PROGETTO E VERIFICA DI UN DIFFUSORE CON AUSILIO DI PERSONAL COMPUTER

di Mauro Bigi e Maurizio Jacchia

«E fin qui niente di nuovo...» penserà l'assiduo lettore leggendo l'indice della rivista.
E difatti non descriveremo quasi niente che non sia già stato ampiamente trattato sulle pagine di AUDIOREVIEW; tutti ricordiamo ottimi articoli che ci hanno raccontato come sia possibile, avendo a disposizione singoli altoparlanti e una buona quantità di un legno decente (o altro materiale rigido), partire da una misura preliminare dei componenti e dalle specifiche di progetto ed arrivare ad una simulazione del comportamento di ciò che si vuol realizzare; successivamente (dopo una certa quantità di lavoro manuale), mediante ulteriori misure, verificare gli assunti iniziali sino ad arrivare a rilevare il comportamento in ambiente e... dulcis in fundo deliziare le orecchie degli amici audiofili riuniti per celebrare cotanta occasione.
Il fatto è che redigere tali articoli era, nella maggior parte dei casi, alla portata solo di professionisti con alle spalle attrezzature piuttosto costose che permettevano loro di effettuare le misure del caso; purtroppo la fase della verifica, elemento essenziale di qualsiasi progetto che si voglia ritenere compiuto, era ed è negata alla maggior parte degli autocostruttori.

Essi, già oberati dal costo dei singoli componenti, affrontano di buon grado l'acquisto di un PC (giustificabile, a differenza di un altoparlante o di tonnellate di legno grezzo, anche per altri scopi... con buona pace della consorte!) ma difficilmente riescono ad affrontare l'acquisto di analizzatori o strumentazione atta ad effettuare misure in campo elettroacustico; con l'ausilio di ottimi programmi, vedi Bass e Cross, il progetto del diffusore «fatto da sé» si ferma sempre, ahimé, alla fase della simulazione dalla quale si compie inevitabilmente il grande salto nel «regno degli ascolti»; qui emergono i più smaliziati che riescono ad infilarsi «sandali e tunica» e, mentre l'amico fidato incensa l'ambiente, con poche scaltre manovre aggiustano «in loco» le manchevolezze più evidenti del sistema e creano l'atmosfera giusta per il miglior risultato sonoro del loro «gioiello»: la realtà è ciononostante afflitta da componenti ai limiti delle tolleranze, diffrazioni alle varie discontinuità dei mobili, corpose onde stazionarie, cristalleria o quant'altro che «suona» per simpatia etc. etc.
Ciò che distinguerà questo articolo da quelli prima ricordati è che tutte le misure fatte a verifica di quanto supposto sono state rese possibili da una scheda per PC, regolarmente in commercio, e da un software ad hoc dal costo molto contenuto.
Lo stato di fatto che vedeva i volenterosi autocostruttori nei panni di artisti diciamo «un po' incompiuti» sembra che debba finalmente volgere ad un termine.

Linee generali

La realizzazione che andiamo a presentare, considerata anche la costante crescita di contenuti tecnico-progettuali di ciò che è comparso recentemente sulla rivista, potrà sembrare a molti perlomeno senza pretese. Si tratta infatti di una cassa due vie, di 17 litri, che utilizza componenti dall'ottimo rapporto qualità/prezzo ma economici in assoluto, in

EVOLUZIONE DEI SISTEMI DI ANALISI SU DIFFUSORI

Da pochi anni ciò che sembrava sogno sta diventando realtà; ancora nella seconda metà degli anni Ottanta chi voleva eseguire misure su diffusori sapeva bene che, per esempio, il fornitissimo Master Catalogue della Bruel & Kyaer consigliava, nella implementazione della metodologia TDS proposta da Heyser, di munirsi della Contro Unit per TDS modello 5842 più un sistema, che per brevità non riesco completamente ad elencare, composto da altri 9 (nove!) strumenti: dal microfono all'analizzatore FFT, dal fasometro al plotter; per l'acquisto di un tale sistema forse le decine di milioni non erano sufficienti.
L'altra implementazione commerciale di un analizzatore TDS ovvero il TEF della Techron si attestava nella fascia delle decine di milioni.
Il problema non era tanto accostarsi a tali sistemi allo stato dell'arte ma rompere quella barriera di prezzo e rendere possibile un limitato ma soddisfacente set di misure su diffusori e sul sistema ambiente+diffusori ad un prezzo contenuto.
Negli ultimi due-tre anni è apparso chiaro che la strada vincente era quella di utilizzare la sempre maggiore potenza di calcolo dei personal computer affiancandogli un front-end verso il mondo elettroacustico alloggiato su di una scheda inseribile in uno slot di espansione.
Gli esempi di tali realizzazioni non mancano: dal sistema «SYSID» della Ariel Corporation, caratterizzato da una dinamica di 16 bit e dall'uso di DSP, al sistema «MLSSA» della DRA Laboratories, il primo ad implementare la metodologia MLS ed a raggiungere una buona diffusione tra gli addetti ai lavori.
Il sistema CLIO, presentato a Parigi nel febbraio 1991 in occasione della scorsa AES Convention, è stato il primo a raggiungere un costo alla portata degli autocostruttori più evoluti.

AUDIOMATICA

Audiomatica, la piccola e dinamica azienda fiorentina di cui facciamo parte, opera dal 1983 nel settore audio professionale. Assieme a noi, in tutti i progetti, ricordiamo la fondamentale opera di Maurizio Puggioni.
Il prodotto Audiomatica più noto è il sistema di «Automazione per banchi di missaggio» EVAMIX che è stato installato in quasi un centinaio di studi di registrazione italiani e alcuni esteri; tra gli altri prodotti l'equalizzatore parametrico computerizzato «ANGIE» ed il pannello MIDI di controllo «CONTACT».

sospensione pneumatica.
Questa volta però l'approccio è un po' diverso dal solito: ci prefiggiamo infatti di utilizzare i programmi Bass e Cross partendo sempre da parametri misurati; ampio risalto verrà dato al confronto simulazione-verifica strumentale. Procedendo, è possibile che le cose non risultino poi così semplici come sembrano; alcuni accorgimenti ed il modo di procedere inoltre, saranno applicabili anche a realizzazioni più complesse.

Gli altoparlanti

La scelta è caduta sul woofer da 160 mm M 160.25 della italiana Ciare e su un tweeter a cupola da un pollice della Vifa, il D26TG 35 06, smorzato con olio minerale. Oltre a criteri di costo e prestazioni, una certa importanza è stata data alla disponibilità di dati tecnici chiari per entrambi i componenti. Il fatto di poter effettuare misure dirette sul componente non significa che si possa fare a meno delle specifiche del costruttore: ogni misura assume validità assai maggiore se può essere confrontata con altre.
E a questo proposito sia la Ciare che la Vifa devono essere prese ad esempio da molti altri costruttori su come si fa a documentare i propri prodotti.
Entrambi gli altoparlanti sono poi già stati utilizzati e assai ben descritti, in progetti diversi, su AR n. 101 da Bruno Ragionieri e Gianluca Ruggerini il che ci permette di sfruttare l'altrui esperienza.

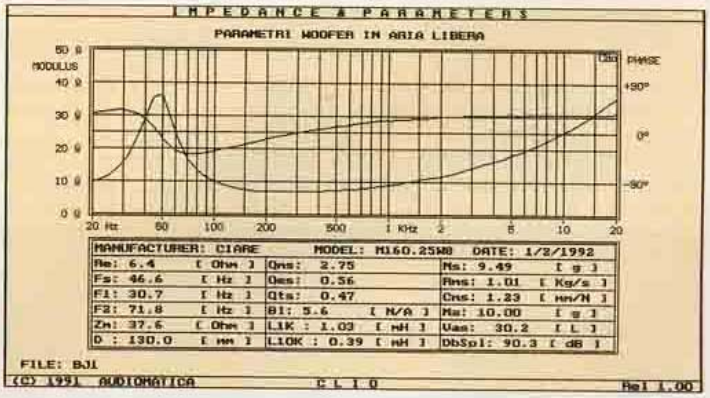
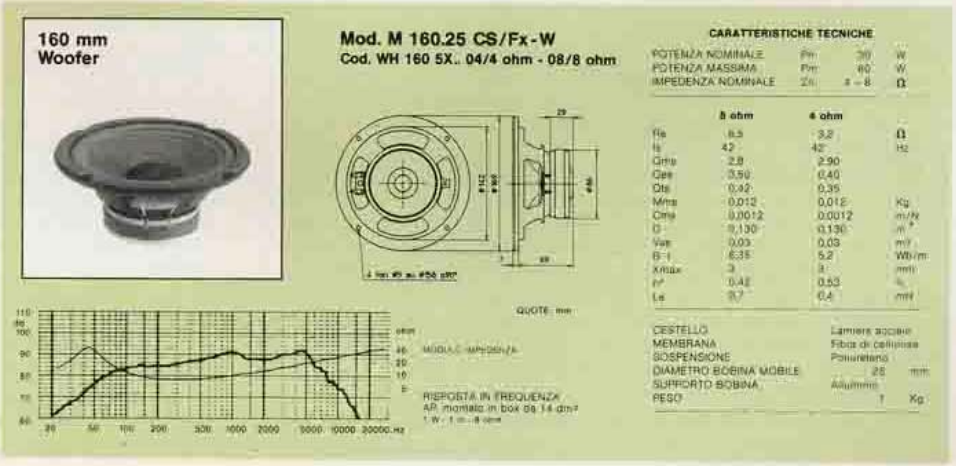
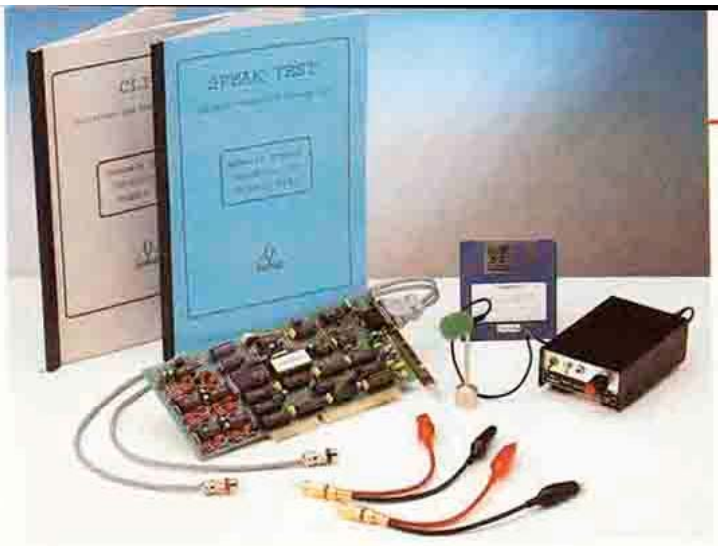


Figura 1 Parametri caratteristici del woofer Ciare M 160.25 forniti dal costruttore e misurati da CLIO.





Assieme alla scheda vengono forniti i manuali necessari al suo funzionamento, il dischetto contenente il programma e la cavetteria necessaria. Nella foto sono inoltre presenti il microfono Neitrik con il relativo amplificatore, che vengono forniti su richiesta.

Procediamo

Dopo la consueta mezz'ora passata «pallottando» gli altoparlanti fra le mani per prenderci confidenza passiamo a rilevare i parametri del woofer. Due parole riguardo la rilevazioni dei parametri di Thiele-Small è bene spenderle. Operare manualmente è piuttosto noioso; il poter disporre di un metodo di rilevazione semi-automatico può facilmente portare l'operatore a disinteressarsi di ciò che sta succedendo e questo potrebbe

DATI SISTEMA IN CASSA CHIUSA

```
==============================================================
Progetto......:BJ.PGT                    Data..........:
Numero........: 1                        Firma.........:
--------------------------------------------------------------
Altoparlante..:CIARE M160.25W8
Configurazione:SINGOLO/
--------------------------------------------------------------
=============CASSA CHIUSA===========VUOTA== =ASSORB.=
Volume                    [dmc] Vc :   17.00      17.00
Frequenza di risonanza    [Hz] Fc :   77.68      67.00
Frequenza a -3 dB         [Hz] F-3:    0.00       0.00
Fattore di merito totale       Qtc:    0.78       0.58
Fattore di merito elettrico    Qec:    0.94       0.82
Fattore di merito meccanico    Qmc:    4.58       1.99
Livello con 2.83 V/1m     [dB spl]:   90.24      90.24
--------------------------------------------- ---------
Frequenza max escursione [Hz] Fxm:   40.00      40.00
Massima escursione cono  [mm] Xmx:    9.90      10.80
============================================ =========

===============SISTEMA================
Massa  agg. x altop.  [g] Ma  :   0.00
Resist.agg. x altop.  [Ω] Ra  :   0.00
Potenza istallata [W/8 Ω] Pmax:  40.00
Limite inf.progr.mus.[Hz] Flm :  40.00
=======================================
--------------------------------------------------------------
Note :
```

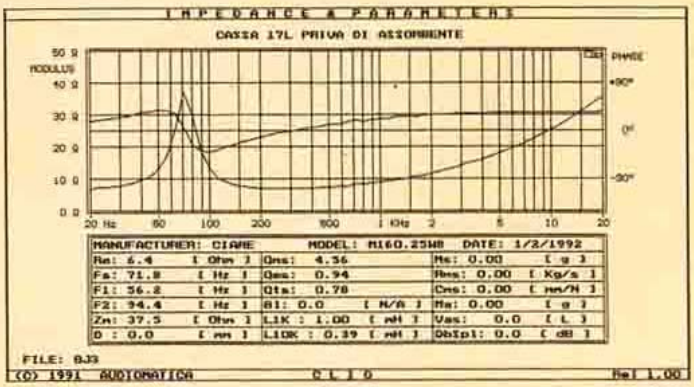


Figura 2 - Woofer montato in cassa chiusa senza assorbente: simulazione di Bass 30 e misura ai morsetti.

BREVI CENNI DI TEORIA

Non è impresa facile anche solo accennare ai problemi di acustica, di analisi ed elaborazione numerica dei segnali che fanno da base al funzionamento di CLIO.
Sicuramente meglio trattati da altri articoli oppure oggetto di future digressioni con specifico riferimento al nostro sistema tralasciamo, per ora, i vari argomenti di acustica (analisi ambientale, tempi di riverbero, etc.) nonché di analisi dei segnali (trasformata di Fourier, misure in regime sinusoidale, etc.) per addentrarci un attimo in quella che è la caratteristica essenziale di CLIO: la possibilità, disponendo di un generatore programmabile, di essere, sotto talune ipotesi, assimilabile ad un analizzatore bicanale e, in particolare, di eseguire misure impulsive della funzione di trasferimento del sistema sotto test.
Il problema di caratterizzare il comportamento di un sistema lineare viene risolto da CLIO misurando o ricostruendo la risposta impulsiva e da questa, tramite trasformazione di Fourier, ottenendo la funzione di trasferimento. Il nocciolo della questione è quindi arrivare alla risposta impulsiva del sistema; il metodo più semplice e come tale anche il primo ad essere stato implementato consiste nello stimolare il sistema con un impulso e misurare direttamente la risposta impulsiva.
Attenzione comunque a capire e definire bene quale è il sistema sotto test; in un sistema acustico reale (altoparlante-ambiente-microfono) l'interazione tra le varie componenti può risultare utile o dannosa a seconda della misura che si sta effettuando; per esempio volendo misurare l'altoparlante si dovrà considerare soltanto la sola misura del primo arrivo di energia al microfono poiché tutti i successivi, dovuti alle riflessioni sulle pareti, saranno utili solo per caratterizzare l'ambiente; si capisce come sia importante il «tempismo» con il quale si effettua la misura; l'utente deve imparare ad utilizzare varie «finestre temporali» che permettono al sistema di catturare solo quella parte del segnale captato dal microfono che interessa.
L'impulso, per sua natura, è purtroppo un segnale assai scomodo da utilizzare; l'elevato fattore di cresta e di conseguenza la scarsa energia trasmessa al sistema non permettono di ottenere, se non in situazioni particolari, un rapporto segnale disturbo soddisfacente.
Già da un paio di decenni sono stati proposti vari metodi per superare le limitazioni imposte dall'impulso; gli stimoli giudicati più adatti richiedevano però al sistema che venisse effettuato del post-processing sul segnale acquisito perché si potesse ricostruire la risposta all'impulso; la pesantezza dei calcoli ha richiesto lo sviluppo di algoritmi particolarmente efficienti e l'utilizzo di personal computer che sono stati disponibili, ad un prezzo adeguato, solo negli ultimi due-tre anni.
CLIO implementa uno stimolo detto MLS (inglese per «sequenza di massima lunghezza») che ha le caratteristiche del rumore bianco pur essendo un segnale deterministico e perfettamente ripetibile: un rumore che non è un rumore! Un segnale MLS è una sequenza binaria di determinata lunghezza; viene generata per via numerica o tramite dei registri a scorrimento ed è normalmente utilizzata nei generatori digitali di rumore; per i nostri scopi è sufficiente ricordare la proprietà che l'autocorrelazione di una sequenza MLS è, a meno di un piccolo errore in DC, un impulso perfetto. Facendo riferimento alla fig. 5 è intuibile, senza per ora scendere nei dettagli, come sia possibile, sfruttando la proprietà ora enunciata, ricostruire la risposta all'impulso tramite la cross-correlazione della risposta del sistema ad un rumore MLS con la sequenza MLS stessa (ovvero lo stimolo).
Rispetto all'impulso i vantaggi sono evidenti: essendo la sequenza MLS praticamente un rumore bianco presenta un fattore di cresta più contenuto e permette di trasferire al sistema tanta più energia quanta è la lunghezza della sequenza stessa e corrispondentemente migliora il rapporto segnale disturbo della misura. I risultati ottenuti fanno ritenere che gli analizzatori MLS permettano prestazioni analoghe ai migliori analizzatori FFT bicanali o ai sistemi TDS.

Montata all'interno del computer la scheda Audiomatica presenta l'aspetto di una qualsiasi scheda per Pc di dimensioni comprese tra la half-size e la full-size. Non entrerà quindi nei particolari dotati di slot per schede corte.

essere un grosso errore: le procedure automatiche funzionano bene se l'operatore ha dimestichezza con ciò che sta succedendo e su AR l'argomento è stato trattato in modo più che esaustivo. Il programma «SPEAK TEST» mostra sempre, insieme ai parametri, la curva di impedenza dalla quale si può già dedurre se tutto sta andando bene. Il ripetere più volte la misura per controllare se i risultati sono congruenti con i precedenti è buona norma soprattutto se l'altoparlante è del tutto sconosciuto. Sia la misura della R_E, che va eseguita con un tester e passata in input al programma, che l'intera rilevazione devono essere eseguite in condizioni di basso rumore ambientale. La massa aggiunta deve essere posta in vicinanza dell'attacco tra bobina e cono; durante la misura questa deve rimanere ben attaccata all'altoparlante, il che avviene sia usando una modestissima quantità di biadesivo sia, se la superficie di appoggio è sufficientemente grande, usando pesi legger-

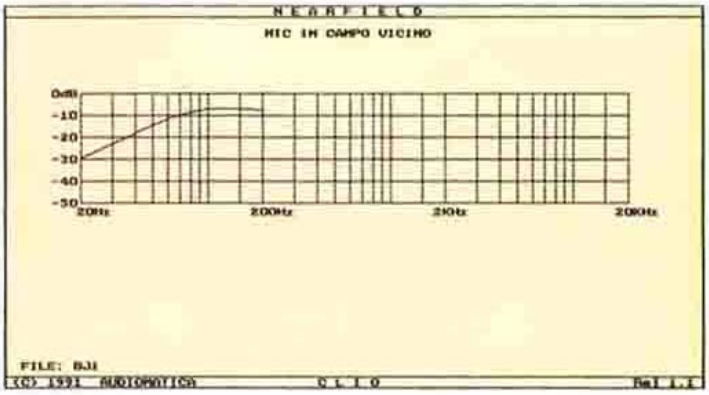
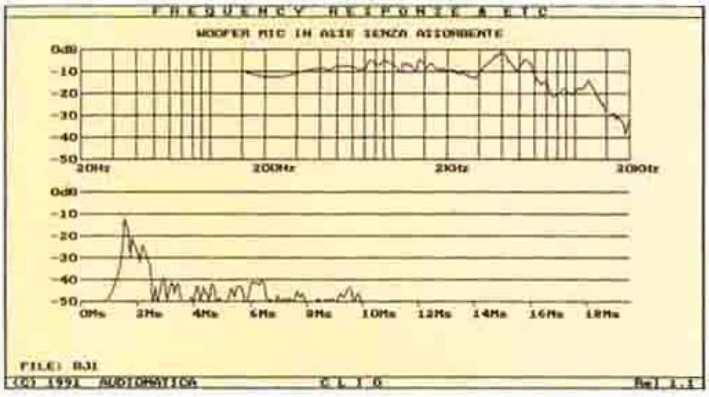


Figura 3 Risposta del woofer 20÷200 Hz misurata in campo vicino.



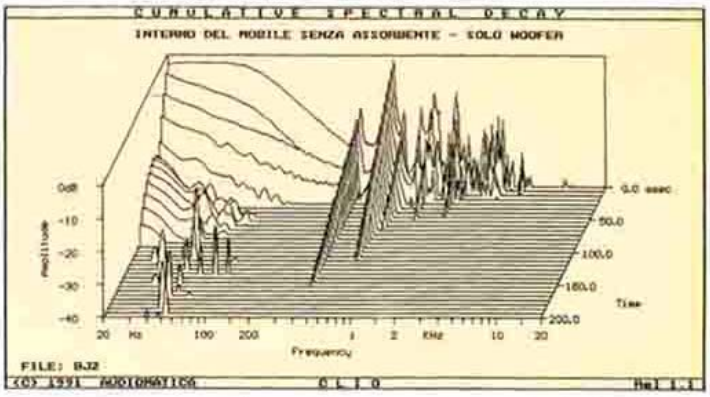
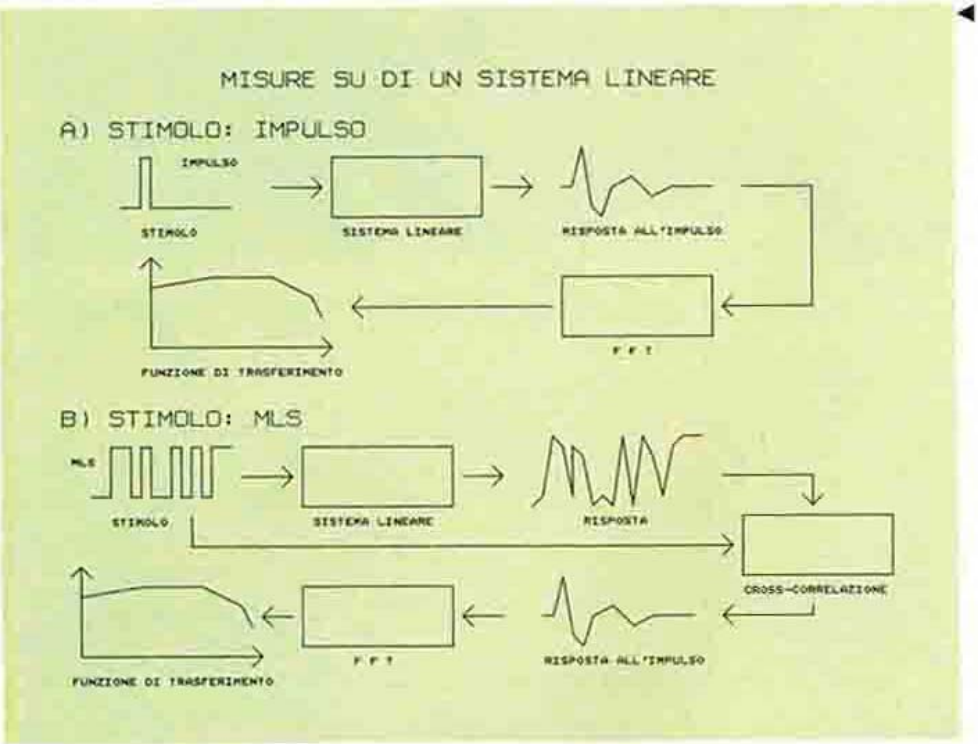


Figura 4 - Risposta del woofer sull'asse in regime anecoico e decadimento spettrale misurato all'interno del mobile; ambedue le misure senza assorbente.



◀ *Figura 5 - Metodologia di analisi su di un sistema lineare e ricostruzione della risposta all'impulso nel caso di stimolo con sequenza di massima lunghezza.*

mente superiori all'M_s dell'altoparlante. In ogni caso tracciando nuovamente l'impedenza dell'altoparlante con la massa applicata, il che è possibile senza perdere i dati in memoria fino a quel momento, si ha modo di valutare la bontà della «applicazione». Venendo finalmente ai risultati questi sono in fig. 1, accanto ai parametri forniti dal costruttore. Riguardo al diametro equivalente è stato dato in pasto a «SPEAK TEST» quello dichiarato dalla Ciare anche se avevo rilevato un paio di mm in più. La corrispondenza è, direi, molto buona; la differenza più rilevante è nella f_s ma bisogna considerare che l'unico rodaggio fatto al componente è stato il massaggio di cui si è detto. Mano a Bass30, al quale diamo un volume della cassa di 17 litri, non bassissimo in assoluto, ma che permette una certa libertà di manovra e mantiene le dimensioni del diffusore in ambito più che ragionevole.
Il responso di Bass30 lo vedete in fig. 2 insieme al rilevamento fatto con «SPEAK TEST» sulla cassa in totale mancanza di assorbente acustico. Di nuovo ottima corrispondenza con f_c più bassa sulla cassa reale che nella simulazione. Poiché stiamo cercando di procedere con più certezze possibili passiamo alla prima misura acustica di questa tornata: la risposta del woofer in campo vicino che vedete in fig. 3 fatta con «CLIO». Prima di commentarne i risultati, un breve cenno al tipo di misura. Il termine campo vicino è abbastanza esplicativo ma, poiché tutto è relativo, qualcuno potrebbe domandarsi: vicino quanto? Il fatto che ci sia una relazione di proporzionalità diretta tra pressione rilevata in campo vicino e in campo lontano non è scontato e la cosa è stata trattata, in un certo dettaglio, da D.B. Keele: ce la caveremo con una frase presa in prestito dalla pubblicità: c'è da fidarsi. Qualche regoletta pratica, tuttavia, va seguita. Questa proporzionalità diretta è valida fino a frequenze la cui lunghezza d'onda sia pari a 3.9 * r, dove r è il raggio dell'altoparlante. Nel nostro caso r vale 0.075 m, la lunghezza d'onda in questione è di 0.29 m, quindi la frequenza massima è di 1.2 KHz circa. Il programma esegue la misura da 20 a 200 Hz e questo ci mette al riparo sia dagli effetti del carico acustico offerto dal pannello della cassa sia dalle inevitabili differenze tra un diaframma piano infinitamente rigido ed un altoparlante. Riguardo alla distanza del microfono — che va messo al centro dell'altoparlante ma senza rischiare di diventare strabici — questa deve essere non superiore a 0.1 * r: nel nostro caso circa 7 mm. Tornando al nostro grafico, questo ci dice che, fino a questo punto, tutto sta filando liscio con una f_3 molto vicina alla f_c misurata in cassa. Ci rimane lo spazio per presentare la fig. 4 con il grafico della risposta in asse del woofer e il decadimento spettrale misurato all'interno della cassa. Questi grafici dimostrano, anche se non era necessario, che ogni cassa deve essere adeguatamente coibentata. Come, dove, e quanto lo vedremo la prossima volta insieme a tante altre cose.

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». Passiamo brevemente ad elencarne le caratteristiche e cerchiamo soprattutto di capire quali misure siano già state implementate (un discorso sugli sviluppi futuri potrebbe riempire l'intero numero di AR, come sempre accade nei sistemi dove il software la fa da padrone!).
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 — ETC
— Risposta in frequenza — Decadimento Spettrale
— Analisi in campo libero (sistema ambiente+diffusore)
— Risposta a terzi d'ottava — ETC a lungo termine
— Decadimento spettrale — 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 in 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.

BIBLIOGRAFIA

— M.R. Schroeder, «Integrated-impulse method measuring sound decay without using impulses», J. Acoust. Soc. AM. (1979 Aug.)
— J.M. Berman, L.R. Fincham, «The application of digital techniques to the measurement of loudspeakers», J. Audio Eng. Soc. (1977 June)
— D.D. Rife, J. Vanderkooy, «Transfer function measurement with maximum-lenght sequences» J. Audio Eng. Soc. (1989 June)
— P. Nuti, «Risposta in frequenza con segnali musicali», AUDIOREVIEW (1987 settembre).