

prima parte

The Blue Matter

Diffusore a linea di trasmissione di dimensioni compatte con crossover passivo ad altissima pendenza d'attenuazione.

Questo diffusore fu pensato a livello sperimentale per saggiare le possibilità pratiche di un woofer caricato da una linea di trasmissione in luogo dei più comuni reflex o cassa chiusa, ben conosciuti da tutti gli hobbisti. Si voleva anche presentare una cassa compatta da posizionare su stand e, per garantire una costanza di prestazioni anche nel caso di

grandi spostamenti dell'ascoltatore sia sul piano orizzontale che in verticale, si è cercato, utilizzando una rete di filtro particolare, di ridurre la sovrapposizione di emissione dei trasduttori in zona d'incrocio, minimizzando l'insorgere di accentuati fenomeni di "lobing".

I punti d'interesse di questo progetto, sia per chi decida di costruirlo tale e quale, come per chi voglia trarre solo qualche spunto dalle idee messe in opera, sono:

1 - la possibilità di caricare in linea di trasmissione un altoparlante d'uso comune, essendo sufficientemente certi di una buona riuscita, senza fare uso di un labirinto di scomoda lunghezza, oppure completamente pieno di materiali fibrosi e, quindi, di bassissima efficienza.

2 - l'utilizzo di un particolare filtro passivo ad altissima pendenza di taglio (circa 40 dB/ott) ma non eccessivamente complesso circuitalmente e completamente simulabile da Audio For Windows.

Tutto il progetto è stato inoltre impostato pensando all'utilizzo di materiali e



componenti comuni e di facile reperibilità.

Parte prima: il mobile

Il diffusore è un "due vie" compatto, con dimensioni esterne pari a 53 x 35 x 26 cm. Gli altoparlanti utilizzati sono relativamente economici, ma di buona qualità: si tratta del woofer Ciare CW161N, un altoparlante da 160 mm nominali di diametro, con membrana in cellulosa e sospensione in gomma, e del tweeter Ciare CT200, un componente dotato di cupola da 20 mm, leggermente caricata da una flangia conformata a mo' di corto trombino. Detta realizzazione ha anche il non indifferente pregio di proteggere la cupola, che si viene a trovare al riparo da schiacciamenti involontari. Entrambi i trasduttori sono proposti nel catalogo Ciare per il settore car audio e, di conseguenza, sono altoparlanti da 4 ohm nominali. Questa scelta è stata guidata dal desiderio di guadagnare qualcosa in

sensibilità ma, nonostante questo, il diffusore presenta un carico di tutta tranquillità. I tweeter utilizzati appartengono a una serie precedente l'attuale, ma le modifiche hanno riguardato solamente l'estetica della flangia.

Per aiutarci nel dimensionamento del cabinet e fare una stima della quantità d'assorbente necessaria, ci siamo avvalsi di "Transmission Line Boxmodel", un semplice programma in DOS

di Bullock e White. Questo software è freeware, si può scaricare liberamente al sito <http://www.hal-pc.org/~bwhitejr/> e si basa sul modello di Bradbury relativo alla propagazione del suono in un mezzo fibroso. Noi abbiamo optato per un materiale "spugnoso", che invece di essere costituito da fibre è fatto di celle; si dovrà quindi avere l'accortezza di utilizzare materiale sintetico a celle aperte, per permettere al materiale di svolgere la corretta funzione di attrito nei confronti dell'aria in movimento nel condotto.

Nonostante questa differenza, invero sostanziale, "smanettando" un po' con i parametri del programma si riesce a condurre una simulazione sostanzialmente attendibile e assai vicina alle misure successivamente effettuate con Clio. Infatti, oltre a definire il materiale come molto poroso e ad alta densità, nel calcolo della quantità di riempimento del condotto, si è introdotto un valore di 4 kg/m³, assai basso rispetto ai canonici

8-12 kg/m³ usati da Bullock nei suoi modelli.

Sarebbe certamente auspicabile uno studio più dettagliato ed approfondito del comportamento del suono all'interno di un tubo riempito di materiale spugnoso, studio da condurre in via sperimentale su modelli reali, così come Bullock a suo tempo condusse tale ricerca su linee riempite con lana naturale a fibre lunghe. Determinare con buona precisione le caratteristiche del poliuretano espanso contribuirebbe ad avvicinare molto di più le simulazioni alla misura reale.

Comunque sia, senza poter offrire ancora delle prove certe, la nostra impressione è che usando questo tipo di materiale si riesca a diminuire il numero delle variabili in gioco ed evitare quell'aura di indeterminazione che avvolge quasi tutti i progetti di linee di trasmissione.

Il legno usato è normalissimo truciolare da 20 mm, eccetto le due fiancate, sempre di truciolare ma da 25 mm, questo perché queste ultime finiscono per essere le parti di maggiore estensione e non sono previsti rinforzi trasversali a congiungere le due pareti laterali, oltre alle divisioni interne che delimitano la linea, e questo per non ostruire il percorso della stessa.

Viceversa, la presenza di un robusto setto longitudinale posto nelle immediate vicinanze del woofer e sviluppato lungo tutta la parete superiore e il fondo rende particolarmente sordo il mobile lungo l'asse verticale.

Chi volesse optare per un materiale diverso, oppure non trovasse lo stesso spessore, può tranquillamente procedere: in questo tipo di carico la cosa più importante è la lunghezza della linea, e piccole modifiche di altre dimensioni sono praticamente ininfluenti.

Non abbiamo tentato di ottenere basse frequenze da subwoofer, quindi nessun effetto speciale, solo una linea di trasmissione calcolata secondo criteri di logicità e praticità.

Nonostante questo la linea, che presenta una lunghezza di 130 cm, è dimensionata in modo tale che, sommati gli effetti dell'assorbente all'interno, il quarto d'onda si venga a trovare all'incirca sui 70 Hz, e l'uscita utile in ambiente si estende fin sotto i 45 Hz. Niente male se si pensa che il woofer, in aria libera, ha un Fs di 53 Hz.

All'interno del mobile la linea si sviluppa con un andamento sinuoso caratterizzato da una prima piega a 90°, seguita da due rotazioni a 360° che portano la fine della stessa ad affacciarsi sul pannello frontale. La faccia posteriore del woofer vede un'area di alcune volte superiore alla Sd, o superficie della membrana; il condotto prosegue poi con un percorso di sezione continuamente decrescente, con pareti mai parallele tra loro; infine termina con un'apertura la cui superficie è pari alla Sd dell'altoparlante. Questo permette anche una uniformità in pressione tra la radiazione diretta e quella della linea, poiché le superfici di emissione sono direttamente confrontabili e non è necessario procedere a noiose operazioni di calcolo in sede di misura, allorché si procede a sommare l'emissione del woofer con quella della bocca.

Come già spiegato la linea è poi stata rivestita con del poliuretano espanso a celle aperte e superficie bugnata. Quindi nessun materiale sintetico o naturale a fibre lunghe: soltanto normale poliuretano espanso bugnato che, guarda caso, è quello che usavano i grandi vecchi costruttori di linee di trasmissione quali IMF o TDL.

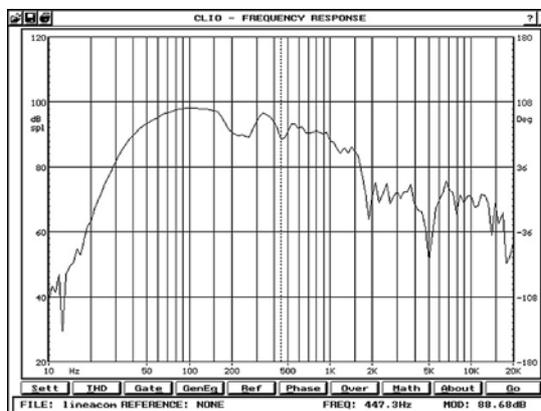
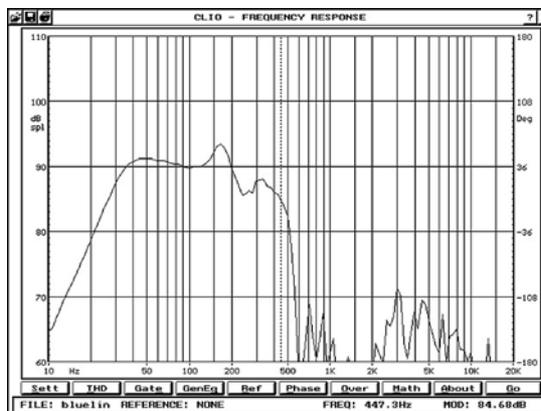
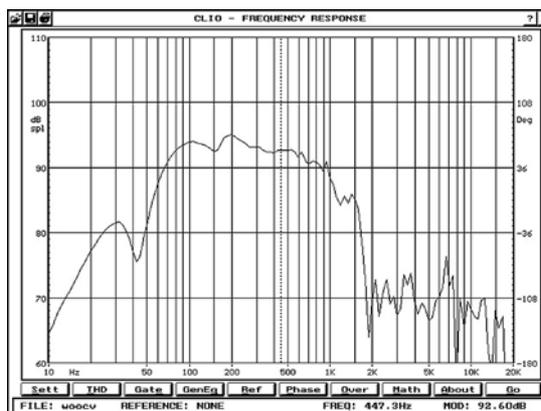
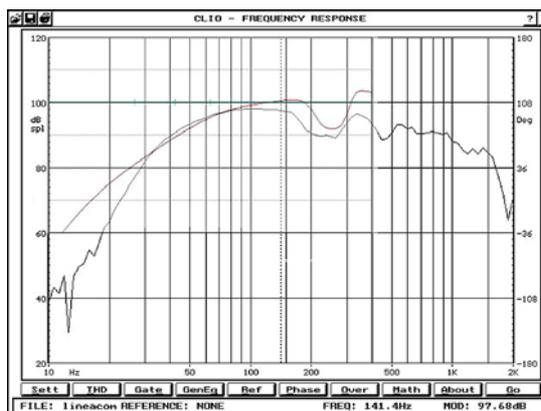
La costruzione del mobile è stata fatta senza incastri e

Comparazione tra la simulazione e la misura effettuata sul mobile definitivo. La risposta maggiormente calante al di sopra della Fc può essere attribuita a un maggior effetto passa-basso a carico della struttura del mobile, che comprende una serie di ripiegamenti, a differenza della simulazione che prevede uno sviluppo lineare del condotto.

Risposta in campo vicino del woofer.

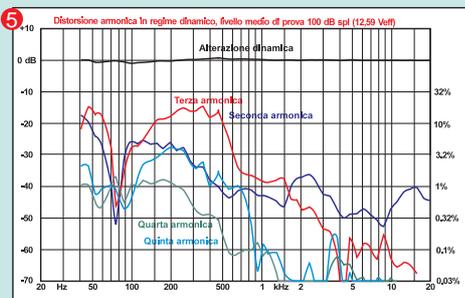
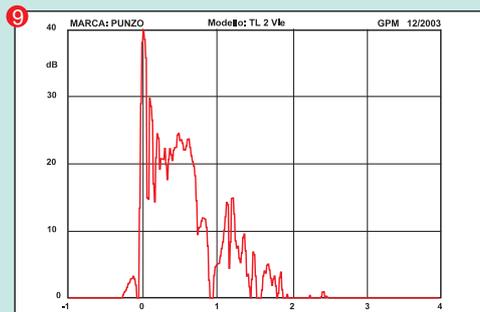
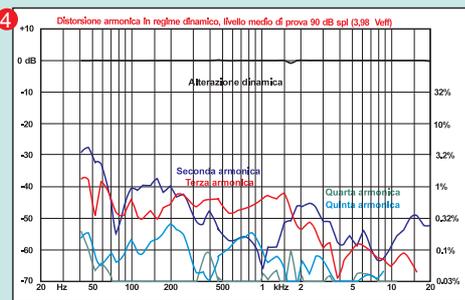
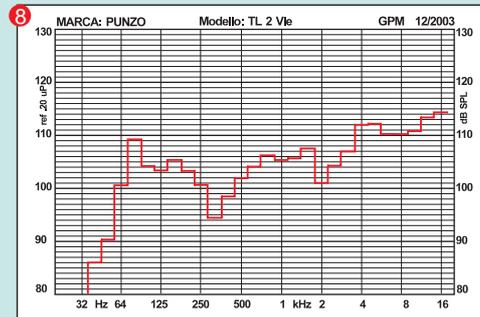
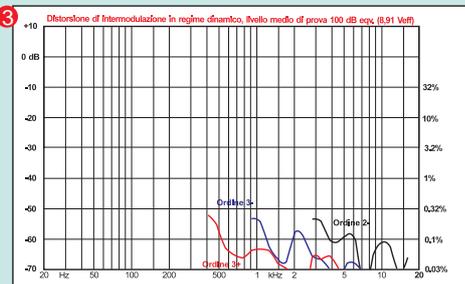
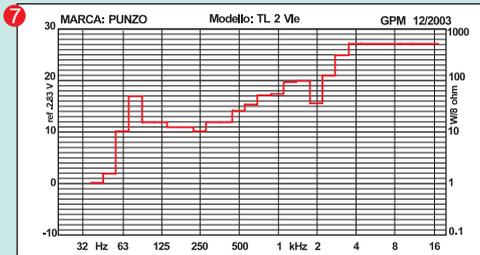
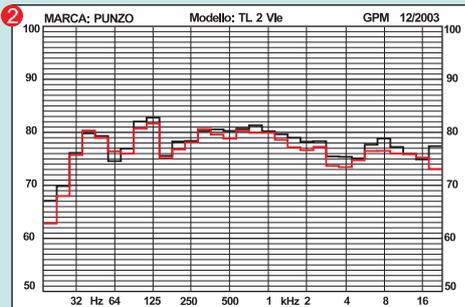
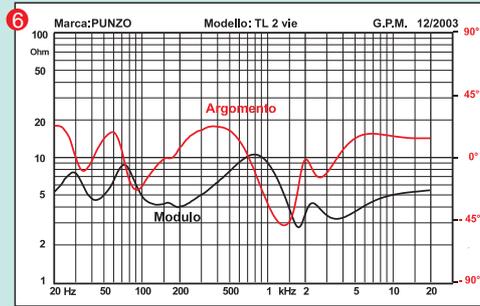
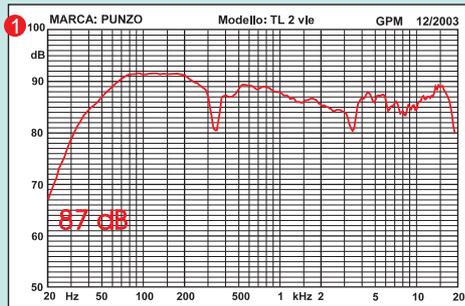
Risposta della sola linea.

Somma delle due risposte precedenti.



The Blue Matter

CARATTERISTICHE RILEVATE



- 1) Risposta in frequenza a 2,83 V/1 m
- 2) Risposta in ambiente, due canali in funzione
In asse ed a 30° per le tre configurazioni:
Vin=2,83 V rumore rosa
- 3) Distorsione dinamica per differenza di frequenze
Eseguita a 100 dB
- 4) Distorsione di 2a, 3a, 4a, 5a armonica ed alterazione
dinamica a 90 dB spl
- 5) Distorsione di 2a, 3a, 4a, 5a armonica e alterazione
dinamica a 100 dB spl
- 6) Modulo ed argomento dell'impedenza
- 7) MIL livello massimo di ingresso (per distorsione di
intermodulazione totale non superiore al 5%)
- 8) MOL livello massimo di uscita (per distorsione di
intermodulazione totale non superiore al 5%)
- 9) Risposta nel tempo

La risposta in frequenza appare leggermente esaltata in gamma medio-bassa, con una stretta ed ininfluyente esitazione a cavallo dei 300 Hz dovuta con tutta probabilità alla linea di trasmissione. La sensibilità si attesta sugli 87 decibel, computata con la media delle tensioni equivalenti da 200 a 10.000 Hz. Va notato il caratteristico andamento del tweeter con un leggero picco a 15.000 Hz, cui segue una leggera tenue attenuazione in gamma altissima. La risposta temporale mostra il fulmineo abbassamento del livello del tweeter al cessare dello stimolo, seguito dall'arrivo del woofer (circa mezzo millisecondo dopo) per un calo di tutta la dinamica disponibile in un solo millisecondo. Il modulo e la fase dell'impedenza mostrano un carico caratterizzato in bassa frequenza dall'andamento tipico della linea di trasmissione, con due picchi ben pronunciati ed il terzo, posto a circa 160 Hz, molto contenuto. In gamma di incrocio ad un modulo non particolarmente basso fa riscontro un andamento deciso della fase in "zona negativa" che pur non superando i -45° sposta in questo range di frequenze la massima condizione di carico vista dall'amplificatore, condizione comunque non eccessivamente gravosa e prossima a tre ohm puramente resistivi. La misura eseguita a terzi di ottava in ambiente col rumore rosa verifica una estensione notevole ed estremamente lineare in gamma bassa con i 40 Hz allineati all'andamento della gamma media. Notiamo anche un leggero abbassamento in gamma medio-alta ed un andamento in gamma altissima regolare anche nella ripresa fuori asse. La distorsione per differenza di frequenze, in tutte le componenti visualizzate ed in quelle rilevate e non pubblicate, è inferiore allo 0,3%, con la 2- leggermente in evidenza a 3000 Hz e la 3+ che si innalza scendendo da 500 a 400 Hz. La distorsione armonica eseguita a 90 decibel non supera l'uno per cento da 70 a 20.000 Hz, ma presenta già un livello elevato sia di terza che di quinta armonica in tutto l'intervallo interessato dal funzionamento del woofer. Innalzando il livello a 12,6 volt rms, quanti ne occorrono per una pressione media di 100 decibel, notiamo che la terza e la quinta armonica salgono a valori decisamente elevati, con la componente maggiore che addirittura eguaglia a cavallo dello zero sia a 90 che a 100 decibel, anche nell'intervallo di frequenze più critico dal punto di vista della distorsione. L'andamento in gamma medio-bassa delle componenti armoniche dispari ovviamente è da attribuire al woofer e poco o niente ha a che fare con la teoria del filtro e con le scelte operate circa il caricamento. La MOL infatti nella stessa banda di frequenze è penalizzata dalle non linearità e pur partendo decisamente bene, con circa 100 decibel a 64 Hz e circa 110 nel terzo di ottava successivo, tocca il minimo dei 94 decibel a 300 Hz, per poi salire velocemente in 100 decibel e proseguire quasi senza esitazioni oltre questo livello.

G.P. Matarazzo

usando soltanto giunti di testa.

Ricordiamo che, per evitare perdite d'energia (e di performance), il mobile deve essere estremamente rigido e sfatare soltanto dalla bocca posta sul pannello frontale.

È meglio non risparmiare con la colla. Ad essiccazione avvenuta conviene ripassare con lo stucco per legno le giunzioni più complesse, carteggiare e, infine, posare l'assorbente lungo le pareti interne della linea. Per finire, si chiudono le casse fissando l'ultima parete laterale, usando sempre abbondante colla e morsetti.

I disegni costruttivi e le foto che accompagnano questo testo dovrebbero essere abbastanza chiari ed esaurienti. Tra il fondello del woofer e la paratia di rinforzo forata sono posti due elementi elastici. L'altoparlante deve rimanere fermamente premuto contro di essi, una volta strette le viti di fissaggio.

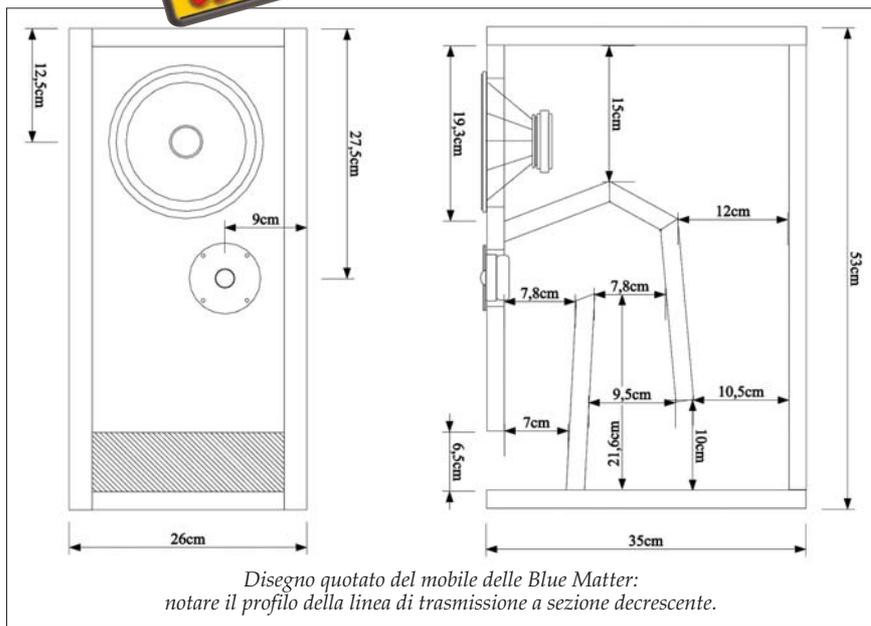
Sul frontale si è utilizzato un materassino di neoprene da 2 mm di spessore, il quale aiuta a diminuire le irregolarità nella risposta che, inevitabilmente, si presentano quando gli altoparlanti non sono a filo del pannello. Il neoprene risolve in gran misura il problema della mancata fresatura dell'alloggiamento sagomato per gli altoparlanti. Ovviamente, se siete in grado di eseguire delle precise fresature il risultato sarà migliore, anche esteticamente.

Una volta terminata la costruzione del mobile si è provveduto alle verifiche di rito, misurando il modulo d'impedenza, che ha confermato una frequenza di accordo della linea a circa 70 Hz, indicata dal picco principale, e due minimi a circa 50 e 150 Hz, corrispondenti ai massimi livelli di emissione della linea, confermata da una misura in campo vicino del woofer, che mostra come alle stesse frequenze il moto della membrana sia ridotto (intorno ai 40 Hz in special modo), nonché dalla misura del solo condotto.

Parte seconda: il crossover

Contemporaneamente alla costruzione di una "transmission line", cosa di per sé già complessa, abbiamo anche voluto sperimentare qualcosa di diverso dai filtri d'incrocio canonici. Siamo così arrivati a una soluzione non convenzionale di filtro ad altissima pendenza di attenuazione che abbiamo battezzato "Cuadrastope".

Il mobile prima della chiusura definitiva, con l'espanso bugnato già in posizione. Si notano il setto centrale longitudinale e l'andamento progressivamente decrescente della linea.



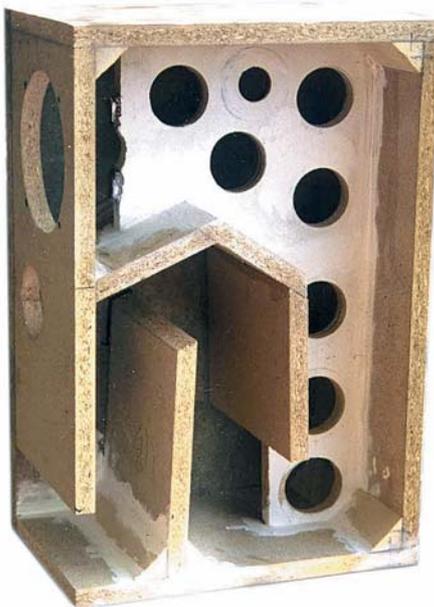
Personalmente, magari in forma del tutto "ormonale", siamo abbastanza contrari ai diffusori che, pur suonando molto bene, pretendono una posizione d'ascolto obbligata e/o un eccesso di cura per il posizionamento in ambiente. Per avere una certa immunità a questo tipo di problema, una delle cose da fare è realizzare un incrocio a una frequenza di crossover tale per cui la lunghezza d'onda relativa sia inferiore alla distanza tra i centri d'emissione delle vie interessate.

Nel caso delle Blue Matter, la distanza tra il centro del tweeter e quello del woofer è 15 cm, quindi si dovrà realizzare un incrocio al di sotto dei 2300 Hz, dato che $C/0.15$ (cioè la velocità del suono,

fissata a 344 m/s, fratto la distanza tra i centri in metri) corrisponde appunto a una frequenza di 2300 Hz. Per precauzione sarebbe anche meglio allontanarsi maggiormente da questa frequenza, abbassandola ulteriormente per minimizzare del tutto le interferenze.

Altro punto importante sarà il minimo scostamento tra la risposta in asse e fuori asse dell'altoparlante di diametro maggiore, almeno per quanto riguarda le angolazioni tipiche rilevabili in fase d'ascolto e quantificabili in circa 45°.

Dato che il diametro tipico di un woofer, per quanto piccolo possa essere, è comunque sempre troppo grande perché si possa considerare il cono come un tra-



sduttore ideale fino alla sua massima estensione in frequenza sull'asse, si dovrà procedere con un filtraggio consistente fino alla frequenza in cui si riesce a ottenere una maggiore uniformità nella dispersione polare, e tutto questo, pur usando un cono da soli 130 mm effettivi di diametro, vuol dire comunque essere costretti a una frequenza d'incrocio abbastanza bassa.

Ciò significa almeno due cose: o si usa per la via alta un componente capace di lavorare senza pericolo sotto i 2 kHz, pilotato da un filtro del 1° o 2° ordine, oppure si usa un componente "normale" e, per impedirgli di lavorare a frequenze che ne causerebbero la distruzione, si opererà per un filtraggio ad altissima pendenza.

Nel primo caso, per avere tali prestazioni, il tweeter sarà anche, con tutta probabilità, molto costoso.

La soluzione tecnica perciò ricade sui filtri ad alta pendenza; per ragioni economiche, e anche, se vogliamo, "ludiche", oltre che per voglia di sperimentazione e di maggiore soddisfazione personale.

Il fatto che i filtri passivi di tale natura possano andare bene anche per l'audio non è cosa molto investigata, generalmente si arriva a definire un crossover del quarto ordine, cioè 24 dB ottava, ma non molto di più. Uno degli studi più famosi è quasi sicuramente quello di D'Appolito, il quale utilizzò filtri del terzo ordine e una disposizione simmetrica dei trasduttori proprio per uniformare la dispersione verticale del sistema. Ma ci sono altri tipi di filtri, meno noti. Un esempio, applicato proprio in un progetto di autocostruzione, è quello di "The Black Dahlia" a firma Dick Olsher, pubblicato su "Sound Practices" a fine 1990. Questo progetto utilizzava, con risultati pare eccellenti, un filtro passivo del quarto ordine, con allineamento chiamato Legendre, il quale mostra vantaggi rispetto ai Chebishev dello stesso ordine, soprattutto per quanto riguarda l'introduzione di irregolarità in banda, quali ringing accentuati e ondulazioni in prossimità dell'incrocio.

Altro lavoro sui filtri ad alta pendenza, a nostro avviso assai più interessante, è una trattazione teorica rintracciata in rete per puro caso, e non molto conosciuta, a firma di un signore chiamato Jason Cuadra, il quale ebbe l'idea di adattare i filtri di Cauer o "filtri ellittici", normalmente usati come sopprimi-banda in campo radio, ai filtri crossover per trasduttori acustici.

Il lavoro originale di Jason Cuadra fu pubblicato sul suo sito web personale, ora off-line, e attualmente ripubblicato al seguente indirizzo:

<http://ldsg.snippets.org/FILTERS/Cuadra/elliptic.php3>

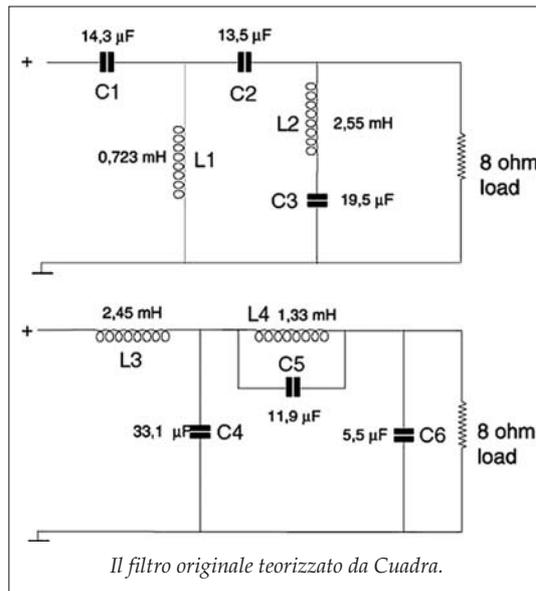
Attingendo a quanto riportato abbiamo ricostruito il lavoro di Cuadra, utilizzando Audio For Windows per visualizzare il comportamento delle celle. Infatti, nonostante la relativa complessità circuitale, il filtro è perfettamente simulabile usando AFW.

Abbiamo battezzato il nuovo tipo d'allineamento con il nome di "Cuadraslope", per rendere giusto merito all'originale ideatore. Per quanto riguarda la paternità di detta "invenzione" vale la pena citare lo stesso Cuadra, il quale, con somma correttezza, ci tiene a precisare

terworth) cui è stata variata la funzione di trasferimento fino a giungere a quella caratteristica per i filtri di Cauer. Per fare questo non è ovviamente possibile utilizzare i valori rintracciabili per un filtro del quarto ordine classico, quindi i dati corretti sono stati trovati in via sperimentale da Cuadra e non sono elaborabili in automatico dalle comuni routine di calcolo dei moderni software di simulazione; d'altronde gli stessi filtri ellittici sono ricavabili da formule talmente complesse che nel calcolo si ricorre abitualmente a tabelle predefinite. Rispetto al classico circuito si devono aggiungere solo due condensatori, uno in parallelo al secondo induttore del passa-basso e uno in serie al secondo induttore del passa-alto, ricavando quindi due filtri notch ad altissimo Q. Si ottiene in questo modo un notevole incremento della pendenza di taglio, circa 40 dB/ott, ma utilizzando soltanto cinque componenti per ramo. Una simulazione effettuata da Cuadra utilizzando il software CALSOD mostra abbastanza chiaramente le peculiarità del filtro "Cuadraslope", sintetizzabili in una estrema pendenza di taglio, sia rispetto a un 4° ordine classico, ma inarrivabili anche da un complesso Linkwitz-Riley del 6° ordine.

Un ultimo problema relativo all'utilizzo di filtri ad alta pendenza è infine legato alla fase e al ritardo di gruppo che viene introdotto; lo stesso Cuadra pone in evidenza come dette rotazioni siano leggermente superiori al classico Linkwitz-Riley, ma altresì ribadisce come i vantaggi derivanti dalla maggiore pendenza di attenuazione, e quindi della migliore risposta polare, superino di gran lunga i difetti legati alle rotazioni di fase che, tra l'altro, pur essendo maggiormente evidenti, interessano una porzione molto più ristretta dello spettro. Tutto questo, ovviamente, in via teorica. Vedremo infatti che le componenti reattive del carico offerto da un altoparlante reale e le sue alterazioni nel dominio del tempo e della frequenza costringono a una leggera complicazione circuitale nell'applicazione pratica, oltre che a una difficile previsione di ciò che può accadere relativamente all'andamento della fase acustica.

Limite principale dello studio teorico di Cuadra è, infatti, costituito dal fatto che la rete di filtro è terminata su una componente resistiva, assolutamente inadeguata a simulare il reale comportamento di un altoparlante. Quello che ci siamo



che una simile tipologia, utilizzante però dei trasformatori, è, in effetti, già stata brevettata da un certo Modafferri, battezzata "Infinite Slope" ed usata dalla Joseph Audio nelle sue realizzazioni. La peculiarità principale del "Cuadraslope" è quindi quella di utilizzare i classici componenti reattivi comunemente usati nella realizzazione dei filtri crossover, cioè induttori e condensatori, oltre alle resistenze, senza la necessità, quindi, di realizzare complicati e costosi trasformatori, le cui specifiche sono, tra le altre cose, coperte da brevetto.

Continuando a citare lo studio di Cuadra, entriamo nello specifico del "Cuadraslope" e scopriamo che si tratta, in buona sostanza, di una struttura del tutto simile a una rete del quarto ordine (come un comune Linkwitz-Riley o But-

quindi proposti come obiettivo è stata la trasposizione della circuitazione "Cuadraslope" su un carico reale e una sua applicazione pratica. Da questo intento è nato il progetto Blue Matter.

Per prima cosa abbiamo controllato se la configurazione teorica di Cuadra, vale a dire il filtro a 900 Hz su carico resistivo di 8 ohm, si poteva caricare in AFW mantenendo immutate le sue caratteristiche.

A questo scopo abbiamo simulato due altoparlanti "ideali". Per altoparlanti ideali intendiamo un woofer ed un tweeter che non possiedono una curva d'impedenza ma soltanto un valore di resistenza, in questo caso 8 ohm, ed una risposta in frequenza arbitraria, molto ampia e piatta, vale a dire senza alterazioni.

Successivamente abbiamo posto questi trasduttori virtuali su un "baffle" di misura adeguata ai loro diametri e verosimilmente utilizzabile come pannello definitivo, impostando l'offset verticale a 25 cm, un valore molto alto, anche se inferiore ai circa 40 cm corrispondenti agli originari 900 Hz ($C/f=344/900=38$), poiché sarebbe risultata una misura esagerata, se riferita al pannello frontale di un diffusore bookshelf.

Una distanza tra woofer e tweeter di ben 25 centimetri, pari a una frequenza di circa 1300 Hz ($C/d=344/0,25=1376$), è comunque una situazione limite; e avrebbe permesso di effettuare qualche prova maggiormente realistica semplicemente spostando la frequenza di taglio.

La simulazione su AFW della tipologia "Cuadraslope" non è possibile utilizzando la sola sezione di filtro vera e propria. Per realizzare il circuito completo è necessario utilizzare le celle destinate alle reti di compensazione. In questo modo si può ricreare la particolare struttura del filtro "Cuadraslope", che contiene elementi reattivi in parallelo tra loro (sul passa-basso) ed in serie (sul passa-alto), non previsti nella sezione filtri di AFW. È possibile notare come ciascuna cella di un filtro "Cuadraslope" abbia due soli componenti aggiuntivi rispetto a un classico 4° ordine, i condensatori C3 e C5. Ma qual è l'effetto di questi due elementi "estranei" posti in un circuito che altrimenti sarebbe un normalissimo filtro a 24 dB ottava? Utilizzando AFW possiamo facilmente simulare l'intervento di questi due componenti. Il risultato è quello visibile nelle figure 14 e 15, che illustrano il notevole incremento delle pendenze di taglio introdotto dai due componenti in più.

Come già accennato, il filtro reale, non avendo un allineamento standard, non

può essere creato direttamente con le procedure automatiche di calcolo di AFW. La base di partenza rimangono i dati scelti da Cuadra, cioè la frequenza di 900 Hz, l'impedenza di 8 ohm e i relativi valori dei componenti.

Per variare la frequenza d'incrocio rispetto ai 900 Hz utilizzati da Cuadra per il suo calcolo teorico, si devono modificare i valori partendo dallo schema di base. Una volta trovati questi valori, AFW sarà però in grado di ricalcolare tutto per eventuali diversi valori d'impedenza.

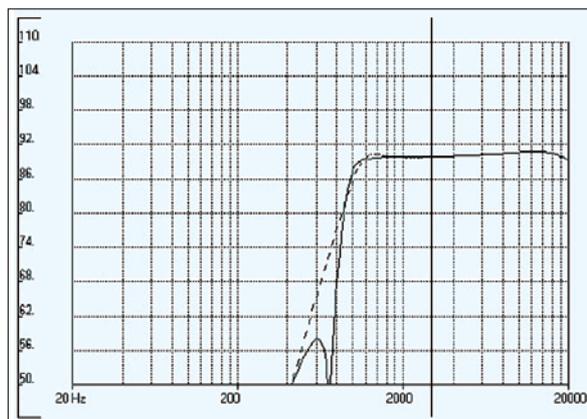
Scelta la nuova frequenza d'incrocio, si procederà dividendo il valore dei componenti per un numero pari a $F_x/900$.

Per esempio, se si sceglie una frequenza di 1800 Hz:

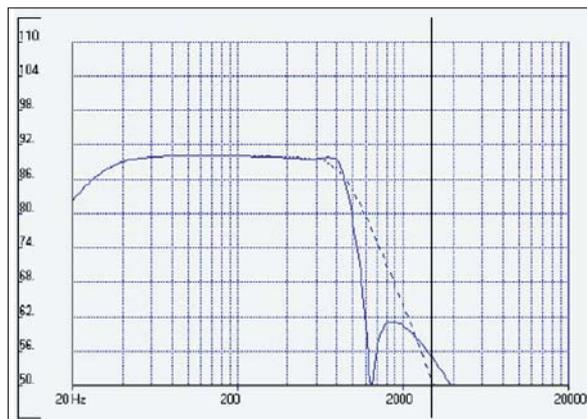
$$1800/900 = 2$$

Quindi per F_c 1800 Hz, tutti i valori saranno divisi per 2.

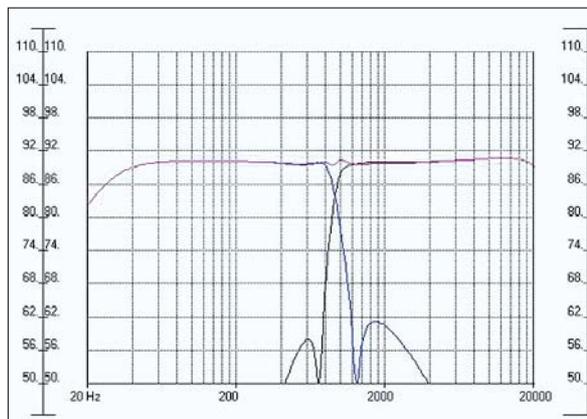
Confronto tra le pendenze del filtro passa-alto in presenza o meno della cella notch risonante.



Confronto tra le pendenze del filtro passa-basso in presenza o meno della cella notch risonante.



Risposta complessiva del sistema, sostanzialmente sovrapponibile alla simulazione di Cuadra, cosa che conferma la possibilità di utilizzare AFW anche per una tipologia di filtro inconsueta.



Se invece vorremo cambiare l'impedenza, si opererà moltiplicando e dividendo i valori di condensatori e induttanze per un valore pari a $8/x$.

Quindi, per una impedenza di 4 ohm:

$$8/4 = 2.$$

Come di regola, per l'impedenza nominale di 4 ohm, tutte le induttanze dovranno essere divise per 2, mentre le capacità andranno moltiplicate per 2.

Filippo Punzo
Jorge Toribio
Laura Flora