 e quello di impedenza di Fig. 16. Il risultato ottenuto non rappresenta nulla di speciale, tranne per l'estensione in gamma bassa che vale circa 27 Hz, e che serve solo alla verifica strumentale. Detto fatto ho messo in moto tutto il set di misura per ottenere la risposta di Fig. 17 e l'impedenza di Fig. 18. Anche in questo caso possiamo vedere la perfetta aderenza tra la teoria e la pratica, quella identità simulazione-misura che è la prova finale di un lavoro di ricerca e che -lasciatemelo dire- in un tecnico induce stati d'animo sospesi tra la libidine e la levitazione. Ad una prima analisi della risposta in frequenza notiamo come si presenti leggermente elevata (+ 2 dB) a circa 80 Hz, ma basta dare uno sguardo alla Fig. 19 per rendersi conto di quanto si linearizzi la risposta semplicemente variando volumi e frequenze di accordo e disegnando, ovviamente, un altro box più grande.

Doppi carichi e...brevetti

Devo ammettere di trovare questa discussione particolarmente odiosa, almeno vista dal punto di vista del ricercatore o comunque del tecnico. Personalmente non credo che sia moralmente corretto il brevettare le leggi della fisica, perché di questo si tratta, ma possiamo ammettere che nella storia dei brevetti le nostre povere cose di acustici sono

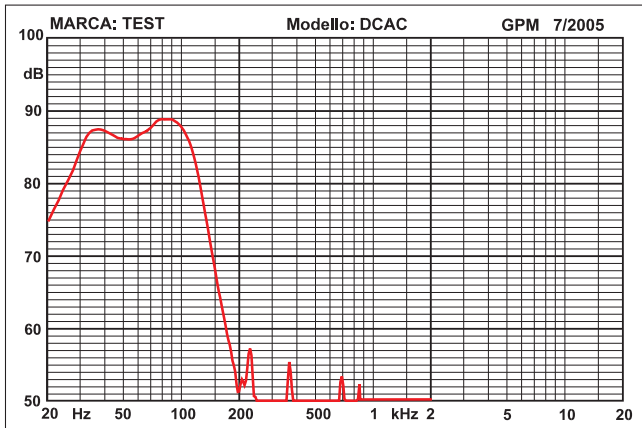


Figura 17. Puntuale la rilevazione strumentale del DCAC realizzato prova l'esattezza delle ipotesi fatte in sede di simulazione, con un andamento che a parte la differente scala di rappresentazione è direttamente sovrapponibile alla simulazione di AFW pro.

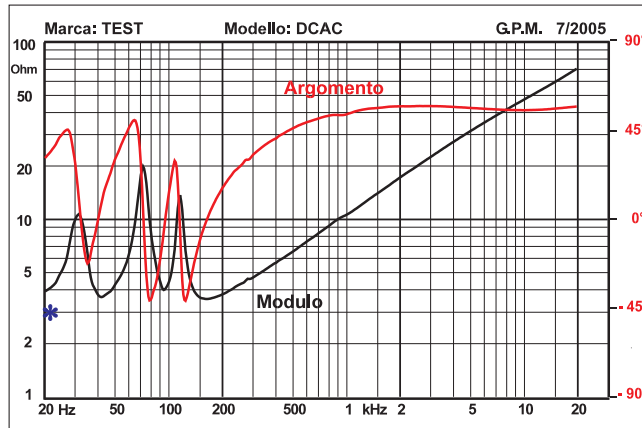


Figura 18. Ad uguale risposta corrisponde ovviamente uguale andamento del modulo dell'impedenza che in laboratorio ha mostrato una aderenza pressoché totale col modello teorico. Va notato che i picchi e gli avvallamenti confermano l'esattezza delle dimensioni e delle frequenze di accordo.

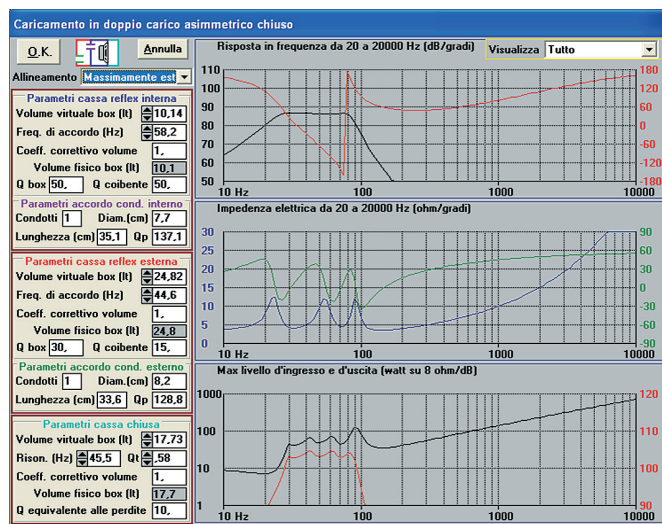
nulla rispetto a brevetti molto più nobili negli intenti apparenti e che invece coprono vere e proprie "operazioni commerciali" dal contenuto ben poco umanitario. A guardare la storia dei carichi particolari attraverso i brevetti depositati nel tempo si scoprono molte stranezze, almeno per il metro della storia che conosciamo. Il doppio reflex brevettato da Amar Bose nell'ottobre del 1983 con numero 4,549,631 si rifà ad un precedente brevetto di A. D'Alton, un francese che nel maggio del 1933 richiese ed ottenne un brevetto per un "device" musicale che funzionava secondo lo stesso identico principio del doppio reflex. Il triplo carico reflex ha una storia più lunga e complessa, con un primo brevetto datato 1990 a firma di Gavronski e Schreiber per conto della Bose Corporation in una maxirichiesta che contempla triple e quadruple camere variamente accordate tra loro. Nell'ottobre del 1996 Brian J. Gavronski perfezionò il brevetto

sempre per conto della Bose. Del carico simmetrico si ha una traccia in un brevetto tutto sommato abbastanza recente della Nokia (!?) mentre, e qui vengono le dolenti note almeno per il sottoscritto, del DCAC è stato richiesto il brevetto da James J. Croft III in California nel febbraio del 2000, ottenuto nel maggio del 2002 per conto della American Technology Corporation col numero 6,389,146. Sì, avete letto bene, nel 2000, con la prima formulazione del sottoscritto fatta tra la fine del 1992 e l'inizio del '93 ed il primo prototipo esposto nel settembre dello stesso anno al Top Audio milanese. Va notato, tra l'altro, che l'inventore sottolinea come sia la risposta che il carico visto dall'altoparlante siano asimmetrici, con notevoli vantaggi, rispetto alle configurazioni brevettate da Bose, circa lo smorzamento in gamma bassa dovuto alla camera chiusa. Da tutto ciò possiamo dedurre che non è possibile fare un libero uso commerciale di tali

carichi, pur avendo ampia libertà di costruzione per propria sperimentazione e diletto. Francamente dubito fortemente che qualcuno verrebbe a contestare un DCAC realizzato anche in una produzione, ma i brevetti esistono ed è ovvio che ciò dev'essere tenuto nel debito conto. Per quanto invece può essere di nostro interesse notiamo che il linguaggio di tali brevetti appare estremamente criptico, almeno per i non addetti ai lavori, quasi sempre privo di formule o simulazioni e men che meno di misure reali, con la formulazione matematica in genere rivolta alla conversione volume-cedevolezza o alla definizione del condotto di accordo. Per noi permane ancora misterioso il dedicare pagine e pagine descrivendo...il trasduttore o la spiegazione delle "pareti che delimitano il diffusore", ma credo che in tal modo ci si pari dalle innumerevoli trappole attuabili per aggirare un brevetto. Mah, mi chiedevo se era stato brevettato un DCAC con un woofer a vista ed uno interno con parametri e caratteristiche diverse in modo da ottenere l'estensione tipica del DCAC e la sensibilità del woofer a vista.

Poi magari ve ne parlo...ma stavolta dopo averlo brevettato in America!

Gian Piero Matarazzo



carichi, pur avendo ampia libertà di costruzione per propria sperimentazione e diletto. Francamente dubito fortemente che qualcuno verrebbe a

Figura 19. La simulazione del carico di AFW consente di visualizzare i tre grafici più importanti o di poter visualizzare un solo grafico a dimensioni ovviamente triple.

Nella prossima puntata ci occuperemo di una interessante implementazione pratica del DCAC. Il subwoofer impossibile per antonomasia è sempre stato quello da abbinare alle leggendarie Rogers LS 3/5a, ma la possibilità di variare la larghezza di banda modulando la sensibilità offerta dal DCAC in questo caso sembra cadere ad hoc. Utilizzando un midwoofer da 110 mm ed 86 dB di sensibilità abbiamo esteso la risposta fino a 30 Hz ottenendo una pressione allineata al piccolo 5 litri in sospensione. Chi verrà al Top Audio di quest'anno ne sentirà delle belle...