

# Indice

XV	<b>PREMESSA</b> (Sergio Cingolani, Renato Spagnolo)
1	<b>CAPITOLO 1 – Introduzione storica all’acustica musicale</b> (Sergio Cingolani)
3	<b>1.1 Introduzione</b>
5	<b>1.2 L’acustica musicale nel pensiero degli antichi</b>
8	<b>1.3 Il periodo della rivoluzione scientifica</b>
12	<b>1.4 L’epoca dei matematici</b>
14	<b>1.5 Il pensiero ottocentesco</b>
18	<b>1.6 L’acustica musicale come disciplina moderna: l’indagine sugli strumenti musicali</b> 1.6.1 Il violino – 1.6.2 Gli strumenti a fiato – 1.6.3 Le percussioni
31	<b>CAPITOLO 2 – Consonanze, scale e temperamenti</b> (Patrizio Barbieri)
33	<b>2.1 Genesi degli intervalli musicali</b> 2.1.1 Serie armonica – 2.1.2 Operazioni sugli intervalli: i logaritmi «musicali»
36	<b>2.2 Consonanza e dissonanza</b> 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	<b>2.3 Ipotesi sull’origine delle scale</b>
47	<b>2.4 Scale pitagorica e sintonica («naturale»)</b> 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	<b>2.5 Scale temperate</b> 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	<b>CAPITOLO 3 – Fisica delle vibrazioni e dei suoni</b> (Renato Spagnolo)
73	<b>3.1 Introduzione</b>
73	<b>3.2 Oscillazioni libere e forzate di sistemi vibranti semplici</b> 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	<b>3.3</b>	<b>Onde trasversali nelle corde</b> 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	<b>3.4</b>	<b>Vibrazioni di barre</b>
94	<b>3.5</b>	<b>Vibrazioni di membrane e di piastre</b>
97	<b>3.6</b>	<b>Natura dei suoni</b>
98	<b>3.7</b>	<b>Propagazione delle onde sonore nei fluidi</b> 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	<b>3.8</b>	<b>Velocità di propagazione del suono nei fluidi</b>
107	<b>3.9</b>	<b>Assorbimento del suono in aria</b>
108	<b>3.10</b>	<b>Propagazione per onde piane e per onde sferiche</b>
112	<b>3.11</b>	<b>Impedenza acustica caratteristica e impedenza acustica specifica</b>
113	<b>3.12</b>	<b>Riflessione, trasmissione e diffrazione delle onde</b> 3.12.1 Riflessione e trasmissione – 3.12.2 Rifrazione in mezzi stratificati – 3.12.3 Diffrazione delle onde
121	<b>3.13</b>	<b>Interferenza di onde e onde stazionarie nei tubi</b> 3.13.1 Fenomeno dei battimenti – 3.13.2 Onde stazionarie nei tubi
127	<b>3.14</b>	<b>L'effetto Doppler</b>
129	<b>3.15</b>	<b>Grandezze fondamentali e loro unità di misura</b> 3.15.1 Intensità, densità di energia, potenza – 3.15.2 Scala dei decibel e livelli sonori
138	<b>3.16</b>	<b>Composizione in frequenza</b> 3.16.1 Serie di Fourier – 3.16.2 Bande di frequenza
142	<b>3.17</b>	<b>Sorgenti sonore</b> 3.17.1 Sorgenti monopolo e dipolo – 3.17.2 Sorgenti lineari – 3.17.3 Fattore di direttività e indice di direttività
149	<b>3.18</b>	<b>Campo acustico libero</b>
153	<b>CAPITOLO 4 – La percezione uditiva</b> <i>(Oskar Schindler, Antonio Schindler)</i>	
155	<b>4.1</b>	<b>Finalità dell'udito</b> 4.1.1 Udito e conoscenza del mondo – 4.1.2 Udito e comunicazione – 4.1.3 Udito, linguaggio e musica
161	<b>4.2</b>	<b>Anatomia e fisiologia del sistema uditivo</b> 4.2.1 Apparato trasduttivo – 4.2.2 Apparato percettivo – 4.2.3 La risposta soggettiva – 4.2.4 Effetti non lineari
171	<b>4.3</b>	<b>Udito e informazione</b> 4.3.1 Il flusso informativo – 4.3.2 I «quanta» acustici
180	<b>4.4</b>	<b>Udito e musica</b> 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	<b>CAPITOLO 5 – Gli strumenti a corda</b> <i>(Sergio Cingolani)</i>	
195	<b>5.1</b>	<b>Introduzione</b>
195	<b>5.2</b>	<b>Gli strumenti ad arco: il violino</b>

		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	<b>5.3</b>	<b>Gli altri strumenti del quartetto d'archi: la viola, il violoncello, il contrabbasso</b>
243	<b>5.4</b>	<b>Il pianoforte</b>
		5.4.1 Corda, martelletto, tavola armonica – 5.4.2 Urto della corda e sua vibrazione – 5.4.3 Vibrazione della tavola armonica
258	<b>5.5</b>	<b>La corda pizzicata: il clavicembalo</b>
263	<b>5.6</b>	<b>La chitarra</b>
271		<b>CAPITOLO 6 – Gli strumenti a fiato</b>
		<i>(Patrizio Barbieri)</i>
273	<b>6.1</b>	<b>Legni e ottoni: generalità</b>
		6.1.1 Dipendenza del corista dalla temperatura – 6.1.2 Strumenti traspositori – 6.1.3 Materiali ed emissione acustica
280	<b>6.2</b>	<b>Camerature</b>
		6.2.1 Legni – 6.2.2 Ottoni – 6.2.3 Fori tonali – 6.2.4 Fori di registro
291	<b>6.3</b>	<b>Meccanismi di eccitazione</b>
		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	<b>6.4</b>	<b>Clarinetto</b>
		6.4.1 Meccanica dell'eccitazione – 6.4.2 Risonanze del canneggio – 6.4.3 Emissione
310	<b>6.5</b>	<b>Oboe</b>
		6.5.1 Eccitazione – 6.5.2 Risonanze del canneggio – 6.5.3 Emissione: evoluzione storica
312	<b>6.6</b>	<b>Fagotto</b>
314	<b>6.7</b>	<b>Sassofono</b>
315	<b>6.8</b>	<b>Ottoni</b>
		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	<b>6.9</b>	<b>Flauto traverso</b>
		6.9.1 Emissione – 6.9.2 Regolazione del corista e dell'intonazione – 6.9.3 Flauto «barocco» e flauto moderno
349	<b>6.10</b>	<b>Flauto diritto</b>
351		<b>CAPITOLO 7 – L'organo</b>
		<i>(Patrizio Barbieri)</i>
353	<b>7.1</b>	<b>Struttura generale</b>
354	<b>7.2</b>	<b>Somieri</b>
356	<b>7.3</b>	<b>Canne labiali: lunghezza acustica</b>
359	<b>7.4</b>	<b>Canne labiali: dinamica dell'eccitazione</b>
		7.4.1 Andamento qualitativo del fenomeno – 7.4.2 Impedenza del getto – 7.4.3 Non linearità dell'eccitazione
367	<b>7.5</b>	<b>Canne labiali: caratteristiche foniche</b>

		7.5.1 Timbro e intonazione – 7.5.2 Transitori – 7.5.3 Materiali e scaturatura dei diametri
379	<b>7.6</b>	<b>Canne ad ancia</b>
382	<b>7.7</b>	<b>Radiazione sonora e cassa armonica</b>
385	<b>CAPITOLO 8 – Gli strumenti a percussione</b>	
		<i>(Lamberto Tronchin)</i>
387	<b>8.1</b>	<b>Introduzione</b>
387	<b>8.2</b>	<b>Evoluzione delle percussioni</b>
		8.2.1 Il «Tympanon» – 8.2.2 I periodi medioevale e rinascimentale in Europa – 8.2.3 Le percussioni in orchestra
392	<b>8.3</b>	<b>Membrane e risonatori</b>
		8.3.1 Modi di vibrazione della membrana ideale
396	<b>8.4</b>	<b>Il timpano</b>
		8.4.1 La presenza dell'aria nel timpano – 8.4.2 Analisi modale su timpani
405	<b>8.5</b>	<b>Gli idiofoni</b>
		8.5.1 Le barre – 8.5.2 Le piastre
407	<b>8.6</b>	<b>Xilofono, vibrafono, piatti</b>
		8.6.1 Xilofono e marimba – 8.6.2 Vibrafono – 8.6.3 Piatti e gong
411	<b>8.7</b>	<b>Irraggiamento e decadimento del suono</b>
		8.7.1 Il timpano – 8.7.2 Idiofoni
416	<b>8.8</b>	<b>L'intensità di radiazione acustica</b>
417	<b>8.9</b>	<b>Altri strumenti a percussione</b>
		8.9.1 «Glockenspiel» – 8.9.2 Campane tubolari
419	<b>8.10</b>	<b>Le campane</b>
		8.10.1 Intonazione delle campane – 8.10.2 Campanelle
425	<b>CAPITOLO 9 – Metodologie sperimentali applicate agli strumenti musicali</b>	
		<i>(Lamberto Tronchin)</i>
427	<b>9.1</b>	<b>Introduzione</b>
427	<b>9.2</b>	<b>Analisi spettrale</b>
429	<b>9.3</b>	<b>Misure di impedenza meccanica puntuale (mobilità)</b>
431	<b>9.4</b>	<b>Misure di risposta all'impulso e strumenti musicali virtuali</b>
		9.4.1 Il violino e la tromba naturale
436	<b>9.5</b>	<b>Misure di direttività sonora</b>
437	<b>9.6</b>	<b>L'analisi modale</b>
		9.6.1 Impatto con trasduttore ad impulsi – 9.6.2 Impatto con trasduttore a segnali continui («shaker»)
441	<b>9.7</b>	<b>La deformazione e lo smorzamento</b>
443	<b>9.8</b>	<b>Radiazione acustica</b>
445	<b>9.9</b>	<b>Metodo agli elementi finiti</b>
447	<b>9.10</b>	<b>Vibrometria laser Doppler</b>
449	<b>9.11</b>	<b>Interferometria olografica ottica e acustica</b>
451	<b>9.12</b>	<b>Metodo della «Particle Image Velocimetry» (PIV)</b>
455	<b>CAPITOLO 10 – Modelli fisici e strumenti musicali</b>	
		<i>(Lorenzo Seno)</i>
457	<b>10.1</b>	<b>La sintesi del suono</b>
		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	<b>10.2 La sintesi numerica per modelli di segnale</b>
466	<b>10.3 La sintesi numerica per modelli fisici, o simulazione numerica</b> 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	<b>10.4 Conclusioni</b>
495	<b>CAPITOLO 11 – Acustica della voce</b> ( <i>Mauro Uberti</i> )
497	<b>11.1 Considerazioni introduttive</b>
498	<b>11.2 La respirazione</b> 11.2.1 Anatomia degli organi della respirazione – 11.2.2 Meccanica respiratoria
502	<b>11.3 La generazione della voce</b> 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	<b>11.4 Fonetica</b> 11.4.1 Vocali – 11.4.2 Consonanti
515	<b>11.5 Il canto</b> 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	<b>CAPITOLO 12 – Musica elettronica</b> ( <i>Michelangelo Lupone</i> )
529	<b>12.1 Identità e seduzione</b>
532	<b>12.2 Nuovo mondo</b> 12.2.1 Precursori – 12.2.2 Macchine del suono – 12.2.3 Convergenza
537	<b>12.3 Ambiente</b>
538	<b>12.4 Quantità d'un istante</b>
545	<b>12.5 Dominio del tempo e della frequenza</b>
551	<b>12.6 Strumenti di pensiero</b> 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	<b>CAPITOLO 13 – Acustica architettonica nella storia</b> ( <i>Patrizio Barbieri</i> )
589	<b>13.1 Credenze e abbagli</b>
591	<b>13.2 Epoca classica e medioevale</b>
595	<b>13.3 Rinascimento: l'eredità «ondulatoria» vitruviana</b>
596	<b>13.4 Seicento: acustica geometrica e «recitar cantando»</b>

598	<b>13.5 Settecento e Ottocento: teatri d'opera e sale da concerto</b>
606	<b>13.6 Novecento: nascita dei descrittori acustici quantitativi e della progettazione computerizzata</b>
611	<b>CAPITOLO 14 – Il suono negli spazi chiusi</b> (Renato Spagnolo)
613	<b>14.1 Introduzione</b>
614	<b>14.2 Modi propri di un ambiente parallelepipedo</b> 14.2.1 Distribuzione in frequenza dei modi propri – 14.2.2 Campo acustico in condizioni stazionarie e in condizioni transitorie
627	<b>14.3 Principi dell'acustica geometrica</b> 14.3.1 Riflessione speculare e sorgenti immagine – 14.3.2 Riflessione diffusa – 14.3.3 Struttura temporale delle riflessioni
633	<b>14.4 Teoria statistica e ipotesi del campo perfettamente diffuso</b> 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	<b>14.5 Assorbimento acustico e materiali assorbenti</b> 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	<b>14.6 Diffusione del suono e diffusori</b> 14.6.1 I diffusori di Schroeder
661	<b>CAPITOLO 15 – Sale da concerto e teatri d'opera</b> (Carmine Ianniello)
663	<b>15.1 Considerazioni preliminari</b>
664	<b>15.2 Breve richiamo di un modello semplice per il suono in una sala</b>
666	<b>15.3 Attributi percettivi e parametri oggettivi</b> 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	<b>15.4 Sale da concerto</b>
689	<b>15.5 Specificità dell'opera e dei teatri d'opera</b> 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	<b>CAPITOLO 16 – Le sale di piccole dimensioni</b> (Marco Fringuellino)
707	<b>16.1 Introduzione</b>
708	<b>16.2 Comportamento acustico delle piccole sale</b> 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	<b>16.3 Ottimizzazione acustica di sale di piccole dimensioni</b> 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	<b>16.4 Lo studio di registrazione professionale</b> 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	<b>CAPITOLO 17 – Criteri di progettazione acustica di grandi sale</b> (Renato Spagnolo)
743	<b>17.1 Introduzione</b>
744	<b>17.2 Dimensioni, volume e forma</b> 17.2.1 Le forme tradizionali
749	<b>17.3 «Gestione» delle riflessioni</b> 17.3.1 Riflessioni dal soffitto – 17.3.2 Riflessioni laterali e spaziali – 17.3.3 Balconate e pareti di fondo
756	<b>17.4 Progettare per gli esecutori</b>
760	<b>17.5 Valori ottimali dei parametri di valutazione oggettivi</b>
761	<b>17.6 Un basso rumore di fondo</b>
763	<b>CAPITOLO 18 – Gli strumenti musicali, lo spazio architettonico e l'ascolto</b> (Sergio Cingolani)
765	<b>18.1 Gli strumenti musicali e loro comportamento all'interno della sala: considerazioni di metodo</b>
770	<b>18.2 La disposizione dell'orchestra nelle sale da concerto e nei teatri d'opera</b>
777	<b>18.3 Per una teoria dell'ascolto: lo spazio acustico come laboratorio di percezioni</b>
783	<b>CAPITOLO 19 – Misure acustiche nei teatri e nelle sale</b> (Angelo Farina, Lamberto Tronchin)
785	<b>19.1 Introduzione</b>
785	<b>19.2 Evoluzione delle tecniche di misura</b>
786	<b>19.3 Sistema lineare tempo invariante?</b>
788	<b>19.4 La risposta all'impulso</b>
790	<b>19.5 La risposta all'impulso binaurale</b>
791	<b>19.6 La risposta all'impulso «B-format»</b> 19.6.1 Il microfono di tipo «Soundfield»
795	<b>19.7 Tecniche di misura del tempo di riverberazione</b> 19.7.1 Decadimento del rumore stazionario interrotto – 19.7.2 Tecniche impulsive
800	<b>19.8 Tecniche di misura della risposta all'impulso</b> 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	<b>19.9 Modalità di esecuzione delle misure</b> 19.9.1 Posizioni di misura – 19.9.2 Strumentazione – 19.9.3 Misura e rappresentazione dei parametri acustici
827	<b>CAPITOLO 20 – Modelli di simulazione e auralizzazione</b> (Massimo Garai, Carla Tavernelli)
829	<b>20.1 Caratteristiche e limiti dei modelli numerici</b>
831	<b>20.2 Modelli di simulazione in approssimazione geometrica</b>

---

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