

Joseph D'Appolito

# Misurare gli altoparlanti

Editrice  Il Rostro

## **MISURARE GLI ALTOPARLANTI**

Titolo originale

### **Testing Loudspeakers**

First Edition 1998, Copyright © 1998 by Joseph D'Appolito

© Copyright 1998 by Audio Amateur, Inc. Peterborough NH 03458 USA

Prima edizione italiana (febbraio 2008, giugno 2009):

Audiomatica S.r.l., Via Manfredi 12, 50136 Firenze.

Traduzione:

Mauro Bigi, Massimo Costa, Maurizio Jacchia, Giuseppe Pucacco

© 2011 Editrice Il Rostro, Via Radaelli 17, 20090 Segrate MI

Tel. 02 2135366; Fax 02 2132869

e-mail: [info@ilrosto.it](mailto:info@ilrosto.it)

[http: www.ilrosto.it](http://www.ilrosto.it)

Tutti i diritti sono riservati: nessuna parte del libro può essere riprodotta o diffusa con qualsiasi mezzo senza il permesso scritto dell'Editore

*Questo libro è affettuosamente dedicato  
alle donne della mia vita:  
mia moglie, Ligia,  
le mie figlie Daniela e Tina  
e le mie nipoti Emma e Isabella.  
Il loro amore e conforto, ma specialmente  
il loro entusiasmo per questo libro,  
mi ha aiutato durante le lunghe ore  
della stesura e le frequenti pause  
che sono parte della creazione di un'opera come questa.*

## **Ringraziamenti**

*Qualunque sia il successo che questo libro potrà avere, esso sarà dovuto per una parte non piccola, agli innumerevoli sforzi di Richard (Dick) Campbell, professore, socio di Audio Engineering Society, presidente della società da lui fondata. Dick ha letto le bozze di tutti i capitoli evidenziando molte imprecisioni e proponendo suggerimenti atti a migliorarne il contenuto. La sua tempestiva risposta, a ogni capitolo che gli veniva sottoposto, ha permesso di ridurre sensibilmente i tempi tecnici tra la realizzazione e la pubblicazione del libro.*

# INDICE

## 1 Introduzione

1.1	Perché scrivere un libro sulla misurazione degli altoparlanti?.....	1
1.2	Quali argomenti coprire? .....	1
1.3	Cosa dovrete conoscere per ottenere il massimo da questo libro?.....	1
1.4	Il libro in breve.....	2
1.4.1	Cap. 2: Concetti e misure di base su altoparlanti .....	2
1.4.2	Cap. 3: Misure elettriche di impedenza a bassa frequenza.....	3
1.4.3	Cap. 4: Test acustici di singoli altoparlanti .....	4
1.4.4	Cap. 5: Misure acustiche su sistemi di altoparlanti .....	5
1.4.5	Cap. 6: Tempo, frequenza e la trasformata di Fourier.....	6
1.4.6	Cap. 7: Test di altoparlanti con sistemi di misura basati su PC .....	8
	Bibliografia .....	10

## 2 Concetti e misure di base su altoparlanti

2.0	Introduzione .....	11
2.1	Cenni storici.....	11
2.2	I parametri di Thiele/Small .....	13
2.3	La curva di impedenza .....	14
2.4	Un semplice modello dell'altoparlante .....	15
2.4.1	Modello della componente meccanica .....	15
2.4.2	Il sistema a regime .....	18
2.4.3	Cos'è questo oggetto chiamato Q?.....	19
2.4.4	Modello della parte elettrica .....	20
2.4.5	La curva di impedenza dell'altoparlante .....	22
2.5	Un po' di più sui parametri T/S .....	24
2.5.1	Forza contro elettromotrice, smorzamento elettrico e $Q_{ES}$ .....	24
2.5.2	Effetto molla dell'aria, cedevolezza meccanica e $V_{AS}$ .....	25
2.6	Come determinare i parametri T/S fondamentali dalla curva di impedenza.....	26
2.6.1	Preliminari per il test.....	27
2.6.2	La tecnica del partitore di tensione .....	28
2.6.2.1	Principio di funzionamento del partitore di tensione .....	28
2.6.2.2	Misurare $F_{SA}$ e $Q_{TS}$ con il metodo del partitore.....	29
2.6.2.3	Un esempio con partitore di tensione.....	30
2.6.2.4	Ammonimenti, trappole e rimedi .....	31
2.6.3	La procedura a tensione costante .....	39
2.6.3.1	Un esempio con tensione costante .....	41
2.6.3.2	Parametri dell'altoparlante in funzione della potenza di ingresso.....	42

2.6.3.3	Ammonimenti, trappole e rimedi .....	43
2.6.4	La procedura a vera corrente costante.....	43
2.6.4.1	La procedura a “corrente costante” .....	44
2.6.4.2	Un esempio a corrente costante.....	45
0.2.6.5	Vantaggi relativi delle tre procedure per la misura di $F_{SA}$ e $Q$ .....	46
2.7	Misura del $V_{AS}$ .....	47
2.7.1	La procedura aria libera/box chiuso .....	47
2.7.1.1	Un esempio di misura del $V_{AS}$ .....	49
2.7.1.2	Discussione .....	50
2.7.2	La tecnica della massa aggiunta.....	51
2.7.2.1	Un esempio di tecnica con massa aggiunta.....	52
2.7.2.2	Discussione sulla tecnica della massa aggiunta .....	53
2.7.3	Confronto fra le tecniche massa aggiunta e box chiuso per la determinazione del $V_{AS}$ .....	53
2.8	I rimanenti parametri di T/S.....	54
2.8.1	Calcolo della massa del cono .....	54
2.8.2	Calcolo del prodotto BL.....	54
2.8.3	Efficienza e sensibilità .....	55
2.8.4	Misura dell’induttanza della bobina mobile.....	57
2.9	Parametri T/S di midrange e tweeter.....	60
2.10	Riassunto.....	61
	Bibliografia .....	62
	Appendice A.....	63
	Appendice B.....	64

### 3 Misure elettriche di impedenza a bassa frequenza

3.0	Introduzione .....	65
3.1	Determinazione di FSB.....	65
3.1.1	Carico del baffle infinito.....	65
3.1.2	Carico della cassa.....	67
3.2	Altoparlanti in box chiuso.....	69
3.3	Misura degli effetti dell’assorbente acustico.....	74
3.4	Altoparlante in box con singola apertura (Bass-Reflex) .....	80
3.5	Uno sguardo empirico all’impedenza delle linee di trasmissione .....	86
3.6	Anomalie nella curva di impedenza.....	87
3.6.1	Esempio n°1 .....	88
3.6.2	Esempio n°2.....	88
3.6.3	Esempio n°3.....	89
3.6.4	Esempio n°4.....	90
3.6.5	Discussione .....	90
	Bibliografia .....	90

## 4 Test acustici di singoli altoparlanti

4.0	Introduzione .....	91
4.1	Il diagramma risposta in frequenza .....	91
4.2	Microfoni per le misure di altoparlanti .....	94
4.2.1	Classificazione dei microfoni.....	95
4.2.1.1	Microfoni dinamici .....	95
4.2.1.2	Microfoni a condensatore.....	96
4.2.2	Quale microfono usare? .....	97
4.3	L'ambiente acustico e i suoi effetti sulla risposta in frequenza.....	98
4.3.1	Classificazione degli ambienti acustici .....	98
4.3.2	Misure di sistemi di altoparlanti in ambienti semi-riverberanti .....	100
4.4	Tecniche di misura degli altoparlanti e segnali di prova.....	111
4.4.1	Il campo lontano .....	112
4.4.2	Il campo vicino .....	113
4.4.3	Combinare le risposte in campo vicino e campo lontano.....	115
4.4.4	Misure a terra .....	116
4.5	Smoothing analogico delle curve di risposta in frequenza.....	120
4.5.1	Filtri passabanda, rumore rosa e l'RTA .....	121
4.5.2	Il vobulatore.....	124
4.6	Due esempi .....	126
4.6.1	La scelta delle frequenze di incrocio.....	127
4.6.2	Risposte in campo vicino di un sistema a condotto.....	128
4.7	Commenti finali .....	129
	Bibliografia .....	130
	Appendice A.....	130

## 5 Misure acustiche su sistemi di altoparlanti

5.0	Introduzione .....	131
5.1	Integrazione degli altoparlanti nel sistema.....	131
5.2	Ancora sulle riflessioni .....	133
5.3	Esempio di sistemi a due vie.....	135
5.3.1	Esempio 5.1: un satellite a due vie in sospensione pneumatica .....	135
5.3.2	Esempio 5.2: un sistema a bass-reflex due vie.....	140
5.3.2.1	Risposta sull'asse .....	140
5.3.2.2	Risposta polare.....	143
5.3.3	Esempio 5.3: un sistema MTM due vie, a tre altoparlanti .....	147
5.3.3.1	Risposta sull'asse .....	147
5.3.3.2	Risposta polare.....	149
5.3.3.3	Risposta polare verticale e reti di crossover a bassa pendenza .....	150
5.4	Esempio 5.4: un sistema a tre vie, tre altoparlanti .....	151
5.5	Esempio 5.5: un sistema due vie con un altoparlante a nastro .....	154

5.6	Esempio 5.6: un subwoofer da 12" .....	158
5.6.1	Risposta in potenza del subwoofer.....	159
5.7	Sommario.....	160
	Bibliografia .....	161

## 6 Tempo, frequenza e la trasformata di Fourier

6.0	Introduzione .....	163
6.1	La risposta all'impulso.....	165
6.2	Segnali periodici e la serie di Fourier .....	168
6.2.1	Segnali periodici .....	168
6.2.2	La serie di Fourier.....	169
6.2.2.1	La forma generale della serie di Fourier .....	170
6.2.2.2	La serie di Fourier di un'onda quadra.....	171
6.2.2.3	La serie di Fourier ed il dominio della frequenza .....	173
6.3	Il campionamento e il teorema del campionamento.....	175
6.3.1	Il processo di campionamento.....	175
6.3.2	Il teorema del campionamento e le immagini .....	176
6.3.2.1	Il teorema del campionamento .....	176
6.3.2.2	Le immagini e il filtro anti-immagini "aliasing" .....	178
6.4	La serie di Fourier discreta.....	179
6.4.1	La trasformata di Fourier discreta.....	179
6.4.1.1	Valutazione dei coefficienti CK e $\vartheta_k$ .....	181
6.4.1.2	Esempio 6.1 .....	182
6.4.2	Perdite e finestre .....	182
6.4.2.1	Esempio 6.2: perdite spettrali.....	182
6.4.2.2	La FFT vista come un banco di filtri.....	184
6.4.2.3	Ridurre le perdite con delle finestre dati .....	185
6.5	La FFT della risposta all'impulso .....	187
6.5.1	Esempio 6.3: FFT della risposta all'impulso del sistema molla-massa.....	187
6.5.2	Esempio 6.4: "finestrare" la risposta all'impulso.....	190
6.5.3	Esempio 6.5: riempimento di zeri .....	191
6.6	Un modo pratico per misurare la risposta all'impulso .....	191
6.6.1	Esempio 6.6: autocorrelazione e cross-correlazione con segnali MLS .....	193
6.7	Tempo in contrapposizione a fase.....	195
6.7.1	La fase e le sinusoidi.....	195
6.7.2	La risposta in fase e la misura della fase.....	196
6.7.3	Sistemi a fase minima .....	199
6.7.4	Ritardo e fase lineare .....	200
6.7.5	Ritardo di gruppo .....	201
6.8	Determinazione del centro acustico di un altoparlante .....	202
6.8.1	Es. 6.7: determinazione del centro di fase acustica di un altoparlante .....	203
	Bibliografia .....	205

## **7 Test di altoparlanti con sistemi di misura basati su PC**

7.0	Introduzione .....	207
7.1	I sistemi MLSSA e CLIO.....	207
7.1.1	MLSSA .....	207
7.1.2	Il sistema CLIO.....	209
7.1.3	La calibrazione di MLSSA e CLIO .....	
7.2	Misure di impedenza e di induttanza/capacità .....	210
7.2.1	Cenni ulteriori sulla tecnica del partitore di tensione.....	211
7.2.2	La misura dell'impedenza con CLIO e MLSSA .....	212
7.2.3	Misure di induttanza e capacità.....	213
7.2.4	La misura dell'impedenza con segnali di pilotaggio di alto livello.....	217
7.3	La misura dei parametri di Thiele/Small.....	219
7.3.1	Il metodo dei "tre punti" e il metodo del modello adattato .....	219
7.3.2	La misura dei parametri di T/S con CLIO.....	219
7.3.3	La misura dei parametri di T/S con MLSSA.....	220
7.4	Misure per la progettazione e l'analisi di sistemi di altoparlanti.....	224
7.4.1	Risposta anecoica simulata di singoli altoparlanti e sistemi completi.....	224
7.4.2	La curva energia nel tempo (ETC).....	226
7.4.3	La risposta al gradino del sistema .....	226
7.4.4	Il decadimento spettrale (CSD).....	228
7.4.5	La risposta in frequenza e fase .....	230
7.5	La misura di sistemi di altoparlanti .....	232
7.6	Misure di valutazione e analisi delle prestazioni dei sistemi di altoparlanti .....	238
7.6.1	Alcune considerazioni sui filtri passa tutto .....	245
7.7	Alcuni ulteriori ed interessanti esempi.....	246
7.7.1	Un ulteriore sguardo alla linea di trasmissione .....	246
7.7.2	Ulteriori cenni sulle perdite spettrali e sull'uso delle finestre .....	247
7.7.3	Risposte cumulate sistema di altoparlanti/ambiente .....	250
7.8	Conclusioni .....	252
	Bibliografia .....	252