PROGETTO E VERIFICA DI UN DIFFUSORE CON AUSILIO DI PERSONAL COMPUTER

di Mauro Bigi e Maurizio Jacchia

Parte seconda

Certi di fare cosa gradita ai lettori della rivista proseguiamo nella fatica iniziata sul numero 114 di AR; per chi si fosse solo ora messo in «ascolto» ricordiamo che oggetto della nostra attenzione è il progetto di un diffusore di 17 litri, due vie in sospensione pneumatica; i criteri e l'obiettivo di progetto non ci porteranno però a definire ed a realizzare il diffusore capace di turbare i nostri sogni ma piuttosto approderemo ad un diffusore-laboratorio, palestra ideale per tentare esercizi canonici e non; trarremo spunto costante per brevi e semplici (per quanto possibile...) digressioni teoriche ed introdurremo le verifiche strumentali, vero piatto forte di questi articoli, effettuate con il sistema di misura per PC «Clio».
Ampio spazio sarà quindi riservato all'utilizzo della simulazione con Bass e Cross partendo sempre da parametri misurati per ottenere la miglior corrispondenza tra simulazioni e verifiche strumentali.
Chiarito lo scopo principale che ci prefiggiamo non tralasceremo, per quanto possibile, di arrivare ad un diffusore che si possa definire compiuto nonché realizzabile e se, infine, ciò che avremo assemblato e verificato suonerà anche in modo passabile, ve lo faremo sapere con dovizia di particolari senza rinunciare a nessuno degli accattivanti aggettivi di rito.

Il mobile

Il mobile del nostro diffusore lo potete vedere nella foto introduttiva che accompagna l'articolo; si tratta di un parallelepipedo che misura internamente cm 19*39.5*24 (lxhxp) con i bordi abilmente smussati da un falegname professionista il quale ci ha consegnato il prodotto finito su specifiche (che nessuno ci pensi lontanamente in grado di affrontare e realizzare un siffatto mobile!); il materiale è legno MDF di 2 cm; l'unico rinforzo interno collega i pannelli anteriore e posteriore irrobustendo la parte più debole del primo a circa metà strada tra woofer e tweeter. Si è reso poi necessario realizzare una serie di fori sul pannello posteriore; per i morsetti degli altoparlanti penserete voi...: certo, ma nella foga di effettuare il maggior numero di misure abbiamo continuato a forare il pannello in svariati altri punti; il risultato non ve lo facciamo vedere per profonda vergogna, ma lo spettacolo assomiglia piuttosto ad un campo minato (dopo le varie misure effettuate all'interno i vari fori sono stati otturati con generose quantità di «pongo»); in fig. 1 riportiamo un disegno esplicativo.

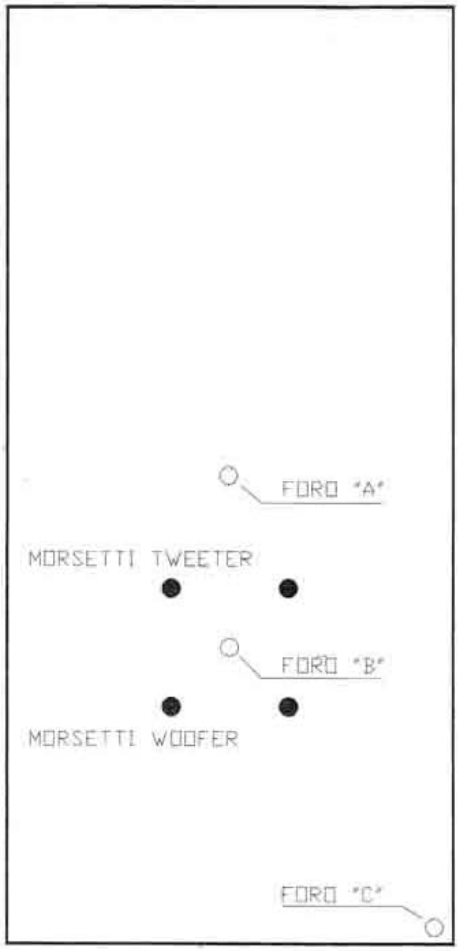

Figura 1 - Pannello posteriore del mobile.

L'assorbente acustico

Il carico acustico costituito da questo mobile privo di assorbente e la sua influenza sui parametri del driver sono già stati trattati nella puntata precedente; siccome i valori da F_s a Q_t raggiunti senza assorbente si allineano già piuttosto bene all'obiettivo che ci prefiggevamo, non sarà necessario riempire il mobile con grosse quantità di materiale; l'intervento dell'assorbente acustico sarà mirato a combattere le colorazioni introdotte dalla geometria del mobile inequivocabilmente messe a fuoco dalla misura di «Decadimento Spettrale» presentata.
Per inciso sottolineiamo che non tratteremo fenomeni di vibrazione e relativo smorzamento delle pareti del mobile; questi, seppur sempre presenti, sono al di là dello scopo di queste puntate e si possono considerare, in prima approssimazione, trascurabili viste le modeste dimensioni del mobile in rapporto ai pannelli di legno utilizzati. Ritornando alla misura di decadimento spettrale già citata questa è stata effettuata introducendo un microfono all'interno del mobile dal foro B (vedi fig. 1); nelle figure 2 e 3 presentiamo altre due misure effettuate con il microfono introdotto nei fori A e C; fermiamoci alle considerazioni più

intuitive che il grafico stesso suggerisce: si tratta di una rappresentazione tridimensionale nella quale viene visualizzata la risposta al tempo zero e successivamente, mediante una opportuna finestra temporale, vengono selezionate porzioni diverse di segnale (nel senso crescente del tempo) e ne viene presentata la relativa risposta; la misura è fatta utilizzando come stimolo un rumore pseudorandom (MLS).

Nel nostro caso vengono fornite molte notizie interessanti; considerando il fatto che fra la pressione acustica rilevata all'interno e quella radiata esistono delle precise relazioni (e torneremo su questo in altra parte dell'articolo) abbiamo ottenuto una corretta risposta sulle basse frequenze mentre (e c'era da aspettarselo!) sulle medie si instaurano le risposte relative ai modi propri del mobile, che sono altamente indesiderate sia per il loro livello relativo che per la loro persistenza nel tempo, superiore a quella

IL SISTEMA CLIO: SOFTWARE DI MISURA

I programmi disponibili, a tutt'oggi, per la scheda di analisi Clio sono due: «Clio - Electrical and Acoustical Tests» e «Speak Test - Speakers Parameters Evaluation».

Clio è il programma che maggiormente caratterizza l'omonimo sistema; vengono rese possibili le seguenti misure:

- Analisi FFT del segnale in ingresso
- Analisi di livello (R.M.S. - Peak - S.P.L.)
- Analisi in regime anecoico (caratterizza il diffusore)
  - Risposta nel tempo
  - Risposta in frequenza
  - ETC
  - Decadimento Spettrale
- Analisi in campo libero (sistema ambiente+diffusore)
  - Risposta a terzi d'ottava
  - Decadimento Spettrale
  - ETC a lungo termine
  - T60 filtrato a ottave
- Analisi in regime sinusoidale
  - Risposta in campo vicino.

Il software permette infine di programmare il generatore: oltre a generare rumore e sinusoidi di qualsiasi frequenza nel campo 5 Hz÷20 kHz è particolarmente interessante la possibilità di generare segnali complessi definiti dall'utente e salvati su file su disco.

«Speak Test» permette di effettuare una misura semi-automatica dei parametri di Thiele-Small dell'altoparlante sotto test; il tempo necessario è, nel peggiore dei casi, di un paio di minuti; la seconda misura è la curva di impedenza in modulo e fase. Ambedue le misure sono effettuate in regime sinusoidale e sfruttano il generatore interno alla scheda.

Audiomatica Srl - Via Faentina, 244/G - 50133 Firenze - Tel. 055/575221.

UN PO' DI TEORIA SULLE MISURE ALL'INTERNO DEL MOBILE

La prima volta che abbiamo effettuato una rilevazione all'interno di un mobile ne siamo rimasti francamente affascinati, sia per la bellezza dei grafici che, con l'utilizzo di un analizzatore digitale, si riuscivano ad ottenere, sia per la straordinaria quantità di informazioni contenuta nelle misure; ci è parso come se ci stessimo avventurando nel meraviglioso mondo di «Oz». I già citati grafici di fig. 2, 3 e 5 appartengono a tale affascinante mondo e saremmo tentati di contemplarli a lungo se il tempo e lo spazio non fossero così avari; poniamo la nostra già provata attenzione, a differenza di quanto fatto in precedenze, sulla risposta al tempo zero per frequenze al di sotto dei 400 Hz: l'andamento è particolarmente regolare anche se poco usuale, i punti caratteristici di questa parte della risposta ricordano però molto da vicino quelli del nostro sistema. E difatti, come spiegato circa vent'anni fa da R.H. Small [1], vi è una relazione molto semplice tra questa risposta e la risposta in campo libero del diffusore; non solo, il metodo di misura all'interno del mobile è stato proposto come valido test delle prestazioni a bassissima frequenza (<200 Hz) di un diffusore senza che si debba ricorrere a misure in camera anecoica (si tenga presente che, con ottima approssimazione, lo spazio interno al mobile non è perturbato dall'ambiente esterno); successivamente, col medesimo intento, D.B. Keele [2] ha proposto il metodo di analisi in campo vicino, del quale abbiamo già parlato nella puntata scorsa.

Il metodo proposto da Keele è evidentemente di più facile applicazione poiché la misura è fatta all'esterno del mobile e dà direttamente la lettura cercata; per questo tale metodo è stato implementato nel software Clio; in talune applicazioni però (dove, per esempio, vi è più di una emissione del mobile come nei reflex) il metodo di Small è preferibile sempre che sia possibile porre il microfono in posizione opportuna.

Vediamo ora di capire il metodo proposto da Small e, con un esempio, facciamo un paragone con l'analisi in campo vicino; tutte le successive misure saranno effettuate con la misura Nearfield di Clio, che permette di stimolare il sistema sotto esame in regime sinusoidale da 20 a 200 Hz.

Facciamo riferimento alla fig. 11 (A); questa misura è stata effettuata con il microfono inserito nel mobile dal foro A e si nota la perfetta corrispondenza con la misura di decadimento spettrale al tempo zero; la fig. 11 (B) mostra invece il diffusore, nelle medesime condizioni, misurato con il microfono a pochi millimetri dal cono del woofer.

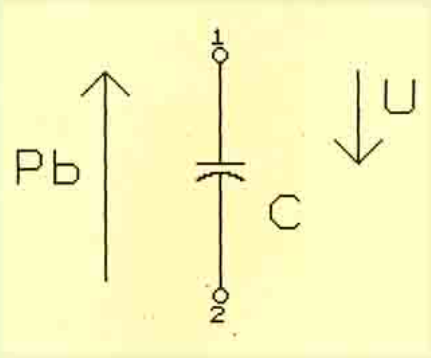

Figura 12 - Circuito acustico equivalente del volume del mobile alle frequenze bassissime.

Per passare dalla prima misura alla seconda è necessario fare del post-processing sui dati acquisiti, cosa che Clio non permette; mi sono quindi armato di buona volontà e ho scritto una routine che implementa il metodo di Small; i risultati sono in fig. 11 (C); si nota l'eccellente accordo tra le due misure.

La teoria infatti dice che, alle frequenze bassissime, il volume del mobile può essere rappresentato da una complianza acustica C ad esso relata da: $C=V/(d*c*c)$ dove V=volume interno, d=densità dell'aria e c=velocità del suono in aria; frequenze bassissime sta, come sottolineato da Beranek [3], per frequenze tali che «la lunghezza d'onda sia più grande di otto volte la più piccola dimensione del mobile»; nel caso del nostro mobile tale campo di validità si estende sino a circa 220 Hz. Non sempre però le cose vanno così bene perché basta salire un po' con il volume che il campo di frequenze utili per questa approssimazione si restringe eccessivamente; in tal caso, come vedremo, si devono applicare delle equalizzazioni, ma il metodo è ancora valido.

In fig. 12 vediamo il circuito acustico descritto dove P_B è la pressione all'interno del mobile e U è la velocità di volume; è semplice trovare la relazione che lega, in condizioni di regime (ad una frequenza f), le due grandezze: $U=(2*\pi*f)P_B*C$.

Nota: U, è infine possibile risalire alla pressione P_r, in un punto del campo libero a distanza r, mediante la relazione: $P_r=(d/r)*f*U$; tutto ciò vale nell'ipotesi, normalmente verificata, che l'ambiente non sia un risuonatore acustico ad elevato Q e che quindi non costituisca un carico acustico, diciamo così, «difficile» per l'altoparlante.

Combinando infine le due espressioni si ottiene che, a meno di una costante, la pressione all'esterno del mobile è legata a quella al suo interno da un fattore proporzionale al quadrato della frequenza: ed è proprio questo che si è fatto per ottenere dal grafico 11 (A) il grafico 11 (C) operando per via numerica sul file salvato da Clio.

Terminiamo accennando alle equalizzazioni da apportarsi nel caso non venga più soddisfatta la condizione prima enunciata perché, per esempio, le dimensioni del mobile sono maggiori; la complianza del mobile verrà corretta da due fattori rappresentati dalla massa dell'aria che carica la parte posteriore della membrana e, in presenza di materiale fonoassorbente, dalle perdite per assorbimento; il circuito acustico completo risulterà quindi un gruppo R-L-C serie la cui risposta determinerà la velocità di volume partendo dalla pressione misurata; la pratica ha dimostrato che considerati questi fattori correttivi è possibile misurare la maggior parte dei diffusori sino a frequenze dell'ordine dei 200 Hz.

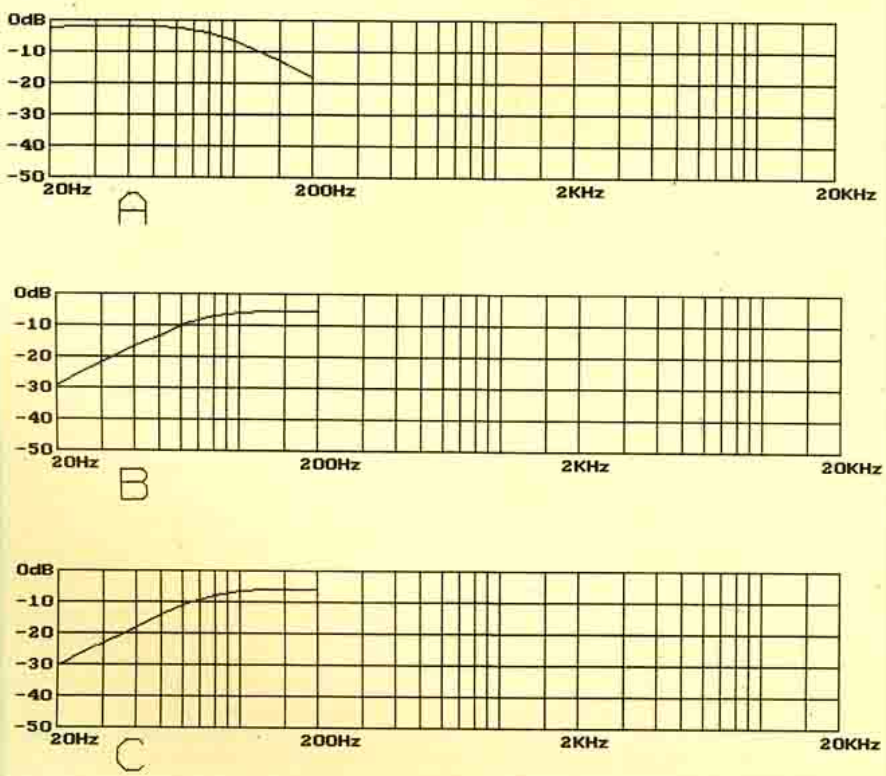

Figura 11 - Metodologie di analisi sulle basse frequenze: A) interno del mobile, B) campo vicino, C) interno del mobile + post-processing.

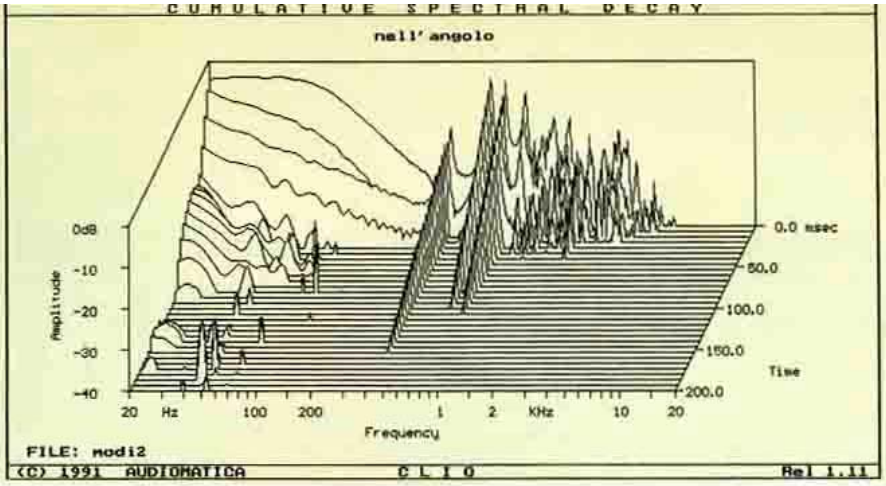

Figura 2 - Decadimento Spettrale all'interno del mobile; senza assorbente, rilevato dal foro A. ▶

dello stesso woofer; queste colorazioni trovano, attraverso la membrana del woofer, un buon passaggio verso l'ascoltatore e cadono, purtroppo, in una zona di estrema sensibilità dell'orecchio (si vedano al proposito le perturbazioni dai 400 Hz in su della risposta in asse pubblicata la puntata scorsa).

Come ulteriore verifica del fenomeno basta armarsi di calcolatrice e scoprire, per esempio, che i modi (0,1,0), (0,0,1) e (0,2,0) corrispondenti alle frequenze proprie di 436 Hz, 718 Hz e 873 Hz sono proprio i primi tre picchi che compaiono nell'andamento della risposta al tempo zero di fig. 2, rilevata nel punto più sensibile alla maggior parte di modi eccitati ovvero lo spigolo del mobile; ancora, è interessante notare come il primo picco (modo (0,1,0) geometricamente relativo all'altezza del mobile) vari in ampiezza da un massimo se rilevato nel punto C (e difatti siamo su di un piano antinodale) per diminuire nella misura in B ed annullarsi in quella in A (e qui siamo su un piano nodale).

Da un diverso punto di vista, la comparsa dei fenomeni descritti è diretta conseguenza del carico acustico visto dal woofer, che alle frequenze medie vede, in mancanza di fenomeni dissipativi come possono essere quelli causati dall'assorbente, una impedenza acustica puramente reattiva, di modulo assai elevato in corrispondenza alle frequenze critiche. Per combattere questi fenomeni si può ricorrere a geometrie del mobile particolari, sia interne che esterne, oppure, per forme regolari si possono foderare tutte le pareti del mobile con uno strato di materiale fonoassorbente; nel nostro caso si è provveduto con dell'assorbente acrilico (23 kg/metro cubo) di 2.5 cm di spessore; le risposte rilevate dopo il trattamento acustico sono in figura 4 e 5; all'interno del mobile i fenomeni sono stati grandemente smorzati (anche se non del tutto) e la risposta sull'asse appare assai più pulita, come del resto la Energy-Time.

Per ora ci possiamo accontentare di aver vinto questa battaglia, considerando che le colorazioni residue non trovano facile via di uscita da una cassa chiusa (attenti a voi, costruttori di reflex) e che le pretese non sono esagerate; certo con ulteriori provvedimenti, a scapito della semplicità costruttiva, si potrebbe fare ancora meglio.

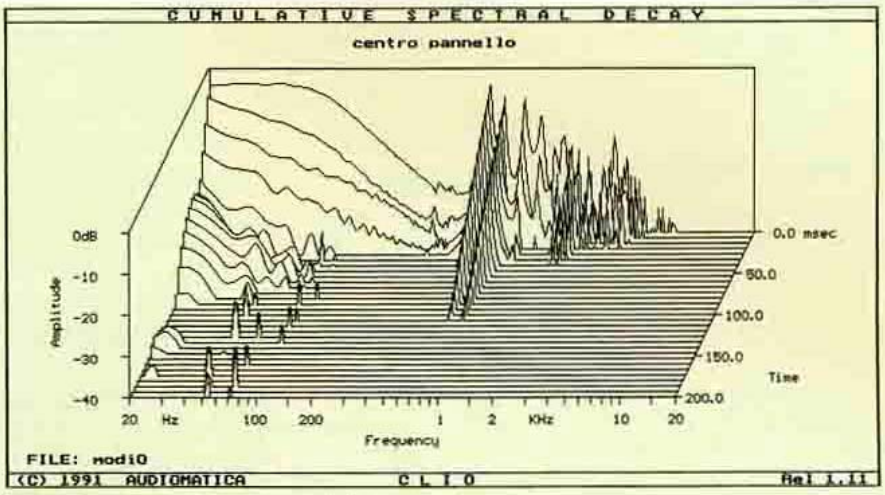

Figura 3 - Come in fig. 2, ma dal foro C.

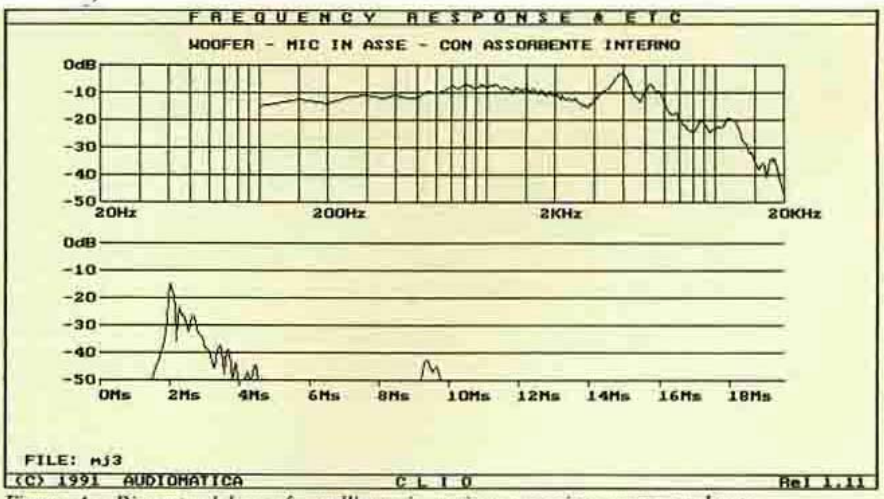

Figura 4 - Risposta del woofer sull'asse in regime anecoico; con assorbente.

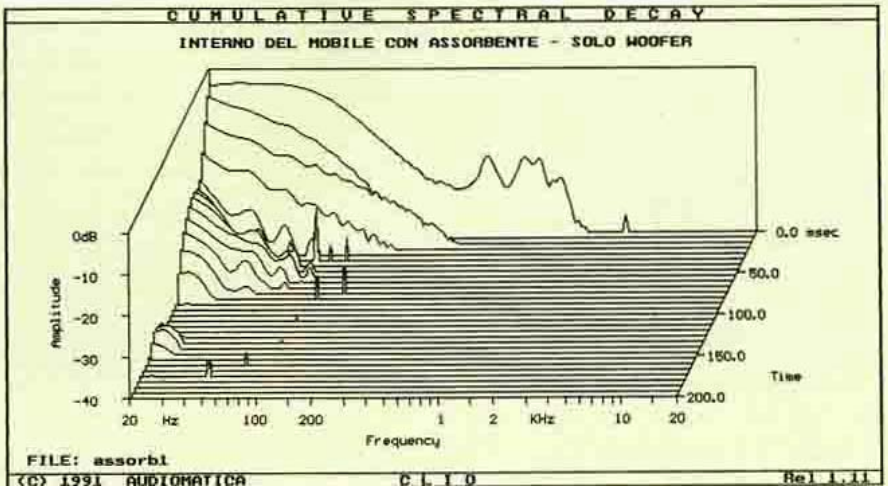

Figura 5 - Come in fig. 3, ma con assorbente interno. ▶

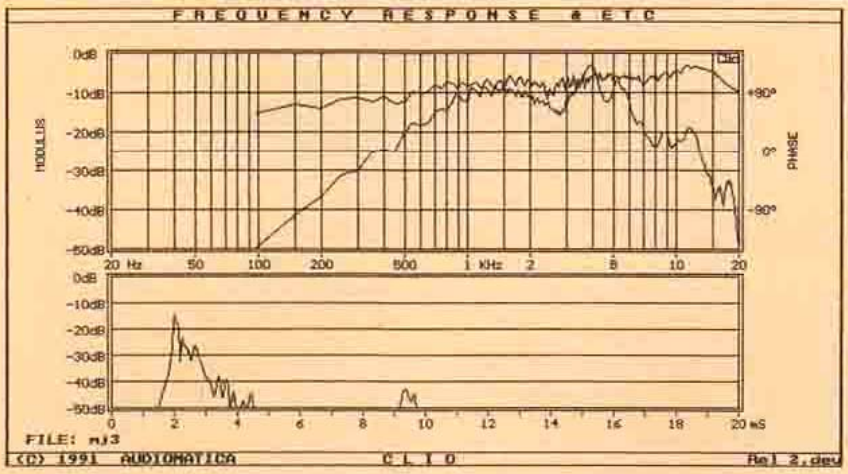

Figura 6 - Risposta dei due altoparlanti senza filtro misurata in asse a 70 cm. La ETC si riferisce al woofer.

Crossover: approccio al problema

Una volta ottimizzato il carico offerto al woofer dalla parte interna della cassa, possiamo passare alla progettazione del filtro. Il programma Cross è assai più avido di informazioni di quanto non lo fosse Bass. Per ottenere una simulazione attendibile è necessario passare i dati in input al programma con accuratezza, ma anche con intelligenza ed una certa dose di creatività. È inoltre importante verificare passo per passo gli effetti di ogni parametro sulla simulazione, piuttosto che fossilizzarsi sulle cifre decimali. Quanto detto è conseguente ad una scelta di progetto che, ahimé, non è più possibile rimandare: la frequenza di ta-

MISURE DI DISTORSIONE SU ALTOPARLANTI

Con Clio è possibile generale sinusoidi, o qualsiasi tipo di segnale in banda audio, nonché eseguire su questo analisi FFT. Inoltre, poiché generazione e acquisizione sono agganciate allo stesso clock è facile generare frequenze che cadano esattamente su una riga spettrale, così da evitare l'uso di finestre temporali. Tutti gli utilizzatori quindi sono in grado di stimolare l'altoparlante e verificare cosa questo si è «inventato».

I limiti di questa metodologia sono legati al livello di misura, alla larghezza di banda dell'analisi, alla risoluzione a bassa frequenza, nonché ad altri problemi trattati in modo ampio al rif. [7]. Con lo scopo di verificare in modo più approfondito la possibilità di mantenere bassa la frequenza di incrocio, superando i limiti sopracitati, abbiamo scritto apposite routine per eseguire una misura di intermodulazione in regime transitorio. Trattasi di un'analisi spettrale eseguita pilotando gli altoparlanti con burst di 100 mS, ripetuti ogni 500 mS, di un segnale composto da due toni sinusoidali a 1,8 e 2,2 kHz.

L'analisi viene fatta sulla parte del burst compresa tra 50 e 60 mS. Il livello del segnale ai morsetti è di 12,5 V_{EFF} pari ad una potenza equivalente di circa 20 W su 8 ohm. È bene far notare che, poiché le sinusoidi sono a frequenze diverse, il fattore di cresta del segnale è doppio rispetto a quello di una singola sinusoide. Questo significa che l'amplificatore deve essere in grado di erogare una tensione picco picco di circa 50 V pari a quella necessaria ed erogare 40 watt su 8 ohm con un segnale sinusoidale puro.

Veniamo finalmente a commentare i grafici della fig. 7.

Diciamo subito che le spurie intorno alle fondamentali del segnale sono dovute al fatto che la misura è stata eseguita in campo riverberato.

L'uso della finestra di Hanning migliorava notevolmente la situazione, ma ci sono sembrati perfettamente leggibili anche così. Il responso è che non c'è aumento di distorsione passando dal woofer al tweeter. Se poi consideriamo che il tweeter, in base al grafico di fig. 7 (B), dovrà essere attenuato di almeno un paio di deciBel, ne deduciamo che la scelta di una frequenza di taglio relativamente bassa è praticabile. Gli attuali utilizzatori di Clio non disperino per il fatto che attualmente non possono fare questo tipo di misure: tutto il software è stato sviluppato partendo da casi particolari e cercando, successivamente, di dare al tutto una forma organica e fruibile.

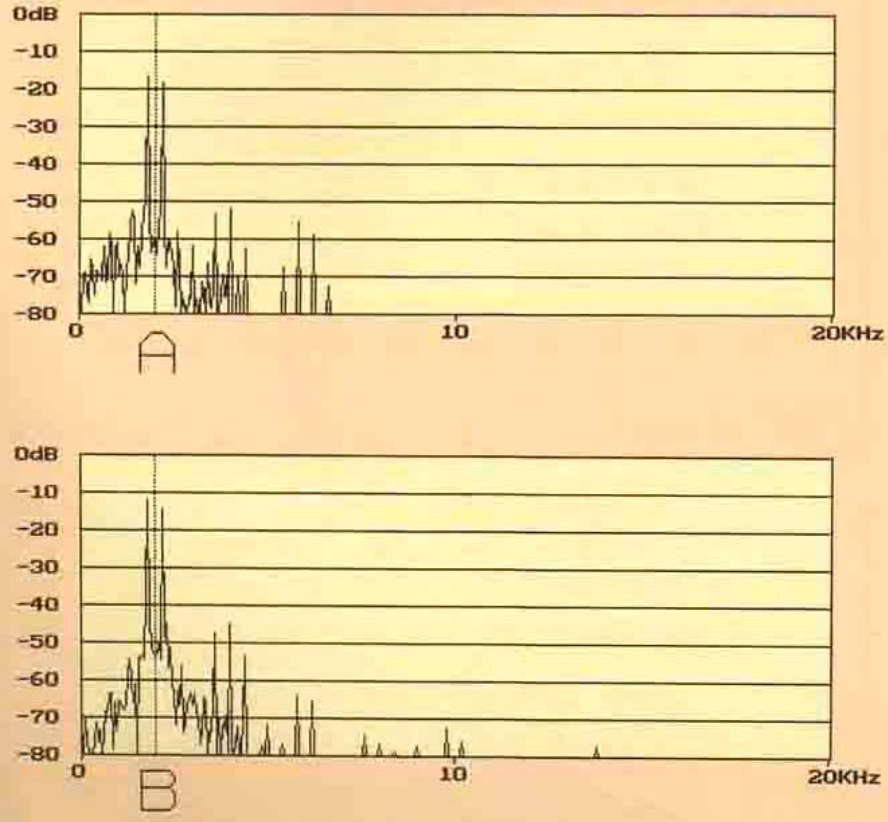

Figura 7 - Spettro di intermodulazione in regime transitorio. A woofer, B tweeter.

glio. Le considerazioni da fare sono molte, ma è bene ricordarsi che stiamo cercando di costruire una cassa, non di disquisire all'infinito. Partiamo quindi dal grafico di fig. 6 dove vediamo le risposte dei nostri due altoparlanti con microfono ad una distanza di 70 cm dal centro, rispettivamente, di woofer e tweeter. Le due misure sono state ovviamente eseguite mantenendo costanti la tensione ai morsetti e la distanza del microfono, in modo da avere informazioni circa la differenza di sensibilità. Il tweeter si caratterizza per una emissione estremamente regolare, molto estesa lato basse frequenze, particolarmente facile da simulare con Cross. Riguardo al woofer, le cose vanno assai meno bene, per quanto riguarda la simulazione. Per questo, e per la notevole capacità di scendere in frequenza del tweeter, optiamo per una frequenza di taglio leggermente inferiore a 2 kHz, dichiarata possibile dalla Vifa addirittura con un filtro del primo ordine per potenze fino a 50 watt. Peraltro, in diffusori per uso casalingo, per di più autocostruiti e cioè usati da persone con un minimo di competenza e buon senso, l'affidabilità non è probabilmente il parametro risolutivo. Nella nostra esperienza poi, i tweeter si bruciano proprio quando pilotati da amplificatori di potenza modesta usati in pesante saturazione e in questo caso una frequenza di taglio più alta non aiuterebbe comunque molto. Per non avere sorprese dal punto di vista timbrico invece, abbiamo ritenuto opportuno eseguire le misure che potete vedere in fig. 7 e commentate in un apposito incorniciato. Prima di occuparci della risposta acustica provvederemo a mettere Cross in grado di simulare, con buona approssimazione, l'impedenza degli altoparlanti. Si deve operare per approssimazioni successive concentrandosi sulla zona di incrocio; detta zona è intesa da un'ottava sotto ad un'ottava e mezzo sopra il taglio per il woofer, il contrario per il tweeter. In pratica si tratta di passare, così come sono stati forniti da Speaktest e riportati in fig. 8 i parametri a Cross, ad eccezione del valore di L_E dell'altoparlante che,

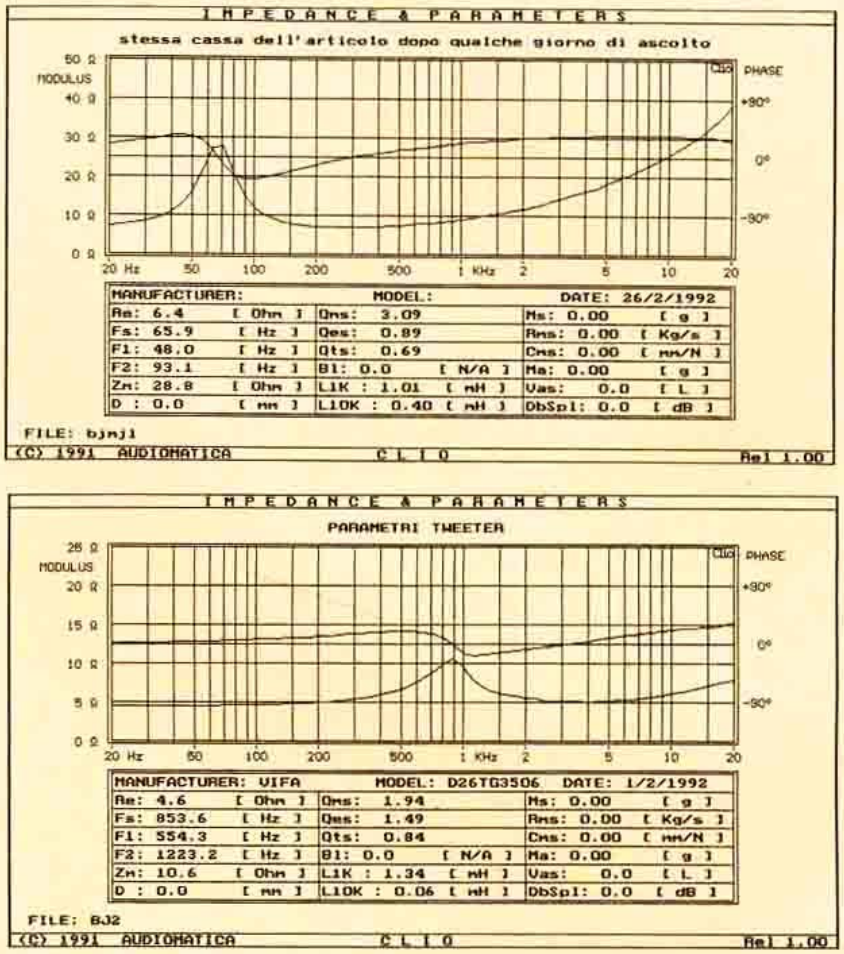

Figura 8 - Parametri e curva di impedenza misurati sulla cassa.

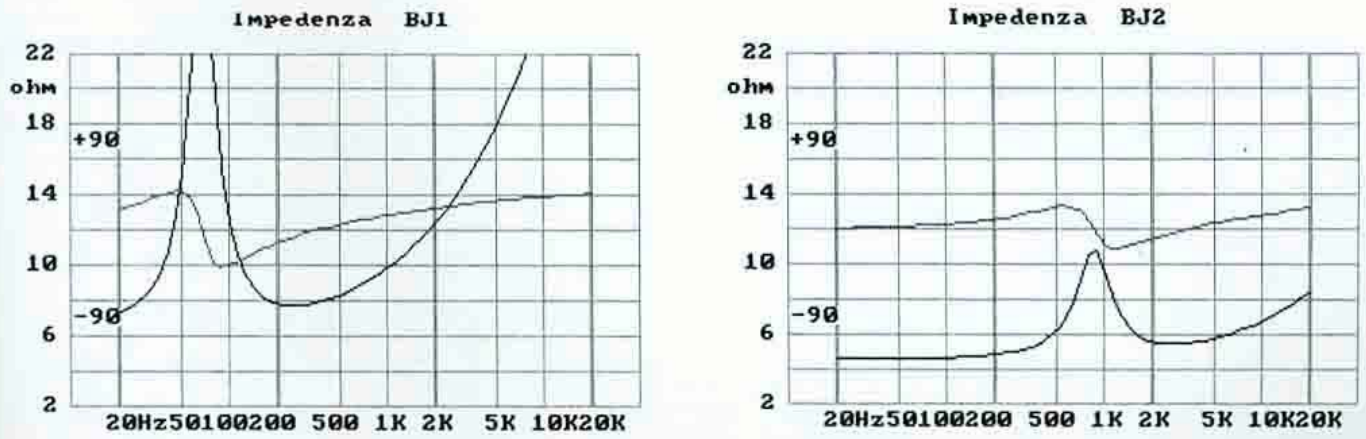

Figura 9 - Curve di impedenza dei singoli altoparlanti simulate da Cross.

partendo dal dato fornito a 1 kHz per il woofer, a 10 kHz per il tweeter, deve essere aggiustato fino ad ottenere buona corrispondenza tra curve misurate e simulate. Attenzione: la curva della fase merita la stessa attenzione di quella del modulo. La simulazione di impedenza di Cross con i parametri degli altoparlanti

Figura 10 Risposta acustica dei due altoparlanti simulata da Cross, e parametri degli altoparlanti.

RISPOSTA IN CAMPO ANECOICO SIMULATO

Nel corso degli ultimi venticinque anni molti ricercatori si sono preoccupati, talvolta con obiettivi diversi da questo, di trovare il modo di ricostruire la risposta in campo libero di una sorgente acustica eseguendo la misura in campo riverberato. Diverse metodologie sono state messe a punto nel corso degli anni, ognuna con i propri vantaggi ma tutte con lo stesso limite, e cioè la stretta dipendenza tra dimensioni fisiche del locale in cui si esegue la misura ed attendibilità lato basse frequenze della stessa. In altri termini, ma sempre mantenendosi sul discorsivo, il limite è posto dal tempo che intercorre tra il primo arrivo di energia al microfono e l'arrivo delle prime riflessioni. La ricostruzione della risposta all'impulso del sistema via cross-correlazione di una sequenza MLS o tramite l'uso dell'impulso stesso, non fa eccezione e si incorre nei limiti sopracitati. Nel caso della sequenza MLS poi, alcune precauzioni devono essere prese riguardo alla lunghezza della sequenza da impiegare. Quest'ultima considerazione necessiterebbe, per essere svolta in modo esaustivo, di un articolo intero e rimandiamo quindi i più insonni alla bibliografia. Ci limitiamo qui a dire che parametri fondamentali sono il tempo di riverbero dell'ambiente e la risoluzione dinamica del sistema di misura. Detto questo, veniamo ad alcuni consigli pratici per effettuare misure in ambienti domestici. Intanto una precisazione: se non si hanno a disposizione almeno 2,7 metri di dimensione minima è bene scegliere un altro ambiente. Inoltre occore aver ben chiara la relazione tra tempo e frequenza. Con 5 mS di tempo tra primo arrivo di energia e prima riflessione, la frequenza inferiore di validità della misura sarà di 1/0,005 cioè circa 200 Hz. Aiutandoci con la fig. 13 consideriamo il caso pratico, quasi sempre verificato, che la dimensione minima sia l'altezza dell'ambiente. Dopo aver messo su il set di misura al centro del locale, così da mantenere la massima distanza possibile dalle pareti laterali, poniamo microfono ed altoparlante ad un'altezza di 1,2 m dal pavimento ad una distanza reciproca di 0,7 m. Con qualche semplice calcoletto siamo in grado di prevedere che il primo arrivo di energia arriverà al microfono dopo 2 mS, mentre la prima riflessione dopo 7,26 mS. Il porre del materiale fonoassorbente come indicato in figura contribuirà in modo più o meno efficace a seconda del range di frequenza in questione e del tipo di materiale usato. Le figg. 14 e 15 mostrano il caso reale, usando il tweeter della nostra cassa, rispettivamente con assorbente sul pavimento e senza. Si consideri a questo punto che una riflessione a −20 dB rispetto all'emissione principale produrrà un'oscillazione del modulo della risposta di +0,82/−0,91 dB cioè un paio di deciBel in totale. A conferma di questo si può notare come tra le due risposte in frequenza vi siano differenze trascurabili. Un'ultima avvertenza: mentre è facile rendersi conto di riflessioni indesiderate ben distanti dall'emissione principale, assai più insidiose sono le riflessioni e diffrazioni dovute alla geometria del pannello, ad altoparlanti non montati a filo e, più che mai, all'asta porta microfono. Tutti questi contributi sono in genere contenuti nell'emissione principale e possono essere di ampiezza anche notevole. A questo proposito consigliamo caldamente di leggere o rileggere la serie di articoli del rif. [6] viste anche la competenza dell'autore e la chiarezza di esposizione.

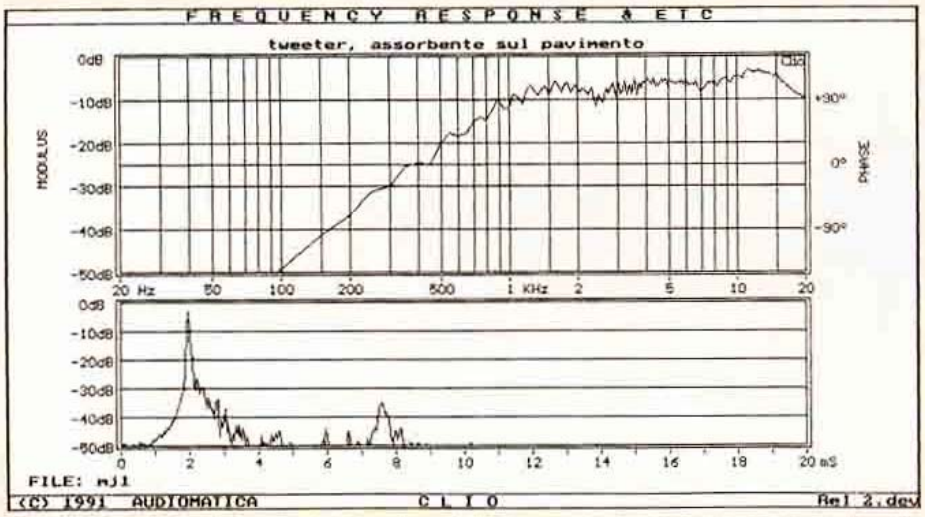

Figura 14 - Risposta reale del tweeter ed ETC per posizionamento come in fig. 13. Assorbente sul pavimento.

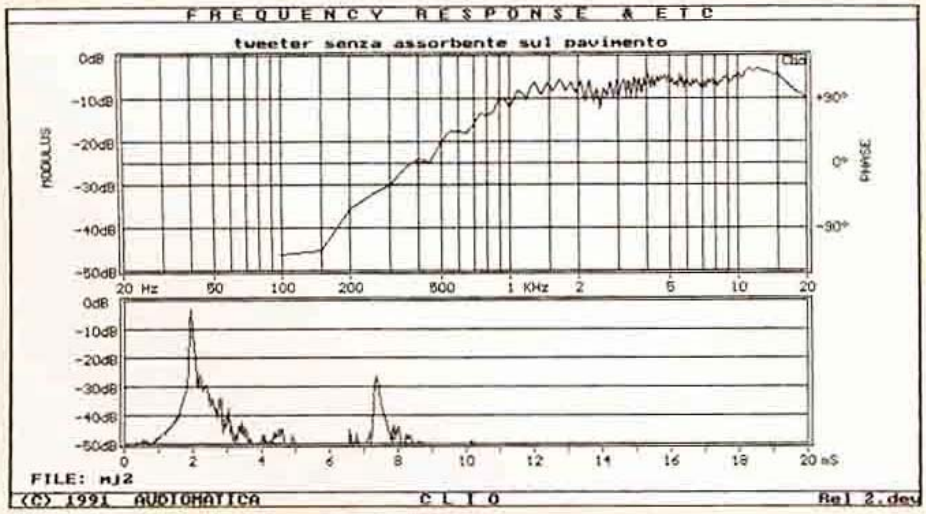

Figura 15 - Come fig. 14 senza assorbente.

Altoparlanti Sistema : BJ3

Woofer : CIARE 160.25W8
Tweeter : VIFA D26TG-35-06
Midrange :

Parametri	Woofer	Tweeter	Midrange
Re [ohm]	6.4	4.6	0
Le [mH]	1.2	.08	.15
fs [Hz]	67	853	783
Qt	.7	.84	.78
Qm	3.21	1.94	3.9
fa [Hz]	4500	15000	9500
Qa	1.5	1.2	1
dB	90	92	90
dB/Ott	0.0	.2	0
Diam.[mm]	130	25	1

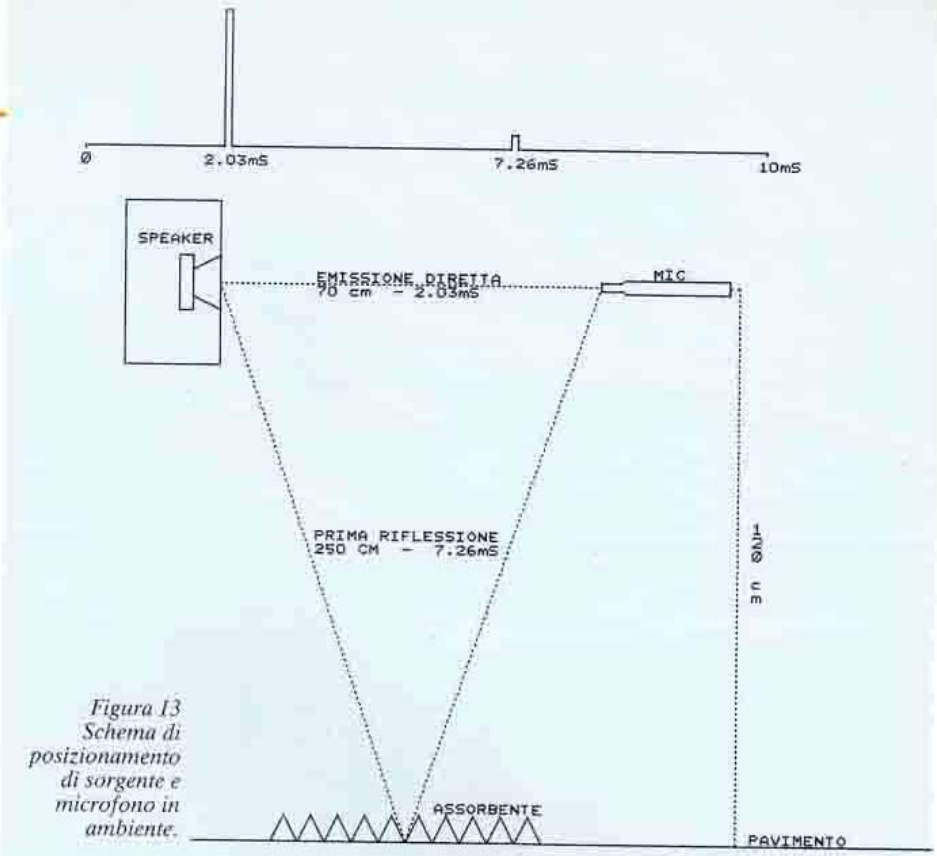

Figura 13 Schema di posizionamento di sorgente e microfono in ambiente.

forniti la potete vedere in fig. 9. Veniamo ai parametri per la simulazione acustica. Riguardo al tweeter, questo sembra fatto apposta per essere simulato con Cross; la possibilità di avere una funzione passa-basso con Q regolabile anche per la via alta, ottima aggiunta dell'ultima release, ci permette di tenere nel dovuto conto l'esaltazione della risposta intorno ai 13 kHz. Più complicato simulare acusticamente il woofer, soprattutto a causa del buco a circa 2,8 kHz che precede il primo break-up della membrana. Abbiamo cercato di fare del nostro meglio e i parametri sono quelli della già citata fig. 9. Nella fig. 10 possiamo vedere le simulazioni acustiche di Cross. Terminiamo qui, lasciando a voi un mese per digerire questa pesantissima puntata mentre noi continueremo ad ascoltare le casse fino a definire la versione definitiva del filtro. La prossima volta oltre che terminare il progetto, mettendo i più sconsiderati in grado di realizzare la cassa, parleremo della collocazione in ambiente e di alcune misure utili a posizionare in modo corretto i diffusori, compatibilmente con le idee della consorte, che comunque, ve lo possiamo assicurare, non terrà in alcun conto qualsiasi grafico possiate presentarle.

BIBLIOGRAFIA

[1] Richard H. Small, «Simplified loudspeaker measurements at low frequencies», J. Audio Eng. Soc. (1972 Jan/Feb).
[2] D.B. Keele Jr., «Low-frequency loudspeaker assessment by nearfield sound-pressure measurement» J. Audio Eng. Soc. (1974 April).
[3] L.L. Beranek, «Acoustics» (McGraw-Hill, New York, 1954).
[4] J.M. Berman and L.R. Fincham, «The Application of Digital Techniques to the Measurement of Loudspeaker» J.A.E.S. Vol. 25 (1977 June).
[5] D.D. Rife and J. Vanderkooy, «Transfer Function Measurement with Maximum-Lenght Sequences» J.A.E.S., Vol. 37 (1939 June).
[6] C. Zuccatti, «Riproduzione ed ascolto dei suoni» parte 3, AUDIOREVIEW, n. 92 (marzo 1990).
[7] R. Giussani e P. Nuti, «MIL Maximum Input Level livello massimo di ingresso dei sistemi di altoparlanti», AUDIOREVIEW, n. 18 (giugno 1983).