Microfoni e risposta in fase

di Mauro Bigi e Maurizio Jacchia

iamo spazio nelle pagine seguenti ad un articolo di Mauro Bigi e Maurizio Jacchia, titolari della Audiomatica di Firenze, ditta che produce e commercializza fra l'altro Clio, sistema di misura di grandezze elettroacustiche in bassa frequenza, di cui abbiamo parlato ampiamente sul numero 175 di AUDIOREVIEW. Proprio quell'articolo, in cui mettevamo a confronto Clio con il set di strumenti di riferimento del nostro laboratorio, ha spinto Bigi e Iacchia ad approfondire il discorso sulla risposta in fase del microfono MIC-01 da loro commercializzato a confronto con i modelli 4133 e 4135 della Bruel & Kjaer. Va ricordato che questi ultimi sono microfoni di misura considerati come riferimento praticamente in tutto il mondo e dal costo dell'ordine di grandezza dei milioni, mentre il primo è un trasduttore dal costo di alcune centinaia di migliaia di lire.

Sebbene la trattazione sia limitata al confronto di trasduttori specifici, è interessante considerare la metodologia utilizzata e i risultati ottenuti, che in alcuni aspetti differiscono da quelli scaturiti dalle misure effettuate nel nostro laboratorio in situazione comunque differente. Inoltre alcune informazioni sui microfoni della casa scandinava riportate dagli autori sono interessanti e di non facile reperibilità.

Luca Angelelli

Nella esecuzione di misure acustiche, ove la risposta in fase sia il soggetto principale della misura, sorge il problema di valutare, ed eventualmente compensare, alterazioni della risposta dovute al microfono di misura. In letteratura esiste molto poco sopra questo argomento e, nelle carte di calibrazione di microfoni di misura, persino ove questi consentano di realizzare strumenti in classe 0, non viene specificata la risposta in fase dello stesso. In questo contesto Audiomatica si è allineata specificando la massima tolleranza ammessa esclusivamente come modulo della risposta. Il software CLIO viceversa permette di creare file di correzione della risposta dei microfoni sia in modulo che in fase. Se la determinazione della risposta in fase assoluta di un microfono rimane al di fuori dello scopo di questo articolo, ci occuperemo di confrontare risposte in fase di tre diversi microfoni, precisamente il 4133 e il 4135 della Bruel & Kjaer ed un MIC-01 di nostra produzione. L'articolo prende, dapprima, spunto dalla descrizione dei microfoni di riferimento utilizzati, passa a descrivere le condizioni alle quali le misure sono state effettuate e presenta, infine, i risultati ottenuti.

Riferimento di misura

Come detto, nella carta di calibrazione individuale dei due microfoni B&K non ci sono informazioni sulla risposta in fase. Viceversa, nel riferimento [1], sono presenti dei grafici che permettono di risalire alla risposta in fase di tutte le capsule microfoniche di questa casa. Non si tratta quindi, come per il modulo, di una risposta individuale ma permette senz'altro di valutare l'entità del problema in casi di pratico interesse che individueremo più dettagliatamente in seguito.

Riportiamo i tre grafici (figure 1, 2 e 3) in questione, tratti dal riferimento citato. Come si può facilmente constatare queste figure non consentono di farsi una idea visiva della risposta, cosa che invece un classico grafico di risposta in fase su scala logaritmica permetterebbe.

Per ovviare a questa difficoltà abbiamo utilizzato dei tool software di vario genere che descriveremo brevemente: dette figure sono state digitalizzate con uno scanner così da rendere agevole, all'inter-

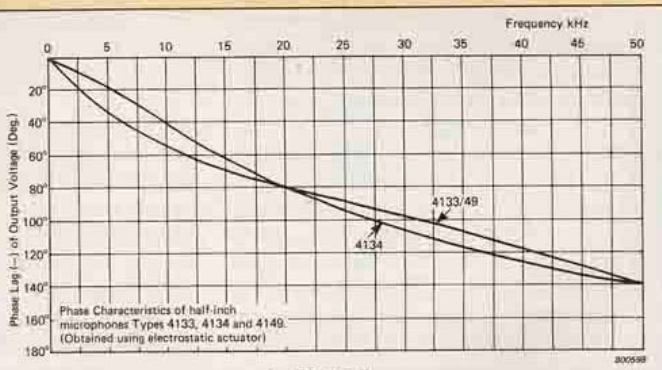


Figura 1

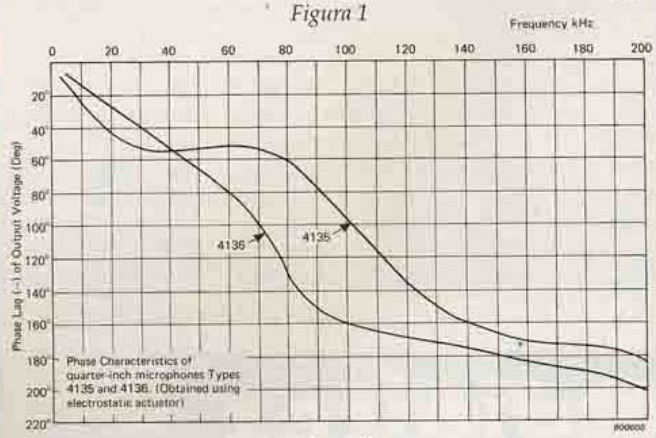


Figura 2

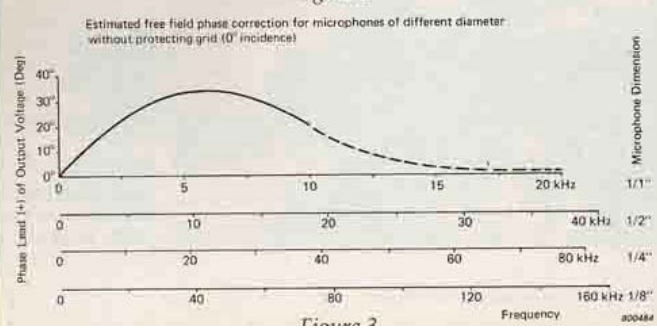


Figura 3

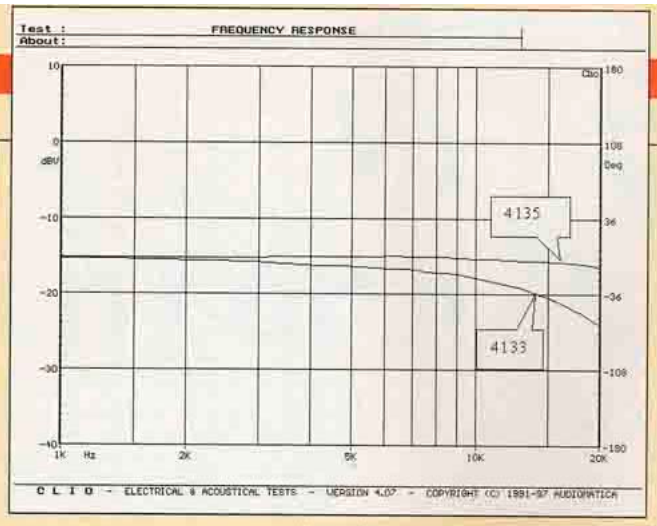


Figura 4

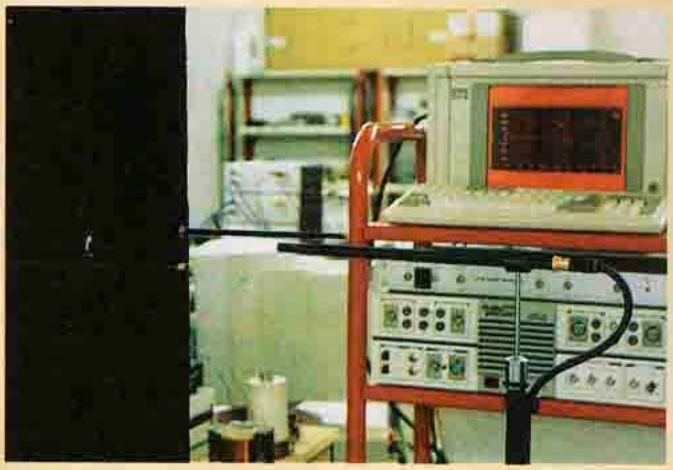
no di un programma di grafica con indicazione di ascissa ed ordinata, la caratterizzazione per punti (frequenze discrete) sia della curva di risposta che di quella di correzione. Questi dati, inseriti in un file ASCII, sono stati processati con un software matematico, Mathcad, con il quale si è ottenuta una funzione interpolante che permette di ottenere la risposta per qualsiasi frequenza all'interno dell'intervallo in esame. I dati sono stati successivamente esportati nuovamente in un file ASCII, compatibile con il formato di Clio, rendendo quindi agevole il confronto con le curve originate da misure.
Il risultato finale del procedimento descritto lo potete vedere in figura 4, sia per il 4133 che per il 4135.

Setup di misura

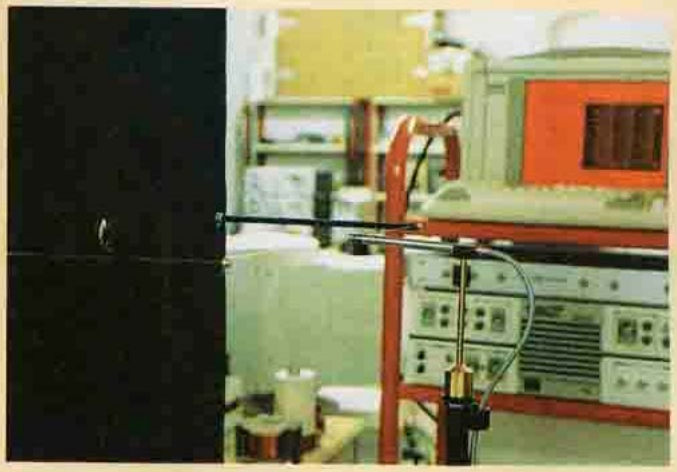
Il setup di misura è composto da un tweeter montato su un pannello ai lati del quale sono montate delle sottilissime aste con un filo teso tra loro che rende più agevole porre nello stesso punto i vari microfoni in successive misure. Le foto dovrebbero aiutare assai più di ogni descrizione la comprensione del tutto. La stabilità nel tempo di questo setup, usato normalmente per il test dei microfoni di nostra produzione, è stata seguita nel corso degli ultimi quattro anni con misure successive ad intervalli di un mese con i due microfoni B&K, rimanendo entro 0.2 dB da 2 kHz a 20 kHz. Procedendo nelle misure è risultato che un riposizionamento geometrico dei microfoni effettuato con ragionevole cura fosse sufficiente per ottenere risposte in modulo coerenti, mentre la risposta in fase, come era lecito attendersi, è risultata molto sensibile alle variazioni, anche minime, di geometria di misura ed ha richiesto una attenzione particolare.

Problematiche di misura

Consideriamo che per una velocità del suono di 344 m/s, una frequenza di 20 kHz ha una lunghezza d'onda di 17.2 mm; una variazione di 1 mm della distanza microfono-tweeter comporta una variazione di fase di 21.93 gradi. La distanza microfono sorgente quindi deve essere curata in modo particolare, il tutto facilitato dal fatto che le misure sono state eseguite senza griglia di protezione come del resto i grafici di compensazione richiedevano esplicitamente; l'assenza della griglia permette di avere un controllo visivo diretto della membrana del microfono. Ci troviamo in questo caso a fronteggiare un problema simile a quello, più generale, del calcolo della distanza tra una o più sorgenti acustiche ed un punto di rilevazione, che comunemente si presenta nella progettazione di reti crossover per diffusori multivia dove la somma delle emissioni avviene in diretta conseguenza di modulo e fase, dipendendo quest'ultima oltre che dalla sorgente in sé, vedi altoparlante, anche dalla distanza di questo dal punto di rilevazione (ascolto). L'approccio più sofisticato ma anche più complesso con il quale viene effettuato questo calcolo viene definito come «metodo della fase in eccesso». Cercheremo di darne una descrizione il più semplice possibile rimandando alla bibliografia [5] per eventuali approfondimenti. In sostanza, assumendo che il sistema, microfono ed altoparlante in questo caso, sia a fase minima, risulta possibile calcolarne la risposta in fase partendo dal modulo della risposta in frequenza. La risposta in fase così ottenuta si presenta priva della parte in aggiunta, dovuta al ritardo di gruppo, tempo di volo in questo caso, come se sorgente e punto di rilevazione fossero perfettamente coincidenti. Come dovrebbe a questo punto essere chiaro, la risposta in fase misurata ad una certa distanza da una sorgente è costituita dalla somma di due componenti, una uguale a quella calcolata, come appena detto, la seconda, dovuta alla distanza, che è proprio quella che ci interessa conoscere ed eliminare; quest'ultima, nell'ipotesi fatta, può essere ottenuta sottraendo alla risposta in fase totale misurata quella dovuta al solo altoparlante e calcolata a partire dal modulo della risposta. Se tutto andasse come detto questa seconda componente della risposta in fase una volta isolata si presenterebbe con un andamento lineare in frequenza. In altri termini il grafico che la rappresenta su una scala di frequenza lineare dovrebbe apparire come una retta la cui pendenza è proporzionale alla distanza cercata.
Questo metodo, ancorché elegante, efficace e ragionevolmente accurato, non permette nella maggioranza dei casi pratici precisioni pari quelle ottenute usando riferimenti geometrici stabili, valutabili in alcuni decimi di mm. Quanto detto vale esclusivamente per un caso come quello in esame, dove la sorgente sia stabilmente



Set-up di misura con microfono Audiomatica.



Set-up di misura con microfono Bruel & Kjaer.

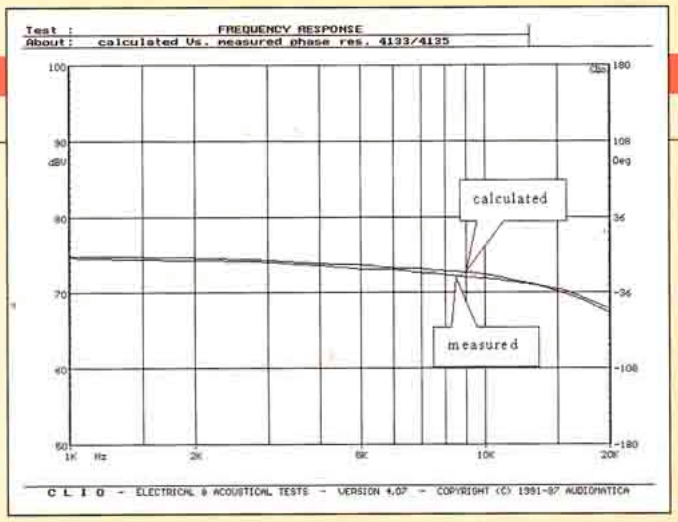


Figura 5

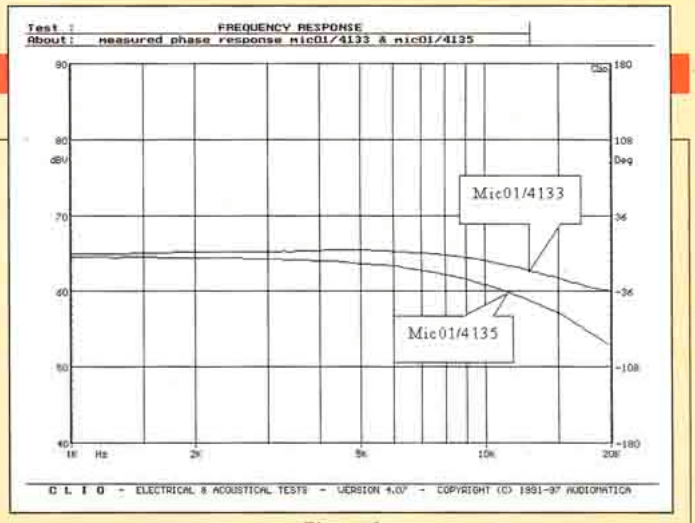


Figura 6

vincolata, i riferimenti vincolati a questa, si sia interessati esclusivamente ad annullare eventuali differenze di distanza dei microfoni. Rimane invece un metodo insostituibile, nel caso di misure di diffusori acustici, per il calcolo della distanza dei vari altoparlanti anche se in questo caso non è facile superare precisioni di alcuni mm. Infatti, nella pratica, emergono problemi che possono essere sintetizzati in [2]:

1) Rumore di fase dovuto a fenomeni di diffrazione riflessione sia della sorgente che sul microfono; queste componenti, non a fase minima, non possono essere annullate dal metodo descritto e si presentano come rumore che va dai 20 gradi picco-picco in casi molto curati sotto questo aspetto fino a 50 gradi picco-picco o più, per un normale diffusore full-range.

2) Accuratezza della fase minima calcolata, dipendente dal sistema di misura usato, dalla banda passante della misura e del sistema misurato, accuratezza molto difficile da valutare in pratica ma con effetti mai trascurabili.

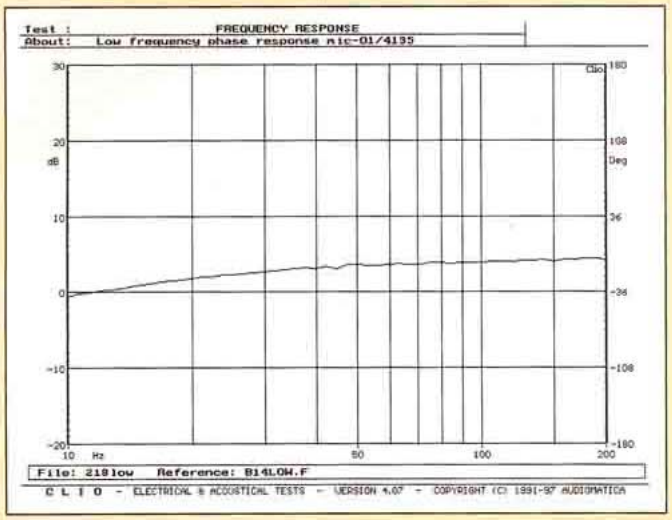
3) Scostamenti lievi o grandi, per intervalli di frequenza più o meno ampi, del sistema dal comportamento a fase minima.

Risultati delle misure

Per prendere confidenza con il tutto, abbiamo cominciato con la misura di differenza di risposta in fase tra il 4133 (S/N 666346) e il 4135 (S/N 1711387), usati normalmente per il controllo a confronto della nostra produzione. Questa misura è stata quindi messa a paragone con quanto calcolato, come precedentemente esposto, a partire dai dati della B&K. La differenza di fase calcolata ed esportata da Mathcad e quella misurata è riportata nel grafico di figura 5.

La congruenza delle due curve deve essere considerata molto buona. A questo punto, raggiunta una certa confidenza con il setup di misura abbiamo ripetuto la procedura per il MIC-01 di nostra produzione. In questo caso non è presente una griglia di protezione rimovibile ma, con procedimenti distruttivi, è stato facile misurare la distanza della membrana dal feltrino di protezione che è pari a 1.1 mm. Rimaneva il dubbio su quale dei due microfoni B&K prendere a riferimento. Se appare infatti chiaro dai risultati che il 4135 non presenta deviazioni di risposta in fase apprezzabili nell'intera banda audio, rimane il fatto incontrovertibile che il 4133 sia di gran lunga il microfono più utilizzato nei laboratori dalle riviste del settore. Non abbiamo spiegazioni definitive per questo stato di cose ma alcune considerazioni possono essere fatte. Il 4133, ove il 4135 venga utilizzato nello stesso modo, e cioè con griglia di protezione, presenta una risposta in modulo più lineare fino a 20 kHz; per inciso lavorare senza griglia può diventare operazione molto costosa e noi stessi ci siamo limitati a questa ed a rare precedenti occasioni. Nella pratica inoltre, la massima precisione nella risposta in fase al di sopra dei 10 kHz è di scarso interesse quando, come nella maggioranza dei casi, si debbano valutare gli effetti del filtro crossover; al di sotto di questa frequenza anche il 4133 ha un ottimo comportamento. Infine la risposta in fase di diffusori acustici viene eseguita raramente. Abbiamo quindi deciso di presentare (figura 6) entrambe le curve di differenza in modo che venisse fornito sia un riferimento assoluto che uno più facilmente paragonabile a misure eseguite in vari laboratori. Rimane che il microfono usato dovrebbe essere sempre dichiarato ove si pubblichino misure di fase. Infine una caratterizzazione sulle basse frequenze è stata eseguita con tre misure in campo vicino, peraltro poco critiche da eseguire essendo i problemi legati alle distanze irrilevanti. Il 4133 ed il 4135 hanno mostrato risposte in fase coincidenti fino a 10 Hz. Riportiamo, quindi, in figura 7, il grafico relativo al nostro MIC-01 solo a paragone del 4135. La differenza in fase mostra come il MIC-01 abbia una risposta più estesa verso le bassissime frequenze come confermato anche (il grafico non viene riportato) dal modulo della risposta.

Figura 7



BIBLIOGRAFIA

[1] Bruel & Kjaer, Condenser Microphones and Microphone Preamplifiers for Acoustic Measurements Data Handbook, September 1982.
[2] Joseph D'Appolito, Comunicazione privata, Marzo 1996.
[3] Luca Angelelli, AUDIOREVIEW n. 175 pag. 116, Novembre 1997.
[4] J. D'Appolito and R. H. Campbell, Speaker Builder IV, 1997 pag. 11.
[5] S.P. Lipshitz, T.C. Scott and J. Vanderkooy, Increasing the Audio Measurement Capability of FFT Analyzers by Microcomputer Postprocessing, J.A.E.S., Vol 33, No. 9, September 1985.
[6] Umberto Nicolao, Microfoni, Editrice Il Rostro.