

Indice

XV	PREMESSA (Sergio Cingolani, Renato Spagnolo)
1	CAPITOLO 1 – Introduzione storica all’acustica musicale (Sergio Cingolani)
3	1.1 Introduzione
5	1.2 L’acustica musicale nel pensiero degli antichi
8	1.3 Il periodo della rivoluzione scientifica
12	1.4 L’epoca dei matematici
14	1.5 Il pensiero ottocentesco
18	1.6 L’acustica musicale come disciplina moderna: l’indagine sugli strumenti musicali 1.6.1 Il violino – 1.6.2 Gli strumenti a fiato – 1.6.3 Le percussioni
31	CAPITOLO 2 – Consonanze, scale e temperamenti (Patrizio Barbieri)
33	2.1 Genesi degli intervalli musicali 2.1.1 Serie armonica – 2.1.2 Operazioni sugli intervalli: i logaritmi «musicali»
36	2.2 Consonanza e dissonanza 2.2.1 Evoluzione storica, fino a Helmholtz – 2.2.2 Consonanze sensoriali e psicologico-culturali – 2.2.3 Il problema del 7° armonico
46	2.3 Ipotesi sull’origine delle scale
47	2.4 Scale pitagorica e sintonica («naturale») 2.4.1 Scala pentatonica – 2.4.2 Scala eptatonica (diatonica) – 2.4.3 Scala cromatica pitagorica – 2.4.4 Scala temperata equabile – 2.4.5 Scala esatonica – 2.4.6 L’avvento della scala sintonica («naturale»)
55	2.5 Scale temperate 2.5.1 Temperamento del tono medio – 2.5.2 I temperamenti «elastici» del Settecento e dell’Ottocento – 2.5.3 Lo «stretching» delle ottave nel pianoforte – 2.5.4 Il posizionamento dei tasti negli strumenti da manico – 2.5.5 «Equal Tempered Systems» (ETS)
71	CAPITOLO 3 – Fisica delle vibrazioni e dei suoni (Renato Spagnolo)
73	3.1 Introduzione
73	3.2 Oscillazioni libere e forzate di sistemi vibranti semplici 3.2.1 L’oscillatore armonico – 3.2.2 Energia del moto armonico – 3.2.3 Moto armonico smorzato – 3.2.4 Oscillazioni forzate – 3.2.5 Una «molla» d’aria – 3.2.6 Oscillazioni longitudinali e trasversali di un sistema

		massa-molla – 3.2.7 Modi normali di oscillazione di sistemi a due e più masse
84	3.3	Onde trasversali nelle corde 3.3.1 Valori iniziali e condizioni al contorno – 3.3.2 Riflessioni delle onde agli estremi di una corda – 3.3.3 Propagazione di onde sinusoidali – 3.3.4 Onde stazionarie nelle corde
91	3.4	Vibrazioni di barre
94	3.5	Vibrazioni di membrane e di piastre
97	3.6	Natura dei suoni
98	3.7	Propagazione delle onde sonore nei fluidi 3.7.1 Equazione di Eulero – 3.7.2 Equazione di continuità – 3.7.3 Equazione di stato – 3.7.4 Equazione dell'onda
104	3.8	Velocità di propagazione del suono nei fluidi
107	3.9	Assorbimento del suono in aria
108	3.10	Propagazione per onde piane e per onde sferiche
112	3.11	Impedenza acustica caratteristica e impedenza acustica specifica
113	3.12	Riflessione, trasmissione e diffrazione delle onde 3.12.1 Riflessione e trasmissione – 3.12.2 Rifrazione in mezzi stratificati – 3.12.3 Diffrazione delle onde
121	3.13	Interferenza di onde e onde stazionarie nei tubi 3.13.1 Fenomeno dei battimenti – 3.13.2 Onde stazionarie nei tubi
127	3.14	L'effetto Doppler
129	3.15	Grandezze fondamentali e loro unità di misura 3.15.1 Intensità, densità di energia, potenza – 3.15.2 Scala dei decibel e livelli sonori
138	3.16	Composizione in frequenza 3.16.1 Serie di Fourier – 3.16.2 Bande di frequenza
142	3.17	Sorgenti sonore 3.17.1 Sorgenti monopolo e dipolo – 3.17.2 Sorgenti lineari – 3.17.3 Fattore di direttività e indice di direttività
149	3.18	Campo acustico libero
153	CAPITOLO 4 – La percezione uditiva <i>(Oskar Schindler, Antonio Schindler)</i>	
155	4.1	Finalità dell'udito 4.1.1 Udito e conoscenza del mondo – 4.1.2 Udito e comunicazione – 4.1.3 Udito, linguaggio e musica
161	4.2	Anatomia e fisiologia del sistema uditivo 4.2.1 Apparato trasduttivo – 4.2.2 Apparato percettivo – 4.2.3 La risposta soggettiva – 4.2.4 Effetti non lineari
171	4.3	Udito e informazione 4.3.1 Il flusso informativo – 4.3.2 I «quanta» acustici
180	4.4	Udito e musica 4.4.1 Evoluzione della musica – 4.4.2 Confini della musica – 4.4.3 Musica e individuo – 4.4.4 Il messaggio musicale – 4.4.5 I «quanta» musicali – 4.4.6 Concettualità della musica
193	CAPITOLO 5 – Gli strumenti a corda <i>(Sergio Cingolani)</i>	
195	5.1	Introduzione
195	5.2	Gli strumenti ad arco: il violino

		5.2.1 Le oscillazioni con smorzamento – 5.2.2 Come vibra una corda di violino – 5.2.3 La corda sfregata – 5.2.4 Oscillazioni longitudinali e torsionali nella corda sfregata – 5.2.5 Il ponticello – 5.2.6 Il corpo dello strumento – 5.2.7 La nota del lupo – 5.2.8 L'irraggiamento sonoro
240	5.3	Gli altri strumenti del quartetto d'archi: la viola, il violoncello, il contrabbasso
243	5.4	Il pianoforte
		5.4.1 Corda, martelletto, tavola armonica – 5.4.2 Urto della corda e sua vibrazione – 5.4.3 Vibrazione della tavola armonica
258	5.5	La corda pizzicata: il clavicembalo
263	5.6	La chitarra
271	CAPITOLO 6 – Gli strumenti a fiato	
		<i>(Patrizio Barbieri)</i>
273	6.1	Legni e ottoni: generalità
		6.1.1 Dipendenza del corista dalla temperatura – 6.1.2 Strumenti traspositori – 6.1.3 Materiali ed emissione acustica
280	6.2	Camerature
		6.2.1 Legni – 6.2.2 Ottoni – 6.2.3 Fori tonali – 6.2.4 Fori di registro
291	6.3	Meccanismi di eccitazione
		6.3.1 Tipi di imboccatura – 6.3.2 Curve di impedenza del canneggio – 6.3.3 Imboccatura come generatore – 6.3.4 Regimi di oscillazione, periodici e «multifonici»
303	6.4	Clarinetto
		6.4.1 Meccanica dell'eccitazione – 6.4.2 Risonanze del canneggio – 6.4.3 Emissione
310	6.5	Oboe
		6.5.1 Eccitazione – 6.5.2 Risonanze del canneggio – 6.5.3 Emissione: evoluzione storica
312	6.6	Fagotto
314	6.7	Sassofono
315	6.8	Ottoni
		6.8.1 Il perché degli ottoni – 6.8.2 Canneggio e generazione degli armonici – 6.8.3 Campana e irradiazione sonora – 6.8.4 Bocchini e «cooperazione» dei modi di risonanza – 6.8.5 Tromba moderna: valvole e sordine – 6.8.6 Trombone a tiro – 6.8.7 Corno – 6.8.8 Gli ottoni rinascimentali e «barocchi» – 6.8.9 Gli ottoni «ibridi»
340	6.9	Flauto traverso
		6.9.1 Emissione – 6.9.2 Regolazione del corista e dell'intonazione – 6.9.3 Flauto «barocco» e flauto moderno
349	6.10	Flauto diritto
351	CAPITOLO 7 – L'organo	
		<i>(Patrizio Barbieri)</i>
353	7.1	Struttura generale
354	7.2	Somieri
356	7.3	Canne labiali: lunghezza acustica
359	7.4	Canne labiali: dinamica dell'eccitazione
		7.4.1 Andamento qualitativo del fenomeno – 7.4.2 Impedenza del getto – 7.4.3 Non linearità dell'eccitazione
367	7.5	Canne labiali: caratteristiche foniche

		7.5.1 Timbro e intonazione – 7.5.2 Transitori – 7.5.3 Materiali e scaturatura dei diametri
379	7.6	Canne ad ancia
382	7.7	Radiazione sonora e cassa armonica
385		CAPITOLO 8 – Gli strumenti a percussione
		<i>(Lamberto Tronchin)</i>
387	8.1	Introduzione
387	8.2	Evoluzione delle percussioni
		8.2.1 Il «Tympanon» – 8.2.2 I periodi medioevale e rinascimentale in Europa – 8.2.3 Le percussioni in orchestra
392	8.3	Membrane e risonatori
		8.3.1 Modi di vibrazione della membrana ideale
396	8.4	Il timpano
		8.4.1 La presenza dell'aria nel timpano – 8.4.2 Analisi modale su timpani
405	8.5	Gli idiofoni
		8.5.1 Le barre – 8.5.2 Le piastre
407	8.6	Xilofono, vibrafono, piatti
		8.6.1 Xilofono e marimba – 8.6.2 Vibrafono – 8.6.3 Piatti e gong
411	8.7	Irraggiamento e decadimento del suono
		8.7.1 Il timpano – 8.7.2 Idiofoni
416	8.8	L'intensità di radiazione acustica
417	8.9	Altri strumenti a percussione
		8.9.1 «Glockenspiel» – 8.9.2 Campane tubolari
419	8.10	Le campane
		8.10.1 Intonazione delle campane – 8.10.2 Campanelle
425		CAPITOLO 9 – Metodologie sperimentali applicate agli strumenti musicali
		<i>(Lamberto Tronchin)</i>
427	9.1	Introduzione
427	9.2	Analisi spettrale
429	9.3	Misure di impedenza meccanica puntuale (mobilità)
431	9.4	Misure di risposta all'impulso e strumenti musicali virtuali
		9.4.1 Il violino e la tromba naturale
436	9.5	Misure di direttività sonora
437	9.6	L'analisi modale
		9.6.1 Impatto con trasduttore ad impulsi – 9.6.2 Impatto con trasduttore a segnali continui («shaker»)
441	9.7	La deformazione e lo smorzamento
443	9.8	Radiazione acustica
445	9.9	Metodo agli elementi finiti
447	9.10	Vibrometria laser Doppler
449	9.11	Interferometria olografica ottica e acustica
451	9.12	Metodo della «Particle Image Velocimetry» (PIV)
455		CAPITOLO 10 – Modelli fisici e strumenti musicali
		<i>(Lorenzo Seno)</i>
457	10.1	La sintesi del suono
		10.1.1 I sistemi continui: calcolatori analogici e sintetizzatori analogici – 10.1.2 I sistemi digitali e numerici – 10.1.3 La sintesi numerica

465	10.2 La sintesi numerica per modelli di segnale
466	10.3 La sintesi numerica per modelli fisici, o simulazione numerica 10.3.1 Considerazioni generali – 10.3.2 Un modello astratto e informale degli strumenti musicali – 10.3.3 Modelli matematici degli strumenti musicali – 10.3.4 Modelli matematici più realistici – 10.3.5 Diversi approcci alla modellizzazione fisica – 10.3.6 Le origini dei modelli fisici: le linee di ritardo e l'algoritmo di Karplus-Strong – 10.3.7 Le linee d'onda («waveguides») – 10.3.8 Il metodo diretto – 10.3.9 Sintesi modale – 10.3.10 Difficoltà, limiti, risultati raggiunti
491	10.4 Conclusioni
495	CAPITOLO 11 – Acustica della voce (<i>Mauro Uberti</i>)
497	11.1 Considerazioni introduttive
498	11.2 La respirazione 11.2.1 Anatomia degli organi della respirazione – 11.2.2 Meccanica respiratoria
502	11.3 La generazione della voce 11.3.1 Anatomia del sistema vibratorio – 11.3.2 Meccanica della generazione della voce – 11.3.3 Modalità vibratoria delle corde vocali – 11.3.4 Influenze del corpo sulla voce
509	11.4 Fonetica 11.4.1 Vocali – 11.4.2 Consonanti
515	11.5 Il canto 11.5.1 Eloquio e canto – 11.5.2 Estensione vocale – 11.5.3 Classi vocali – 11.5.4 Registri – 11.5.5 Tecniche vocali – 11.5.6 Vibrato – 11.5.7 Stonazione – 11.5.8 Mutazioni fonetiche nel canto – 11.5.9 Intensità della voce in funzione dell'altezza tonale – 11.5.10 Direttività della voce – 11.5.11 Portanza della voce
527	CAPITOLO 12 – Musica elettronica (<i>Michelangelo Lupone</i>)
529	12.1 Identità e seduzione
532	12.2 Nuovo mondo 12.2.1 Precursori – 12.2.2 Macchine del suono – 12.2.3 Convergenza
537	12.3 Ambiente
538	12.4 Quantità d'un istante
545	12.5 Dominio del tempo e della frequenza
551	12.6 Strumenti di pensiero 12.6.1 Oscillatore virtuale – 12.6.2 Inviluppo – 12.6.3 Rumore – 12.6.4 Sintesi additiva – 12.6.5 Sintesi granulare – 12.6.6 Sintesi sottrattiva – 12.6.7 Filtri digitali – 12.6.8 Filtri «Comb» e «Allpass» – 12.6.9 Modulazione AM e RM – 12.6.10 Modulazione FM – 12.6.11 Distorsione non lineare – 12.6.12 Spazializzazione del suono
587	CAPITOLO 13 – Acustica architettonica nella storia (<i>Patrizio Barbieri</i>)
589	13.1 Credenze e abbagli
591	13.2 Epoca classica e medioevale
595	13.3 Rinascimento: l'eredità «ondulatoria» vitruviana
596	13.4 Seicento: acustica geometrica e «recitar cantando»

598	13.5 Settecento e Ottocento: teatri d'opera e sale da concerto
606	13.6 Novecento: nascita dei descrittori acustici quantitativi e della progettazione computerizzata
611	CAPITOLO 14 – Il suono negli spazi chiusi (Renato Spagnolo)
613	14.1 Introduzione
614	14.2 Modi propri di un ambiente parallelepipedo 14.2.1 Distribuzione in frequenza dei modi propri – 14.2.2 Campo acustico in condizioni stazionarie e in condizioni transitorie
627	14.3 Principi dell'acustica geometrica 14.3.1 Riflessione speculare e sorgenti immagine – 14.3.2 Riflessione diffusa – 14.3.3 Struttura temporale delle riflessioni
633	14.4 Teoria statistica e ipotesi del campo perfettamente diffuso 14.4.1 Proprietà del campo acustico diffuso – 14.4.2 Decadimento del suono e tempo di riverberazione – 14.4.3 Densità di energia sonora in condizioni stazionarie – 14.4.4 Comportamento di spazi acusticamente accoppiati
646	14.5 Assorbimento acustico e materiali assorbenti 14.5.1 Principali proprietà dei materiali assorbenti – 14.5.2 Assorbimento per porosità – 14.5.3 Assorbimento per risonanza di cavità – 14.5.4 Assorbimento per risonanza di membrana – 14.5.5 Elementi e corpi assorbenti
657	14.6 Diffusione del suono e diffusori 14.6.1 I diffusori di Schroeder
661	CAPITOLO 15 – Sale da concerto e teatri d'opera (Carmine Ianniello)
663	15.1 Considerazioni preliminari
664	15.2 Breve richiamo di un modello semplice per il suono in una sala
666	15.3 Attributi percettivi e parametri oggettivi 15.3.1 Tempi di riverberazione e attributi collegati – 15.3.2 Rapporti tra energia e chiarezza – 15.3.3 Indice della robustezza del suono e intensità percepita – 15.3.4 Intervallo di ritardo iniziale e presenza – 15.3.5 Spazialità e parametri collegati
680	15.4 Sale da concerto
689	15.5 Specificità dell'opera e dei teatri d'opera 15.5.1 Alcuni aspetti dell'acustica dei teatri d'opera classici – 15.5.2 Descrittori dell'acustica dei teatri d'opera – 15.5.3 Nuove forme dei teatri d'opera
705	CAPITOLO 16 – Le sale di piccole dimensioni (Marco Fringuellino)
707	16.1 Introduzione
708	16.2 Comportamento acustico delle piccole sale 16.2.1 Problematiche modali relative alla risposta in bassa frequenza – 16.2.2 Disomogeneità spaziali della risposta dell'ambiente – 16.2.3 Parallelismo delle pareti ed «echo flutter» – 16.2.4 Gestione delle riflessioni ed effetto Haas
714	16.3 Ottimizzazione acustica di sale di piccole dimensioni 16.3.1 Dimensionamento ottimale per la correzione dei disturbi mo-

	dali – 16.3.2 Trattamento delle pareti interne, assorbimento e diffusione – 16.3.3 Corretto posizionamento di sorgenti e ascoltatore
721	16.4 Lo studio di registrazione professionale 16.4.1 Requisiti di base degli studi di registrazione – 16.4.2 Le sale di regia – 16.4.3 Le sale di presa
741	CAPITOLO 17 – Criteri di progettazione acustica di grandi sale (Renato Spagnolo)
743	17.1 Introduzione
744	17.2 Dimensioni, volume e forma 17.2.1 Le forme tradizionali
749	17.3 «Gestione» delle riflessioni 17.3.1 Riflessioni dal soffitto – 17.3.2 Riflessioni laterali e spaziali – 17.3.3 Balconate e pareti di fondo
756	17.4 Progettare per gli esecutori
760	17.5 Valori ottimali dei parametri di valutazione oggettivi
761	17.6 Un basso rumore di fondo
763	CAPITOLO 18 – Gli strumenti musicali, lo spazio architettonico e l’ascolto (Sergio Cingolani)
765	18.1 Gli strumenti musicali e loro comportamento all’interno della sala: considerazioni di metodo
770	18.2 La disposizione dell’orchestra nelle sale da concerto e nei teatri d’opera
777	18.3 Per una teoria dell’ascolto: lo spazio acustico come laboratorio di percezioni
783	CAPITOLO 19 – Misure acustiche nei teatri e nelle sale (Angelo Farina, Lamberto Tronchin)
785	19.1 Introduzione
785	19.2 Evoluzione delle tecniche di misura
786	19.3 Sistema lineare tempo invariante?
788	19.4 La risposta all’impulso
790	19.5 La risposta all’impulso binaurale
791	19.6 La risposta all’impulso «B-format» 19.6.1 Il microfono di tipo «Soundfield»
795	19.7 Tecniche di misura del tempo di riverberazione 19.7.1 Decadimento del rumore stazionario interrotto – 19.7.2 Tecniche impulsive
800	19.8 Tecniche di misura della risposta all’impulso 19.8.1 Misura con segnale impulsivo – 19.8.2 Deconvoluzione nel dominio della frequenza – 19.8.3 Segnali particolari: MLS – 19.8.4 Segnali particolari: «sine sweep»
812	19.9 Modalità di esecuzione delle misure 19.9.1 Posizioni di misura – 19.9.2 Strumentazione – 19.9.3 Misura e rappresentazione dei parametri acustici
827	CAPITOLO 20 – Modelli di simulazione e auralizzazione (Massimo Garai, Carla Tavernelli)
829	20.1 Caratteristiche e limiti dei modelli numerici
831	20.2 Modelli di simulazione in approssimazione geometrica

	20.2.1 Metodo delle sorgenti virtuali – 20.2.2 Metodo del «ray tracing» – 20.2.3 Confronto tra sorgenti virtuali e «ray tracing» – 20.2.4 Metodo della radiosità – 20.2.5 Modelli ibridi
847	20.3 Linee guida ed esempio applicativo 20.3.1 Linee guida di utilizzo – 20.3.2 Esempio: ricostruzione virtuale dell'acustica di un antico teatro d'opera
857	20.4 Auralizzazione e acustica virtuale
863	APPENDICI <i>(Sergio Cingolani, Renato Spagnolo)</i>
865	A.1 Unità di misura del Sistema Internazionale (SI)
867	A.2 Alcune proprietà fisiche della materia
869	A.3 Coefficiente di assorbimento acustico di alcuni materiali
871	A.4 Valore medio e valore efficace
872	A.5 Notazione complessa
874	A.6 Richiami di calcolo vettoriale
876	A.7 Trasformata di Fourier
880	A.8 Tecniche di auralizzazione dei dati sperimentali <i>(Angelo Farina, Lamberto Tronchin)</i>
888	A.9 Alcune caratteristiche degli strumenti a corda
894	A.10 Frequenze e note
896	A.11 Irradiazione sonora di alcuni strumenti musicali
911	BIBLIOGRAFIA
951	INDICE ANALITICO