

Chiacchierate sull'elettroacustica

10 – Bass-Reflex: la Scienza... del tubo!

Nelle due chiacchierate precedenti, abbiamo virtualmente provato ad installare un woofer in un diffusore, prima in cassa chiusa e poi in bass-reflex, trovando due mondi inconciliabili.

L'aspetto distintivo più evidente riguarda i parametri del woofer, che devono essere molto diversi, ma i più attenti avranno forse notato cosa succede con il volume di carico... Per enfatizzare l'estremo basso, passando dal *Butterworth* al *Chebyshev*, bisogna **ridurre** il volume della cassa chiusa, mentre dobbiamo **aumentare** quello del bass-reflex.

Insomma, ci troviamo di fronte a differenze tecniche, formule matematiche, fenomeni acustici, che sembrano appartenere a due universi distinti.

Eppure, in negozio, la facciamo semplice per distinguere i due sistemi.

Guardiamo la cassa su tutti i lati... **per vedere se c'è il tubo!**

Già... su tutti i lati... perché il condotto reflex si esprime su frequenze ben al di sotto dei 100 Hz, quindi omnidirezionali; l'apertura può stare dappertutto.

Esistono perfino diffusori, soprattutto nel caso dei subwoofer, che hanno il tubo sul lato inferiore, rivolto verso il basso; ovviamente stanno su piedini opportunamente dimensionati, per distanziare la cassa dal piano d'appoggio.

Io preferisco metterlo sempre davanti, per evitare complicazioni sulla collocazione, soprattutto nel caso di piccoli diffusori *bookshelf* (da scaffale).

Inoltre, un "trucco del mestiere" consiste nel collocare l'estremità **interna** del tubo lontano dalla membrana del woofer; questo risulta più facile con il tubo frontale.

Ma perché proprio... un tubo?

Tecnicamente si chiamerebbe "porta", ma soprattutto non c'è nessuna regola sulla forma che deve avere. Può essere di sezione rettangolare, romboidale, pentagonale, quello che volete; tanto l'aria passa dappertutto.

Il cilindro è la forma più comune, ma solo per praticità, non per esigenze tecniche.

In qualsiasi centro bricolage, infatti, è possibile reperire tubi cilindrici di vari diametri, materiali, colori e lunghezze, ad un costo di pochissimi euro.

Ma se provate a cercarne uno triangolare... Buona fortuna!

L'esempio che vi mostro qui in basso costa appena 3 euro ed è lungo un metro.

Ha un diametro esterno di 80 mm, all'interno saranno 75, pressappoco; questo lo rende adatto all'abbinamento con piccoli woofer da 130 e 165, secondo i miei

personali criteri di progettazione. Sono sicuro che molti, un po' meno fissati di me, lo userebbero senza problemi anche con il woofer da 200, mentre io, con quel formato, ce ne piazzerei due per cassa.

Tanto ci vengono tutti e quattro, con un metro di lunghezza.



2,95 € /pz
2 Punti carta premium

 **Consegna a domicilio**
in 5 giorni lavorativi

 **Ritiro in negozio** **GRATIS**
[Seleziona un negozio](#)

Lunghezza (in m)
1

- Ma come fai a regolarti, sul diametro da scegliere?

OK... È ora di andare sul tecnico...

Tranquilli, non mi metto a parlare del *Numero di Reynolds* e del *Teorema di Bernoulli*, ma è indispensabile sapere che l'aria, nel suo scorrimento all'interno del tubo, incontra degli attriti.

È dunque possibile che si generino turbolenze, che aumentano le perdite del sistema e di conseguenza la distorsione, a causa di una maggiore escursione del woofer. Approfondiremo più avanti...

Per adesso, introduciamo un tema difficile, di complessità così estrema che non potete immaginare.

Noi lo semplificheremo a tal punto che potrebbe sembrare imbarazzante, agli occhi di un professionista, ma intanto cerco di darvi un'idea del mostro che stiamo affrontando.

A partire dal 1967, fino a quando rimasi in attività come elettroacustico, ricercatori di mezzo mondo avevano prodotto 23 pubblicazioni scientifiche (**ventitré!!!**) sul flusso d'aria in un tubo reflex.

Non ho dubbi che la ricerca sia continuata, forse oggi saranno diventate 30 o 40...



Accettate quindi un consiglio...

Non usate, nel dilettantismo, tubi come questo a sinistra, anche se oggi il mercato ve ne offre a decine (quello in foto costa 11 euro su *Amazon*). Nessun simulatore è in grado di determinarne la frequenza di accordo, soprattutto quelli per dilettanti che si scaricano in rete.

Perfino i pacchetti software professionali sono in difficoltà; le formule che usano, per quanto complesse, sono tutte ricavate empiricamente e soggette a tolleranze molto ampie.

Ovviamente, un prodotto commerciale può adottare tubi di qualsiasi forma; tanto li provano sui prototipi, prima di metterne in produzione migliaia di pezzi. Ma voi dovete fare due casse in tutto; non potete accettare 10-15 esperimenti falliti, prima di azzeccare la combinazione giusta.

Inoltre... Supponiamo di misurare la frequenza di accordo (poi vi spiegherò come fare) e di trovarla **sbagliata**, ovvero non conforme a quella stabilita nel progetto... Che si fa?

Se avete usato un normale tubo cilindrico per scarichi idraulici, come questo qui a destra, il problema è facilmente risolvibile.

Per alzare la frequenza, basta accorciarlo segandone un pezzo. Se invece dovete abbassarla, non potendo allungarlo sarete costretti a sostituirlo... ma a costo zero, usando la parte che vi è avanzata, visto che si vende a spezzoni da un metro.

Infine, anche se dovessimo ricomprarlo... chisseneffrega! Costa così poco...



Ora immaginate di aver usato il tubo speciale di prima, quello fatto ad "archibugio di zio Paperone".

Innanzitutto, con i simulatori per dilettanti, la probabilità di sbagliare frequenza è altissima, praticamente una certezza.

Ma quando ce ne accorgiamo, dopo una misurazione, come pensate di risolvere?... Segandone un pezzo?

Avete idea di quanta matematica c'è, sulla curvatura di quel tubo?

Sapete quanti casini create, se provate a modificarlo?

Quei tubi specifici, qualunque sia la loro forma, sono sempre dotati di una flangia esterna; talvolta può capitare che ci siano anche i fori per le viti, nonostante vadano sempre montati con il silicone.

Quella flangia è il motivo principale del loro successo, perché copre le imperfezioni del foro di montaggio, dando al diffusore un aspetto più gradevole e professionale.

A mio avviso, non è un buon motivo per compromettere gli aspetti tecnici.

Rispetto al comune cilindro, il tubo specifico presenta anche dei vantaggi, ma ne parleremo più avanti. Mi sto accorgendo che forse ho messo il carro davanti ai buoi: sono sicuro che tutti abbiano capito il mio consiglio, ma probabilmente nessuno ha davvero compreso le motivazioni. Cominciamo quindi dall'inizio, così alleggeriamo un po'...



Vi ricordate di questo personaggio?

Si chiamava **Hermann von Helmholtz**, lo abbiamo già incontrato nella chiacchierata n° 2 sul Teorema di Fourier.

Quella palla dorata, sul tavolo, è un *risuonatore di Helmholtz*, ed è il motivo per cui il bass-reflex non ha un suo inventore, ma una serie di perfezionamenti successivi.

Il principio di funzionamento viene da proprio da lì, dalla passione per l'acustica del fisico tedesco, ma eravamo a circa metà dell'800, quando il woofer non era ancora stato inventato.

Helmholtz studiò quelle sfere cave, di vari volumi, verificando il suono che ne usciva soffiandoci dentro, attraverso tubicini di differenti lunghezze. Arrivò quindi ad una legge fisica, considerata valida anche oggi, che stabilisce una correlazione tra le varie grandezze in gioco.

Verso la fine del mio periodo da elettroacustico, ricordo che in Slovenia (o forse in Croazia...) venne scoperto un flauto preistorico di 50'000 anni fa. È chiaro che non fu Helmholtz a scoprire quel fenomeno acustico, ma abbiamo la certezza che fu il primo a studiarlo scientificamente.

Come sapete, qui si chiacchiera e non si spiega la matematica; tuttavia, la formula comunemente conosciuta come **Risonanza di Helmholtz** ve la devo mostrare, perché si capisca come i valori siano correlati tra loro. Non userò i simboli originali, ma quelli abitualmente adottati per i bass-reflex.

$$f_b = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A_p}{V_b \cdot L_p}}$$

Conosco bene l'effetto delle equazioni, nei lettori; molti di voi non l'avranno neppure guardata, ma devo avvisarvi che è molto più semplice di quanto sembri a colpo d'occhio.

La frazione iniziale con la velocità del suono $\left(\frac{c}{2\pi}\right)$ non ci interessa affatto, perché sono valori costanti che non dipendono da noi.

La nostra attenzione deve concentrarsi sulla seconda, quella sotto radice quadrata: $\frac{A_p}{V_b \cdot L_p}$

Sappiamo già che V_b indica il volume di carico, ora sappiamo anche come incide sulla frequenza di accordo, ma soprattutto che questa dipende anche dalla cassa, non solo dal tubo.

Tra principianti, da sempre, capita di sentire un quesito piuttosto comune:

- Ho un tubo da 60 mm di diametro; che lunghezza devo dargli per accordarlo a 45 Hz?

Questa domanda vi fa fare la figura del co... co... costruttore inesperto. Ora sapete perché.

Gli altri due simboli indicano l'area della porta (A_p) e la sua lunghezza (L_p), che stanno in rapporto tra loro. Questo è molto importante, perché ci fa capire che un tubo **più grosso** dovrà essere anche **più lungo**, per mantenere la stessa frequenza di accordo.

La *Risonanza di Helmholtz* consentì di capire come funziona una canna d'organo, un flauto, un clarinetto, ma ci volle un centinaio d'anni e l'invenzione dell'altoparlante, prima di arrivare al nostro bass-reflex.

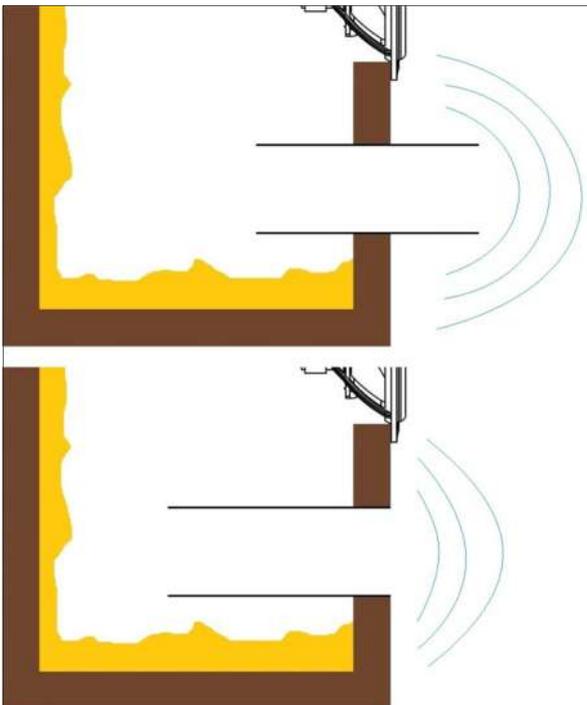
Durante gli esperimenti di Neville Thiele, alla fine degli anni '50, era passato oltre un secolo dagli studi di Helmholtz, ma la frequenza di accordo veniva ancora ricavata sperimentalmente. Per qualche motivo, l'equazione dava qualche problemino se applicata al bass-reflex.

La formula che viene usata oggi, nei simulatori software, è derivata da quella originale ma non è esattamente uguale. È stata proposta da Richard Small, che ci arrivò empiricamente durante la sua collaborazione con Thiele.



Certe volte mi chiedo come avremmo fatto, senza questi due...

In realtà, la *Risonanza di Helmholtz* funziona benissimo, per un tubo con le estremità completamente libere, ma produce errori macroscopici quando il normale montaggio, **a filo del pannello** della cassa, altera l'impedenza acustica di radiazione. Si capisce meglio dal disegno qui sotto a sinistra.



A forza di esperimenti, Small capì che l'equazione originale andava integrata con un **fattore correttivo**, che vi mostro **in rosso** nella versione semplificata:

$$L_p = \frac{23 \cdot 560 \cdot d_p^2}{V_b \cdot f_b^2} - (k \cdot d_p)$$

Capisco che a colpo d'occhio non sembri affatto "semplificata", ma la prima parte, se la guardate bene, è sempre la vecchia *Risonanza di Helmholtz*, o meglio la sua formula inversa. Le semplificazioni riguardano...

- ...eliminazione del calcolo dell'area; qui si chiede direttamente il diametro del tubo (d_p).
- ...unità di misura di uso comune; diametro e lunghezza espressi in centimetri, volume in litri.
- ...costanti e conversioni raggruppate; un valore unico, pari a 23'560, incorpora tutto e tanti saluti.

Ad essere pignoli, la formula di Small era espressa in pollici e piedi cubi, ma lui stava in Australia.

Non crediate che sia finita qui; ve l'avevo detto che era complicato... Ma ora possiamo fermarci un attimo a riflettere sui tubi "specifici per bass-reflex", perché abbiamo già un buon motivo per evitarli.



La costante di Small, quella k che appare nel fattore correttivo, vale **0.8** per un normale tubo cilindrico, montato a filo; ma quelli dedicati, che trovate in commercio, finiscono quasi sempre con una flangia rastremata.

Anche senza matematica, si può facilmente intuire quali alterazioni si producano, sull'impedenza acustica, con quel profilo a tromba.

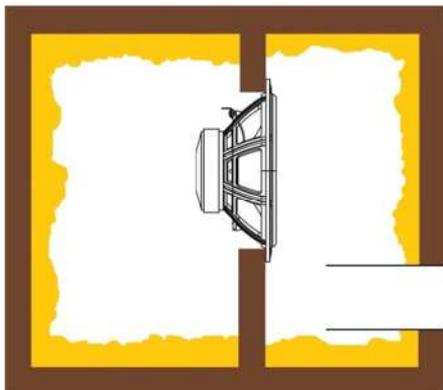
Come la determiniamo, la costante di Small?

Tra l'altro, il profilo della flangia non è sempre uguale in tutti i modelli. Può essere circolare, biraggiato, esponenziale, con raggi di curvatura maggiori o minori... Ogni volta esce un valore diverso.

Insomma, anche se il tubo fosse un normale cilindro, basterebbe quella tromba per alterare i risultati. Se poi il condotto fosse anche tronco-conico (come va di moda), o a profilo curvo come quello su Amazon...

...Tanto varrebbe mettercene uno a caso; non avrebbe più alcun senso definirlo "progetto".

Ai tempi di Small, i condotti dedicati non c'erano, si lavorava con normalissimi tubi per idraulica. L'esigenza di realizzare profili esponenziali, tronco-conici o "a clessidra", nacque verso la fine degli anni '80, quando la KEF introdusse il **carico simmetrico**.

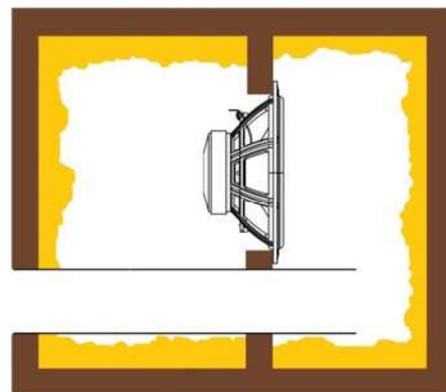


Si tratta di un sistema a radiazione indiretta, specializzato per frequenze molto basse e schematizzabile con il disegno che vedete qui a sinistra. È un'eccellente soluzione per la realizzazione di subwoofer; presenta infatti dei vantaggi che qui non tratteremo, ma per un anno e mezzo, pressappoco, ne fui così fanatico da progettare solo quelli.

Dallo schema forse non si capisce, ma con parecchi modelli di woofer, il carico simmetrico porta spesso ad una cavità reflex molto piccola, rispetto al formato dell'altoparlante. Questo crea un problemino. Facciamo un esempio...

Può capitare che un woofer da 200 mm, in base ai suoi parametri, richieda meno di 10 litri per parte. Per ottenere la giusta frequenza di accordo in una cassa così piccola, con un tubo di diametro adeguato, arriviamo facilmente a lunghezze ben oltre il mezzo metro. ...E come ce lo metto, in meno di 10 litri??

Io ho avuto questi problemi solo quando mi chiedevano sistemi per il car-stereo, perché nell'Hi-Fi domestico non ho mai usato woofer così piccoli; quelli andavano direttamente all'incrocio con il tweeter, in sistemi a due vie; se dovevo fare un subwoofer, o comunque una sezione specifica per i bassi, andavo dal 250 in su. Tuttavia, quando mi capitava, adottavo la soluzione un po'... "creativa" che vedete qui a destra.



All'epoca, i condotti a profilo curvo non si trovavano; c'era il modo di realizzarli artigianalmente, ma era un impazzimento. Preferivo evitarlo.

Comunque, fino a quando rimasi in attività, nessuno aveva trovato una formula matematica davvero affidabile, per determinare la frequenza di accordo di un tubo raggato, esponenziale o tronco-conico. Nel 1994 i computer c'erano già da un bel pezzo, *Excel* era arrivato alla 5ª versione; insomma, se ci fosse stata un'equazione, poteva essere anche complicatissima, tanto nessuno faceva più i calcoli a mano. Eppure, tutte le aziende che adottavano quei tubi... li dimensionavano empiricamente.

A questo punto, credo sia chiaro a tutti il mio consiglio di qualche pagina fa. I tubi speciali, trascurando il miglioramento estetico, servono solo a produrre un aumento della lunghezza apparente, a parità di volume di carico e frequenza di accordo.

In un bass reflex tradizionale, non abbiamo mai questa esigenza, anzi... secondo il mio vecchio capo, nel dilettantismo è **vantaggioso** usare il normale cilindro, perché il progetto sarà "a prova di imbecille". Cerco di spiegare meglio le sue parole...

Se il tubo, stabilito un diametro adeguato, ti viene troppo lungo per entrare in quella cassa, significa che il tuo progetto è **sbagliato**. Stai tentando l'impossibile, inseguendo una frequenza di accordo troppo bassa.

In altre parole, con il tubo cilindrico è più difficile produrre errori macroscopici, semplicemente perché non riesci a montarlo... Un esempio?

Supponiamo di avere un volume di 15 litri, dove montiamo un woofer da 130. Se decidessimo di accordarlo a 35 Hz, con una porta da 75 mm di diametro... La lunghezza del tubo sarebbe un'impossibile **66 cm**. Ma un 130 non lo puoi accordare a 35 Hz!... Ti sposti su frequenze più adatte a quel formato, tra 55 e 60 Hz, ed ecco che il tubo, come per magia, entra comodamente nella cassa con 20-22 cm di lunghezza.

A questo punto, possiamo tornare alla nostra domanda lasciata in sospeso:

- Come ci regoliamo, per scegliere il diametro del tubo?

Anche in questo caso, esiste una formula che sembra complicata, ma che in realtà si può ridurre ad una semplicità disarmante, ovvero a quella frasetta che forse avrete già sentito da qualche parte... Poi ve la ripeterò anch'io.

Osservate la foto qui a destra; guardate un po' chi dobbiamo ringraziare, per quell'equazione. Già... Sempre lui!

Cominciamo dalla versione più complicata:

$$d_{p-min} = 0.56 \cdot d \cdot \frac{\sqrt{X_{max}}}{\sqrt[4]{f_b}}$$

La semplificazione riguarda la frazione finale, quella con le due radici.

Normalmente, possiamo porre quel quoziente **uguale a 1**, tanto è quasi sempre inferiore. Il risultato che cerchiamo di ottenere è il diametro **minimo** del tubo di accordo, non il valore preciso.

In altre parole, se la formula ci proponesse un tubo da 82 mm, non ci sarebbe nessun problema a prenderlo da 85 o da 90, l'importante è non sceglierne uno da 78 o 75.

Quella frazione in fondo alla formula è maggiore di 1 solo in casi eccezionali, con woofer a lunghissima escursione, accordati a 30 Hz o anche meno. Parliamo di bestioni da 12 o 15 pollici, da montare in casse enormi, rarissime da vedere in un ambiente domestico.

Escludendo tali situazioni particolari, la nostra formula si ridurrà così: $d_{p-min} = 0.56 \cdot d$

Dove **d** indica il diametro di emissione del woofer.

Siamo quindi arrivati alla solita frase, che tutti ripetono a pappagallo, ma che nessuno spiega mai:

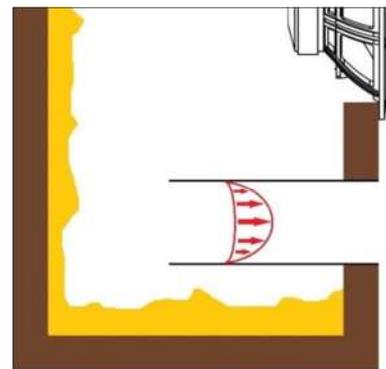
- Il diametro del tubo deve essere un po' più grande della metà del diametro della membrana.

Tutto questo deriva dall'attrito prodotto dal flusso d'aria, durante il suo movimento lungo il condotto.

Le particelle vicine alla parete del tubo, a contatto con la plastica, si muovono più lentamente rispetto a quelle interne.

Ho cercato di schematizzare il fenomeno con il disegno qui a destra.

Il problema si risolve con tubi di sezione generosa, che rallentano il flusso, minimizzando gli effetti dell'attrito.



Negli anni '70, evidentemente, gli esperimenti di Small non erano ancora noti.

Lo possiamo capire riguardando le mie vecchie casse, in cui il tubo di accordo era circa un quinto del diametro della membrana.

In teoria, l'attrito dipenderebbe anche dalla rugosità superficiale del materiale, ma i tubi per idraulica, che usiamo oggi, sono tutti di plastica molto liscia.

Negli anni '80 non c'erano i megastore di bricolage che vediamo adesso; talvolta mettevamo da parte i nuclei di cartone della carta da cucina, poi li immergevamo nello smalto nero per renderli più lisci. E ce ne volevano parecchi...



L'idea dei tubi di cartone, presi dai rotoli di *Scottex*, non è soltanto un simpatico aneddoto; ci consente di agganciarci all'argomento successivo, quello dei **tubi multipli**, che oggi vanno sotto il nome di "**apertura distribuita**".

Il mio primo subwoofer, di cui ho ancora un vago ricordo, fu un bass-reflex intorno ai 70-80 litri; c'era un *SIPE* da 250 mm a doppia bobina, 8+8 Ω.

Ci misi 6 tubi di cartone, nel tentativo di ridurre gli attriti; qualche anno più tardi avrei scoperto che ce ne volevano almeno 8, secondo i risultati di Small.

Per fortuna, quel woofer aveva un'efficienza piuttosto alta, rispetto ai satelliti, quindi non ebbi grossi problemi da quelle perdite.

All'epoca, non disponendo di un valido assortimento di tubi, l'apertura distribuita fu una scelta obbligata; oggi lo faccio ancora, ma... per motivi estetici.

A destra vi mostro le casse di mio figlio, in costruzione. Ho scelto un *Faital* da 165, in allineamento *Chebyshev*. Applicando la formula semplificata, il tubo avrebbe dovuto avere un diametro minimo di 76 mm, ma io preferisco stare largo e l'ho impostato a 100.

Vi ho già detto che le mie casse hanno sempre i condotti frontali, perché voglio evitare l'eventuale rimbombo derivante dal mobile o dalla parete di fondo.

Io non uso mai le mascherine in tessuto, perché gli altoparlanti li voglio vedere.

Il tubo da 100 avrebbe quindi creato un problemino estetico...



Passando davanti alla cassa, si sarebbe visto chiaramente l'interno, con l'assorbente acustico sul fondo, forse qualche filo, o peggio ancora, qualche componente del crossover.

Ho risolto il problema con 3 tubi da 57, come si vede in foto. Il calcolo è semplicissimo: elevate al quadrato, moltiplicate per il numero di tubi e calcolate la radice.

Nel mio caso, con un piccolo arrotondamento... $\sqrt{57^2 \cdot 3} = 99$

Con i woofer di grandi dimensioni, l'apertura distribuita è obbligatoria **per motivi tecnici**.

Un enorme tubo da 150, o anche di più, produrrebbe delle risonanze spontanee chiaramente percepibili; sarebbero piuttosto fastidiose, ogni volta che un qualsiasi strumento musicale capitasse su una frequenza critica.

Per quanto riguarda il diametro massimo complessivo, il limite è facilmente intuibile: l'area totale di tutte le porte (A_p) deve essere sempre inferiore alla superficie radiante del woofer (S_d).

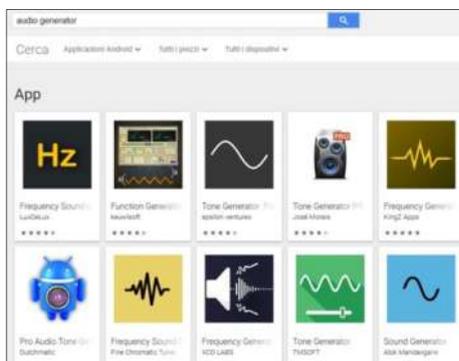
Su questo punto, non credo sia necessario scomodare Richard Small.

Questi consigli, sull'uso di tubi dritti e cilindrici, multipli se necessario, riguardano l'attendibilità dei risultati simulati, con i nostri pacchetti software.

Se potessimo verificare il diffusore a posteriori, al di là di una semplice prova d'ascolto, potremmo provare vari tubi in modo empirico, sperimentalmente... Ma si può fare, nel diletterismo?

Per rilevare la frequenza di accordo di un bass-reflex, è sufficiente un qualsiasi smartphone, anche di quelli più economici. Poi avremo bisogno di un cavetto **Jack-RCA**, acquistabile a 4-5 Euro,

ma se avete un amplificatore *Bluetooth* non vi serve nemmeno quello. Sul *PlayStore* di *Android*, digitando "audio generator", troverete decine di app che fanno al caso vostro; scaricatene una qualsiasi, magari basandovi sulla grafica che vi piace di più. (Che bello, fare gli elettroacustici in quest'epoca...)



Se l'app vi offre varie forme d'onda, scegliete sempre quella **sinusoidale**, in modo da escludere la presenza di armoniche. Dopo aver collegato tutto, impostate il generatore sugli 80-90 Hz, ovvero una frequenza molto bassa, ma al di sopra dell'accordo.

Ora dovete alzare il volume gradualmente, con gli occhi fissi sul woofer, fino a vedere un movimento evidente da parte della membrana; se necessario, appoggiate un dito sul bordo gomma, per rendervi conto di quanto si sposta.

Ora possiamo iniziare... Cominciate ad **abbassare la frequenza**, di pochi hertz per volta.

Noterete che l'**escursione**, per un po', tenderà ad aumentare. Raggiungerà un massimo, generalmente tra 50 e 70 Hz, per poi **calare** piuttosto rapidamente, anche se la potenza acustica resterà invariata.

Dirò di più... In corrispondenza di quella "frenata", i bassi potrebbero essere addirittura più potenti, forse rimbombanti e quasi fastidiosi, se il tubo è montato sul retro; è dovuto al mobile in cui si trova la cassa.

Continuando a scendere di frequenza, l'escursione tornerà ad aumentare; ad un certo punto, arriverà addirittura a superare quel limite massimo che avevamo visto prima, verso i 60 Hz. Qui fermatevi, perché il vostro woofer sta cominciando a suonare quasi in aria libera. Dovreste essere intorno ai 40 Hz.

Adesso tornate su e cercate, più accuratamente che potete, il punto dove l'escursione tocca il minimo e la membrana sembra quasi ferma... Quella è la vostra frequenza di accordo.

...E questo ti sembra "scientifico"? Mi fai cercare l'accordo con un esame visivo, ovvero... a occhio? Un amico di mio cugino ne capisce più di te; dice di metterci una resistenza in serie, ad esempio una lampadina, e poi misurare la tensione con il tester, sui terminali di ingresso.

Dite a vostro cugino, quando lo vedete, che quel giochetto con la resistenza l'ho fatto 20 volte al giorno, tutti i giorni, per parecchia anni... E che non funziona con il bass-reflex.

Quella resistenza deve essere da un migliaio di ohm, come ordine di grandezza, per simulare un generatore a corrente costante; la potenza sul woofer sarà al massimo qualche decimo di watt, pertanto l'escursione sarà impercettibile. In tali condizioni, il flusso d'aria sarà insignificante, completamente privo di attriti, perché portata e velocità saranno irrisorie.

Il tubo apparirà enorme e cambierà anche l'impedenza acustica.

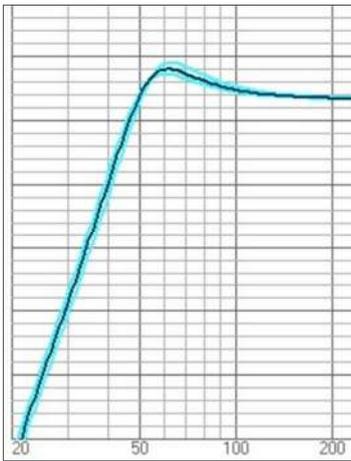
In altre parole, l'amico di vostro cugino non misurerà mai la reale frequenza di accordo, che si avrebbe nel corso di un normale ascolto musicale, con potenze significative.

Ovviamente, l'esame visivo ha i suoi limiti, c'è un certo margine di errore; ma se rilevate 52 Hz invece di 54, nemmeno l'orecchio di Claudio Abbado sarebbe in grado di accorgersi della differenza.

Inoltre, le nostre formule contengono delle costanti (velocità del suono e densità dell'aria), che cambiano con le condizioni meteorologiche. Ascoltando un bass-reflex in una nebbiosa mattina di gennaio, piuttosto che in un soleggiato pomeriggio di luglio... altro che 52 e 54!



Concludiamo questa chiacchierata con gli errori di taglio del tubo.



Il grafico a sinistra mostra un 165 mm della *Dayton Audio*, montato in una cassa da 20 litri ed accordato a 50 Hz.

I valori li ho impostati a occhio, tanto è solo per fare un esempio.

Il risultato si raggiunge con un tubo da 75 tagliato a 20 cm.

Le due curve sovrapposte, in azzurro più chiaro, sono quelle che si ottengono con un errore del 10% sulla lunghezza, ovvero **2 cm** in più o in meno.

Ho scelto quel valore perché spesso coincide con lo spessore del legno.

In altre parole, è quasi impossibile sbagliare così tanto nel segare un tubo.

Un simile errore si può giustificare solo con una misurazione sbagliata, che non tiene conto del pannello su cui il tubo è montato.

Ma anche sbagliando in modo così macroscopico, è evidente che nessuno se ne accorgerà mai.

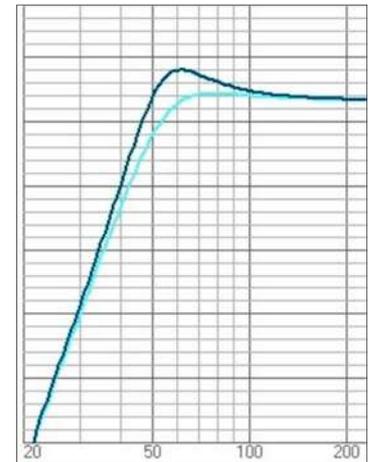
Non esiste un orecchio umano capace di percepire mezzo dB, a 60-70 Hz; se così fosse, il suono ci apparirebbe molto diverso semplicemente cambiando ripiano dello scaffale, aumentando o diminuendo la distanza del woofer dal pavimento.

Se invece aumentassimo gli attriti, usando un tubo troppo piccolo, potremmo facilmente arrivare alla situazione del grafico qui a destra.

Avevamo progettato un Chebyshev... e ci ritroviamo un Butterworth.

Pertanto, se volete evitare correzioni successive, restando vicini ai dati di progetto, non dovete preoccuparvi se avete tagliato due millimetri in più. Quello che conta davvero è che il tubo sia grosso, liscio e diritto, senza raccordi o discontinuità.

Ora che sapete verificare la frequenza di accordo, qualche furbacchione potrebbe avere l'idea di usare i famigerati **tubi telescopici**.



Lasciamo stare il fatto che si formano due sezioni di diametro diverso, non è molto importante...

Ma osservate quel gradino sulla parte esterna, tra il tubo piccolo e quello grande. Ce n'è uno uguale all'interno, sul percorso del flusso d'aria.

Ci sono decine di pagine di studi e ricerche, con formule, grafici, foto e disegni, che mostrano le perdite causate dall'attrito, su un materiale più o meno rugoso. E noi... ci mettiamo un gradino di 2 mm, su tutta la circonferenza del tubo??...

Sono sicuro che nessuno si aspettava 9 pagine, per parlare del condotto reflex; ma chi cerca l'allineamento Chebyshev con il basso esplosivo, queste cose le deve sapere.

In presenza di errori gravi, il tubo può essere più importante del woofer.

Adesso mi prendo una pausa e mi rilasso, perché poi cominciamo a parlare di crossover...

Alla prossima!

12 aprile 2021


(Robert Romiti)