

Chiacchierate sull'elettroacustica

8 – La cassa chiusa secondo Butterworth, Bessel e Chebyshev

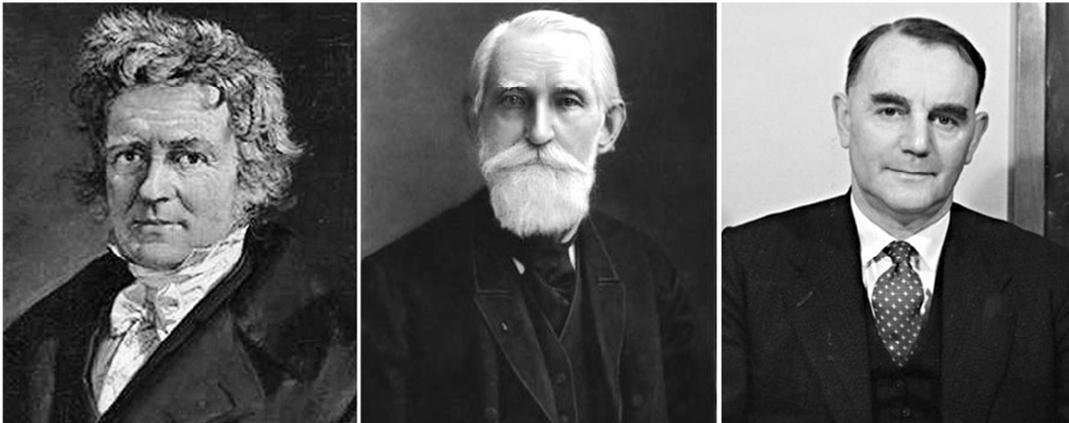
Potrei iniziare questa chiacchierata illustrando le casse che ho fatto per mio figlio, con quei termini che piacciono tanto agli esperti, ma che creano un certo timore nei principianti...

...Anzi, lo faccio! Così vi mostro un esempio di cosa intendo.

*- Il woofer è caricato in bass-reflex, con allineamento **Chebyshev** di 4° ordine; per il crossover mi sono orientato su un **Bessel** di 2° ordine, perché il **Butterworth** mi dava una risposta fuori asse troppo irregolare.*

Vi siete spaventati?...Niente paura, per noi elettroacustici è tutto piuttosto semplice.

In questa chiacchierata parleremo della **cassa chiusa**, ma come avrete già intuito, incontreremo anche in futuro quei tre cognomi nel titolo, quando parleremo del bass-reflex e dei crossover.



Eccoli qua, i nostri eroi, in ordine cronologico. Così avranno un volto, quando li sentirete nominare. Come si può capire dalle immagini, il tedesco **Friedrich Bessel** è il più "antico" (prima metà dell'800). Poi abbiamo il russo **Pafnutij Chebyshev** (seconda metà dell'800) ed infine, a destra, arriviamo all'inglese **Stephen Butterworth** (prima metà del 900).

I primi due erano matematici. Ovviamente, non hanno avuto nulla a che fare con l'elettroacustica, perché gli altoparlanti, i filtri e gli amplificatori non erano ancora stati inventati. Tuttavia, studiarono delle equazioni che si sarebbero rivelate utilissime, molto più tardi, e non solo nel settore audio. L'inglese era invece un fisico, almeno in teoria, ma il filtro del 1930, che porta il suo nome, è stato un lavoro soprattutto teorico, di matematica pura.

Piccola curiosità...

Gli studi di *Bessel* e *Chebyshev*, e perfino quelli più recenti di *Butterworth*, rimasero a prendere polvere fino ai primi anni '60 del secolo scorso. Tra il '56 ed il '61, infatti, una nostra vecchia conoscenza riportò quei tre personaggi all'attenzione del mondo, in alcune sue pubblicazioni. Vediamo se lo riconoscete...



Si tratta di **Neville Thiele**, "l'uomo nato con la barba", che quando ancora non conosceva Richard Small, introdusse i cognomi di quei tre scienziati nelle sue pubblicazioni, prima parlando di filtri, poi descrivendo gli allineamenti del bass-reflex.

Perché stiamo parlando di filtri? È già la terza volta che li accenni. Che diavolo c'entrano con il caricamento dei woofer? E poi... non si doveva parlare della cassa chiusa?

È quello che faremo dalla prossima pagina, dove sarà tutto più chiaro.

Per quanto un woofer possa essere grosso e per quanto voluminosa possa essere la sua cassa, ci sarà sempre un limite alla sua estensione sui bassi.



Facciamo un esempio con il bestione qui a sinistra.

Si tratta di un **380 mm**, il maggior formato che si riesca a trovare comunemente in commercio. Inoltre, l'ho volutamente selezionato per i suoi parametri, molto adatti all'impiego in cassa chiusa.

Alla ricerca di un caso limite, per puro scopo divulgativo, ho simulato il montaggio in un volume quasi improponibile per un ambiente domestico: una cassa da **200 litri**, interamente riempita di materiale fonoassorbente, che produce un ulteriore aumento apparente del volume di carico. Per capirci, con una base di 40x45 cm, considerando lo spessore del legno, dovremmo realizzare due torri da **un metro e quaranta!**

Nonostante quei numeri esagerati, sia del woofer che della sua cassa, il risultato che otteniamo è questo qui a destra.

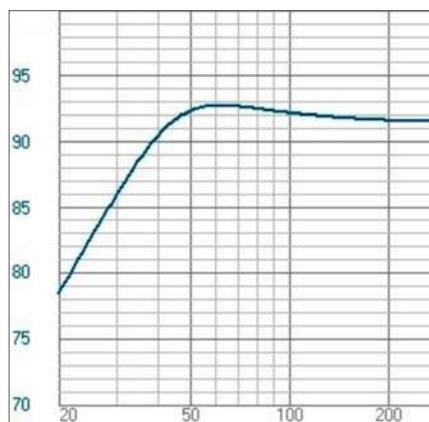
Si scende linearmente fino a circa 50 Hz, facendo anche una piccola gobba sui 60-70 (da cui dobbiamo aspettarci un effetto "punch").

Poi si comincia ad andare giù progressivamente, con una pendenza sempre maggiore fino a 35-40 Hz.

Per convenzione, il limite inferiore del diffusore viene misurato a -3 dB, ovvero dove ci sono 3 dB in meno dell'emissione in banda utile.

In questo caso, siamo a circa 34 Hz.

Da lì in giù, il calo diventa regolare a **12 dB per ottava**.



Aspetta un po'... 12 dB/oct... Dov'è che l'ho già sentito? Forse l'ho letto da qualche parte...

Non so se vi è capitato anche altrove, ma su queste chiacchierate lo avete visto sui ritagli del catalogo SEAS, quando si parlava della tenuta in potenza di un tweeter, in relazione al filtro adottato.

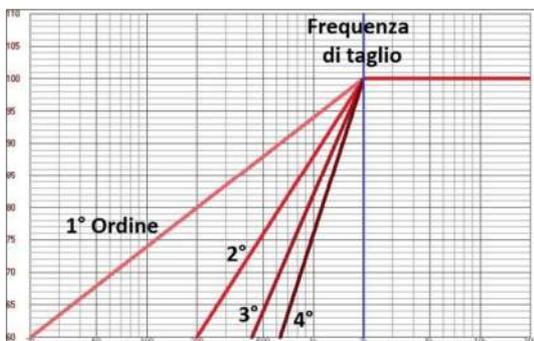
Air Gap Height	2.0 mm
Linear Coil Travel (p-p)	0.5 mm
*IEC 268-5, via High Pass Butterworth Filter 2500Hz 12 dB/oct.	
SEAS reserves the right to change technical data	

In altre parole, un woofer montato in cassa si comporta esattamente come un filtro passa-alto.

Nel ritaglio, non guardate solo la freccia ed il riquadro rosso; leggete tutto il contenuto di quella riga.

Ci dicono che è un filtro a **2500 Hz**, di tipo **Butterworth** e a **12 dB/oct**.

Nelle prossime immagini, mostrerò proprio la risposta relativa ad un tweeter, perché la discesa si presenta in mezzo al grafico e quindi si vede meglio. Per il woofer, sarebbe tutto spostato vicino al limite sinistro.



Raggiunta una certa frequenza, la risposta del filtro può calare con pendenze differenti.

Dalle relative funzioni matematiche, si utilizzano i nomi "1° ordine", "2° ordine", "3° ordine", e così via.

Per ogni passaggio, la pendenza aumenta di 6 dB/oct.

Per fare un esempio, il filtro di 2° ordine scende a 12 dB, mentre il 3° va giù a 18 dB ed il 4° a 24 dB per ottava.

Basta moltiplicare per 6 l'ordine del filtro.

Come già promesso, qui non parleremo di quelle equazioni, anche perché ci vorrebbe un intero libro. Tuttavia, abbiamo visto che ci sono voluti scienziati di altissimo livello, per studiarle.

È quindi il momento di capire che cosa c'entrano, quei tre cognomi, con le nostre curve di risposta.

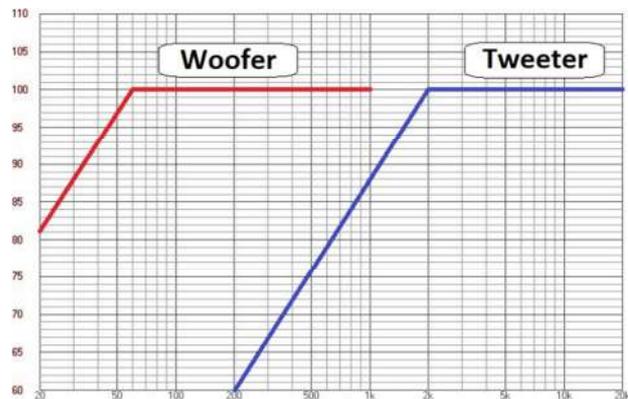
Capisco perfettamente che siate un po' confusi; lo ero anch'io, da principiante, scoprendo questa correlazione tra filtro del tweeter e cassa del woofer.

Si tratta di due fenomeni completamente diversi: uno è di natura elettrica, mentre l'altro è meccanico. Per i meno esperti, la relazione tra i due può apparire come un miracolo o una stregoneria.

È possibile dimostrarlo soltanto con la matematica (e noi **non** lo faremo), ma possiamo accontentarci dei due grafici schematici che vi mostro a destra.

Si chiamano "Diagrammi di Bode" e sono approssimazioni basate sugli asintoti (due semirette tangenti all'infinito).

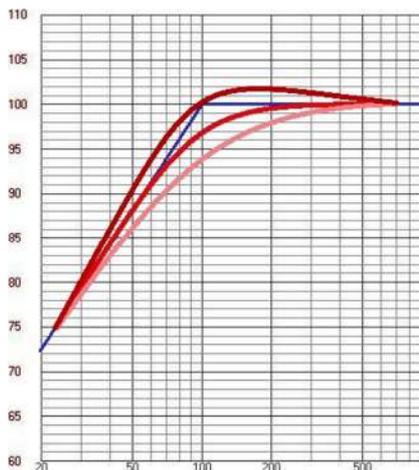
Tuttavia, appare evidente come siano uguali, per un woofer in cassa chiusa o per un filtro del 2° ordine di un tweeter. Cambia solo la frequenza di taglio.



Per quanto possa sembrarvi impossibile, spero che a questo punto possiate fidarvi, se vi dico che le curve di risposta si ottengono dalle stesse equazioni.

Purtroppo per noi, c'è una piccola complicazione... lo **smorzamento!**

È proprio qui, che finalmente arriviamo a quei tre cognomi.



Le curve qui a sinistra potrebbero appartenere ad un altoparlante per televisori, o a quelle cassetine da 10 euro che si collegano al PC. Non posso prendere un woofer Hi-Fi, come esempio, perché si estenderebbe troppo in basso e le curve non apparirebbero completamente nel grafico.

Ho lasciato il diagramma di Bode sullo sfondo (in **blu**), poi ho sovrapposto tre curve differenti, distinguibili dal tono di **rosso**.

- Quella più chiara rappresenta un **Bessel**.
- Il rosso intermedio ci mostra un **Butterworth**.
- Il colore più scuro corrisponde ad un **Chebyshev**.

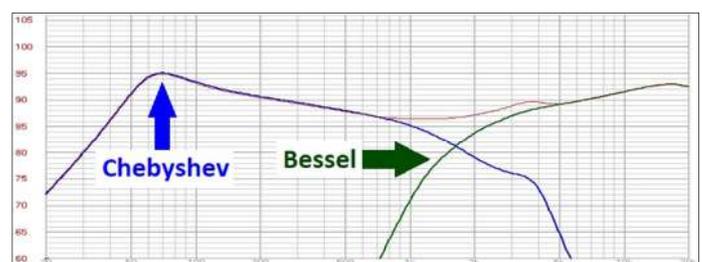
Salvo casi eccezionali, la cassa chiusa è associabile ad un filtro del 2° ordine (12 dB/oct); pertanto, c'è sempre un "2" nei simboli che vi capiterà di vedere: C2, B2, BL2 (*Chebyshev, Butterworth, Bessel*).

Quando parleremo del bass-reflex, li chiameremo C4, B4, BL4, inutile che vi dica il perché.

Riguardando il grafico, si capisce perché il *Bessel* venga detto "sovrasmorzato", il *Butterworth* è "massimamente piatto" ed il *Chebyshev* "risonante".

Rispetto al passa-alto del tweeter, sul caricamento del woofer abbiamo qualche differenza di progetto.

Innanzitutto, la pendenza è sempre la stessa, mentre sul crossover la decidiamo come vogliamo. Inoltre, esigenze differenti ci portano verso smorzamenti opposti; il *Butterworth* può essere adottato in entrambi i casi (io non lo uso mai), ma per la cassa si va spesso sul *Chebyshev*, mentre il crossover richiede frequentemente un *Bessel*.



Il grafico mostra la risposta delle casse di mio figlio, caratterizzate da un fortissimo effetto "loudness" perché destinate ad un target di ventenni (conosco i miei polli). Volevo ottenere un suono molto aggressivo, con un basso da pugno nello stomaco e una definizione estrema anche a basso volume. Stando ai commenti ho centrato l'obiettivo, ma se lo vede un progettista della KEF... mi denuncia!

Dopo 3 pagine sul nostro trio di matematici (sperando che sia tutto chiaro), direi di abbandonare i filtri passa-alto per i tweeter (ne riparleremo), per concentrarci soltanto sulla nostra **cassa chiusa**, che qualcuno chiama impropriamente “sospensione pneumatica”. Vedremo più avanti come siano due cose diverse.



In questi ultimi mesi, ho pensato di mandare in pensione i miei vecchi Audax, quelli dell'83 di cui vi ho parlato un sacco di volte.

Cercando una possibile alternativa, mi sono innamorato di questo piccolo Monacor da 130 che vedete a sinistra; sapete già che ho una forte inclinazione, nei confronti del polipropilene.

Ovviamente lo monterò in bass-reflex, non è che mi metto a rifare tutto da capo, ma sono curioso di sapere come sarebbe andato in una cassa chiusa.

Per prima cosa, voi elettroacustici di oggi siete fortunati a vivere in quest'epoca.

A differenza di noi dinosauri degli anni '80, non avete bisogno di carta, penna e calcolatrice.

Ai nostri tempi era necessario un lungo lavoro, fatto di calcoli ripetitivi e noiosissimi, per ottenere una simulazione spesso approssimativa.



Oggi c'è una moltitudine di pacchetti software, anche gratuiti, che fanno tutto automaticamente.

Io stesso ne ho tre, ma in queste chiacchierate ho deciso di usare **Bass-PC** e **Cross-PC** (Giussani/Fravolini), perché le loro funzioni di grafica si adattano perfettamente al mio scopo.

Inoltre, le prime versioni risalgono forse all'87, se non ricordo male... quindi ci sono affezionato.

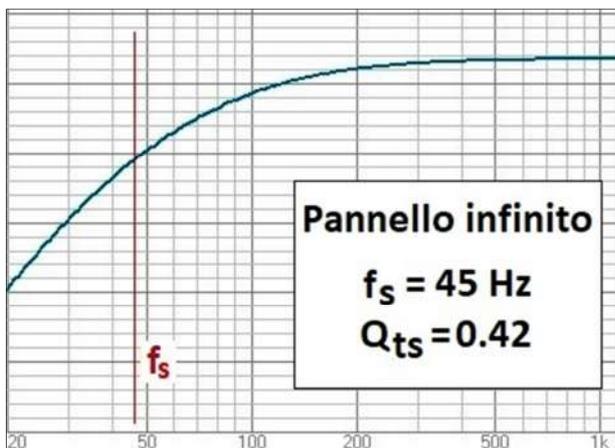
Per i vostri primi progetti, scaricatene uno qualsiasi, tanto le formule applicate sono sempre le stesse. Alcuni nomi sono **BoxSim**, **VirtuixCAD**, **AFW**, vedete un po' voi se ne trovate altri...

Ora cominciamo a simulare la nostra cassa.

I valori che ci interessano, forniti sul catalogo, sono tre:

1. frequenza di risonanza (f_s): **45 Hz**
2. fattore di merito (Q_{ts}): 0.41, che però diventa **0.42** per simulare una piccola resistenza in serie, dovuta al filtro di crossover che collegheremo al woofer;
3. volume acustico equivalente (V_{as}): **13.45 dm³** (litri)

L'azienda ci offre questi dati misurando il woofer in aria libera, possiamo quindi ottenere la curva di risposta su un ideale pannello infinito.



Come vedete, il calo sui bassi comincia già sui 200 Hz. A 89 Hz siamo già a -3 dB, il limite inferiore convenzionalmente stabilito.

La prima nota del pianoforte (55 Hz) sta a -6 dB.

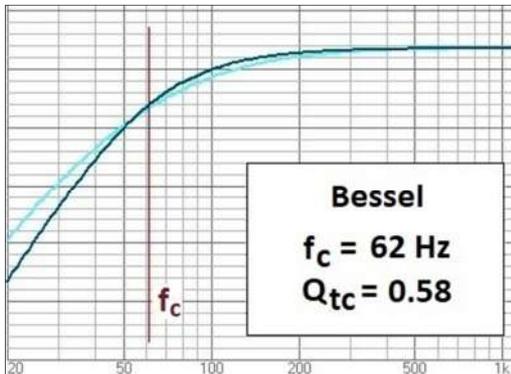
È evidente che quel woofer non è stato concepito per un diffusore a dipolo. I suoi parametri non si adattano a questo tipo di installazione: Q_{ts} troppo basso.

Quei bassi vanno bene per un televisore economico, forse, ma in campo Hi-Fi si richiede un po' di più.

Vogliamo provare a metterlo in una cassa chiusa?

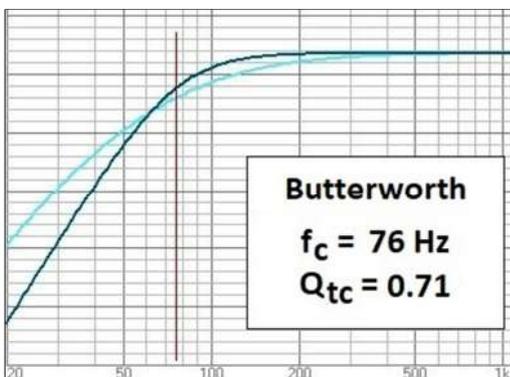
Per prima cosa, i parametri cambiano simbolo: la "s" si trasforma in una "c". Mi spiego meglio...
Quando il woofer viene montato in cassa, assume nuova frequenza di risonanza e nuovo fattore di merito.
Per distinguerli dai valori in aria libera, Q_{ts} diventa Q_{tc} ed f_s diventa f_c .

Avevo preparato un grafico con tutte le curve sovrapposte, ma era troppo confuso.
Quindi ve ne propongo tre distinti, dove mantengo sullo sfondo la risposta a pannello infinito, per fare da riferimento. La linea rossa indica la nuova frequenza di risonanza.



Con il **Bessel**, la situazione cambia poco.
I bassi diventano un tantino più potenti, nella zona intorno ai 100 Hz, ma parliamo di appena 1 dB di miglioramento.
Il limite inferiore (a -3 dB) si sposta da 89 a 79 Hz.

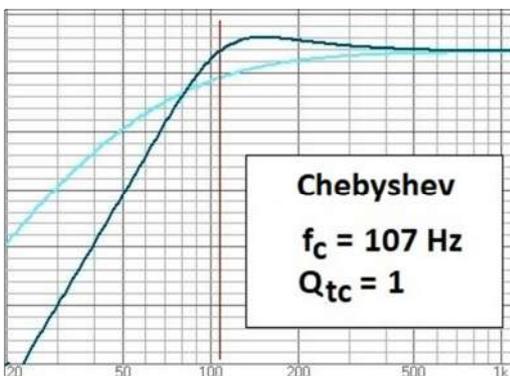
Per ottenere questo risultato, è necessario un volume notevole per un wooferino da 130.
Stiamo parlando di 15-16 litri; un valore che supera, anche se di poco, il V_{as} del woofer (13.45 litri).
Ricordate questo dettaglio per dopo...



Scegliendo un **Butterworth**, il miglioramento è più evidente.
La frequenza limite rimane quasi la stessa, da 79 a 76, ma in banda utile restiamo lineari più a lungo.

Un aspetto caratteristico, in questo filtro, è che il limite inferiore coincide esattamente con la frequenza di risonanza.
Lo si vede anche graficamente.

Il volume di carico è decisamente più piccolo; siamo scesi a 7-8 litri, circa la metà rispetto al *Bessel*.



Adottando il **Chebyshev**, l'estremo basso mostra addirittura un aumento di emissione.

Tuttavia, la frequenza limite a -3 dB riprende ad alzarsi di nuovo, tornando più alta anche rispetto al *Bessel*: 84 Hz.

La cosa più interessante è il volume di caricamento, che scende a meno di 3 litri.

Considerando lo spazio richiesto dal tweeter, otteniamo una cassa in cui gli altoparlanti entrano per un pelo.

Da questi grafici, il primo aspetto è evidente a chiunque: quel woofer, anche se migliora un po' rispetto al dipolo, è comunque insoddisfacente anche in cassa chiusa (infatti, io lo monterò in bass-reflex).

Tuttavia, il *Chebyshev* è molto interessante per realizzare un sistema **subwoofer + satelliti**.

Avremmo una cassa piccolissima, collocabile dappertutto, limitata sui bassi senza bisogno del filtro.

È una soluzione che ho adottato personalmente, in parecchie occasioni, anzi... non ho mai capito quelli che propongono satelliti in bass-reflex.

Questo è anche un consiglio per gli elettroacustici giovanissimi.

Se volete un basso senza compromessi, ma dilazionando i costi, potreste decidere di usare quel woofer per due cassettoni *Chebyshev* da realizzare subito; poi, tra Natale e compleanno, mettete da parte 2-300 euro e gli abbinare un bel subwoofer.

Magari, in futuro, parleremo del carico simmetrico... Così non dovrete filtrare nemmeno il sub!

Fra le tre alternative che abbiamo visto, offerte dalla cassa chiusa, la versione *Chebyshev* sarebbe anche la più accattivante all'ascolto musicale, pure se suonasse da sola senza subwoofer.

Quella "gobba" intorno ai 120-150 Hz vi offre un basso più aggressivo, più spettacolare, anche se sacrifica completamente le note più gravi del contrabbasso, del pianoforte o della tuba.

Ricordate che pochissimi strumenti scendono sotto i 100 Hz, e solo con le note più basse del loro registro. Per ottenere l'effetto "punch", non bisogna avere un woofer che arrivi a 30 Hz, ma che suoni con 92-93 dB.

L'impatto dinamico da pugno nello stomaco, tipico di un woofer da 250 o 300, non dipende dalla sua estensione, ma dalla sua efficienza (e maggior potenza applicabile).

I 30 Hz servono soprattutto quando guardate un film d'azione, pieno di esplosioni, vulcani che eruttano, motori di elicotteri o Godzilla che passeggia.

Personalmente, quando progetto una cassa, mi limito sui 50-55 Hz per coprire l'intero registro del pianoforte; tutto quello che avanza lo converto in dB.

Purtroppo, le casse chiuse dei nostri esempi precedenti non ci arrivano in nessun caso.



Ma allora... se volessimo quel tipo di cassa, come dovremmo scegliere il nostro woofer?



Ecco qua un esempio!

Già ai miei tempi, i woofer per cassa chiusa erano pochi, perché dall'inizio degli anni '70, gradualmente, il mondo si era convertito sempre più al bass-reflex.

Anche se non è facile trovarli, non sono mai spariti completamente dal mercato. Evidentemente, la cassa chiusa continua ad avere i suoi estimatori...
...o forse, questo non è un hobby riservato solo ai ricchi.



Già... presumo che nessuno ve lo dica, sui vari blog, forum e social-network, ma i woofer da cassa chiusa sono estremamente economici.

Questo 8 pollici *Visaton*, qui a sinistra, costa 20-25 euro. Il mastellone della *Monacor* da 380, nella seconda pagina, si trova a meno di 90 (un **380 mm!!!**).

Per prima cosa, vediamo cosa si riesce a fare con questo *Visaton*, poi cercheremo di capire come ci siamo riusciti.

Mettiamo i dati del woofer nel nostro simulatore, impostando un volume da 15 litri; una cassa dall'ingombro piuttosto comune, per un woofer da 165, anzi... forse è anche piccola.

Otteniamo un *Chebyshev* estremizzato, con 3 dB di enfasi sugli 80-90 Hz.

Ma soprattutto, arriviamo al limite del pianoforte (puntino rosso) con appena 1 dB sotto il livello medio del woofer.

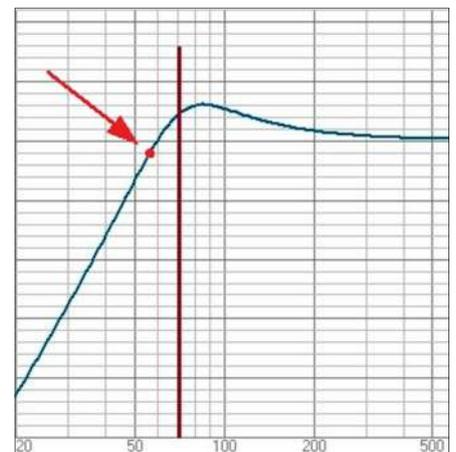
Già... il livello medio... E' qui che sta il problema.

Superato l'effetto-punch, l'emissione si stabilizza su **85 dB** soltanto.

È colpa del piccolo magnete da 80 mm, che fornisce un basso **BL**; è per questo che i woofer da cassa chiusa costano poco.

Ne avevamo già parlato...

Salvo casi particolari, il magnete è il pezzo più costoso a livello industriale, quello che incide di più sul prezzo finale che paghiamo noi.



Riguardate il *Monacor* da 380, che vi ripropongo qui a destra.
Monta una ferrite da 140, che talvolta ho visto in woofer 3-4 volte più piccoli;
infatti sembra ridicola, dietro a quel pentolone.
Guardacaso, anche lui offre parametri da cassa chiusa.



Avete ovviamente già capito che non è casuale; per ottenere buoni risultati in un volume chiuso, il woofer deve avere un fattore di merito piuttosto alto, rispetto alla sua frequenza di risonanza.

Il rapporto tra i due dovrebbe essere intorno a 50-60, massimo 70, mentre un woofer "normale", di quelli che vediamo più comunemente, va oltre 100.

Ricordate il piccolo *Monacor* da 130? È quello che avevamo simulato in quattro configurazioni, compreso il pannello infinito...

Tornate indietro di due pagine, scegliete un grafico a caso, calcolate f_c/Q_{tc} e... Sorpresa!
Ottenete sempre il valore **107**, in qualunque configurazione.

Il motivo lo vedremo tra poco, ma ciò che conta è che quel woofer è troppo spinto sul **BL**.

Questo produce un Q_{ts} che rispetto ad f_s è troppo basso, da cui quelle risposte eccessivamente smorzate o prive di estensione.

Ovviamente, anziché ridurre il **BL**, potrei aumentare la massa mobile (M_{ms}); ma anche questa soluzione andrebbe a penalizzare l'efficienza (lo sappiamo dalla formula di Small), quindi... perché dovrei?
Meglio abbassare il **BL**; il risultato è lo stesso, ma così riduco i costi del magnete. Anzi, pure quelli del cestello, perché di sicuro non ho bisogno dell'alluminio.

Si potrebbe pensare che l'efficienza sia poco importante, se ci attacco un finale da 150-200 W.

Purtroppo non è così...

Il nostro *Visaton* da 85 dB, con quel magnetino da tweeter, è costretto inevitabilmente alla bobina da 25; non starei molto tranquillo a superare i 40 W di amplificazione.

In buona sostanza, otteniamo un sistema che può andare bene per una piccola stanza, oppure quando esigenze di condominio non consentono di "pompare" troppo.

Il vantaggio è che si spende pochissimo, non solo per il woofer, ma anche per l'amplificatore e perfino per il tweeter, visto che andrà attenuato di 4-5 dB.

Inoltre, la cassa sarà semplicissima da progettare e anche da realizzare; non ci sono tubi di accordo, né labirinti, né trombe, né radiatori passivi, solo qualche pezzo di legno da incollare.

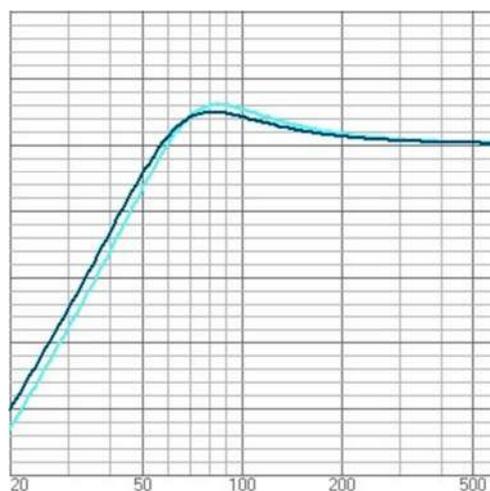
Infine, la cassa chiusa non è mai un sistema critico.

Se invece di 15 litri, un clamoroso errore di calcolo ci portasse ad averne 20... chisseneffrega!

La differenza sarebbe minima, come si evince dalle due curve nel grafico a destra.

A mio avviso, un sistema in cassa chiusa è ideale per un elettroacustico in fase embrionale, un giovanissimo alla sua prima esperienza di progettazione.

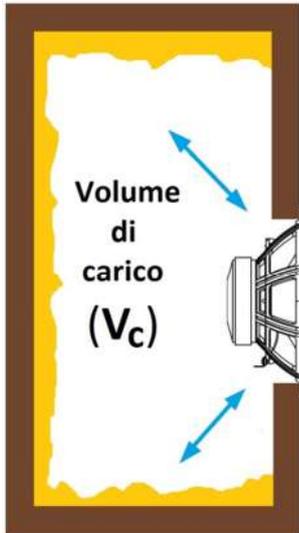
Intanto si toglierebbe qualche soddisfazione, collegando le casse al PC, allo smartphone o alla Playstation, potendo dire ad amici e parenti: - *Queste le ho fatte io!*



Quando poi sarà cresciuto, ne capirà un po' di più e magari avrà più denaro da spendere, progetterà sistemi più complessi con prodotti SEAS, Morel o Scan Speak... Ma le vecchie casse non andranno sprecate. Magari finiranno sul televisore del salotto, sempre meglio degli altoparlanti di serie.

A questo punto, bisogna dare una spiegazione ai fenomeni che abbiamo visto.

E' indispensabile che abbiate già letto la chiacchierata n° 4 (*Il datasheet di un woofer*), ovvero che abbiate capito cos'è il **volume acustico equivalente (V_{as})**, perché adesso è ora di usarlo.



Qui a sinistra abbiamo un woofer montato in cassa chiusa. Ho disegnato anche una limitata quantità di fonoassorbente, come si mette di solito.

Quel materiale, oltre a migliorare l'isolamento dell'emissione posteriore, serve soprattutto ad evitare la formazione di onde stazionarie dentro la cassa.

Se vi ci volete divertire un po', evitate la solita forma parallelepipedica ed inventatevi qualcosa di diverso, come facevo io ai miei tempi.

Tanto... le infinite bestemmie sugli angoli di taglio...
...le lascio al marmista.

Comunque, non basta un prisma triangolare, per annullare le innumerevoli riflessioni interne.

Il fonoassorbente ce lo mettevo lo stesso.



Torniamo a noi... Sappiamo tutti che l'aria ha una sua cedevolezza; per capirlo è sufficiente una pompa da bicicletta con il foro otturato.

Sappiamo anche che le sospensioni del woofer sono elastiche, quindi possiamo paragonarle all'aria chiusa in un contenitore.

Il V_{as} è esattamente questo: il volume di aria che corrisponde alla cedevolezza meccanica del woofer. Bisogna ribadirlo, perché è un errore molto comune tra i principianti: il V_{as} **NON È il volume di carico** consigliato dall'azienda per quel modello.

È invece molto importante per determinare la risposta del woofer, perché è proprio lui che stabilisce come aumentano f_s e Q_{ts} dopo il montaggio, in base al rapporto V_{as}/V_c (detto anche **coefficiente α**).

Con V_c si indica il volume di caricamento, quello che avete all'interno della vostra cassa.

Su queste chiacchierate, di solito cerchiamo di evitare le formule matematiche, ma sulla cassa chiusa ce n'è soltanto una ed è semplicissima:

$$\sqrt{\frac{V_{as}}{V_c} + 1}$$

Quella radice quadrata ci offre un coefficiente moltiplicativo, sempre maggiore di **1**, che andrà a moltiplicare sia il Q_{ts} (per ottenere Q_{tc}) sia f_s (per ottenere f_c).

Dal momento che il coefficiente è lo stesso per entrambi, il rapporto Q_{tc}/f_c rimane sempre invariato, comunque si cambi il volume di carico.

Sì... d'accordo... non ce ne frega niente perché fa tutto il simulatore...

Ma quando ci appoggiamo ad un software, è sempre preferibile sapere cosa stia realmente facendo.

In questo caso, sapendo che...

$$Q_{tc} = Q_{ts} \sqrt{\frac{V_{as}}{V_c} + 1} \quad \text{e che...} \quad f_c = f_s \sqrt{\frac{V_{as}}{V_c} + 1}$$

...otteniamo che, in cassa chiusa, non si può abbassare la risonanza senza ridurre anche il fattore di merito. E viceversa, ovviamente.

Prima di concludere, è bene mettersi d'accordo su una dicitura che talvolta viene usata a sproposito: **sospensione pneumatica**... che non è affatto un sinonimo di "cassa chiusa".

Sarebbe come dire che gli Italiani vivono in Italia; è corretto solo parzialmente, perché ce ne sono milioni che stanno in Germania, Stati Uniti, Inghilterra, Brasile... ecc. ecc.

Vi ricordate il personaggio qui a destra?

Si chiamava **Edgar Villchur** e lo abbiamo già incontrato parlando di tweeter: alla fine degli anni '50, ha inventato la cupola rigida.

Ma prima, nel 1954, quando ancora si occupava di woofer, depositò un brevetto che venne approvato nel '56...

...la **sospensione pneumatica**.

Ma che diavolo avrebbe brevettato, esattamente, se la cassa chiusa esisteva da quasi 30 anni?



Fino agli anni '50 i woofer si facevano molto rigidi; si riteneva che il controllo sull'escursione dipendesse principalmente dalla cedevolezza meccanica.

La cassa serviva solo ad isolare l'emissione posteriore, per evitare il cortocircuito acustico.

Si sapeva bene che f_c e Q_{tc} venivano alterati, ma questo era un effetto collaterale, quasi indesiderato.

Villchur si accorse che le sospensioni di un woofer erano tutt'altro che lineari, soprattutto con i materiali e le tecnologie disponibili nella sua epoca. Questo causava forti distorsioni sui bassi potenti, quando l'escursione della membrana produceva sollecitazioni notevoli su bordo e centratore.

Propose quindi un woofer ad altissima cedevolezza, ovvero morbidissimo, assegnando il compito di frenarlo all'aria contenuta nella cassa.

Ecco perché si chiama così: dopo la sua idea, la cedevolezza dell'altoparlante iniziò a dipendere soprattutto da effetti pneumatici, perché quelli meccanici divennero meno significativi.

Le sospensioni di oggi sono molto più lineari, rispetto ai tempi di Villchur, ma l'aria lo è ancora di più.

Le aziende continuano, pertanto, a realizzare woofer piuttosto cedevoli sfruttando l'idea di Villchur, quantomeno in campo Hi-Fi.

Fate quindi molta attenzione, se montate un woofer sul pianale posteriore di un'auto; per non correre rischi, forse è meglio se scegliete un prodotto specifico da car-stereo.

E' difficile, tra i modelli per uso domestico, trovarne uno adatto per il montaggio a dipolo; rischiereste di mandarlo a fine corsa anche con pochi watt, o addirittura di romperlo.

Ma a quanto deve arrivare, il rapporto $\alpha (V_{as}/V_c)$, per poter parlare di **sospensione pneumatica**?

Su questo punto, ci sono da sempre opinioni contrastanti.

Villchur non lo ha mai precisato, diceva soltanto che il woofer deve essere frenato **prevalentemente** dall'aria nella cassa, ma come si può quantificare l'avverbio "prevalentemente"?

Vi dico la mia: personalmente mi sono sempre basato sull'obiettivo originale: la riduzione della distorsione, dovuta alla non-linearità di una sospensione meccanica.

In altre parole, una vera sospensione pneumatica si ottiene, a mio avviso, con un woofer che non è soltanto cedevolissimo, ma anche capace di una lunga escursione meccanica, ben superiore a quella che dovrà fare davvero, nel normale ascolto musicale.

Tale escursione verrà poi fortemente limitata, dagli effetti pneumatici della cassa: per ottenerlo, il volume di carico non dovrà mai andare oltre la metà del V_{as} del woofer.

In questo modo, le sospensioni meccaniche lavoreranno solo nella zona centrale della loro escursione potenziale, dove la linearità è assicurata.

Questa è la mia interpretazione **personale** delle intenzioni di Villchur, quindi liberamente contestabile.

Prima di salutarci vi lascio con un consiglio, su una scelta da adottare solo se conoscete... il trucco!

Visto che i woofer da cassa chiusa, con i loro magnetini e bobinette, hanno forti limiti sulla tenuta in potenza, qualcuno potrebbe avere l'idea di collegarne **due in serie**, montandoli nella stessa cassa. Tanto abbiamo visto che costano poco...

Applicando la formula di Small sull'**SPL**, a cui abbiamo dedicato una chiacchierata precedente...

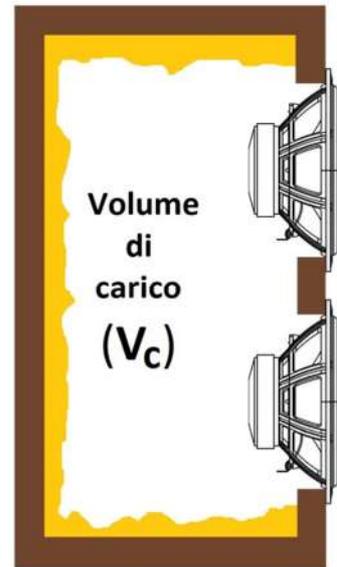
$$\frac{BL}{R_e} \cdot \frac{S_d}{M_{ms}}$$

...si capisce facilmente che il livello di emissione rimarrebbe identico a quello di un singolo woofer, a parità di tensione d'ingresso.

Andremmo infatti a raddoppiare tutti e quattro i valori coinvolti:

- fattore di forza e superficie radiante (al numeratore)
- resistenza elettrica e massa mobile (al denominatore)

È ovvio che se tutto diventa doppio, a manopola del volume incollata, non cambia nulla sul livello di emissione finale.



Il vantaggio sta nel poter collegare un amplificatore di potenza **quadrupla**. Vediamo perché...

Il *Visaton* dell'esempio, con la sua bobina da 25, non potrebbe mai reggere un amplificatore da 120 W; probabilmente nemmeno la metà, se suonasse da solo.

Mettendone due in serie, l'impedenza passerebbe da 8 a 16 Ω; l'amplificatore, pur suonando come prima, esprimerebbe solo 60 W.

Quella potenza, ora dimezzata, si dividerebbe tra due altoparlanti, che riceverebbero 30 W ciascuno.

WOW!!... Fantastico!... Altro che 120 W... Così posso arrivare a 200!

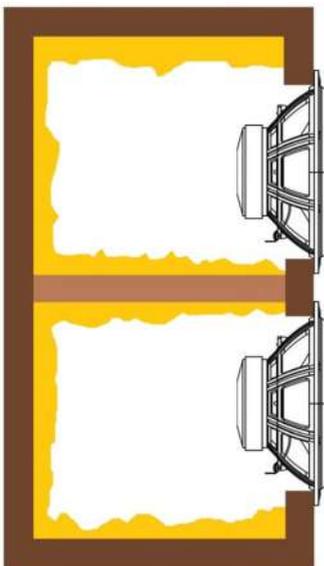
D'accordo, con due woofer ci vorranno 30-40 litri invece di 15-20, però spacco tutto!

Disgraziatamente, tutto questo vale solo come esercizio teorico.

In elettroacustica, le tolleranze di produzione sono piuttosto alte, spesso anche sui marchi prestigiosi.

Tra quei due woofer, ce ne sarà sempre uno che spinge un po' più dell'altro: un **BL** più alto, una diversa cedevolezza, la resistenza della bobina... Il più forte tende a prevalere, soprattutto quando gli chiedete grosse escursioni, trascinandosi dietro l'altro che inizierà a muoversi in controfase.

Il fenomeno tende ad aumentare con la potenza: più alziamo il volume, più i bassi si riducono.



L'unico modo per evitarlo è... "il trucco" qui a sinistra: dividere il volume interno in due metà, con una paratia centrale sigillata, in modo che ogni woofer abbia un volume di carico indipendente.

Comporta un pochino di lavoro in più, ma se lo fate potete metterci tutti i woofer che volete: anche 3... 4... 10... 50... diventa una questione di soldi.

Abbiamo finito, direi...

Il bass-reflex sarà un po' più complicato, ma forse di più breve lettura, perché molti argomenti li abbiamo già trattati qui.

Manca solo il mio consueto saluto...

...Alla prossima!

11 marzo 2021


(Robert Romiti)