

# Chiacchierate sull'elettroacustica

## 11 – Filtri Crossover - Introduzione

Questa volta partiamo subito con una certezza assoluta: per parlare di filtri crossover, non sarà sufficiente una singola chiacchierata. Per adesso, non so nemmeno io quante ce ne vorranno; quello che so è che tutte le trattazioni sul tema, di cui sono a conoscenza, traboccano di formule matematiche.

Noi cercheremo di evitarlo, perché oggi possiamo appoggiarci ai simulatori software che ci risolvono tutti i calcoli.

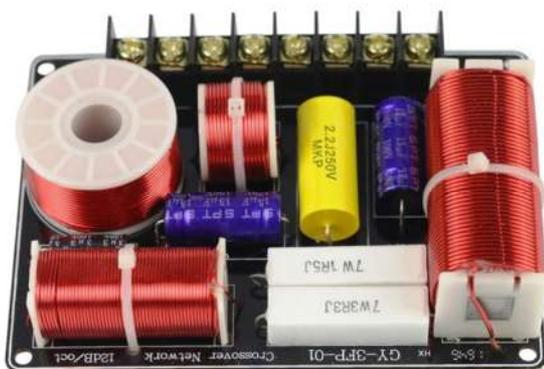
Tuttavia, è bene che sappiate cosa sta facendo il vostro computer, nel momento in cui cambiate un'induttanza sul woofer o aggiungete una resistenza sul tweeter.

Magari... chissà?... Forse dedicherete un pensiero a noi, poveri primitivi degli anni '80, costretti a lavorare con carta e penna.



Tanto per rompere il ghiaccio... Che ne dite di vederne uno già fatto?

Generalmente, questo è il primo scoglio psicologico che il principiante deve superare.



Osservando un prodotto commerciale, la prima frase che si pensa è: *“Oddio! Non riuscirò mai a fare una cosa simile.”*

In realtà, da voi pretendo che **lo facciate meglio**, perché quello che vedete a sinistra è una roba da quattro soldi. L'ho scelto solo per dare un nome ai vari componenti, riproponendo la stessa immagine ad ogni descrizione.

Per prima cosa, dobbiamo distinguere tra i diversi elementi, che vediamo saldati sulla bassetta.

Ci sono tre grandezze fisiche fondamentali, che si chiamano **resistenza**, **induttanza** e **capacità**.

Teoricamente, i relativi componenti si chiamerebbero *“resistore”*, *“induttore”* e *“condensatore”*, ma solo il terzo viene usato davvero, nel linguaggio abituale. Gli altri due vengono comunemente definiti con lo stesso nome della grandezza fisica di riferimento.

Vi faccio un esempio...

- Franco, passami una **resistenza** da 2.2, che ho le mani occupate.
- Dove le tieni?... Qui vedo solo **condensatori**...
- Nello sportello a destra, sopra il cassetto delle **induttanze**.

Questa è una tipica conversazione tra tecnici, dentro un laboratorio; dato che anche la nostra è una semplice chiacchierata, mi esprimerò con gli stessi termini. Anche le unità di misura verranno citate con i loro sottomultipli (*milli-henry* e *micro-farad*), come siamo abituati a vederle in elettroacustica.

Tutti e tre creano *“impedenza”*, ovvero un ostacolo al passaggio di corrente, ma in modo diverso.

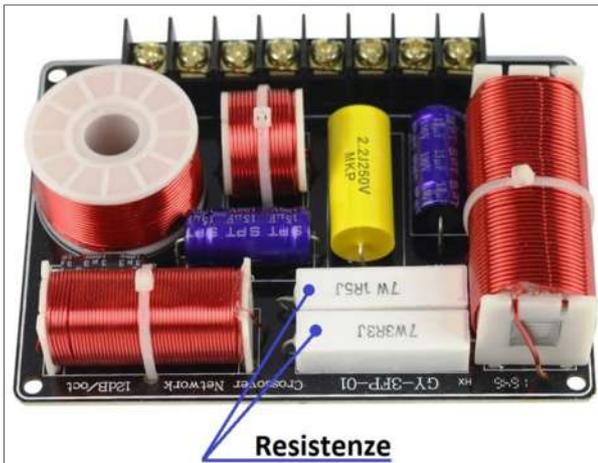
- La **resistenza** è un'impedenza fissa, che NON varia con la frequenza.

Infatti si misura direttamente in *ohm* ( $\Omega$ ).

- L'**induttanza** si misura in *milli-henry* (**mH**); presenta un'impedenza che cresce con la frequenza, in modo direttamente proporzionale. Idealmente, in corrente continua sarebbe un corto circuito (impedenza zero).

- Il **condensatore** si misura in *micro-farad* ( $\mu\text{F}$ ); al contrario dell'induttanza, la sua impedenza diminuisce con la frequenza. In corrente continua è un isolante (impedenza infinita).

Il crossover che abbiamo visto, nell'immagine precedente, è un prodotto cinese a basso costo, concepito per il settore car-stereo. l'ho scelto apposta, per evitare che lo consideriate un riferimento. Cominciamo con le cose facili...



Le **resistenze** che usiamo noi, solitamente sono inferiori ai 10  $\Omega$ , salvo casi eccezionali.

Se si trovano in serie al tweeter, per attenuarlo, generalmente stanno sotto i 5  $\Omega$ ; ma possono essere usate anche su rami in parallelo (poi vedremo come e perché). In questo caso, potrebbero avere un valore più alto.

Già su questo componente, la foto ci mostra un dettaglio da cui si evince che sono andati al risparmio: potenza di **7 W**. Sicuramente funziona benissimo, il limite raggiungibile sarà senz'altro inferiore; tuttavia, nel diletterismo è sempre meglio esagerare, perché non costa nulla.

Mi spiego meglio...

Aperto un catalogo di componentistica, ho cercato il prezzo di tre resistenze da 2.2  $\Omega$ , tutte con la stessa tolleranza (5%): quella da 5 W costa 40 centesimi, da 10 W ne costa 63, per il 20 W arriviamo a 90.

Ora... Un filtro come quello in foto, se realizzato artigianalmente ci costerà pressappoco 30-35 euro; dovremmo spendere 4-5 euro solo per i morsetti a vite, di cui potremmo tranquillamente fare a meno. La domanda nasce spontanea: - *Chisseneffrega di un euro in più, se in cambio ho resistenze più potenti?*

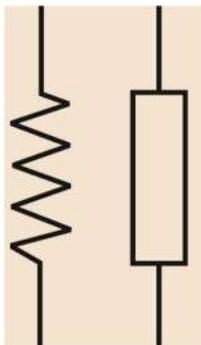
Per contro, ci si potrebbe chiedere a cosa serve una potenza sovrabbondante.

Beh... dovete sapere che le resistenze scaldano; questo aumento di temperatura dipende proprio dal sovradimensionamento che gli diamo.

Tranquilli, nessuno ha mai dato fuoco al materiale fonoassorbente, non c'è nessun pericolo di incendio.

Tuttavia, il valore nominale si alza con la temperatura; 10  $\Omega$  possono diventare 11... 12... 13. Pertanto, visto che si parla di centesimi, prendiamoci un bel 20 W in modo che lavori sempre fredda.

Io sono il primo, quando c'è da risparmiare, ma qui parliamo di 2 euro per entrambe le casse.



A lato vediamo i simboli della resistenza, utilizzati sugli schemi elettrici.

A sinistra c'è quello ufficiale, riconosciuto dalle norme internazionali; sui crossover, spesso capita di trovare quello di destra, piuttosto comune con le resistenze di potenza.

Qui sotto mostro un ingrandimento, in cui possiamo capire come si interpreta la sigla.

Il "7W" lo abbiamo già capito; è la potenza.

Subito dopo c'è il valore in ohm, dove troviamo una lettera "R" maiuscola a separare i decimali.

In sostanza, le nostre sono da 3.3  $\Omega$  e da 1.5  $\Omega$ .

La lettera finale indica la tolleranza: la "J" significa 5%, mentre il 10% sarebbe stato indicato da una "K".



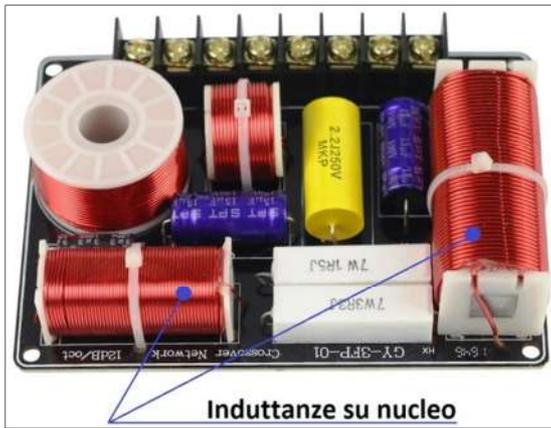
Oggi, le resistenze si trovano sempre al 5%, ovvero "J". Quando le comprate, sono quelle che vi danno senza specificare nulla.

Ai miei tempi era il contrario, erano quasi tutte "K".

Questo vi consente di ricorrere ai protagonisti di "Men in Black", per ricordare quelle due lettere.

Nel film, come forse ricorderete, l'agente **K** era quello più anziano, mentre **J** era il giovane.

Cominciamo a complicarci la vita, parlando dell'**induttanza**.



Escludendo il costo della basetta e della morsettiera, che hanno solo finalità estetiche, le induttanze fanno due terzi delle spese per il crossover, forse anche di più.

Esempio: per filtrare un woofer in un due vie, a circa 2000 Hz, potremmo aver bisogno di un'induttanza intorno ai 2 mH e di un condensatore sui 10  $\mu$ F.

Grossomodo, l'induttanza costerà 8-10 euro, mentre per il condensatore ne bastano 2-3.

Qui a sinistra, nella prima immagine, ho isolato solo le due induttanze **su nucleo**. Il filo di rame è avvolto su un materiale ferromagnetico, che aumenta parecchio il valore nominale.

A destra, vi mostro invece quelle avvolte **in aria**, dove il rocchetto è soltanto un supporto di plastica, per tenere il filo. Ovviamente, senza il nucleo, occorre avvolgere un maggior numero di spire per ottenere lo stesso valore.

...A proposito, l'induttanza si indica con la "**L**" maiuscola.

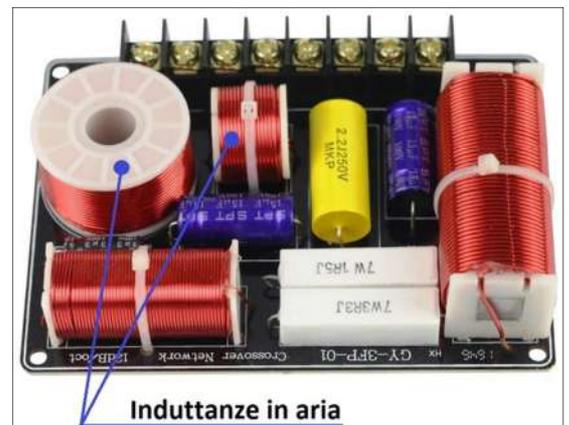
Vi capiterà sicuramente di sentire qualche "purista", che vi racconterà di terribili catastrofi acustiche, causate dalla presenza delle famigerate induttanze su nucleo.

Tali disastri, generalmente, sono causati dalla temibile "*distorsione per mancanza di linearità, dovuta alla saturazione del nucleo per isteresi magnetica*".

Per circa tre anni, quando ero in attività, sfidai tutti a fare una prova d'ascolto in doppio cieco, adottando altoparlanti di alto livello (*Focal, Morel, Scan-Speak*). L'unica condizione era che fossi io a scegliere i brani: quartetto d'archi su musiche di Vivaldi... Nessuno ha mai accettato, e non certo per gusti musicali.

Non intendo negare il problema della saturazione, fenomeno ben noto in elettrotecnica; ma se l'induttanza è di qualità decente, si manifesta con potenze ben superiori ai 50-100 W che abbiamo nelle nostre case.

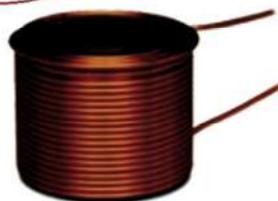
Il vantaggio di quel nucleo, invece, è molto più significativo: a parità di sezione del filo, possiamo accorciarlo moltissimo perché ci servono meno spire. Questo riduce la resistenza parassita di oltre il 50%.



Induttore in aria 1.5 mH,  $\varnothing$  1.2 mm,  
0.52 Ohm, 30x52 mm



Ind. ferrite 1.5 mH,  $\varnothing$  1.2 mm,  
0.25 Ohm, 35x37 mm



Le due induttanze a sinistra hanno lo stesso valore (1.5 mH) e sono realizzate con lo stesso filo (1.2 mm). Osservate il dato sulla resistenza parassita, cerchiato in rosso.

Tra l'altro, quella in aria costa anche il 30% in più (11 € invece di 8).

Su un'induttanza posta in serie al woofer, il valore di resistenza è importantissimo, molto più della presunta distorsione da saturazione (che nessuno ha mai sentito).

Immaginate di aver speso un sacco di soldi, per un amplificatore *Luxmann* a Mosfet, che ora vi offre un coinvolgente impatto dinamico, legato ad un fattore di smorzamento pari a 400.

I progettisti hanno sudato sette camicie, per ottenere quell'impedenza di uscita così bassa (0.02  $\Omega$ ), con la quale adesso potete ascoltare quei transienti esplosivi.

Ma siccome io sono un purista, mi da fastidio vedere il nucleo sull'induttanza; quindi rovino tutto con una bella resistenza parassita da mezzo ohm, che trasforma il mio *Luxmann* in una cineseria da 50 euro.

Quando proponevo l'esperimento in doppio cieco, sfidando tutti a riconoscere le induttanze adottate, ricorderete che proponevo musica di Vivaldi. Adesso, forse, potete capire il perché...

La scelta del quartetto d'archi serviva ad evitare le percussioni ed i pizzicati, ovvero i segnali transienti.

Se nel brano ci fosse stato un batterista, le induttanze su nucleo sarebbero state facilmente riconoscibili; non certo per la distorsione da saturazione, ma per l'impatto dinamico derivante dalla minore resistenza.

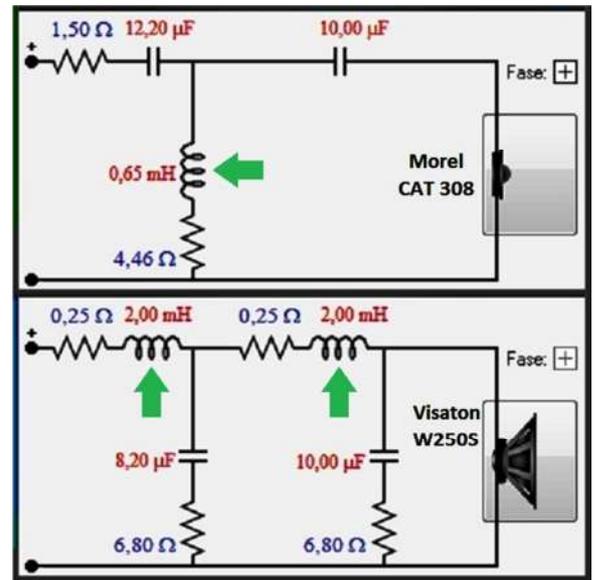
Qui a destra, vi mostro un mio recente progetto per un amico, così vediamo anche il simbolo elettrico (freccette verdi). Sul woofer c'è un filtro del 4° ordine, quindi le induttanze in serie sono addirittura due. Pensate se fossero avvolte in aria...

Ma quello che voglio sottolineare è la presenza di resistenze fittizie, che affiancano ogni induttanza del circuito.

Servono a **simulare** la resistenza parassita.

Guardate anche la cella del tweeter, dove l'induttanza sta nel ramo in parallelo: quel valore lì sotto, 4.46 Ω, in realtà è una resistenza da 3.3, a cui ho aggiunto 1.16 per simulare la componente parassita dell'induttanza.

Fatelo sempre anche voi, quando progettate un crossover; non ve ne pentirete.



A questo punto, è possibile che qualcuno si stia facendo una domanda, su quell'induttanza...

Come fa ad avere una resistenza di oltre un ohm, se il suo valore è di appena 0.65 mH?

Perché in quel caso ho fatto una scelta opposta.

Sul tweeter, l'induttanza è in parallelo; io avevo bisogno di attenuarne l'effetto, per smorzare la pendenza del filtro nella zona dell'incrocio. Lo vedremo meglio nelle prossime chiacchierate, ma per adesso sappiate che dovevo mettergli una resistenza in serie.

In questo caso, non avrebbe senso usare il nucleo. Anzi, tra quelle avvolte in aria ho preso quella con il filo da 0.5 mm, il più piccolo, perché la resistenza parassita mi faceva comodo (e costava anche meno).

Le induttanze su nucleo, quindi, vanno scelte solo per il woofer, dove si trovano in serie all'altoparlante. Sul tweeter non ha grande importanza. Nel caso specifico del mio filtro, quel valore da 0.65 sarebbe anche difficile da trovare, con il nucleo, perché la maggior parte dei cataloghi ve le offre da 1 mH in su.

Ricapitolando in modo schematico, sulla cella del woofer abbiamo **non uno**, ma **due motivi** per scegliere induttanze su nucleo.

- 1) La saturazione si manifesta, in modo significativo, con induttanze di qualità scadente e con amplificatori dalla potenza poco comune, praticamente inutilizzabili in ambiente domestico, soprattutto se vivete in un condominio.  
Al contrario, la resistenza parassita è **sempre** un problema, qualunque sia la potenza espressa.
- 2) La distorsione da saturazione, qualora si manifestasse, produrrebbe effetti a 3000 Hz o anche più, quando il woofer, di solito, è già attenuato di almeno 8-10 dB rispetto al tweeter.  
Non la sentirebbe nemmeno un pipistrello, per questo nessuno accetta prove in doppio cieco.  
Al contrario, il basso da pugno nello stomaco lo sentono tutti. Quando viene "afflosciato" dalla resistenza parassita, il problema risulta evidentissimo all'ascolto musicale.

- Ma c'è un'azienda che fa induttanze **in aria** con un filo enorme, che offre comunque bassa resistenza.

Va bene... Se volete un'induttanza che costa più del woofer, fate pure. Tecnicamente, quello che conta è tenere giù la componente parassita; poi... la carta di credito non è mica la mia.

Concludiamo questa introduzione con il **condensatore**, il componente più complicato.



Quelle che vedete, qui a sinistra, sono soltanto alcune delle infinite tipologie che si trovano in commercio. Per noi elettroacustici, le cose si rivelano molto semplificate... Praticamente, ce n'è soltanto una.

I condensatori vengono usati in parecchie applicazioni diverse, talvolta a frequenze elevatissime, magari a temperature particolari, oppure dove si richiede una bassissima tolleranza.

Ci sono quindi parecchie condizioni d'uso a determinarne la scelta.

Tutto questo non riguarda i nostri crossover, che non hanno alcuna necessità particolare.

- La tensione massima a cui saranno sottoposti è di 40-50 V, che si potrebbe raggiungere con amplificatori da 200-300 W spingendoli al massimo.

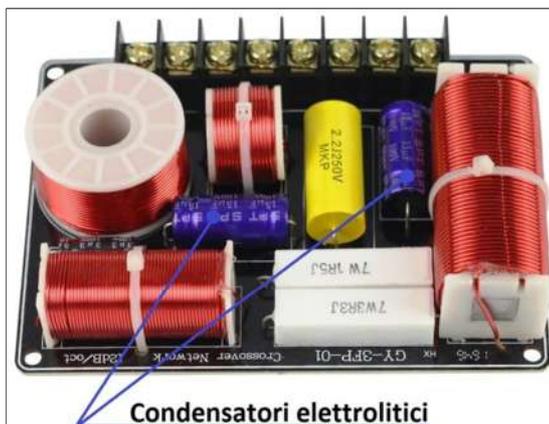
In ambiente domestico è acusticamente impossibile, perché spaccheremmo i vetri delle finestre, ma sarebbe comunque una passeggiata per qualunque condensatore.

- La loro massima frequenza di lavoro è 20'000 Hz, il limite superiore della banda audio. Forse potrà sembrare altissima, per i nostri sensi umani, ma in elettronica è uno scherzo.

- I nostri crossover operano a temperatura ambiente, magari qualche grado in più nell'uso prolungato; forse si può arrivare a 40° nel mese di luglio. Nulla di particolarmente impegnativo.

- Una tolleranza del 10% sarebbe già più che sufficiente, rispetto agli effetti sulla risposta e la capacità di percezione dell'orecchio umano; i condensatori che trovate oggi, in commercio, sono quasi sempre al 5% o addirittura al 3%. Anche qui, nessun problema.

Insomma, se un condensatore potesse scegliere dove lavorare, probabilmente chiederebbe di essere impiegato in un crossover passivo. Sarebbe come fare il dipendente pubblico all'Ufficio Caccia e Pesca.



Anche in questo caso, riguardando il nostro esempio, possiamo capire come gli amici cinesi siano andati al risparmio.

Troviamo infatti due condensatori **elettrolitici**, da 15  $\mu$ F, che potevano essere in poliestere con appena 2-3 euro in più.

- Che cos'hai contro i condensatori elettrolitici?

- Anche tu sei diventato un purista?

Questa volta non si tratta di prestazioni acustiche, ma di stabilità nel tempo. Dell'elettrolitico non ci si può fidare.

Prendetene uno, misuratelo al momento dell'acquisto e poi, di nuovo, dopo 7-8 anni.

Se in origine era da 10  $\mu$ F, sarà diventato da 13, da 14, da 17... nessuno può prevederlo esattamente.

Quello che sappiamo è che il fenomeno si acuisce, se il condensatore resta inutilizzato per lunghi periodi.

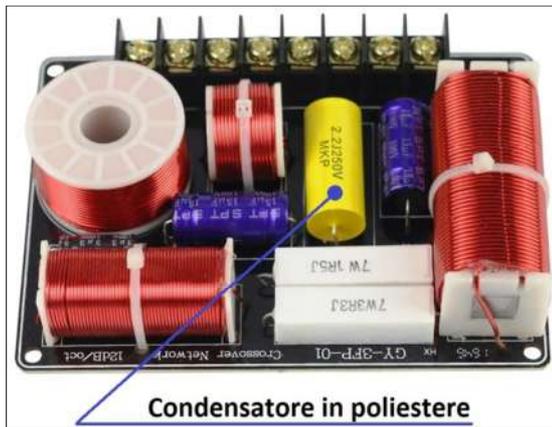
Ormai l'avrete capito: io progetto le casse per durare parecchio. Di indizi ve ne ho dati tanti.

Sapete tutti della mia predilezione per il bordo gomma, vi ho già detto che scelgo resistenze di potenza sovrabbondante, che elimino i terminali faston per metterci una saldatura, che ho proposto e progettato casse di marmo, inoltre vi ho parlato fino alla noia dei miei *Audax* di 37 anni...

Insomma, sono del parere che la vita di un diffusore, se fatto bene, si debba misurare in decenni.

Pertanto, nei miei crossover, non vedrete mai un elettrolitico.

I condensatori che uso io, in **poliestere**, sono eterni come la Piramide di Cheope.



Condensatore in poliestere

Nella foto a sinistra ne vediamo uno solo, ma è ben visibile grazie al colore giallo.

Tra 20 o 30 anni, quando butterete via le casse, i condensatori in poliestere potrete dissaldarli e riutilizzarli altrove; i valori di capacità saranno ancora inalterati, come se fossero nuovi.

In questo caso, la differenza di prezzo è più significativa, rispetto alle resistenze. Proviamo a fare un confronto, usando il nostro solito catalogo.

I due elettrolitici in foto, da 15  $\mu$ F, costano 1.30 € ciascuno; il prezzo sarebbe di 4 € se andassimo sul poliestere.

Visto che ce ne sono due, i costi aumentano di circa 5 euro per cassa.

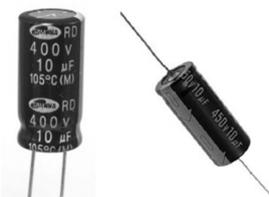
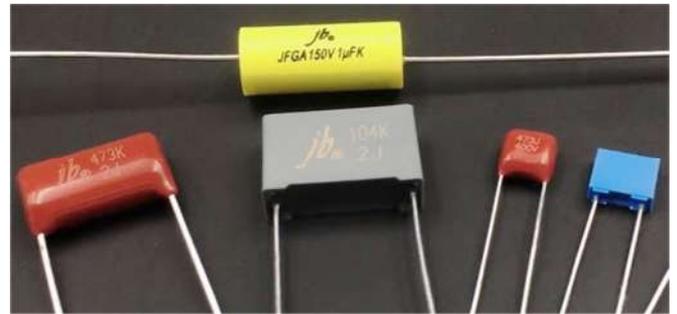
Potrà sembrarvi poco, ma il crossover di esempio costa 18 euro in tutto, bisogna limare anche i centesimi; inoltre, è un prodotto da car-stereo, che si rivolge ad un target... con minori esigenze, diciamo così.

Non fatevi quindi influenzare dall'aspetto di quel filtro, così ordinato ed accattivante; adesso potete capirmi, quando dicevo che possiamo e dobbiamo fare di meglio.

Quando acquistate i condensatori, quelli in poliestere non sono immediatamente riconoscibili, perché si presentano in parecchie forme e colori; qui a destra ne vedete solo alcuni.

L'elettrolitico, invece, è sempre caratterizzato dal solito cilindro metallico, da cui spuntano i reofori sullo stesso lato (*verticale*), oppure sui lati opposti (*assiale*).

Ve li mostro qui sotto, non per cercarli ma per evitarli.



Tra l'altro, i condensatori elettrolitici potrebbero essere polarizzati, ovvero potrebbero avere un + ed un -. Ovviamente, a noi servono quelli bipolari, quindi controllateli sempre perché potrebbero esplodere.

Nulla di grave, a scuola li facevamo scoppiare per divertimento... ma poi tocca andare a comprarne un altro e smontare tutto per sostituirlo.

Insomma, ci sono situazioni in cui gli elettrolitici sono insostituibili, ma sui crossover... proprio no.

Spendiamo due parole anche sul condensatore **in polipropilene**.



Nessuno ne ha mai dimostrato le decantate virtù, però fa figo quando ne parli con "l'amico che se ne intende". Se proprio vi piace quel pizzico di esibizionismo, oggi costa pochissimo di più di quello in poliestere.

Ai miei tempi era diverso; quando sentivi il prezzo, pensavi fossero fatti di plutonio. Ma sappiamo bene come funzionano queste cose...

Se fossero stati economici, nessuno ci avrebbe mai trovato quella "sensazione di grande ariosità nella ricostruzione prospettica".

In azienda, ricordo un piccolo tweeter in policarbonato, che veniva proposto con il suo condensatore già saldato... un **elettrolitico** da 4.7  $\mu$ F.

Veniva prodotto per parecchie case automobilistiche: *Peugeot, Renault, FIAT, Volkswagen, BMW*, ecc., praticamente, quasi tutte le principali marche europee; mi pare fosse anche su un modello *Ferrari*.

C'era una sola azienda, all'epoca, che lo pretendeva con il condensatore in poliestere... *La Mercedes!*

Nella prossima puntata cominceremo ad andare sul tecnico; questa era solo un'introduzione, per prendere confidenza con i tre componenti base dei filtri di crossover.

Prima di salutarvi, però, vorrei dare qualche spiegazione sui valori standard, che a qualcuno potrebbero sembrare inutilmente complicati.

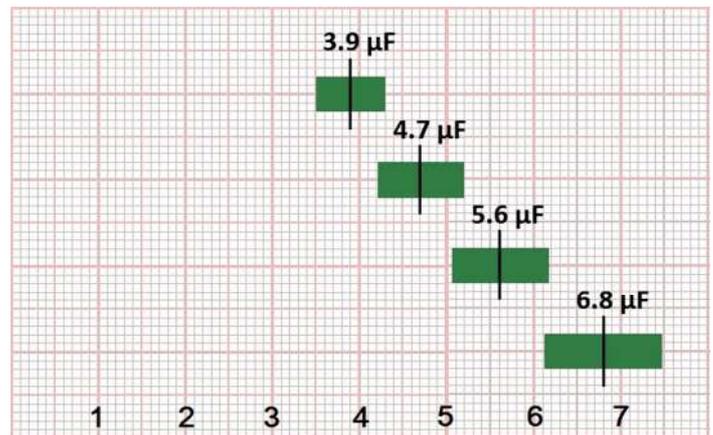
Con le induttanze c'è un po' più di elasticità, ma resistenze e condensatori seguono regole precisissime. I valori che trovate comunemente sono: 1 - 1.2 - 1.5 - 2.2 - 2.7 - 3.3 - 3.9 - 4.7 - 5.6 - 6.8 - 8.2. Poi si sposta la virgola e si ricomincia da capo: 10, 12, 15, 22, ecc. ecc.

La domanda sorge spontanea: - *Non potevamo semplificarci la vita, usando cifre tonde senza decimali? Bastava produrre resistenze da 1 Ω, 2 Ω, 3 Ω, 4 Ω... e così via. Lo stesso per i condensatori.*

In realtà, si tratta di una scelta obbligata, legata alle tolleranze di produzione.

Nel grafico a destra, prendo ad esempio quattro condensatori molto comuni, tutti con tolleranza del 10% (come ai miei tempi).

Vedete bene come gli intervalli, già così, abbiano una leggerissima sovrapposizione sugli estremi. Significa che un condensatore da 4.7, al limite superiore della tolleranza, potrebbe essere più grande di uno da 5.6, se fosse al limite anche lui.



D'accordo... è più facile essere colpiti da un fulmine in mezzo al Sahara...

Due condensatori particolarmente sfigati, entrambi al limite ma in direzioni opposte, sarebbero stati prelevati a caso dalla scatola del negoziante... e dovrebbero essere capitati proprio a me.

E' ovvio che si tratta di un caso eccezionale, ma teoricamente è possibile.

Questo rende insensato l'impiego di ulteriori valori intermedi; ma soprattutto produce un distanziamento progressivo tra quelli standard, perché la tolleranza si esprime in percentuale.

Ovviamente, resistenze e condensatori al 5% propongono anche valori aggiuntivi, perché quegli intervalli che vediamo in verde, sul grafico sono tutti di estensione dimezzata.

Tuttavia, in elettroacustica si continuano ad usare quelli di una volta; nessuno si è mai lamentato perché gli mancava la resistenza da 2.478 Ω, anche perché nessuno percepirebbe differenze con quella da 2.2 o 2.7.

A questo punto, dopo 7 pagine, credo sia ora di cominciare ad usarli, questi componenti.

Dalla prossima chiacchierata, vedremo di capire come funzionano e quali combinazioni possono formare, per poi cominciare a progettare qualcosa.

Per adesso, vi lascio con il mio consueto saluto.

Alla prossima!

24 aprile 2021

  
(Robert Romiti)