

Chiacchierate sull'elettroacustica

12 – Filtri crossover – La cassa che urla

Nella chiacchierata n. 8, sulla cassa chiusa, abbiamo dedicato le prime tre pagine ad una singolare correlazione, tra due fenomeni diversissimi... ma che incredibilmente producono lo stesso risultato. Nel caricamento abbiamo visto che c'è un effetto **meccanico**, che determina la risposta del woofer sull'estremo basso, in virtù delle pressioni dell'aria all'interno della cassa.

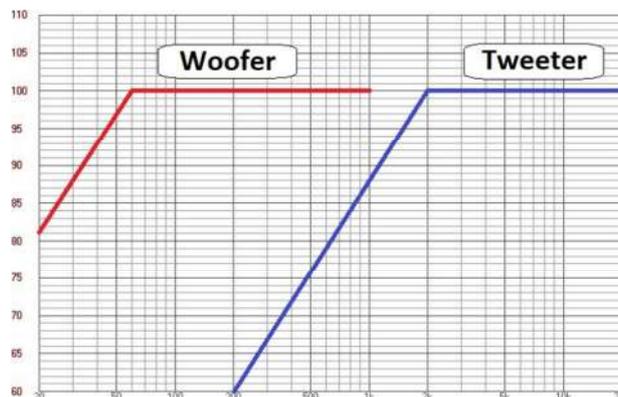
Abbiamo poi notato che quella risposta appare identica a quella di un tweeter filtrato, ma in questo caso si tratta di un fenomeno **elettrico**, causato da una combinazione di condensatori ed induttanze.

Ripropongo anche i due diagrammi di Bode, qui a destra, per chi avesse perso quella puntata precedente.

In entrambi i casi, le nostre scelte di progetto determinano tre caratteristiche di quelle curve:

- la frequenza di taglio;
- la pendenza;
- lo smorzamento.

Sull'ultimo punto, abbiamo già parlato di *Bessel*, di *Butterworth* e di *Chebyshev*. Non ci ripeteremo.



La frequenza di taglio, ovviamente, non offre nessuna possibilità di confronto; la differenza è macroscopica. Ma anche sugli altri due punti c'è qualche piccola differenza.

La **pendenza**, nel caso del woofer, può essere solo di 12 dB/oct (cassa chiusa) oppure di 24 (bass-reflex). Quando invece progettiamo un filtro, possiamo andare avanti di 6 dB per volta.

In relazione allo **smorzamento**, per il woofer si sceglie spesso il *Chebyshev*, soprattutto nel caso di formati piccoli, da montare in diffusori bookshelf. Sui crossover, invece, non ricordo di averlo mai visto; io adotto quasi sempre il *Bessel*, ma in sistemi commerciali con tre vie o più si può trovare anche il *Butterworth*.

Nelle prossime chiacchierate parleremo proprio di pendenze e smorzamenti, perché saranno fondamentali per attenuare il gravissimo difetto acustico che dà il titolo a questa puntata.

A partire dalla fine degli anni '70, partendo dal **Teorema di Fourier** (che tutti ricordate, vero?...) parecchi elettroacustici di tutto il mondo hanno cercato di risolvere un problema particolarmente fastidioso: come ormai avete capito, parliamo della **"cassa che urla"**. Proviamo a spiegarlo tecnicamente.

In un sistema multivia, tutte le armoniche sovrapposte, provenienti dallo stesso strumento musicale, vengono riprodotte da altoparlanti **distinti** e soprattutto ben **diversi** tra loro.



Supponiamo che questa violinista produca un **LA** a 880 Hz.

Sappiamo già che quel suono è formato da innumerevoli armoniche, di frequenza doppia, tripla, quadrupla e così via (vedi chiacchierata n° 2).

Per semplicità, ci fermeremo alle prime cinque:

880 Hz (fondamentale), **1760** (2^a armonica), **2640** (3^a), **3520** (4^a), **4400** (5^a).

Ora consideriamo un ipotetico diffusore a due vie, formato da una combinazione di altoparlanti piuttosto comune.



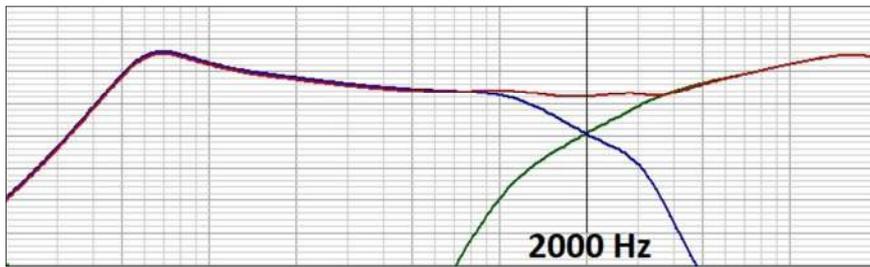
Si tratta di un woofer da 200 mm abbinato ad un tweeter da 25, a cupola morbida.

La transizione tra i due altoparlanti, in questi casi, si colloca generalmente nella zona intorno ai 2000 Hz, poco più o poco meno.

Il punto esatto, in cui le curve si sovrappongono, si chiama "frequenza di incrocio".

Per avere un esempio concreto, ho buttato giù una cosuccia da 5 minuti, usando altoparlanti reali presi dal catalogo *Monacor*. Se dovessi realizzarlo davvero, ad esempio per casa mia, avrei fatto scelte diverse, ma per adesso mi serviva solo un esempio di cui mostrare i grafici.

Non si tratta di un progetto nuovo; ne ho modificato uno già esistente (mai realizzato), originariamente pensato per mio figlio e caratterizzato da un evidente "effetto loudness" (esaltazione degli estremi).



L'ho alterato in modo che a 2000 Hz capitasse la frequenza in cui gli altoparlanti si "incrociano".

Trattandosi di una situazione reale, il grafico tiene conto sia della risposta che dell'impedenza, su entrambi gli altoparlanti.

E' un po' presto per parlare di queste cose, ma vorrei che notaste subito un aspetto importante.

Intorno alla frequenza di incrocio si crea una specie di triangolo, formato dal woofer che se ne va (in blu), dal tweeter che subentra (in verde) e dalla somma dei due (in rosso).

In altre parole, il filtro non è mai un interruttore.

Non è che il woofer si stacca di colpo a 2000 Hz, per lasciare il posto al tweeter. Quell'area triangolare ci sarà sempre, ma noi possiamo estenderla o ridurla, compatibilmente con gli altoparlanti scelti.



Torniamo ora alla nostra violinista, mentre suona il suo *LA*, per capire come verrebbe riprodotto dal nostro crossover di esempio.

Le prime due armoniche, 880 e 1760, sono sotto la frequenza d'incrocio. Le altre tre, 2640, 3520 e 4400, sono invece al di sopra.

Si potrebbe quindi pensare che due armoniche siano di pertinenza del woofer e tre vengano assegnate al tweeter.

Questo può essere un problema?... **Certo che lo è!!!**

Nella lunga lista dei possibili difetti di una cassa, è sicuramente il primo. Potrete ottenere un diffusore con pochi bassi, con scarsa definizione, con modesto impatto dinamico... ma i danni acustici, che quell'incrocio potrebbe causare, sono sicuramente i più fastidiosi all'ascolto musicale.

Gran parte di ciò che avete letto in precedenza, nelle altre chiacchierate, mirava proprio a risolvere, o quantomeno attenuare, il problema della transizione. E' questa, la vera rivoluzione degli anni '80.

C'è il trattamento smorzante sulla carta, il polipropilene, le varie fibre, la bobina da 75 della *Dynaudio*, i profili biraggiati ed esponenziali, i diffrattori a ogiva... e solo per limitarsi al woofer.

Se aggiungiamo il tweeter, abbiamo la diffusa adozione delle cupole, l'invenzione della retrocamera, il ferrofluido, le bobine di filo piatto o esagonale, il formato da 28...

Vedremo come tutto questo sia legato all'emissione di quel *LA*, da quel violino preso come esempio.

Il problema principale riguarda la differente **direttività** dei due altoparlanti. Come forse ricorderete, questo effetto dipende dal diametro di emissione, qualunque sia il materiale della membrana.

In realtà, possono esserci delle alterazioni legate al profilo del diaframma, o ad altre soluzioni tecniche, ma sono soltanto dettagli. Non vedrete mai un woofer da 130 più direttivo di uno da 200.

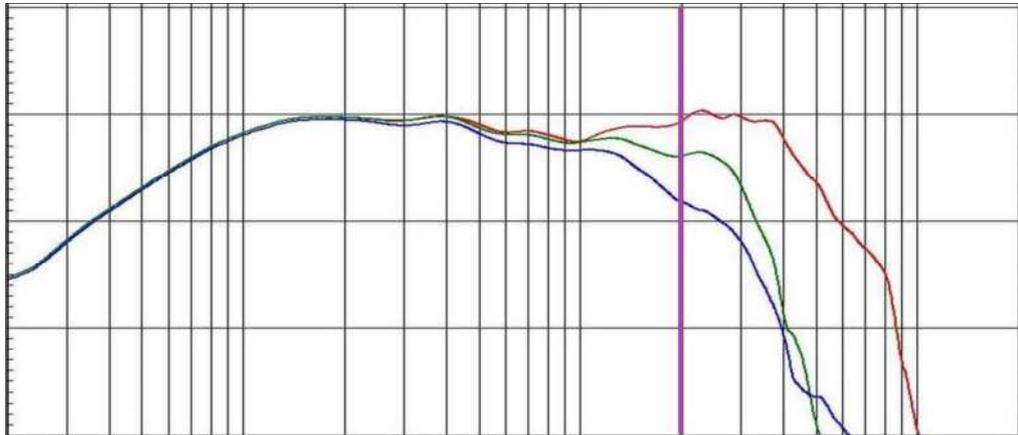
In buona sostanza, sotto una certa frequenza, l'emissione di un altoparlante si esprime in tutte le direzioni; ma quando si sale, tende sempre più a concentrarsi sul davanti.

Negli anni '80 circolava una regola matematica di origine empirica: i problemi di direttività diventano inaccettabili quando la lunghezza d'onda diventa uguale al diametro di emissione.

Pertanto, l'altoparlante va fermato prima, al massimo nell'ottava precedente... Vediamo se è vero.

Nel progetto che ho mostrato come esempio, il woofer è un 200 mm in polipropilene (sì... sono fissato...), le cui curve di risposta sono illustrate nel grafico che vediamo qui sotto, con colori distinti.

- **Rosso**: microfono sull'asse.
- **Verde**: microfono angolato di 30°.
- **Blu**: microfono angolato di 60°.



Qui ve le mostro in versione "smooth". Si tratta di una funzione che riduce le irregolarità, dando al grafico maggiore chiarezza visiva.

La grossa linea **viola** indica la frequenza di 2000 Hz. Se la velocità del suono è di 340 m/s, quel valore corrisponde a 17 cm di lunghezza d'onda.

In un woofer da 200, generalmente, il diametro di emissione è proprio sui 16-17 cm; possiamo quindi dire che quella linea viola rappresenta il massimo a cui possiamo portarlo, secondo la nostra regola. Per conseguenza, il nostro progetto di esempio è da considerare "tirato per il collo", perché è proprio lì che abbiamo messo la nostra frequenza di incrocio.

Ora ve lo posso dire... Il mio progetto originale incrociava a 1600.

A questo punto, mi pare già di sentire la domanda...

- *Cosa ci sarebbe, in quei grafici, a confermare la tua regola empirica?*

Le tre curve sono sostanzialmente sovrapposte, fino a circa 1000 Hz, mostrando un altoparlante senza alcun problema di direttività. Poi, nell'ottava successiva, il ventaglio si allarga; quando arriviamo a 2000 occupa uno spazio di 7-8 dB.

In seguito, l'emissione a 60° precipita come un sasso, seguita poco dopo da quella a 30°.

Se avessimo avuto il carbonio o il Kevlar, forse la risposta in asse sarebbe arrivata a 6000... a 7000...

Ma quelle fuori asse si sarebbero comunque fermate lì, perché dipendono solo dalla superficie radiante. Come dicevamo, talvolta può esserci qualche differenza legata ad un diffrattore a ogiva, oppure ad un profilo esponenziale della membrana, ma niente può estendere la risposta di un 200 mm fino a 2000 Hz, se il microfono sta a 60°. Anche se il woofer sembra lineare fino a 4000 Hz, nella sua risposta **in asse**, la potenza acustica complessiva tende a ridursi progressivamente a partire da 1000.

A 3000 Hz, per esempio, il ventaglio si apre di quasi 12 dB; significa che suona solo se ti ci metti davanti.

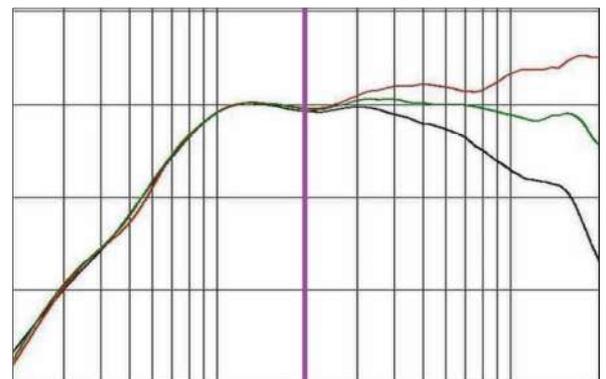
A questo punto, vi invito ad osservare le stesse curve sul grafico del tweeter.



Lui riproduce i 2000 Hz senza alcun problema di direttività. Per quella membranina si tratta di una frequenza molto bassa, come era per il woofer quando suonava a 300-400 Hz.

La potenza acustica subisce quindi un salto, in corrispondenza dell'incrocio, che non vedrete mai sulla risposta in asse, in camera anecoica.

Ma in casa il nostro orecchio lo sente... E lo sente benissimo!



Noi elettroacustici degli anni '80, da principianti ci cascavamo sempre. La mia prima cassa, nonostante l'accuratissima scelta degli altoparlanti, strillava come la sorellastra di Cenerentola.

Però avevamo una valida giustificazione, rispetto a voi "moderni": all'epoca, i software di simulazione non c'erano; e anche se ci fossero stati, i computer si vedevano solo nelle banche o negli enti pubblici.

Quelli che alcuni di noi avevano in casa erano quasi dei giocattoli.

I crossover venivano progettati con quelle quattro formule standardizzate che si trovavano sulle riviste; poi aggiungevamo qualche correzione "creativa", confrontando i risultati ottenuti con i filtri realizzati dai professionisti, sui loro prodotti commerciali.



Esempio: - *I miei calcoli portano ad un'induttanza da 1 mH, con un condensatore da 6.8 μ F...*
...come mai, sullo stesso woofer, Giussani ha usato un'induttanza da 1.4 e un condensatore da 4.7...???
Forse lui sa qualcosa che io non so?



Per chi non lo conoscesse, **Renato Giussani** era l'ex progettista della *ESB*, poi collaboratore di varie riviste e ora deceduto, mi pare nel 2016. Anni dopo, mi sarei trovato spesso in disaccordo con le sue idee, perché nel frattempo mi ero orientato dalla parte opposta; ero diventato, e sono tuttora, un seguace di **Ejvind Skaning** (*Scan-Speak* e *Dynaudio*). Comunque, quando io ero un dilettante, Giussani era già una leggenda.

Nella prossima chiacchierata, illustrerò le principali soluzioni proposte dai massimi elettroacustici di quell'epoca, contro la "cassa che urla", ma per adesso è meglio tornare al nostro incrocio, per cercare di capire cosa succede a quel violino, diviso in due dal crossover.

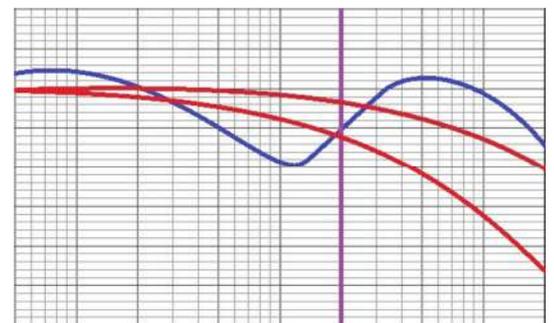
Dopo essere passato al professionismo, venni a conoscenza di uno studio di psicoacustica condotto dall'Università di Toronto, nel 1974 (o forse '76... non ricordo bene). Avevano coinvolto una trentina di critici musicali, direttori d'orchestra, loggionisti, giornalisti del settore... tutta gente abituata ad ascoltare musica nei teatri, con strumenti che suonavano dal vivo.

Con una serie di test, in cieco e doppio cieco, capirono che la risposta in potenza non deve necessariamente essere lineare, quello che conta è che sia **monotona**.

Ovvero, se la curva sale, deve continuare a salire; se scende, deve continuare a scendere. Quando questo accade, l'orecchio percepisce il suono come realistico e naturale, come se lo strumento musicale suonasse proprio lì davanti, qualunque sia l'ambiente d'ascolto.

Chiedo la vostra clemenza sul grafico qui a destra, si tratta di un disegno fatto a mano. Osservate solo le curve rosse, per adesso. Sono le risposte che possiamo aspettarci da un ambiente riflettente e da uno assorbente.

In altre parole, la risposta in alto potrebbe riguardare una stanza con ampie vetrate, pavimenti di marmo, mobili in laminato, e così via. Quella in basso potremmo averla con poltrone e divani imbottiti, tendaggi pesanti, grandi tappeti, ecc. ecc.

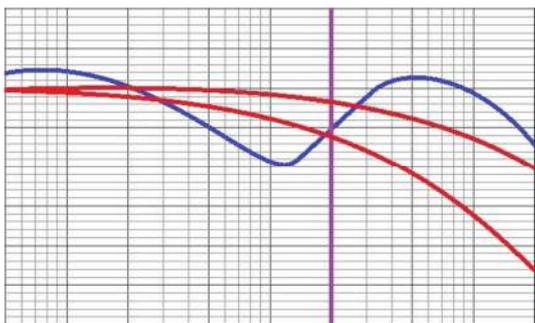


Come vedete, entrambe le curve sono monotone. Vanno sempre in discesa, dall'inizio alla fine.

Se la nostra violinista stesse suonando davanti a noi, in una qualsiasi delle due stanze, percepiremmo un suono perfetto, naturale, definito, tipico degli strumenti che suonano dal vivo.

Nessuno direbbe mai: - *Non mi piace la gamma media!* Oppure: - *Gli acuti sono troppo aggressivi!*

Ora supponiamo di riprodurre quel violino con diffusori a due vie, prodotti negli anni '70, oppure realizzati artigianalmente da un principiante dei miei tempi.



Il risultato sarebbe descritto da quell'orribile **curva blu**, a causa dello sbalzo nella direttività dei due altoparlanti.

Nel disegno ho un po' esagerato il fenomeno, perché fosse più visibile e vi apparisse chiaramente.

Il problema era già un po' meno accentuato, nella mia epoca.

Era molto grave nel decennio precedente, quando il woofer veniva montato senza filtro. Lo si lasciava andare fin dove poteva, per poi chiudere la parte mancante con il tweeter.

Poteva capitare di vedere un woofer da 250, che veniva lasciato suonare fino a 4-5000 Hz, dove partiva un tweeter a cono filtrato solo con un condensatore da 4.7, magari elettrolitico. Roba da brividi!

Nel grafico qui a destra, vi mostro le prime cinque armoniche di quel violino mentre suona un *LA*.

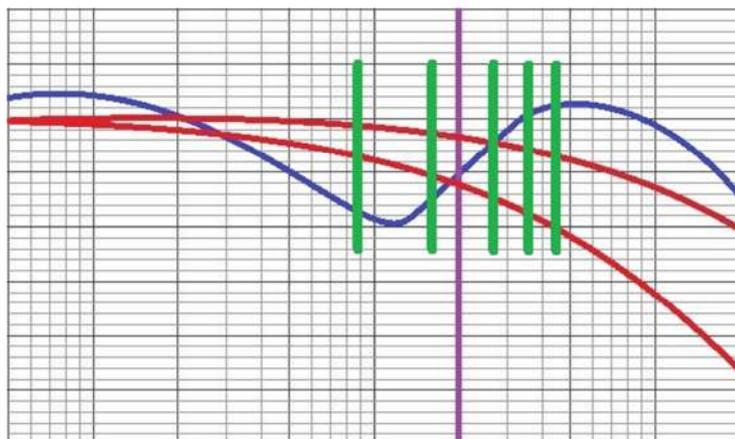
Guardate come intersecano le due curve rosse; quella è l'emissione naturale, che dovremmo percepire con lo strumento dal vivo.

Adesso fate il confronto con la curva blu...

...e capirete perché quella cassa "urla".

Per me che sono marchigiano, il dialetto locale offre un verbo onomatopeico ben più adatto: "sgaggiare".

Ma non so se è conosciuto nel resto d'Italia.



Tra i miei amici dilettranti, da giovani, molti si arrendevano.

Risolvevano il problema con un midrange, passando al tre vie. Ma come avrete capito, io sono più testardo. Cominciai a studiare le soluzioni che vedevo sui prodotti commerciali; tutte idee che all'epoca mi incuriosivano, ma che ancora faticavo a capire completamente.

Solo più tardi, con strumenti e competenze da professionista, compresi davvero quell'infinita varietà di colpi di genio, che i supercervelli di tutto il mondo avevano partorito, mentre io ero ancora un dilettante.

In quel periodo era nato un nuovo Universo...

...Ed io avevo avuto la fortuna di essere presente, proprio durante il suo Big Bang.

Nella prossima puntata vedremo insieme tutte quelle soluzioni, e credetemi... sono così diverse, tra di loro, che sembra assurdo che derivino dallo stesso problema.

Per chi volesse sapere delle mie casse di allora... beh... ho dovuto aspettare il quarto anno di Elettronica, prima che gli studi scolastici mi consentissero di capire quelle formule e risolvere il problema a modo mio. Nel frattempo avevo provato di tutto, ma non mi ero mai arreso al tre vie.

Alla prossima!

7 maggio 2021

(Robert Romiti)