
**RICCARDO SANTOBONI
ANNA RITA TICARI**

**Fondamenti di Acustica
e Psicoacustica**



Riccardo Santoboni
Anna Rita Ticari

Fondamenti di Acustica
e Psicoacustica

Terza edizione (2008)

PREMESSA	14
CAPITOLO 1	16
FONDAMENTI DI MATEMATICA	16
§ 1.1 Potenze, radici, logaritmi.	16
§ 1.2 Equazioni e disequazioni.	22
§ 1.3 Elementi di geometria analitica.	25
Misura di angoli in radianti	27
§ 1.4 Insiemi, funzioni.	30
Generalità sul concetto di insieme.	30
Unione e intersezione di insiemi.	33
L'insieme differenza di insiemi e l'insieme complementare di un insieme.	35
L'insieme prodotto cartesiano di insiemi.	37
Generalità sul concetto di funzione.	38
<i>Funzioni biunivoche e non biunivoche</i>	38
<i>Funzioni lineari</i>	40
<i>Funzioni non lineari</i>	43
<i>Funzione esponenziale</i>	45
<i>Funzione logaritmica</i>	48
<i>Funzioni trigonometriche</i>	50
§ 1.5 Derivata ed integrale.	52
Derivata	52
Derivata di una costante	56
Derivata di una retta bisettrice.	57
Applicazioni musicali della derivata	59
Integrale	59
§ 1.6 Successioni, Progressioni e Serie numeriche.	61
Successioni	61
<i>Definizione di successione .</i>	61
Progressioni	63
<i>Definizione di progressione aritmetica.</i>	63

<i>Definizione di Progressione Geometrica</i>	66
Serie Geometrica	67
Semplici applicazioni delle progressioni in psicoacustica	68
Appendice 1.1 Tavola delle grandezze espresse in base 10	70
Appendice 1.2 :Prodotti notevoli	70
Appendice 1.3: Relazioni trigonometriche	71
Formule di sottrazione	71
Formule di addizione	71
Formule di duplicazione	71
Formule di bisezione	71
Formule di Prostaferesi	71
Formule di Werner	71
APPENDICE 1.4 :Coordinate polari e diagrammi polari	72
APPENDICE 1.5 :Successione di Fibonacci in natura	75
CAPITOLO 2	78
ACUSTICA DEGLI SPAZI APERTI	78
§ 2.1 Catena sonora	78
§ 2.2 Grandezze fisiche fondamentali.	79
Intensità	79
Frequenza.	84
Velocità di propagazione del suono. Lunghezza d'onda.	85
§ 2.3 Moto armonico semplice; l'oscillatore armonico.	90
§2.4 Rappresentazione di un segnale periodico sinusoidale nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza. Spettro armonico.	94
§ 2.5 Vibrazioni armoniche smorzate.	96
§ 2.6 Vibrazioni forzate e risonanza	100

§ 2.7 Pannelli vibranti e risonatori di Helmholtz	101
§ 2.7a Trattazione quantitativa dei sistemi fisici incontrati	106
Oscillatore armonico unidimensionale ideale	106
Oscillatore armonico unidimensionale reale	108
Equivalentente elettrico – meccanico	114
Pannelli vibranti	122
Equivalentente elettrico – acustico: Impedenza acustica	124
Risonatori di Helmholtz	124
§2.8 Analisi di Fourier di una funzione periodica nel tempo.	130
Analisi percettiva delle singole armoniche	141
§ 2.9 Analisi di Fourier per funzioni continue non periodiche.	144
§ 2.10 Armoniche, parziali, timbro.	146
Analisi spettrale	147
<i>Analizzatore di Spettro</i>	147
<i>Sonogramma</i>	151
Equalizzatore	152
§2.11 Tremolo e vibrato per un segnale sinusoidale.	153
ACUSTICA DEGLI SPAZI CHIUSI	155
§ 2.12 Propagazione del suono in spazi chiusi.	155
Modi propri di un ambiente.	155
§ 2.13 Riflessione, rifrazione e diffrazione del suono	164
Riflessione.	164
<i>Riflessione del suono da parte di superfici concave</i>	165
<i>Raggio di curvatura.</i>	168
<i>Riflessione del suono da parte di superfici convesse.</i>	169
Rifrazione.	170
Legge di Snell	171
Diffrazione del suono.	173
§ 2.14 Eco.	174
§ 2.15 Riverbero	176

Principio della riverberazione	178
Assorbimento del suono	179
Qualità del suono in un ambiente chiuso	185
Assorbimento del suono da parte del mezzo di trasmissione.	186
Percezione della spazialità correlata al ritardo.	187
§2.16 Interferenza.	187
§ 2.17 Battimenti e modulazione.	188
§2.18 Suoni di combinazione.	191
§2.19 Comb, chorus, flanger, phaser.	193
Effetto Comb	193
Chorus	195
Flanger	197
Phaser	198
§2.20 Diffusione del suono.	200
Dimensioni e forma dell'ambiente al fine della diffusione	200
Discontinuità geometriche sulle pareti.	203
Diffusori policilindrici (poly).	205
§ 3 Diffusori a sequenza di massima lunghezza.	206
§2.21 Diffusori RPG.	210
<i>Diffusori a resto quadratico.</i>	214
<i>Criteri di progettazione.</i>	214
<i>Alcune considerazioni sulla sequenza QRD</i>	220
Diffusori QRD bidimensionali.	224
<i>Efficienza della diffusione nei QRD.</i>	227
Diffusori a radici primitive.	228
Combinazione di diffusori.	230
Diffusori basati su sequenze numeriche binarie.	232
<i>Diffusori a reticolo di ampiezza.</i>	232
Metodologia per lo studio di dispositivi passivi per la diffusione del suono	242
<i>Descrizione dell'esperimento</i>	242
<i>Descrizione dei dispositivi di misura</i>	248
§2.22 Progettazione e stima di ambienti acustici.	250
Stima del tempo di riverberazione di un ambiente	250
Disposizione delle unità fonoassorbenti	253

Criteri di progettazione per una “Control Room”	253
Criteri di progettazione per una “sala prove” o sala da ripresa	254
<i>Considerazioni sui modi dell’ambiente</i>	255
§2.23 Isolamento acustico.	256
<i>Criteri di isolamento acustico</i>	256
§2.24 Esercizi.	258
Appendice 2.1: Ultrasuoni	260
Appendice 2.1: Sequenze di resti quadratici per numeri primi da 5 a 29	262
Appendice 2.2: Coefficienti di assorbimento di materiali fonoassorbenti	269
Appendice 2.3: Coefficienti di assorbimento acustico	274
Appendice 2.4: Rapporti ottimali per ambienti	281
Proporzione tra dimensioni di ambienti a parallelepipedo favorevoli alla distribuzione uniforme dei modi	281
 CAPITOLO 3	 282
 ACUSTICA DEI TUBI SONORI	 282
Introduzione	282
§ 3.1 Principi generali della produzione del suono: modellizzazione	282
§ 3.2 Modelli fisici	285
§ 3.3 Impedenza acustica	287
§ 3.4 Classificazione degli strumenti musicali.	291
§ 3.5 Propagazione nei tubi sonori.	295
§ 3.6 Il clarinetto.	297
Note storiche.	297

Descrizione.	298
Principio di funzionamento.	299
Il risonatore	301
L'eccitatore	303
<i>Distorsione non lineare:</i>	303
Generazione del timbro	306
§ 3.7 I risonatori passivi: l'organo liturgico.	308
CAPITOLO 4	309
ACUSTICA DELLE CORDE E DELLE MEMBRANE VIBRANTI	309
Introduzione.	309
§4.1 Principio fisico.	309
§4.2 Corda vibrante.	311
§4.3 Membrana vibrante	316
Modi di una membrana circolare	319
Figure di Chladni	320
CAPITOLO 5	325
PSICOACUSTICA	325
Introduzione.	325
§5.1 Campo di udibilità	327
§5.2 Livello di sensazione sonora (o intensità soggettiva) e sua misura	328
§5.3 Variazione dell'intensità	329
§5.4 Sensazione dell'altezza e sua misura	329
§5.6 Somma di più suoni e delle loro intensità	330

§5.7 Mascheramento	332
§5.8 Suoni di Combinazione	332
§5.9 Fenomeni psicoacustici di ordine temporale	333
§5.10 Fenomeni psicoacustici di ordine spaziale	333
§5.11 Percezione della spazialità correlata al ritardo.	334
§5.12 Fisiologia dell'orecchio.	335
§5.13 Danni del sistema uditivo.	337
§5.14 Scale musicali.	339
Sistema temperato	339
Generazione di sistemi non temperati	341
<i>Sistemi generati da progressioni geometriche</i>	<i>341</i>
<i>Sistemi generati da progressioni aritmetiche</i>	<i>343</i>
§5.13 Consonanza e dissonanza.	347
§5.14 Suono nello spazio	348
Limen di intensità	350
Limen di frequenza	351
BIBLIOGRAFIA	353
INDICE ANALITICO	355
INDICE DELLE FIGURE	359

Premessa

Lo scopo di questa pubblicazione è quello di fornire a tutti coloro che si occupano o si interessano di “suono” un insieme di elementi fondamentali mirati alla comprensione e alle applicazioni dell’acustica e di alcune discipline correlate ad essa. Si è dedicata particolare cura all’iter didattico, al fine di rendere gli argomenti accessibili anche a musicisti privi di conoscenza specifica di tipo scientifico, rimandando ulteriori approfondimenti alle appendici. Un capitolo introduttivo fornisce infatti gli strumenti matematici necessari alla descrizione di fenomeni acustici e psicoacustici; ampio respiro viene dato ai criteri di valutazione, progettazione e modifica di ambienti destinati a rappresentazioni musicali. Una parte cospicua della pubblicazione viene riservata al meccanismo di generazione del suono da parte di determinate categorie di strumenti musicali. Nell’ottica della didattica si è dedicato uno spazio opportuno ad esercizi e test di verifica. La peculiarità della trattazione investe aspetti sia scientifici che musicali, collocandosi nella zona di confine tra musica e fisica. Tale pubblicazione costituisce una parte del programma del corso di perfezionamento in “Musica Elettronica” presso l’Accademia Musicale Pescarese; è inoltre testo di riferimento del corso di “Fondamenti di Acustica Tecnica” nel master ointerfacoltà in Sonic Arts (facoltà di Ingegneria e lettere) dell’Università di Roma 2 e dei corsi di “Acustica e di Psicoacustica” nell’ambito dei diplomi accademici di II livello (laurea specialistica) presso i Conservatori di Musica di Bari e di Roma.

Roma, Gennaio 2007

GLI AUTORI