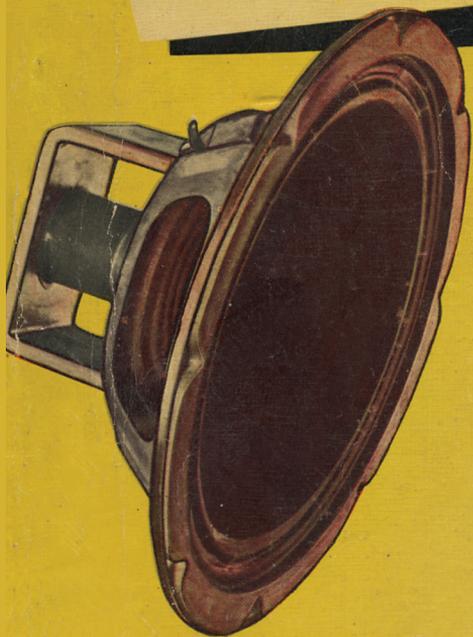


D. E. RAVALICO

# L' *Audio libro*

**ELEMENTI BASILARI E RECENTI APPLICAZIONI  
DELLA TECNICA DEL SUONO**



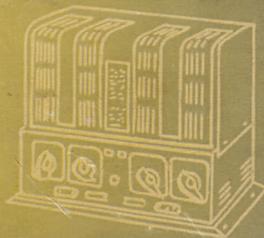
- **DAL RADIOFONOGRAFO  
ALL' IMPIANTO DA CINEMA  
TEATRO**



- **RACCOLTA COMPLETA  
DI SCHEMI  
DI AMPLIFICATORI**



**SECONDA EDIZIONE**  
325 figure, di cui 120 schemi  
completi di amplificatori di  
tutte le potenze e per tutti gli usi



D. E. RAVALICO

# L' AUDIO LIBRO

ELEMENTI BASILARI E RECENTI APPLICAZIONI DELLA TECNICA  
DEL SUONO - DAL RADIOFONOGRFO ALL'IMPIANTO DA CINEMA  
TEATRO - RACCOLTA COMPLETA DI SCHEMI DI AMPLIFICATORI

IL SUONO - IL MICROFONO E L'ALTOPARLANTE - IL DISCO ED IL RIVELATORE FONOGRAFICO - L'AMPLIFICATORE AD AUDIOFREQUENZA DATI PRATICI E SCHEMI PER LA COSTRUZIONE DI COMPLESSI SONORI DA ABITAZIONE E DI RADIOFONOGRFI ADATTI ANCHE PER LA RIPRODUZIONE DEI DISCHI A MICROSOLCO ED A LUNGA DURATA - DATI PRATICI E SCHEMI DI IMPIANTI SONORI DA CINEMA DI PICCOLA, MEDIA E GRANDE POTENZA - DATI PRATICI E SCHEMI DI IMPIANTI DI DIFFUSIONE SONORA PER SALE DA BALLO, SCUOLE, CHIESE, CAMPI SPORTIVI, ECC. - DATI PRATICI E SCHEMI DI APPARECCHI DI REGISTRAZIONE MAGNETICA SU FILO D'ACCIAIO O NASTRO DI CARTA NONCHÈ DI APPARECCHI INTERFONICI AD ALTA VOCE

Ad uso dei tecnici del suono, dei radiotecnici costruttori e riparatori, degli installatori di impianti sonori da cinema e dei proiezionisti, degli installatori di impianti di diffusione sonora, degli alunni degli Istituti industriali, dei dilettanti costruttori e degli amatori di musica riprodotta.

SECONDA EDIZIONE

325 figure, di cui 120 schemi  
completi di amplificatori di  
tutte le potenze e per tutti gli usi

EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

1954

RISTAMPA ANASTATICA DA ORIGINALE

Progetto di pre stampa a cura dello studio editoriale  
*xedizioni.it* per conto de “Le Radio di Sophie”

“Le Radio di Sophie” è disponibile ad assolvere i propri impegni nei  
confronti dei titolari di eventuali diritti sui testi pubblicati

© 2017 leradiodisophie.it

# INDICE DEI CAPITOLI

## CAPITOLO PRIMO

### IL SUONO

1°

#### L'INTENSITÀ SONORA

	Pag.
La sensazione auditiva . . . . .	1
Gamma delle intensità sonore . . . . .	2
Dinamica dei suoni . . . . .	5
Livello sonoro . . . . .	6
Variazione dell'intensità sonora e sensazione auditiva . . . . .	7
Misura di rapporto della potenza sonora . . . . .	8

2°

#### LA GAMMA DELLE FREQUENZE SONORE

La frequenza, la nota e l'ottava . . . . .	13
Frequenza, sensazione auditiva e potenza sonora . . . . .	13
Gamma di frequenza e ottave del pianoforte . . . . .	14
La frequenza fondamentale e le frequenze armoniche . . . . .	16
Infrasuoni, suoni e ultrasuoni . . . . .	17
La zona dell'udito e l'audiogramma . . . . .	19

3°

#### L'ORECCHIO

Caratteristiche basilari dell'orecchio . . . . .	20
--	----

## CAPITOLO SECONDO

### IL COMPLESSO D'AMPLIFICAZIONE SONORA

Caratteristiche generali dell'amplificatore . . . . .	25
Potenza necessaria dell'amplificatore . . . . .	27
Il complesso radio-fonografico da stanza di soggiorno . . . . .	32

CAPITOLO TERZO  
L'ALTOPARLANTE

	Pag.
Principio di funzionamento e parti componenti . . . . .	35
Caratteristiche di funzionamento dell'altoparlante . . . . .	41
Principio dell'altoparlante a tromba . . . . .	46
Altoparlanti a membrana e cono . . . . .	48
Coppie di altoparlanti . . . . .	49
L'altoparlante triassiale o trifonico . . . . .	54

CAPITOLO QUARTO  
IL COLLEGAMENTO DELL'ALTOPARLANTE

1°

IL COLLEGAMENTO DELL'ALTOPARLANTE SINGOLO

Il trasformatore d'uscita . . . . .	59
Resistenza di carico delle principali valvole . . . . .	60
Determinazione del rapporto del trasformatore d'uscita . . . . .	61
Esempi di trasformazione d'uscita . . . . .	64
Esempi pratici . . . . .	64
Potenza trasferita all'altoparlante . . . . .	66
Fattori determinanti la qualità del trasformatore d'uscita . . . . .	66

2°

IL COLLEGAMENTO DI PIÙ ALTOPARLANTI

Linea d'altoparlanti e trasformatore d'entrata . . . . .	67
Valori di tensione e di corrente all'uscita dell'amplificatore . . . . .	71
Linea di bobine mobili . . . . .	71
Linea complessa di altoparlanti . . . . .	73
Impianti con più amplificatori . . . . .	75
Linea ad impedenza costante . . . . .	75

CAPITOLO QUINTO  
LA SISTEMAZIONE DELL'ALTOPARLANTE

1°

SCHERMI E CASSE ACUSTICHE PER ALTOPARLANTI

Lo schermo piano . . . . .	79
Casse acustiche aperte . . . . .	79
Casse acustiche chiuse . . . . .	81
Casse acustiche Bass Reflex . . . . .	83
Casse acustiche per stanze di soggiorno . . . . .	88
Altoparlanti per installazioni all'aperto . . . . .	90

## INDICE DEI CAPITOLI

2°

### ALTOPARLANTI DA CINEMA

	Pag.
Schermi per altoparlanti da cinema . . . . .	93
Cassa e schermo per altoparlante da cinema . . . . .	94
Messa in fase degli altoparlanti . . . . .	98
Il divisore crossover . . . . .	101
Sistemi bifonici di altoparlanti da cinema . . . . .	102

## CAPITOLO SESTO

### LA RIPRODUZIONE FONOGRAFICA

1°

#### IL DISCO NORMALE ED IL DISCO A MICROSOLCO

L'incisione fonografica . . . . .	107
I due tipi di incisione: ad ampiezza costante ed a velocità costante . . . . .	109
Dischi a microsolco . . . . .	111
Dischi a passo variabile . . . . .	116
Incisione fonografica su nastro . . . . .	116
Puntine e stili . . . . .	120
Pressione della puntina a fruscio . . . . .	121
L'errore di tangenzialità . . . . .	122

2°

#### IL RIVELATORE

Il rivelatore fonografico o pickup . . . . .	125
Il pickup magnetico . . . . .	125
Il pickup a cristallo . . . . .	130
Il pickup a riluttanza variabile . . . . .	137
Pickup speciali . . . . .	139
Equalizzatori per pickup . . . . .	141

3°

#### IL CAMBIADISCHI AUTOMATICO

Categoria di cambiadischi . . . . .	143
Caratteristiche comuni dei cambiadischi . . . . .	150
Cambiadischi a una o più velocità . . . . .	151
Cambiadischi a 45 giri al minuto . . . . .	154
Cambiadischi automatico a due faccie . . . . .	157

## CAPITOLO SETTIMO

### IL MICROFONO

Il microfono a carbone . . . . .	159
Il microfono a bobina mobile . . . . .	165

	Pag.
Il microfono a nastro . . . . .	168
Il microfono a cardioide . . . . .	170
Il microfono a condensatore . . . . .	172

**CAPITOLO OTTAVO**

**L'AMPLIFICAZIONE AD AUDIOFREQUENZA**

Guadagno degli stadi di amplificazione . . . . .	175
Stadio finale in controfase . . . . .	178
Stadio invertitore di fase . . . . .	180
Le tre classi di amplificazione finale in controfase . . . . .	183
Categorie di amplificatori . . . . .	188
Caratteristiche importanti dell'amplificatore . . . . .	193

**CAPITOLO NONO**

**IL RESPONSO DI FREQUENZA DEGLI AMPLIFICATORI**

Principio dei filtri di frequenza . . . . .	195
Circuito di rinforzi dei toni bassi . . . . .	197
Circuito di rinforzo dei toni alti . . . . .	198
Controlli di responso . . . . .	199
Esempio di correzione di responso con circuiti di rinforzo dei toni alti e dei toni bassi . . . . .	200
Controlli di volume a compressione di tono . . . . .	202
Caratteristiche della reazione inversa . . . . .	203
Principio della reazione inversa . . . . .	203
Reazione inversa applicata alla valvola precedente la finale . . . . .	206
I controlli di responso a reazione inversa . . . . .	207
Problemi relativi all'applicazione della reazione inversa . . . . .	209

**CAPITOLO DECIMO**

**ESEMPI DI AMPLIFICATORI**

Avvertenze per la costruzione di amplificatori ad audio frequenza . . . . .	213
Amplificatori con valvole europee . . . . .	215
Amplificatori da 150 milliwatt per fonografo da bambini . . . . .	215
Amplificatori da 3 watt per radiofonografo . . . . .	216
Due amplificatori da 3,5 watt per dilettanti sperimentatori . . . . .	218
Amplificatore da 4 watt, per proiettore cinematografico a passo ridotto. . . . .	223
Amplificatore da 5 watt, ad alto guadagno, per complesso sonoro da stanza di soggiorno o per uso pratico di laboratorio . . . . .	223
Amplificatore da 8 watt, di tipo economico, per complesso radiofonografico da abitazione . . . . .	227

INDICE DEI CAPITOLI

	Pag.
Amplificatore da 10 watt con EL 34 finale . . . . .	229
Amplificatore da 10 watt, ad alta fedeltà, per stanza di soggiorno . . . . .	229
Amplificatore da 10 watt, per stanza da soggiorno . . . . .	233
Amplificatore da 15 watt, in classe AB2, alimentabile con tensione continua o alternata . . . . .	235
Amplificatore da 20 watt, per impianto sonoro d'uso generale . . . . .	237
Amplificatore da 30 watt, ad alto guadagno e ad alta fedeltà, per sala da ballo . . . . .	238
Amplificatore da 35 watt, con due EL 34 in controfase, in classe AB 1 . . . . .	241
Amplificatore da cinema, ad alta musicalità, da 35 watt, con due EL 34 in controfase, classe AB 1 : . . . . .	242
Amplificatore da cinema, ad alta musicalità, da 70 watt, con quattro EL 34 finali, in classe AB1 . . . . .	244
Amplificatore da 100 watt, da cinema ad alta musicalità . . . . .	246

**CAPITOLO UNDICESIMO**

**IMPIANTI DI COMUNICAZIONE INTERNA AD ALTA VOCE**

1°

IMPIANTI INTERFONICI CON L'APPARECCHIO RADIO

Comunicazioni interne con l'apparecchio radio . . . . .	251
---	-----

2°

IMPIANTI INTERFONICI

Caratteristiche degli impianti ad alta voce . . . . .	258
Esempio di impianto interfonico semplice . . . . .	259
Impianti interfonici con remoti che possono chiamare . . . . .	261

3°

INTERFONICI A FUNZIONAMENTO IMMEDIATO

Mezzi per abbreviare il tempo di attesa . . . . .	264
Impianto interfonico a funzionamento immediato . . . . .	265
Radio-interfonico a segnalazione acustico luminosa ed a funzionamento immediato . . . . .	267

4°

IMPIANTI DI INTERCOMUNICAZIONE INTERNA

Esempio di impianto intercom. da ufficio . . . . .	273
--	-----

5°

APPARECCHI INTERFONICI DI TIPO COMMERCIALE

Apparecchio NOVA mod. TRIO . . . . .	277
Impianti interfonici Ducati . . . . .	279
Apparecchio Sintomagic FM 11 . . . . .	282
Interfonico Operadio mod. Flexiphone . . . . .	285

**CAPITOLO DODICESIMO**  
**I REGISTRATORI MAGNETICI**

1°

**GLI APPARECCHI DI REGISTRAZIONE SU FILO**

Pag.

La registrazione magnetica di voci e suoni su filo di acciaio . . . . .	287
Principio della registrazione magnetica su filo di acciaio . . . . .	290
La polarizzazione supersonica . . . . .	292
La cancellazione delle impressioni magnetiche dal filo . . . . .	293
La testa magnetica di registrazione, riproduzione e cancellazione . . . . .	194
Come avviene la corsa del filo d'acciaio nei registratori magnetici . . . . .	297
Il meccanismo del trasporto del filo . . . . .	302

2°

**GLI APPARECCHI DI REGISTRAZIONE A NASTRO**

Il nastro magnetico . . . . .	303
Velocità di corsa del nastro magnetico . . . . .	305
Caratteristiche del nastro magnetico . . . . .	307
Nastro magnetico a doppia banda . . . . .	308
La testa magnetica dei registratori a nastro . . . . .	308
Il meccanismo di traslazione del nastro . . . . .	310

3°

**L'UNITÀ ELETTRONICA DEI REGISTRATORI MAGNETICI**

Componenti dell'unità elettronica . . . . .	313
I circuiti di pre e post-compensazione . . . . .	315
L'oscillatore a frequenza supersonica di polarizzazione . . . . .	316
L'unità elettronica del registratore a filo Webster mod. 180 . . . . .	320
Il registratore Air King mod. A 725 . . . . .	321
Il magnetofono Castelli mod. RM 125 . . . . .	322
Unità elettronica per registratore a nastro adatto per dilettanti costruttori . . . . .	326

4°

**L'APPARECCHIO RADIO-FONOFILO**

La registrazione magnetica con l'apparecchio radio . . . . .	329
Esempio di apparecchio portatile radio-fono-filo . . . . .	330
Valvole dell'apparecchio radio-fono-filo . . . . .	331
Come avviene la commutazione radio-fono-filo . . . . .	332

5°

**ADATTATORI PER LA REGISTRAZIONE MAGNETICA CON APPARECCHI RADIO**

Tipi di adattatori magnetici . . . . .	333
Adattatore per registrazione magnetica su nastro con apparecchio-radio o radiofonografo, mod. Philmagna 15 . . . . .	336
Registratore a nastro Inas mod. 105 . . . . .	339
Registratore magnetico a filo Geloso mod. G. 242-M . . . . .	340

**APPENDICE**

Schemi di amplificazione . . . . .	347
------------------------------------	-----

## INDICE ALFABETICO

### A

- A1, classe, 185, 187.
- AB1, classe, 186, 187.
- AB2, classe, 186, 187.
- Accordion, altoparlante, 40.
- Acustica, capacità, 81.
- Acustica, lente, 53.
- Acustica, potenza, 28.
- Acustiche, casse, 79.
- Adattatore per registrazione magnetica, 334.

#### ALIMENTATORE ANODICO:

- ad autotrasformatore, 226.
- a raddoppiatore di tensione, 227, 228, 249.
- con filamenti in serie, 228, 236.
- senza trasformatore, 228, 236.
- Altezza del suono, 13.

#### ALTOPARLANTE (da pag. 35 a pag. 106):

- a canale multiplo, 48.
- accordion, 40.
- a cono, 35.
- a cono e membrana, 48.
- a cono e tromba, 51.
- a coppia, 48.
- a pioggia, 92.
- a radiatore diretto, 99.
- a tromba, 46, 51.
- a tronco di cono, 92, 93.
- bicono, 50.
- bifonico, 50.
- bobina fonica del, 35.
- bobina mobile del, 35.
- cassa acustica per, 79-105.
- centratore dell', 38.
- cestello dell', 38.
- cono dell', 48-51.
- cono-membrana dell', 48.
- curva di fedeltà dell', 41, 87.
- da cinema, 93-105.
- diagramma dell', 35.
- d'alta classe, 101.
- dinamica dell', 46.

#### ALTOPARLANTE (segue):

- dinamico, 55.
- distorsione dell', 43.
- efficienza dell', 28, 43.
- elettrodinamico, 35.
- frenatura dell', 81.
- frequenza di risonanza dell', 81.
- funzionamento dell', 41.
- magnete dell', 35.
- magnetodinamico, 35.
- magnete permanente dell', 35.
- membrana dell', 35, 48.
- per alte frequenze, 99-102.
- per basse frequenze, 101.
- per installazioni all'aperto, 90.
- percentuale di distorsione dell', 43.
- potenza dell', 66.
- rendimento dell', 28, 43.
- responso dell', 41.
- responso polare dell', 45.
- responso transiente dell', 45.
- risonanza dell', 87.
- sistemazione dell', 79.
- schermo per, 79.
- traferro dell', 35.
- trasformatore d'entrata dell', 67.
- trasformatore d'uscita dell', 59.
- triassiale, 54.
- trifonico, 54.

#### ALTOPARLANTE:

- collegamento di, 67, 69, 72, 75.
- da cinema, 93-105.
- di potenza diversa, 77.
- in parallelo, 68.
- in serie-parallelo, 69-70.
- linee di, 67, 71.
- ripartizione della potenza, 70.

#### Ampiezza d'onda, 2.

#### Ampiezza di vibrazione, 36.

#### Ampiezza costante, incisione a, 109-110.

#### AMPLIFICATORE:

- a bassa frequenza, 25, 175-211.
- a audiol frequenza, 25, 175-211.

**AMPLIFICATORE (segue):**

- caratteristiche dell', 193.
- compensazione di tono dell', 180-211.
- controlli dell', 199, 202, 207.
- da cinema, 245.
- da radiofonografo, 216, 222, 227.
- da sala da ballo, 239.
- da stanza di soggiorno, 229.
- da 150 milliwatt, 215.
- da 3 watt, 216.
- da 4 watt, 222.
- da 10 watt, 233.
- da 30 watt, 239.
- da 35 watt, 241-243.
- da 70 watt, 245.
- da 100 watt, 247.
- distorsione armonica dell', 193.
- entrata dell', 25.
- gamma di frequenze dell', 193.
- guadagno dell', 25-26, 175.
- percentuale d'intermodulazione dell', 193.
- potenza dell', 25-29.
- reazione inversa dell', 203-211.
- responso dell', 195-211.
- ronzo dell', 193, 213.
- senza condensatori, 220.
- uscita dell', 25.

**AMPLIFICATORI:**

- a collegamento diretto, 219.
- ad alta fedeltà, 230, 240, 245.
- categorie di, 189.
- con uscita al catodo, 220.
- con uscita a seguidatore catodico, 218.
- con valvole europee, 215.
- costruzione degli, 213.
- da cinema, 245.
- di grande potenza, 191.
- di media potenza, 191.
- di piccola potenza, 189.
- musicali, 194.

**AMPLIFICAZIONE:**

- a bassa frequenza, 25, 175-211.
- ad audiofrequenza, 25, 175-211.
- classi di, 183-185.
- finale in controfase, 178-180.
- principio dell', 179.
- Ancoretta del pickup, 125.
- Anodico, carico, 59-63.
- Apparecchio radio-fono-filo, 330.
- Apparecchio radio-interfonico, 251, 257.
- Armoniche, frequenze, 16.
- Asse sonoro delle trombe, 94.
- Attenuatore dei toni alti, 196.
- Attenuatore dei toni bassi, 197.
- Autotrasformatore d'alimentazione, 226.
- Autotrasformatore d'entrata, 70.
- Audiofrequenza, 25.
- Audiogramma, 19-20.

**B**

- B, classe d'amplificazione, 187.
- Baffle, 79.
- Banda alta di frequenza, 49.
- Banda bassa di frequenza, 49.
- Bar, 3.
- Bassa frequenza, 25.
- Bassi, perdita dei, 202.
- Bassi, rinforzo dei, 197-201.
- Bass Reflex, casse acustiche, 83-104.
- Bel, 3.
- BIFONICO:**
  - altoparlante a due coni, 50.
  - altoparlante a cono e membrana, 48.
  - altoparlante a cono e tromba, 51.
  - divisore per, 97.
  - impianto semplice, 96.
  - impianto da cinema, 102-106.
- BOBINA:**
  - di campo, 36.
  - di cancellazione, 294-297.
  - di registrazione magnetica, 294-297.
  - fonica, 35.
- BOBINA MOBILE:**
  - dell'altoparlante, 35-36, 39.
  - impedenza della, 37, 59, 60, 61.
  - resistenza alle AU della, 59.
  - resistenza riflessa della, 66.
  - tensione ai capi della, 77.
- Bostwich, delle trombe, 92.

**C**

**CALCOLO:**

- della corrente all'uscita dell'amplificatore, 71.
- della potenza d'uscita, 64.
- della sensazione auditiva in decibel, 12.
- della tensione ai capi della linea fonica, 77.
- della tensione all'uscita dell'amplificatore, 71.
- della tensione alla bobina mobile, 65.
- della tensione di reazione inversa, 209.
- guadagno dello stadio, 176.
- impedenze in parallelo, 69, 75, 78.
- impedenza primaria, 74.
- impedenza secondaria, 74.
- potenza acustica, 28.
- potenza elettrica, 29.
- potenza dell'amplificatore, 29.
- potenza sonora in volt, 12.
- potenza trasferita all'altoparlante, 66.
- reazione inversa, 209.
- resistenza di catodo, 176.
- riduzione di guadagno, 209.
- ripartizione della potenza sonora, 70.
- CAMBIADISCHI AUTOMATICI (da pag. 143 a pag. 158)**
  - a due faccie, 144, 157.
  - a perno azionato, 148.

**CAMBIADISCHI AUTOMATICI (segue):**

- a una faccia, 144.
- a palette, 149.
- a pulsante, 145.
- ad una o più velocità, 151.
- a 45 giri, 154.
- caratteristiche del, 150.
- Lesa, 151.
- Markel, 157.
- RCA-Victor, 154.
- Camera acustica, 47.
- Camera di compressione, 46.
- Camera di risonanza, 166.
- Camera sonora, 46.
- Canale d'Eustachio, 21.
- Canale multiplo, altoparlanti a, 96-106.
- Capacità acustica, 81.
- Capacitiva reattanza, 195.
- CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO:**
- della valvola EL34, 188.
- della valvola EL51, 188.
- della valvola 6L6, 187.
- della valvola 6V6, 185.
- Carico anodico, 59, 63.
- Carico della valvola finale, 60.
- Carico esterno, 59.
- Carico riflesso placca-placca, 74.
- CASSE ACUSTICHE PER ALTOPARLANTI:**  
(da pag. 79. a pag. 106)
- aperte, 79.
- Bass Reflex, 81, 85.
- custodia, 80.
- chiuse, 81.
- per altoparlanti da cinema, 103, 105.
- per due altoparlanti, 82, 96.
- per impianti bifenici, 96, 100, 103.
- per stanza da soggiorno, 88.
- per tre altoparlanti, 82.
- Categorie di amplificatori, 188.
- Categorie di impianti sonori, 31.
- Catena degli ossicini, 23.
- Catodo, resistenza di, 176.
- Catodo, uscita al, 220.
- Cavità risonante, 166.
- Cellula fotoelettrica, 223.
- Cellula sonora, 163.
- Centratore dell'altoparlante, 38.
- Cestello dell'altoparlante, 38, 40.
- CINEMA SONORO:**
- ad alta musicalità, 93, 102.
- a media musicalità, 32.
- a sufficiente musicalità, 31.
- altoparlanti per, 93-106.
- amplificatori per, 191, 194.
- casse acustiche per, 103, 105.
- complessi sonori per, 102.
- diffusori esponenziali per, 93, 94.
- fotocella per, 223.
- trombe per, 93, 95, 100.

**CINEMA SONORO (segue):**

- circuiti di rinforzo dei toni alti, 198.
- circuiti di rinforzo dei toni bassi, 197.
- CLASSE D'AMPLIFICAZIONE:**
- classe A, 185.
- classe A1, 183-185.
- classe AB, 186.
- classe AB1, 183-186.
- classe AB2, 188-186.
- classe B, 186.
- Coassiale, altoparlante, 54.
- Coassiale bicono, 50.
- Coassiale cono-tromba, 51-57.
- Coclea, 23.
- Coefficiente d'amplificazione, 179.
- Collegamento degli altoparlanti, 59.
- Complesso radiofonografico, 32.
- Complesso sonoro da stanza di soggiorno, 32.
- Compensazione di tono, 195-211.
- Cono diffusore, 35, 36, 37, 39.
- Cono e curva di responso, 42.
- Cono ellittico, 38.
- Cono, cambio del, 39.
- Cono-membrana, altoparlante a, 48.
- CONTROLLI:**
- a reazione inversa, 207, 232.
- dei toni alti, 200, 201, 208.
- dei toni bassi, 200, 201, 208.
- di responso, 199.
- di responso all'estremo alto, 200, 208.
- di responso all'estremo basso, 197, 206, 209, 228.
- di rinforzo dei toni alti, 201.
- di rinforzo dei toni bassi, 201.
- di volume, compensati, 202, 217.
- CONTROFASE (da pag. 178 a pag. 188):**
- classi di amplificazione in, 186.
- inconvenienti, 180.
- principio di funzionamento, 178, 180.
- vantaggi, 178.
- Controreazione (v. reazione inversa).
- Controttava, 15.
- Coppie di altoparlanti, 68, 96, 97, 101.
- CORRENTE:**
- a bassa frequenza, 25.
- ad audiofrequenza, 25.
- all'uscita dell'amplificatore, 71.
- di griglia, 186.
- fonica, 25.
- musicale, 25.
- Correzione di responso, 195-211.
- Cristallo, microfoni a, 162.
- Cristallo, pickup a, 131.
- Cristallo, piezoelettrico, 131, 162.
- Cristallo PN, 136.
- Curva caratteristica delle valvole, 179, 185.
- Curva di risonanza dell'altoparlante, 87.
- Curva di direzionalità dell'altoparlante, 44.
- Curve isofoniche, 21.

**D**

- Decibel, 3, 11-12.
- Decibel, scala ln, 4.
- Diaframma dell'altoparlante, 35.
- Diaframma di mica, 109.
- Diaframma fonografico, 125.
- Diffusore a cono, 35.
- Diffusore bicono, 50.
- Diffusore da cinema, 93-105.
- Diffusore esponenziale, 93-94.
- Dinamica dell'altoparlante, 46.
- Dinamica dei suoni, 6.
- DISCO FONOGRAFICO:**
  - a lunga durata, 111.
  - a passo variabile, 116.
  - a 33,3 giri al minuto, 113.
  - a 45 giri al minuto, 113.
  - a 78, 26 giri al minuto, 107-111.
  - incisione del, 107-111.
  - passo del, 116.
- DISTORSIONE:**
  - armonica, 193.
  - dell'altoparlante, 43.
  - dell'amplificatore, 193, 214.
- Disturbi di funzionamento dell'amplificatore, 214.
- Divisore di gamma sonora, 97.
- Divisore crossover, 101.

**E**

- Effetto Larsen, 269.
- Elemento bimorfo, 125.
- Elicotrema, 23.
- Endolinfia, 21.
- Energia sonora, 3.
- EQUALIZZATORE:**
  - degli altoparlanti a tromba, 92.
  - dei pickup a cristallo, 141.
  - dei pickup magnetici, 142.
  - di fase, 92.
  - per i toni alti, 141.
  - per i toni bassi, 141.
- Esponenziale, diffusore, 47.

**F**

- Fase splitter, 181.
- Fibrille della coclea, 21.
- Filamenti in serie, 228, 236.
- Filatura dell'amplificatore, 214.
- Film sonoro (v. cinema sonoro).
- FIL MAGNETICO (287-303):**
  - composizione del, 289.
  - registratori a, 287-303, 329-342.
  - traslazione del, 302.
  - velocità del, 291-292.

**FILTRO:**

- a induttanza-capacità, 101.
- a resistenza-capacità, 195.
- di frequenza, 195.
- divisore per altoparlanti, 49, 56, 97-99, 101.
- dei toni alti, 197.
- dei toni bassi, 196.
- entrata del, 196.
- passa-alto, 101.
- passa basso, 101.
- per il pickup, 141-142.
- uscita del, 195.

Finale, amplificazione, 178-180.

Finale, carico della, 60.

Finale, stadio, 178.

Finestre della coclea, 23.

FM pickup, 139.

**FONICA:**

- bobina, 35.
- corrente, 25.
- linea, 67.

Fonografica, incisione, 107-108.

Fonografico, rivelatore, 125-143.

Fonografo per bambini, 215.

Fonografo, amplificatore per, 214, 221, 227.

Forza vibromotrice, 36.

Fotocellula, 223.

Frenatura dell'altoparlante, 81.

**FREQUENZA (13-20):**

- armonica, 16.
- a zero decibel, 14.
- di crossover, 101.
- di risonanza dell'altoparlante, 81.
- di passaggio, 111.
- di taglio, 111.
- di turnover, 111.
- divisore di, 49, 56, 97-99, 101.
- filtro di, 195-197.
- fondamentale, 16.
- gamma di, 14.
- sonora, 13.
- supersonica, 17.

Fruscio della puntina, 117.

Fullschrift, dischi, 116.

**G**

Gamma del pianoforte, 14.

Gamma di frequenza, 13.

Giradischi, 115.

Grado centigrado sonoro, 3.

Griglia a massa, 182.

**GUADAGNO:**

- d'amplificazione, 25-26, 175.
- delle principali valvole, 177.
- di uno stadio d'amplificazione, 177.
- riduzione di, 209.

I

**IMPEDEZZA:**

- della bobina mobile, 37, 59.
- del pickup, 127.
- della puntina, 126.
- del primario, 60, 62, 65.
- del secondario, 60, 62.
- di carico anodico, 59.
- di carico esterno, 59.
- primaria, 74.

Impedenze in parallelo, 73.

**IMPIANTO:**

- bifonico di altoparlanti, 95-102.
- di comunicazione interna, 251-285.
- di intercomunicazione, 270.
- di media musicalità, 99.
- sonoro da cinema, 93-105.
- sonoro da stanza di soggiorno, 32.

**INCISIONE:**

- ad ampiezza costante, 109.
- a microsolco, 111.
- a passo variabile, 116.
- a velocità costante, 109.
- laterale, 108.
- in profondità, 108.
- su nastro, 116.

**INTERFONICO (da pag. 251 a pag. 285):**

- abbinato alla radio, 256, 277.
- a funzionamento immediato, 263, 273.
- amplificatori per, 269, 275, 281-282.
- apparecchi remoti del, 258, 261.
- a tre principali, 270.
- caratteristiche dell'impianto, 258.
- cavi di collegamento, 274, 280.
- commutatore parla-ascolta del, 252.
- con apparecchio radio, 251.
- con segnalazione acustico-luminosa, 267, 277.
- dufono Ducati, 279-282.
- Nova mod. Trio, 277.
- principio basilare dell', 251, 258.

**INVERSIONE DI FASE:**

- a seguatore catodico (v. fase splitter).
- a fase splitter, 182.
- con doppio triodo, 181.
- con impedenza, 182.
- con trasformatore, 180-184.
- principio della, 180.
- stadio di, 180.

Intercomunicatore, 270-277.

L

- La fisico, 15.
- La internazionale, 15.
- La sinfonico, 15.
- Legge di Ohm, 179.
- Legge di Weber-Fechner, 7, 8.
- Lente acustica, 53.

**LINEA:**

- a impedenza costante, 75.
- a media impedenza, 75.
- conduttori di rame per, 71.
- d'altoparlanti, 67.
- di bobine mobili, 71.
- fonica, 67.
- Linee di forza magnetica, 35.
- Linee in serie-parallelo, 69-70.

**LIVELLO:**

- d'intensità sonora, 6.
- di ronzo, 193.
- di sensazione auditiva, 7.
- in decibel, 3-13.
- sonoro, 6, 10.

M

- Magnete dell'altoparlante, 35.
- Magnetica registrazione, 287-342.
- Magnetico filo, 287-302.
- Magnetico nastro, 303-318.
- Magnetico pickup, 125-129.
- Magnetodinamico, 35.
- Master apparecchio interferonico, 258.
- Membrana-cono, altoparlante a, 48.
- Membrana dell'altoparlante, 35, 48.
- Membrana dell'orecchio, 21.
- Membrana di mica, 109.
- Mica, diaframma di, 109.
- Microbar, 3.
- MICROFONO:**
- a bobina mobile, 165.
- a camera di risonanza, 166.
- a cardioide, 170.
- a cellula sonora, 163.
- a cristallo, 162.
- condensatore, 172.
- dinamico, 165.
- elettrostatico, 172.
- piezoelettrico, 162.
- Micrograde, disco, 116.
- Microsolco, disco, 107, 111.
- Microsolco, incisione a, 107, 111.
- Microwatt, 3.
- MISURA:**
- della potenza sonora, 8.
- d'energia sonora, 3.
- di livello sonoro, 8.
- di rapporto, 2.
- Mu, 175.

N

- NASTRO MAGNETICO (303-318):**
- a doppia banda, 308.
- apparecchi a, 310-313, 326-329.

**NASTRO MAGNETICO** (segue):

- caratteristiche del, 307.
- meccanismo di traslazione del, 310.
- registrazione su, 303.
- testa fonica per, 308.
- velocità del, 305.

Nastro fonografico, 116.

Negativa polarizzazione, 176.

Negativa reazione (v. reazione inversa).

Nota musicale, 13.

**O**

**ONDA SONORA:**

- definizione, 3.
- frontale, 93.
- retrostante, 93.
- velocità dell', 3.

Orecchio, 20-24.

Oscillatore AF di polarizzazione, 235.

Oscillatore supersonico, 114.

Oscillazione dell'amplificatore, 214.

Ossicini dell'orecchio, 23.

Ottava musicale, 13.

Ottave del pianoforte, 14.

**P**

Passa-alto, filtro, 101.

Passa-basso, filtro, 101.

Passo del disco, 116.

Percentuale d'armoniche, 193.

Percentuale d'intermodulazione, 193.

Percentuale di distorsione, 43.

Percentuale di reazione inversa, 210.

Perdita dei toni bassi, 202.

Philmagna, 340.

Phon, 3.

Pianoforte, ottave del, 14.

**PICKUP** (da pag. 122 a pag. 143):

- a bobina mobile, 139.
- a cristallo, 131-137.
- a diagonale, 136.
- a elemento bimorfo, 132.
- a flessione, 132.
- a fotocella, 141.
- a lamina vibrante, 126.
- a modulazione di frequenza, 139.
- a puntina libera, 139-140.
- a resistenza variabile, 130.
- a riluttanza variabile, 137-138.
- a stilo permanente, 112, 122, 126.
- a torsione, 133.
- braccio del, 122-124.
- cautele per l'uso, 137.
- dinamico, 139.
- elettromagnetico, 125-129.
- equalizzatori per, 141-142.
- errore di tangenzialità del, 122-124.
- filtri per il, 141-142.

**PICKUP** (segue):

- funzionamento del, 125, 131.
- impedenza del 127.
- magnetico, 125.
- piezoelettrico, 131.
- radionico, 139.
- resa d'uscita del, 130.

Piezoelettricità, 131.

Pilota, unità, 46.

Portapuntina, ancorotta, 125.

**POTENZA:**

- acustica necessaria, 28.
- elettrica, 29-30.
- dell'amplificatore, 26, 188.
- in decibel, 3, 11-12.
- sonora, 8, 11-13.
- stadio finale di, 178.
- unità di misura, 27.

**POTENZA D'USCITA:**

- calcolo della, 64.
- dell'amplificatore, 64.
- trasferita all'altoparlante, 66.
- standard, 9.

Preamplificatore per pickup, 138.

Preamplificatore, stadio, 230, 235, 243, 245, 249.

Pressione della puntina, 117.

Prima ottava, 15.

Primario, avvolgimento, 59.

Proiettore cinematografico, 223.

Puntina, 116.

Puntina, impedenza della, 126.

**R**

Raddoppiatore di tensione, 227-228, 249.

Radiatore diretto (v. altoparlante a cono).

Radiofonografo, 32.

Radiofonografo, amplificatore per, 222-223, 229, 233.

Radiofonografo, equalizzatore per, 141-142.

Radio-fono-filo apparecchio, 329.

Radio-interfonico, 251, 277.

Radiofonico pickup, 139.

**RAPPORTO:**

- della potenza sonora, 8.
- dell'intensità sonora, 9, 13.
- del trasformatore d'entrata, 69.
- del trasformatore d'uscita, 60, 61, 63.
- impedenza, 60-62.
- misure di, 2, 3.
- spire, 60-62.

Reattanza del condensatore, 195.

**REAZIONE INVERSA** (203-211):

- circuiti basilari, 204.
- calcolo della, 210.
- con rinforzo toni alti, 206.
- con rinforzo toni bassi, 206.
- controlli di responso con, 207.
- placca-catodo, 206.

**REAZIONE INVERSA (segue):**

- secondario trasformatore d'uscita, 209.
- principio di funzionamento, 203-204.

Reazione negativa (v. reazione inversa).

**REGISTRATORI MAGNETICI (da pag. 287 a pag. 342):**

- a filo d'acciaio, 287, 321, 332-342.
- a nastro, 303-313.
- bobina di cancellazione, 294-297.
- bobina motrice del, 300.
- bobina recorder dei, 300.
- bobina di registrazione, 294-297.
- bobina serbatoio, 300.
- bobine foniche, 295-309.
- cancellazione con i, 293-312.
- Castelli RE/C3, 336.
- commutatore dei, 302.
- filo d'acciaio per, 289-290.
- frequenza supersonica, 292.
- frequenza registrabili, 307.
- Geloso mod. G. 240/M, 324.
- meccanismo di movimento dei, 297, 310.
- nastro magnetico per, 307.
- oscillatore supersonico dei, 316.
- precompensazione dei, 314.
- Philmagna 15, 335.
- testa magnetica dei, 294, 309.
- unità elettronica dei, 313.

**REGISTRAZIONE MAGNETICA:**

- adattatori per, 334.
- gamma dinamica della, 307.
- principio della, 290.
- su filo d'acciaio, 287-351.
- su nastro, 303-313.
- radiofonografi con, 329.

Rendimento degli altoparlanti, 28.

**RESISTENZA:**

- dei conduttori di rame, 71.
- di carico anodico, 59-60.
- di carico esterno, 59-60.
- di catodo, 176.
- interna delle valvole, 175.
- limitatrice di reazione, 210.
- standard, 12.

Resistenze in parallelo, 174, 210.

**RESPONSO DI FREQUENZA:**

- a circuiti di rinforzo, 198-201.
- a filtri, 195.
- a reazione inversa, 203-211.
- controlli di, 199.
- dell'amplificatore, 195-211.
- dell'altoparlante, 41, 45.
- dei toni alti, 200.
- dei toni bassi, 199.
- polare, 44-45.
- transiente, 45, 95.

Riluttanza variabile, pickup a, 137.

Rimbombo dei radiofonografi, 81.

Rinforzo dei toni alti, 198-201.

Rinforzo dei toni bassi, 197-201.

Ripartizione della potenza sonora, 70.

Risonante, cavità, 166.

Risonanza dell'altoparlante, 87.

Risposta lineare, 193.

Rivelatore fonografico, 125-143.

Riverberazione, 28.

Ronzio, 193, 213.

Rumore, 13.

Rumore, livello di, 193.

Rumorosità dell'ambiente, 28.

**S**

Sale di Rochelle, 181.

Scala delle audiofrequenze, 4, 6, 46.

Scala delle intensità sonore, 3, 6.

Scala in decibel, 4.

Scala sensazioni auditive, 5, 6.

Schermo infinito, 33, 81.

Schermo piano, 79.

Schermo piegato, 80.

Secondario, avvolgimento, 59.

Segnale, 25.

Segnale d'entrata, 25.

Segnale d'uscita, 25.

Seguitatore catodico, 218, 220-221.

Sensazione auditiva, 13.

Soglia dolore, 18.

Soglia inferiore, 18.

Soglia superiore, 18.

Solco d'incisione, 102.

Sorgente di segnale, 25.

Spettro sonoro, 17.

Spettro udibile, 14, 18.

Spider, 38.

Spider esterno, 38.

Spider interno, 38.

Spire primario trasform. uscita, 65.

Spire d'incisione, 102.

**STADIO:**

— d'amplificazione, 25, 175.

— d'entrata, 214.

— finale a seguitatore catodico, 218.

— finale di potenza, 178.

— finale in controfase, 178.

— invertitore di fase, 180.

— valvola EL34, 230.

— valvole EL41, 234.

— valvole PL81, 236.

— valvole 6L6, 237.

— valvole 6V6, 231-232.

— valvole 50L6, 228.

Stilo permanente, 112-116.

**T**

- Tangenza, linea di, 123.
- Tangenzialità, errore di, 122-123.
- Tape recorder, 303, 313.
- Tefifon, 116,
- Telaio dell'amplificatore, 213.
- Tempo di rimbombo, 28.
- Tempo di riverberazione, 25.
- Tensione ai capi della bobina mobile, 77.
- Tensione all'uscita dell'amplificatore, 71, 77.
- Tensione standard, 12.
- Testa di cancellazione, 294.
- Testa di registrazione, 294.
- Testa magnetica per filo, 294-294.
- Testa magnetica per nastro, 308.
- Timpano dell'orecchio, 21.
- Traferro dell'altoparlante, 35.
- Transiente, responso, 45.
- Transitori, fenomeni, 45, 81.
- Trasformatore acustico, 46.
- TRASFORMATORE D'USCITA (59-66, 76):**
  - a media impedenza, 67.
  - autoinduttanza del, 67.
  - avvolgimento primario, 59, 65.
  - avvolgimento secondario, 59, 65.
  - capacità distribuita del, 67.
  - efficienza del, 67.
  - esempio di, 62.
  - prese al secondario del, 76.
  - rapporto del, 61.
  - rapporto impedenze del, 60.
  - rapporto spire del, 60.
  - spire primario, 65.
  - spire secondario, 65.
- Traslatore, dell'altoparlante, 67.
- Triassiale, altoparlante, 54.
- Trifonico, altoparlante, 54.
- TRASFORMAZIONE D'ENTRATA:**
  - dell'altoparlante, 67.
  - in parallelo, 68.
  - in serie-parallelo, 69-74.

**TRASFORMAZIONE D'ENTRATA (segue):**

- per linee complesse, 73.
- impedenza primaria del, 74.

**TROMBA:**

- a celle, 49.
- altoparlante a, 46.
- esponenziale, 47.
- invertita, 92.
- settoriale, 99.
- tronco di, 94.

**V**

**VALVOLA AMPLIFICATRICE:**

- carico anodico della, 60-61, 63.
- coefficiente d'amplificazione della, 175.
- guadagno dello stadio con, 177.
- resistenza interna, 175.

Valvola invertitrice di fase, 180-182.

**VALVOLE FINALI:**

- carico esterno delle, 60-61, 63.
- caratteristiche di funzionamento delle, 187-188.
- classi d'amplificazione, 183-188.
- e potenza dell'amplificatore, 188-192.

**VELOCITÀ:**

- del filo magnetico, 298.
- del nastro magnetico, 307.
- della puntina fonografica, 109-114.
- del suono, 1.

**W**

- Watt acustico, 3.
- Watt elettrico, 29.
- Watt, intensità sonora in, 8-12.
- Woofers, altoparlante, 99.

**Z**

- Zero decibel, 3, 4, 14.
- Zona dell'udito, 19.

## IL SUONO

### 1. — L'INTENSITA' SONORA

#### **La sensazione auditiva.**

Il suono è una sensazione, è la sensazione auditiva che percepiscono tutti gli esseri viventi provvisti dell'organo dell'udito, l'orecchio.

La sensazione auditiva è dovuta alle onde sonore, ciascun'onda sonora consiste in una compressione seguita dalla corrispondente rarefazione dell'aria, ossia dalla semionda positiva seguita dalla semionda negativa, eguale e contraria, come avviene per le onde che si propagano sull'acqua. Le onde sonore si diffondono sfericamente tutto all'intorno della sorgente sonora, a velocità costante, compresa tra 333 e 334 metri al secondo.

Esse destano nell'orecchio vibrazioni simili a quelle che le hanno prodotte; ad esempio, le vibrazioni delle corde di un violino o di un pianoforte si trasferiscono nell'aria sotto forma di onde sonore, le quali mettono a loro volta in vibrazione la membrana posta all'entrata dell'orecchio. Tramite un complicato procedimento, l'orecchio converte le vibrazioni in altre onde, simili a quelle della corrente elettrica, le quali si propagano lungo appositi conduttori filiformi, e raggiungono il cervello, dove ha luogo la sensazione vera e propria.

Vi sono da considerare tre fenomeni distinti. Vi è anzitutto il *fenomeno fisico* della produzione delle onde sonore e della loro propagazione; vi è quindi il *fenomeno fisiologico* per cui l'orecchio produce gli stimoli auditivi e li trasmette al cervello; ed infine vi è il *fenomeno psichico* della sensazione auditiva, ossia della percezione delle voci, dei suoni, della musica e dei rumori.

Il fenomeno fisico è stato ampiamente studiato dalla scienza, la quale ne ha scoperto quasi tutte le leggi; il fenomeno fisiologico relativo al meccanismo dell'orecchio è invece ancora poco noto, se ne intravede appena qualche parte. Il fenomeno psichico è del tutto incomprensibile e costituisce un mistero impenetrabile.

Con il termine SUONO si dovrebbe intendere soltanto la sensazione auditiva, così come con il termine LUCE si dovrebbe intendere solo la sensazione visiva, ciò per il fatto che il suono e la luce esistono solo come percezioni del cervello, ossia esistono soltanto nell'interno degli esseri viventi provvisti di orecchi e di occhi, e non già al di fuori di essi. Nello spazio che li circonda esistono onde sonore e onde luminose.

È il cervello che fa vivere ciascuno di noi nel mondo di suoni e di luci che ci circonda, il quale è in realtà un mondo assolutamente silenzioso e buio. Ma poichè è molto facile vivere all'esterno di noi, ed è invece molto difficile vivere nell'interno di noi, in pratica i due termini suono e *onda sonora* diventano sinonimi, benchè uno esprima l'effetto e l'altro la causa, appunto come diventano sinonimi i due termini luce e *onde luminose*.

### **Gamma delle intensità sonore.**

I suoni si distinguono anzitutto per l'*intensità* e la *frequenza*. La gamma delle *intensità sonore* è estremamente vasta, i suoni fortissimi sono miliardi di volte più intensi dei suoni debolissimi. L'orecchio non percepisce tutti i suoni; percepisce suoni debolissimi purchè possiedano una certa intensità, detta *intensità di soglia*; esiste tutta una vasta gamma di suoni debolissimi, ed estremamente deboli, che l'orecchio non può percepire, la cui esistenza viene messa in evidenza mediante l'amplificazione, appunto come esistono oggetti tanto piccoli da non poter essere visti ad occhio nudo.

Esistono anche suoni estremamente forti, d'intensità enorme, e di durata brevissima, come ad es. lo scoppio di una grossa bomba. Anche essi non possono venir percepiti dall'orecchio se non sotto forma di dolore. Il punto della gamma delle intensità sonore in cui la sensazione auditiva diventa dolore vien detta *soglia dolore*.

I due estremi sono anche detti *limite inferiore* e *limite superiore di audibilità*. Essi variano sensibilmente da una persona all'altra.

All'*intensità sonora* corrisponde l'*ampiezza* dell'onda sonora; un suono è tanto più intenso quanto più ampia è l'onda, un po' come avviene per le onde del mare.

Poichè le onde sonore sono invisibili, non è possibile misurare la loro ampiezza; inoltre non esiste una qualche sostanza che si comporti rispetto al suono come il mercurio rispetto al calore. È perciò che manca un semplice dispositivo per la misura dell'intensità sonora, paragonabile al termometro per la misura della temperatura. Un « termometro » per i suoni sarebbe utilissimo, ma non esiste.

Esistono due diversi modi per misurare l'intensità del suono, ossia la sua « forza », la sua potenza, un po' come esistono due diversi modi per effettuare misure di tempo. Gli astronomi possono determinare l'ora precisa dalla posizione della Terra rispetto gli altri pianeti e rispetto al Sole, è questa l'ora astronomica. Se si tratta di misurare il tempo in cui ha luogo un avvenimento qualsiasi, ad es. il giro del circuito da parte di una macchina da corsa, non ha nessuna importanza conoscere quale sia l'ora precisa astronomica, basta far scattare il cronometro all'atto della partenza e fermarlo all'atto dell'arrivo, per leggere sul quadrante il tempo in minuti, secondi e decimi di secondo.

Occorre far attenzione a non confondere queste due diverse misure; una è la misura diretta, l'altra è la misura di rapporto. Nei laboratori di fisica acustica vengono fatte misure dirette, mediante complesse e delicate apparecchiature; per gli usi pratici vengono fatte soltanto misure di rapporto. Con le misure di rapporto non si

sa quale sia l'ora astronomica, in cui ha luogo un dato avvenimento, ma si misura l'intervallo di tempo in cui l'avvenimento ha luogo.

Le misure d'intensità sonora paragonabili a quelle del tempo astronomico, vengono effettuate tenendo conto della *pressione acustica* esercitata dalle onde sonore sopra una superficie, e si adopera quale unità di misura il *bar* (B) ed il suo sottomultiplo il *microbar* ( $\mu$ B). Quest'ultimo corrisponde ad una dina per  $\text{cm}^2$ . Un suono forte può esercitare la pressione di 200 bar, uno debole quella di 200 microbar.

Una volta conosciuta la pressione esercitata da un dato suono, si calcola l'energia sonora del suono stesso, utilizzando un'apposita formula. Si adopera quale unità di misura il *watt* (W) ed il sottomultiplo *microwatt* ( $\mu$ W). L'energia sonora non si può misurare direttamente, poichè non esistono wattmetri acustici; come detto, la si può determinare solo in base a misure di pressione. Tutte queste misure in bar ed in watt hanno scarsissima importanza pratica, e si possono trascurare. È necessario tenerle presenti solo per evitare confusione con le misure pratiche, le quali vengono anch'esse effettuate utilizzando quale unità di misura il *watt*, appunto come per le misure dell'ora astronomica, quella segnata dagli orologi, e le misure di intervallo di tempo, quelle misurate dai cronometri, vengono utilizzate le stesse ore e gli stessi minuti, secondi, ecc.

Noi diciamo che un suono è ad *intensità zero* quando è appena percettibile nel silenzio di una stanza, di un suono fortissimo diciamo che è ad *intensità 100*, poi con questi due estremi prepariamo una scala a graduazione centigrada. È ciò che è stato fatto per il termometro; si è detto che la temperatura è di zero gradi quando l'acqua gela e che è di 100 gradi quando l'acqua bolle. Con la scala centigrada possiamo indicare quale sia l'intensità sonora.

Quando, non molti anni or sono, venne approntata la scala centigrada dell'intensità sonora, si trattò di dare un nome all'unità di misura, il *grado centigrado sonoro*. Gli americani proposero il *decibel* (dB) decima parte del bel, in onore di Graham Bell; i tedeschi proposero il *phon*, noi avremmo potuto proporre il *meucci*. Per qualche tempo il decibel ed il phon vennero usati senza distinzione, poi con una certa distinzione, infine il phon venne abbandonato. La scala dell'intensità sonora è oggi graduata solo in decibel, in tutto il mondo.

Sono debolissimi i suoni compresi fra zero e 20 decibel, sono deboli quelli compresi tra 20 e 40 decibel; la maggior parte dei suoni che percepiamo si trovano tra 40 e 60 decibel, sono suoni d'intensità media; i suoni forti si trovano tra 60 e 80 decibel, ed i fortissimi tra 80 e 100 decibel. Come detto, vi è tutta una vasta gamma di suoni d'intensità tanto ridotta da non poter essere intesi dall'orecchio, senza amplificazione. Sono i suoni « sotto zero ». Ve ne sono a — 10 decibel, e ve ne sono a — 20 dB, a — 30 dB e più sotto ancora. Uno zero assoluto del suono non è stato ancora sicuramente accertato, come invece lo è stato per la temperatura, il cui zero assoluto è a — 273 °C.

Esistono suoni estremamente forti, oltre i 100 decibel, il motore d'aeroplano

inteso ad un metro di distanza determina una entità di sensazione auditiva di circa 122 decibel; la grande orchestra della Scala, con 250 coristi, può dare un « fortis-

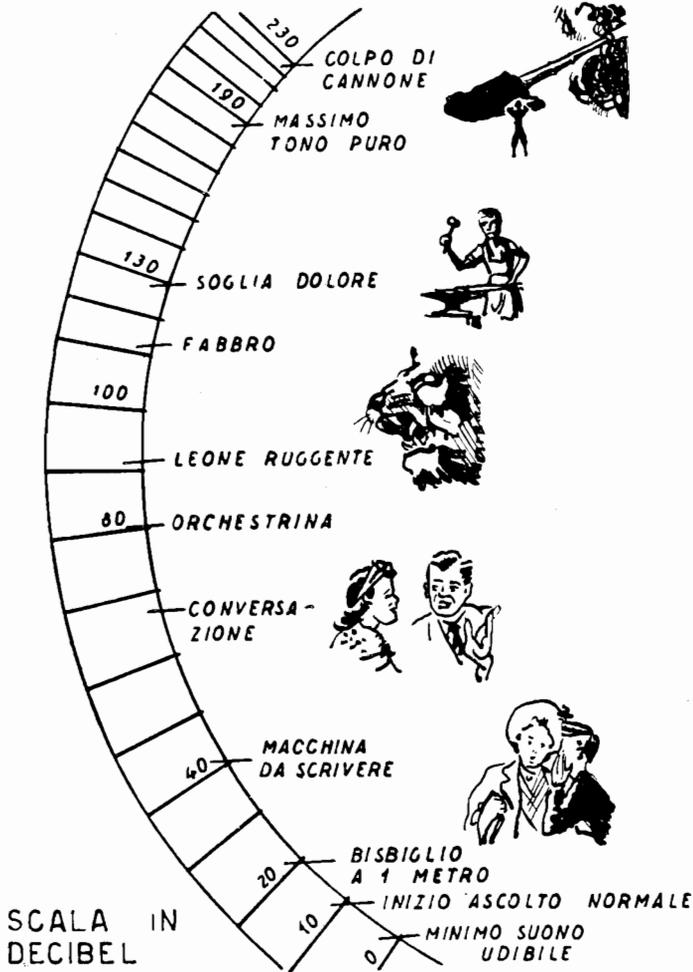


Fig. 1.1. - Scala delle sensazioni auditive in decibel (V. anche la fig. 1.3 a pag. 9).

simo» di 118 decibel. La sirena di uno stabilimento, intesa vicinissimo, raggiunge i 110 decibel; un potente colpo di grancassa i 102 decibel.

All'estremo opposto, è difficile sentire suoni d'intensità compresa tra 0 e 10 decibel, poichè essi sono soverchiati dalla rumorosità dell'ambiente. Durante il giorno, il livello di rumorosità di una stanza tranquilla può essere di 20 decibel, quello di

una stanza su strada a grande traffico può essere di 40 decibel. Il tic tac di un orologio da polso si può sentire a distanza solo durante la notte, quando il livello di rumorosità scende notevolmente; l'intensità sonora prodotta dall'orologio da polso a 30 cm di distanza è di circa 10 decibel; il tic tac di un pendolo raggiunge i 30 ed anche i 40 decibel.

Una parola sussurrata all'orecchio, intesa da terza persona ad un metro di distanza, è a circa 22 decibel; un grido acuto può raggiungere i 74 decibel. I grandi tenori arrivano ai 90 decibel durante i fortissimi; è questo il limite estremo a cui può giungere il canto. Il ruggito del leone giunge a 92 decibel. Colpi vigorosi di martello sull'incudine raggiungono e superano i 100 decibel. Un colpo di cannone o lo scoppio di una bomba, intesi a breve distanza, non si possono sentire nel vero senso del termine, si sentono come dolore, non come sensazione, poichè raggiungono e superano, in alcuni casi, i 200 decibel, mentre la soglia dolore si trova a 127 decibel.

I due estremi sono a zero ed a 127 decibel, sotto lo zero decibel non si sente nulla, sopra i 127 decibel si sente soltanto dolore.

### Dinamica dei suoni.

La graduazione in decibel serve molto bene per indicare la *dinamica* delle varie sorgenti sonore, ossia il rapporto tra l'intensità sonora minima e l'intensità sonora massima che sono in grado di produrre.

Una delle dinamiche più basse è quella del disco di sassofono. Un a solo di sassofono, nell'esecuzione originale, può avere una dinamica di 30 decibel, da un'intensità sonora minima di 20 dB ad una massima di 50 dB, per cui  $50 - 20 = 30$  decibel. La stessa parte eseguita da un disco, può avere una dinamica di appena 15 decibel, da 25 a 40 dB.

All'estremo opposto, una delle dinamiche maggiori è quella di una grande orchestra con coro, la quale da un minimo di 40 dB può arrivare, come detto, a 118 dB. In tal caso la dinamica è di  $118 - 40 = 78$  dB. Potrebbe essere maggiore se alla grande orchestra fosse possibile far ascoltare suoni deboli, sotto i 40 dB; la rumorosità di un grande teatro affollato, e lo stesso complesso orchestrale, non consentono di sentire suoni debolissimi, neppure a coloro che si trovano nelle prime file.

Un quartetto d'archi, in ambiente molto silenzioso, da 15 dB può arrivare sino a 65 dB, con una dinamica di 40 dB. Un suonatore di mandolino deve accontentarsi di 20 o 25 dB di dinamica, mentre un suonatore di contrabbasso può sviluppare una dinamica di 35 dB, da 10 a 45 dB. In pratica però, i suoni debolissimi del contrabbasso sono udibili solo in ambiente silenziosissimo. In una sala da concerto la dinamica del contrabbasso si riduce a 15 decibel, poichè va da 30 a 45 dB, data la rumorosità dell'ambiente.

I cantanti celebri hanno dinamiche vastissime; i soprano vanno da 20 a 85 dB, i tenori da 25 a 90 dB.

La fig. 1.2 illustra alcuni esempi di *dinamica sonora*.

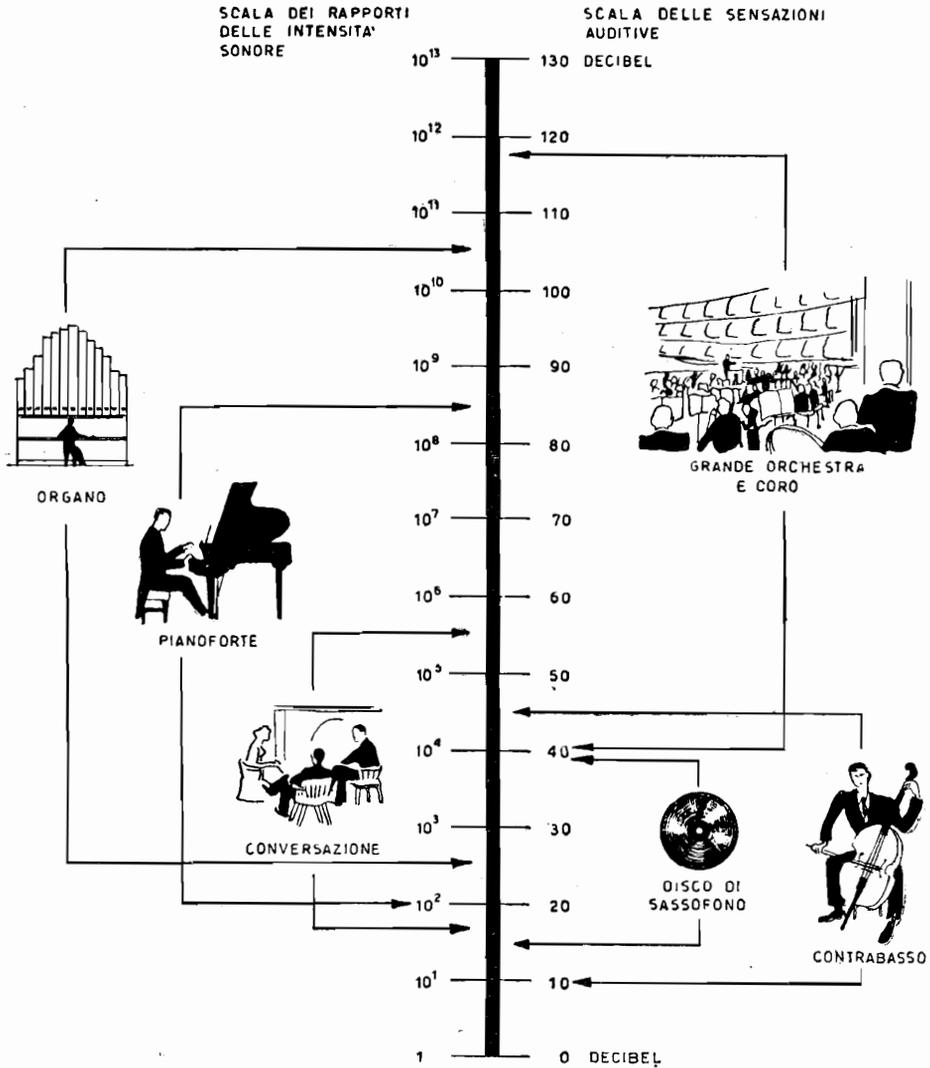


Fig. 1.2. - Scala delle sensazioni auditive in decibel e scala delle corrispondenti variazioni d'intensità sonora, necessarie per provocare le sensazioni. La figura indica anche la dinamica di alcune sorgenti sonore.

### Livello sonoro.

Per *livello sonoro* o *livello d'intensità* — i due termini si equivalgono — s'intende l'intensità sonora media che una data sorgente produce in un dato ambiente. Ad es., un violinista determina un livello sonoro alto in una piccola sala da concerto, e basso in un grande teatro. Nella sala di lettura di una biblioteca il *livello di rumo-*

rosità è basso, compreso tra 20 a 30 dB, mentre in una fabbrica di caldaie può essere elevatissimo, tra i 90 ed i 110 dB.

Con un amplificatore da 10 watt è possibile produrre un buon livello sonoro in una sala di piccole dimensioni, così come con una stufa elettrica di 3 chilowatt è possibile ottenere una temperatura confortevole. Il livello di rumorosità corrisponde un po' alla temperatura ambiente; altro è portare la temperatura di una stanza da 10 a 24 gradi ed altro è portarla da — 20 a 24 gradi. Così, altro è produrre un certo livello sonoro in una stanza quieta, lontana da strade rumorose, ed altro è ottenerlo in una rumorosa sala da ballo. Si tratta di due diversi livelli di rumorosità da superare.

I suoni acuti determinano alti livelli sonori più facilmente dei suoni bassi, perchè alcuni anni or sono era in uso esprimere in decibel il *livello d'intensità sonora*, ed in phon il *livello di sensazione auditiva*. Attualmente questa distinzione è sorpassata.

### **Variazione dell'intensità sonora e sensazione auditiva.**

L'orecchio, sensibilissimo ai suoni deboli, a mano a mano che l'intensità sonora aumenta diventa meno sensibile, per cui è poco sensibile ai suoni fortissimi.

Nei laboratori di fisica acustica si è cercato di sapere quante volte un dato suono sia più « forte » di quello che si trova alla soglia dell'udibile, corrispondente allo zero decibel. Le misure fatte con appositi strumenti, basandosi sulla pressione acustica, hanno portato alla scoperta della legge di Weber-Fechner, la cui prima parte è la seguente: *L'entità della sensazione auditiva non cresce in proporzione dell'aumento dell'intensità sonora, cresce bensì con il logaritmo a base 10 che tale intensità sonora rappresenta.*

Il *logaritmo* a base 10 di un numero è l'esponente della potenza alla quale deve essere elevato 10 affinché sia eguale al numero dato. Ad esempio, invece di scrivere 1000 si può scrivere  $10^3$ , invece di scrivere 10 000 si può scrivere  $10^4$ , ecc. Gli esponenti 3 e 4 sono rispettivamente i logaritmi di 1000 e di 10 000. Il logaritmo di un milione è 6.

Ciò significa che per raddoppiare, triplicare, quadruplicare un dato livello sonoro, è necessario aumentare l'intensità sonora addirittura di cento volte per raddoppiarlo (poichè  $10^2$  è eguale a 100), di mille volte per triplicarlo (poichè  $10^3$  è eguale a 1000) e di diecimila volte per quadruplicarlo (poichè  $10^4$  è eguale a 10 000).

Ad es., per elevare un livello sonoro da 30 decibel a 70 decibel occorre aumentare l'intensità energetica del suono di 10 000 volte.

La fig. 1.3 raffronta la scala delle sensazioni auditive con quella dei rapporti di variazione dell'energia sonora. A zero decibel corrisponde l'unità, sia il punto di partenza della scala dei rapporti. Per passare da 0 dB a 10 dB occorre aumentare l'energia sonora di dieci volte. Va tenuto presente che il suono a 10 dB è debolissimo, poco più che appena percettibile, e che l'orecchio è molto sensibile in questa zona. A 20 dB, ossia a  $10 + 10$  dB, l'energia sonora è 100 maggiore di quella a 0 dB, cioè in rapporto a quella a 0 dB, ossia è di  $10 \times 10$ .

A 50 dB della scala, il rapporto di variazione dell'energia sonora è di  $10^5$ , ossia

è di 100 000. Per i decibel vale l'addizione ( $10 + 10 + 10 + 10 + 10 = 50$ ) per i rapporti di variazione d'energia sonora vale invece la moltiplicazione

$$(10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100\,000).$$

Enormi potenze sonore sono in gioco quando si tratta di suoni fortissimi e più ancora per gli estremamente forti. L'orchestra ed il coro della Scala formano un complesso sonoro più « grande » del Monte Bianco. Infatti, accostando al limite di audibilità, ossia a 0 decibel, il limite di visibilità ad occhio nudo, 1 micron, si nota che il Monte Bianco è 4,8 miliardi di volte più grande, mentre l'orchestra ed il coro della Scala sono 800 miliardi di volte più grandi del più debole suono percettibile.

La graduazione della scala in decibel non corrisponde al logaritmo del numero che indica la variazione dell'energia sonora, solo per il fatto che l'unità di misura è il bel. Alla variazione di 10 000 corrisponde il logaritmo 4, ossia 4 bel, dato l'uso del sottomultiplo corrispondente ad un decimo di bel, a 10 000 corrispondono 40 decibel.

#### **Incremento dell'intensità sonora.**

La seconda parte della legge di Weber-Fechner afferma che: *l'incremento minimo della sensazione auditiva è proporzionale alla sensazione che l'ha preceduta.*

A teatro si distingue facilmente quando le voci sono due e quando vi è una sola, se si tratta di un duetto, mentre se è presente un grande coro è impossibile dire quando le voci sono 249 e quando sono 250. L'orecchio non avverte una differenza tra 100 e 110 voci, avverte la differenza solo se il passaggio è da 100 ad almeno 125 voci, ciò per il fatto che l'incremento minimo dell'intensità sonora che si rende udibile è del 25 %. Nell'esempio fatto s'intende che le voci devono essere tutte eguali, ed unite nello stesso canto.

#### **Misura di rapporto della potenza sonora.**

Il fatto di aver aggiunto alla scala graduata in decibel quella dei rapporti di variazione dell'intensità sonora o dell'energia sonora che dir si voglia, di cui la fig. 1.2, è molto importante poichè consente di effettuare delle misure. L'apparecchio di misura può essere costituito da un microfono, da un amplificatore a due o tre stadi, e da un misuratore d'uscita. Si tratta di regolare una volta tanto il guadagno dell'amplificatore, in modo da ottenere una data misura corrispondente a zero decibel.

Si può regolare il guadagno dell'amplificatore, in modo che lo strumento indicatore della potenza d'uscita indichi 1 watt, in corrispondenza del minimo suono udibile, quello a zero decibel. In tal modo lo strumento segnerebbe 0,1 watt in corrispondenza a — 10 decibel, e 10 watt in corrispondenza a 10 decibel.

In pratica però assegnare la potenza d'uscita di un watt in corrispondenza a zero decibel andrebbe bene solo per la misura dei suoni estremamente deboli e dei debolissimi, ma non andrebbe bene per i suoni medi e forti, ciò per il fatto che a 20

decibel corrisponderebbero 100 watt, a 30 decibel 1000 watt, a 40 decibel 10 000 watt ed a 50 decibel nientemeno che 100 000 watt. A livelli superiori corrisponderebbero milioni e persino miliardi di watt.

È necessario assegnare una potenza d'uscita più piccola a zero decibel, per es. 1 millesimo di watt, un milliwatt. In tal modo la potenza d'uscita in corrispondenza

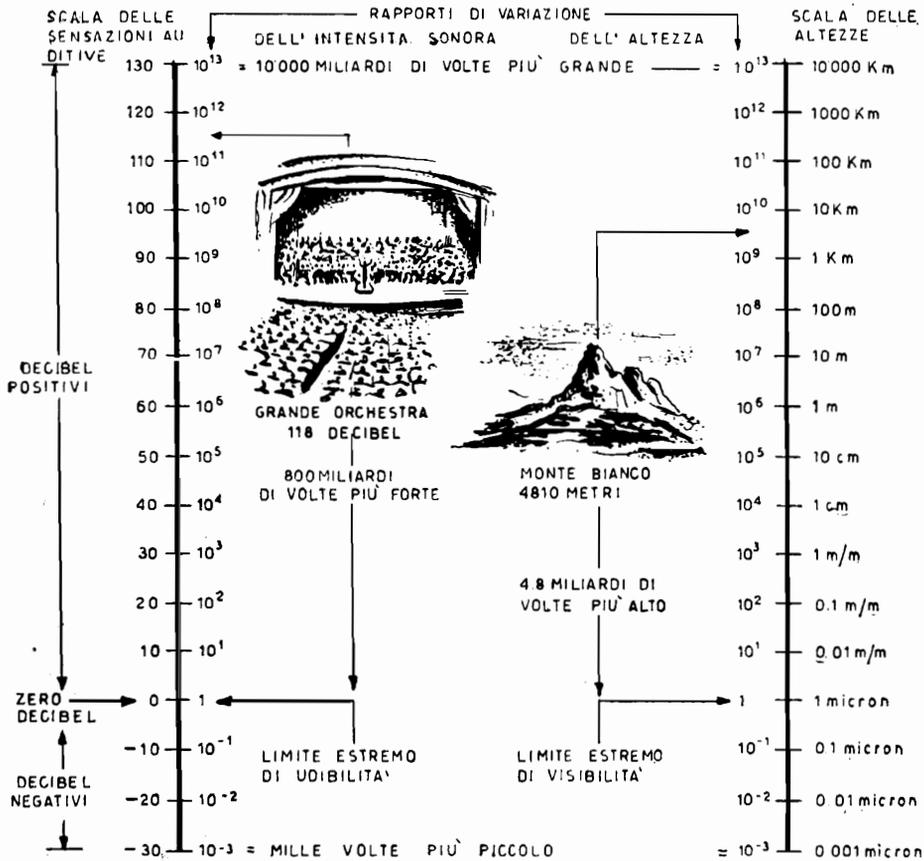


Fig. 1.3. - Confronto tra i rapporti di variazione d'intensità sonora e quelli di lunghezza. Il livello sonoro di 130 decibel corrisponde ad un aumento d'intensità sonora di 10.000 miliardi di volte quella del suono appena percettibile, a zero decibel.

dei suoni forti e fortissimi non risulta enorme, pur essendo molto grande. In seguito a varie considerazioni, venne deciso di assegnare a zero decibel la potenza d'uscita di 6 milliwatt, ed in base ad essa vennero graduate le scale degli strumenti indicatori. È questa la potenza d'uscita standard.

In tal modo, poichè a zero decibel venne scelta la potenza di 6 milliwatt, a 10

decibel corrisponde quella di 60 milliwatt, a 20 decibel quella di 600 milliwatt, a 30 decibel quella di 6000 milliwatt, ossia di 6 watt, e così via, come illustra la figura 1.4. Anche in tal modo si ottengono potenze enormi in corrispondenza ad alti livelli so-

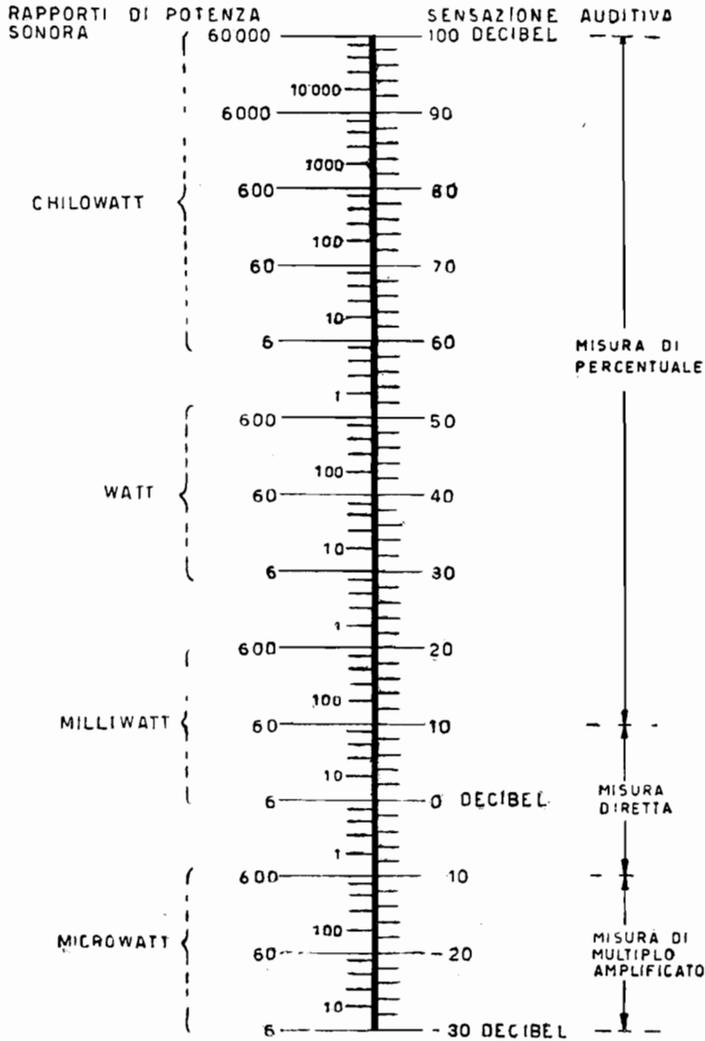


Fig. 1.4. - Per poter effettuare misure di livello sonoro, alla scala in decibel è stata aggiunta una scala in watt e relativi sottomultipli e multipli.

norì. A 100 decibel corrisponde un rapporto di variazione dell'intensità sonora elevatissima, di  $10^{10}$  ossia di 10 miliardi. Sicchè la tensione all'uscita del microfono dovrebbe determinare all'uscita dell'amplificatore usato per la misura, nientemeno che una po-

tenza corrispondente a quella di 6 milliwatt moltiplicata per 10 miliardi, ossia 60 milioni di watt, pari a 60 000 chilowatt.

L'ostacolo viene girato prelevando soltanto una minima parte della tensione all'uscita del microfono, ossia all'entrata dell'amplificatore di misura, per es. la centomillesima parte, per cui a 100 dB corrisponde la potenza di 0,6 watt. La lettura va quindi moltiplicata per 100 milioni di volte. È ciò che avviene quando con un volt-

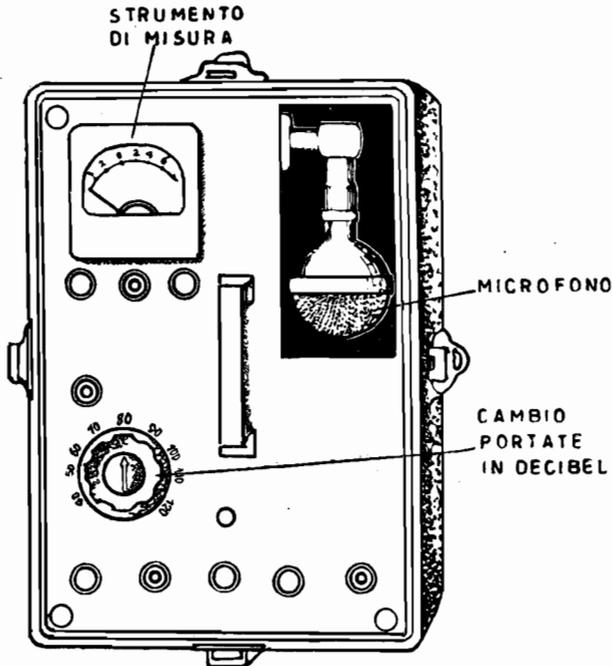


Fig. 1.5. - Un amplificatore, un microfono e uno strumento indicatore d'uscita consentono di leggere sulla scala graduata in decibel, il valore del livello sonoro

metro con portata massima di 1 volt, si misura una tensione vicina a 1000 volt, il divisore di tensione applica all'entrata dello strumento solo la millesima parte della tensione da misurare, la quale va letta sulla scala moltiplicata per 1000.

La scala dello strumento per la misura del livello sonoro viene graduata direttamente in decibel, non risulta quindi necessario nessun calcolo con grandi numeri.

**a) Formula per indicare in decibel la potenza sonora misurata.**

Una semplice formula consente la conversione di valori da una scala all'altra, generalmente da quella dei rapporti d'intensità in watt, misurabili, in quella delle sensazioni auditive in decibel. Risulta da quanto già detto precedentemente che la

variazione d'intensità sonora varia con il logaritmo che tale variazione indica, per cui, ad es., un'intensità sonora di 600 watt, essa può venir espressa in decibel nel modo seguente:

$$\begin{aligned} \text{Sensazione auditiva in decibel} &= 10 \times \left( \log_{10} \frac{600}{0,006} \right) = \\ &= 10 \times (\log_{10} 100\,000) = 10 \times 5 = 50 \text{ decibel.} \end{aligned}$$

È ciò che risulta dalla fig. 1.4.

In termini generali, quanto sopra si può esprimere con la formula:

$$\text{Sensazione auditiva in decibel} = 10 \times \left( \log_{10} \frac{\text{Intensità sonora misurata in watt}}{\text{Intensità di soglia in watt}} \right)$$

nella quale per « intensità di soglia » s'intende quella corrispondente a zero decibel, ossia 0,006 watt.

Come già detto all'inizio, in pratica i termini *sensazione auditiva* e *livello sonoro* vengono usati come se fossero equivalenti, per cui quanto sopra detto vale anche per indicare il *livello sonoro in decibel*.

#### b) Valori di tensione e di corrente corrispondenti a livelli sonori.

Alla scala della potenza sonora in watt è possibile aggiungere quella della tensione in volt, utilizzando la formula  $P = E^2/R$  dalla quale  $E = \sqrt{P \times R}$ .

Al posto delle misure in watt si possono fare misure in volt, purchè venga scelto un valore standard della resistenza di carico. Tale valore standard della resistenza è di 500 ohm. In tal modo a zero decibel corrisponde un valore standard di tensione, il seguente:

$$\begin{aligned} \text{Tensione a zero decibel} &= \sqrt{\text{Potenza in watt a zero decibel} \times \text{Resistenza standard}} \\ &= \sqrt{0,006 \times 500} = \sqrt{3} = 1,73 \text{ volt.} \end{aligned}$$

Agli altri principali livelli sonori corrispondono le seguenti tensioni:

$$\text{a 10 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{0,06 \times 500} = \sqrt{30} = 5,47 \text{ volt}$$

$$\text{a 20 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{0,6 \times 500} = \sqrt{300} = 17,32 \text{ volt}$$

$$\text{a 30 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{6 \times 500} = \sqrt{3000} = 54,77 \text{ volt}$$

$$\text{a 40 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{60 \times 500} = \sqrt{30\,000} = 173,21 \text{ volt}$$

$$\text{a 50 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{600 \times 500} = \sqrt{300\,000} = 547,72 \text{ volt}$$

$$\text{a 60 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{6000 \times 500} = \sqrt{3\,000\,000} = 1732 \text{ volt}$$

$$\text{a 70 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{60\,000 \times 500} = \sqrt{30\,000\,000} = 5477 \text{ volt}$$

$$\text{a 80 decibel} \quad \cdot \quad \sqrt{600\,000 \times 500} = \sqrt{300\,000\,000} = 17\,320 \text{ volt}$$

$$\text{a 90 decibel} \quad . \quad \sqrt{6\,000\,000 \times 500} = \sqrt{3\,000\,000\,000} = 54\,770 \text{ volt}$$

$$\text{a 100 decibel} \quad . \quad \sqrt{60\,000\,000 \times 500} = \sqrt{30\,000\,000\,000} = 173\,200 \text{ volt}$$

Le misure si possono fare anche in ampere, seguendo lo stesso procedimento, tenendo conto che  $P = I^2 \times R$ , per cui  $I = \sqrt{P/R}$ .

## 2. — LA GAMMA DELLE FREQUENZE SONORE

### La frequenza, la nota e l'ottava.

Il suono è frequenza, è ritmo; per *frequenza* s'intende sia la velocità della vibrazione di ciò che suona, sia il numero d'onde diffuse nell'aria durante ciascun secondo. Si suole indicarla in *cicli per secondo* (abb. *c/s* o *c.p.s.*) oppure in *hertz* (abb. *Hz*). Per ciclo s'intende l'evolversi di ciascuna onda sonora, dal suo inizio alla sua fine. *Periodo* è l'intervallo di tempo in cui un ciclo ha luogo. Tante onde, tanti cicli, tanti periodi.

La frequenza determina l'*altezza*, la *nota* di ciascun suono. Minore è la frequenza, minore è l'altezza, più bassa è la nota; maggiore è la frequenza, maggiore è l'altezza più acuta la nota. Si suol dire che l'altezza di un suono è aumentata di un'ottava quando la sua frequenza è raddoppiata, di due ottave quando è triplicata, ecc.

Il suono è *musicale* quando è costituito da una successione regolare, ritmica, di frequenze, e quando queste frequenze si trovano tra di loro in rapporti tali da poter essere espressi con numeri semplici; il suono è *rumore* quando il ritmo ed il rapporto semplice tra le frequenze non esiste, ed è costituito da varie frequenze senza rapporto tra di loro, susseguentisi in modo più o meno irregolare, tale da formare delle combinazioni dissonanti, il suono è *voce* quando è prodotto dalle corde vocali umane, ed è costituito in parte da successioni regolari di frequenze, ed in parte da altre di carattere transitorio.

### Frequenza, sensazione auditiva e potenza sonora.

Dalla frequenza dipende la lunghezza dell'onda sonora; poichè i suoni si propagano tutti alla stessa velocità, più bassa è la frequenza più lunga è l'onda, più alta è la frequenza più corta è l'onda. I suoni bassi sono costituiti da onde lunghe, i suoni acuti da onde corte.

La sensibilità dell'orecchio varia molto al variare della frequenza; è molto sensibile ai suoni la cui frequenza è compresa nel tratto tra 2000 e 5000 cicli/secondo. Riesce a percepire alcuni di tali suoni anche se d'intensità estremamente ridotta, a — 10 decibel. È poco sensibile ai suoni bassi, compresi tra 20 e 100 *c/s*. Affinchè l'orecchio possa appena percepire un suono bassissimo, a 40 *c/s*, è necessario che esso sia molto forte, a 55 decibel. Tra i due estremi di sensibilità vi è uno scarto di circa 60 decibel, pari al rapporto da 1 ad 1 milione.

Affinchè un suono molto basso possa determinare una sensazione auditiva pari a quella di un suono acuto, è necessario che la sua potenza sia molto maggiore. È

per questa ragione che le canne dell'organo sono tanto diverse. La canna corrispondente al do dopo la controttava, a frequenza bassissima, ai limiti dell'udibilità, è alta 9,60 metri. Tutta la forza dei polmoni di un uomo robusto non basta a trarne un suono. Al lato opposto, la canna più piccola, a frequenza altissima, è lunga appena 7,5 centimetri, e basta il fiato di un bambino per farla suonare.

È ancora per questa ragione che solo i grandi altoparlanti, collegati ad amplificatori di notevole potenza, possono riprodurre note musicali basse; i piccoli altoparlanti, di piccola potenza, possono riprodurre soltanto suoni di nota media e acuta.

La nota più bassa del pianoforte è il la dopo la controttava, a frequenza di 27 c/s; affinché tale nota desti la stessa sensazione auditiva del fa di terza ottava, a frequenza di 2734 c/s, occorre che la potenza sonora sia 150 milioni di volte maggiore.

**Frequenza a zero decibel.**

Poichè la sensazione auditiva varia molto al variare della frequenza, lo zero decibel dalla scala delle intensità sonore è stato fissato per il suono appena percettibile alla frequenza di 1000 c/s.

**Gamma di frequenza e ottave del pianoforte.**

Il pianoforte è lo strumento in grado di produrre la gamma di frequenze più ampia, da 27 cicli per secondo a 3480 c/s. In fig. 1.6 è riportata la gamma delle fre-

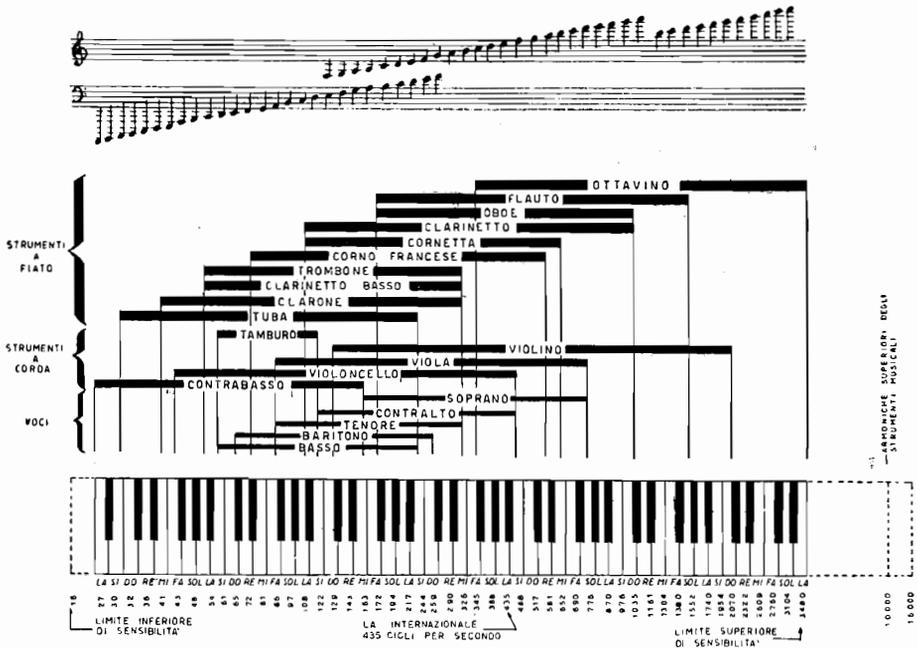


Fig. 1.6. - Spettro udibile delle varie frequenze corrispondenti alle voci ed ai principali strumenti.

quenze udibili dall'orecchio umano, confrontata con quella del pianoforte. In figura, le note del pianoforte sono indicate con le rispettive frequenze. L'ottava iniziale, detta *controttava*, è quella che comprende le frequenze più basse, va dal do a 32 c/s, al la a 54 c/s ed al si a 60 c/s. È preceduta da due note ancora più basse, il la a 27 c/s ed il si a 30 c/s.

Alla controttava segue l'*ottava grande*, con il do a 65 c/s, il la a 108 c/s ed il si a 122 c/s; è seguita a sua volta dall'*ottava piccola*, con il do a 129 c/s, il la a 217 c/s ed il si a 244 c/s.

L'*ottava centrale* del pianoforte ha inizio con il do a 259 e fine con il si a 488.

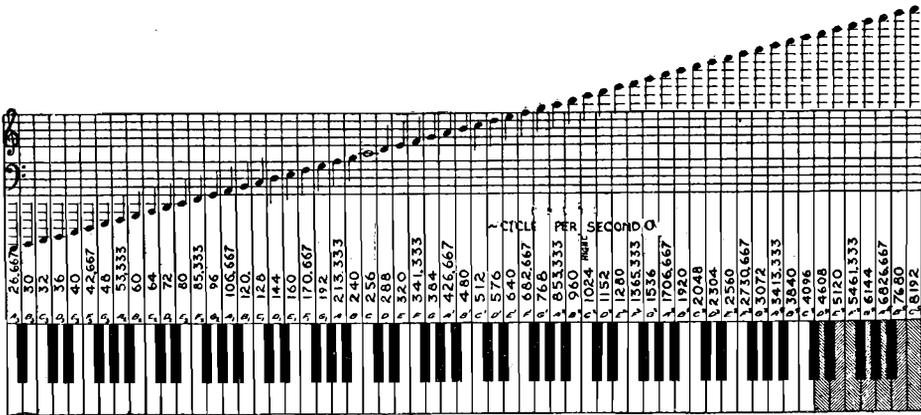


Fig. 1.7. - Gamma del pianoforte con le varie frequenze accordate sul LA fisico, a 426,667 c/s. La parte tratteggiata corrisponde ad armoniche superiori.

Viene quindi la *prima ottava*, con il do a 515 ed il si a 966, seguita dalla *seconda ottava*, con il do a 1035 c/s ed il si a 1954. La gamma del pianoforte ha fine con una parte della *terza ottava*, dal do a 2070 c/s al la, ultima nota, a 3480 c/s.

La fig. 1.7 indica un'altra gamma del pianoforte, con altri valori di frequenza in corrispondenza alle varie note del pianoforte, e la fig. 1.8 riporta una tabella con altri valori ancora per le stesse note. Questi tre differenti dati sono dovuti al fatto che vi sono tre la dell'ottava centrale, ufficialmente stabiliti:

- « la » fisico . . . . . a 426,667 cicli al secondo
- « la » internazionale . . . . . a 435 cicli al secondo
- « la » sinfonico . . . . . a 440 cicli al secondo

Ai tre la corrispondono i seguenti tre do, quello fisico a 512 c/s, usato per i calcoli, quello internazionale a 517 c/s, e quello sinfonico a 523,26 c/s.

**La frequenza fondamentale e le frequenze armoniche.**

Un suono è *semplice*, o *puro*, quando la sua onda sonora ha forma perfettamente sinusoidale; allora è paragonabile all'acqua distillata. I suoni che costituiscono la voce e quelli prodotti dagli strumenti musicali sono *complessi*, tale complessità è dovuta al fatto che la frequenza fondamentale è accompagnata da altre frequenze, più alte, delle quali costituiscono un multiplo integrale. Sono generalmente d'inten-

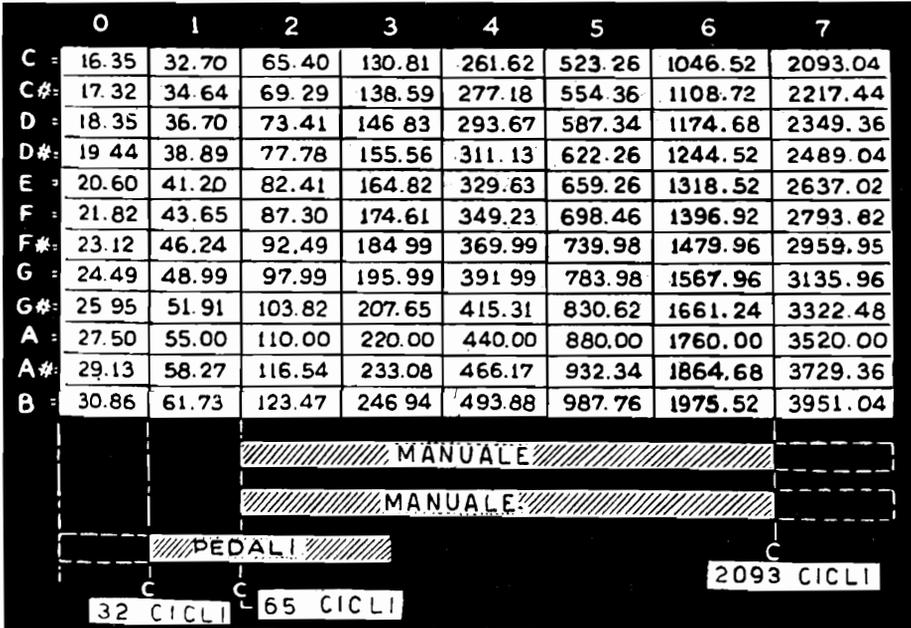


Fig. 1.8. - Gamma del pianoforte con le varie frequenze accordate sul la sinfonico, a 440 c/s.

sità minore della fondamentale. Sono dette *frequenze armoniche* o solo *armoniche*.

Le armoniche determinano la qualità, il timbro, il « colore » del suono. Non sono separate dalla fondamentale, detta anche *prima armonica*, ma formano con essa un'onda risultante, complessiva. Uno strumento musicale a frequenza di 100 c/s, produce anche armoniche a 200 c/s, 300 c/s, 400 c/s ecc. L'armonica a 200 c/s vien detta, in tal caso, *seconda armonica*, ed è seguita dalla *terza armonica*, dalla *quarta armonica*, ecc.

La potenza sonora è distribuita variamente tra la fondamentale e le sue armoniche. La seconda armonica non è necessariamente più intensa della terza, e la terza della quarta. L'intensità sonora delle varie armoniche può essere molto diversa. Il numero delle armoniche ed i loro rapporti d'intensità determinano la caratteristica del suono, la sua ricchezza. Il do dell'ottava centrale, a 261 cicli al secondo, può

venir emesso sia da un violino che dalla sirena di uno stabilimento; la presenza delle armoniche ed i rapporti delle loro intensità, consentono però di distinguere nettamente il suono proveniente dal violino da quello proveniente dalla sirena.

Le armoniche possono raggiungere frequenze molto elevate, sino a 10 000 cicli al secondo, ed oltre. Se la potenza sonora è distribuita in modo quasi uniforme sino alle armoniche più alte, il suono risulta metallico, come nel caso della tromba. Nel corno da caccia, invece, l'intensità sonora decresce rapidamente all'elevarsi delle armoniche. In genere i suoni bassi sono ricchi di armoniche, mentre i suoni acuti sono poveri di armoniche.

### Infrasuoni, suoni e ultrasuoni.

#### a) Lo spettro sonoro.

L'orecchio umano sente una gamma vastissima di frequenze sonore, ma essa è soltanto una parte dell'intera gamma sonora, detto *spettro sonoro*. Il limite inferiore

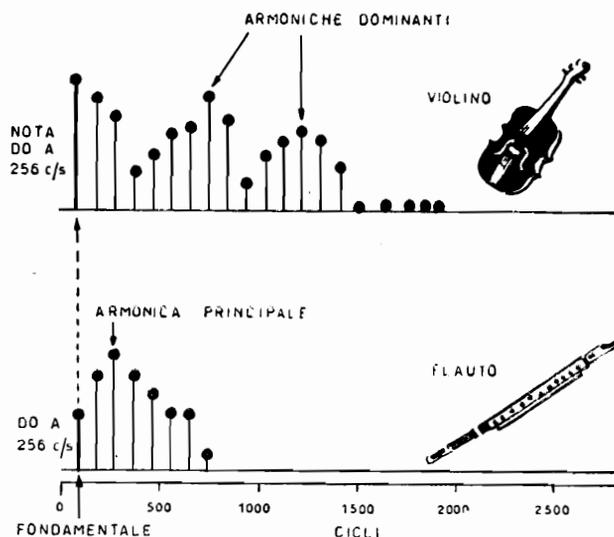


Fig. 1.9. - Distribuzione della potenza sonora tra la nota fondamentale e le varie armoniche prodotte dal violino e dal flauto.

d'udibilità è tra 16 e 20 cicli al secondo, il superiore è tra 16 000 e 20 000 c/s. Le persone giovani possono sentire suoni più alti delle anziane.

Tra 0 e 16 c/s vi è la breve gamma degli infrasuoni, tra 20 000 e 16 000 000 c/s vi è la gamma degli ultrasuoni; gli uni e gli altri appartengono ai « suoni silenziosi ». Lo stormire di una foglia, il cigolio di una chiave nella toppa, il fruscio di una veste, determinano suoni molto elevati, con frequenze armoniche che possono raggiungere

i 20 000 cicli al secondo ed anche superarli. Sino a 32 000 c/s si estende la sensibilità di alcuni insetti, i quali sentono principalmente suoni inaudibili all'orecchio umano.

Gli ultrasuoni intorno alla frequenza di 100 000 c/s sono utilizzati per la pastorizzazione del latte a bassa temperatura, per la raffinazione degli zuccheri, per effetti di polimerizzazione, ecc. Quelli ad un milione di cicli sono usati per segnalazioni subacquee. Il limite estremo degli ultrasuoni prodotti con apparecchi è a 16 milioni di c/s.

**b) Lo spettro udibile.**

Lo spettro udibile è costituito dalla gamma delle frequenze udibili. La fig. 1.6 illustra il tratto occupato dalle varie voci e dai principali strumenti. La voce maschile

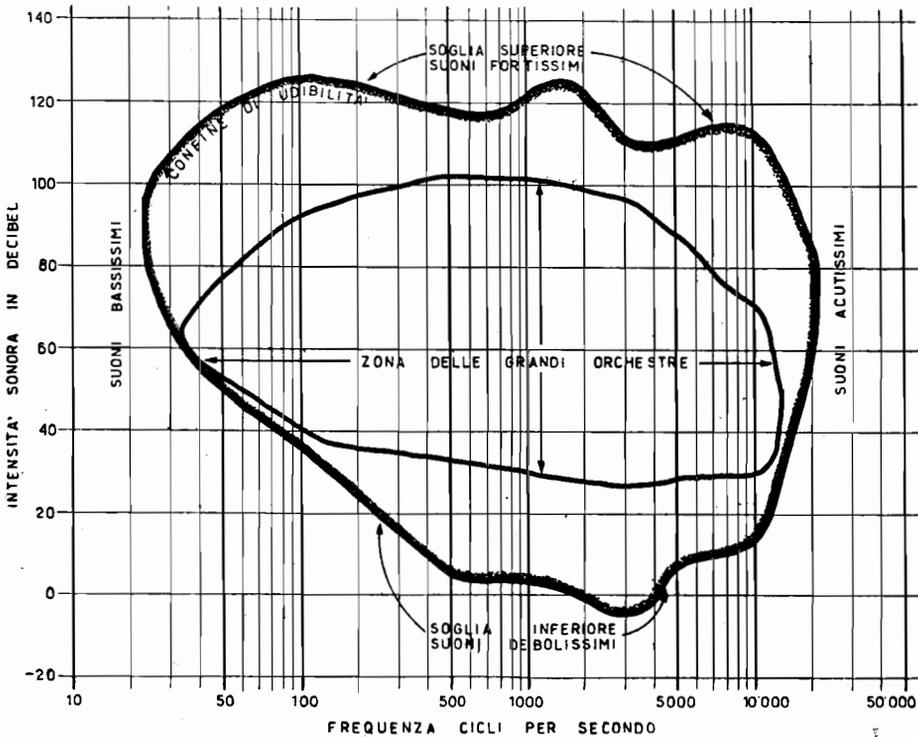


Fig. 1.10. - Zona d'udibilità dei vari suoni al variare della loro frequenza e della loro potenza.

ha una frequenza fondamentale intorno agli 80 c/s, quella femminile intorno ai 120 c/s; le esperienze telefoniche hanno però dimostrato che si possono eliminare le frequenze sotto i 300 c/s della voce senza alterare sensibilmente la intelligibilità.

Per spettro di una voce o di uno strumento s'intende la curva esprimente la variazione dell'intensità sonora al variare della frequenza. Nel caso del pianoforte, lo spettro relativo ad una data nota può variare notevolmente con la forza del tocco.

### La zona dell'udito e l'audiogramma.

È possibile tracciare una figura che indichi quale sia la zona dell'udito, visto che esistono suoni tanto bassi o tanto alti da non poter essere intesi, e visto che ve ne sono altri tanto deboli o tanto forti da non poter neppure essere intesi, o da causare non una sensazione ma un dolore.

Segnando le sensazioni auditive minime e massime in corrispondenza delle varie frequenze, si ottiene appunto la fig. 1.10; essa indica quale conformazione

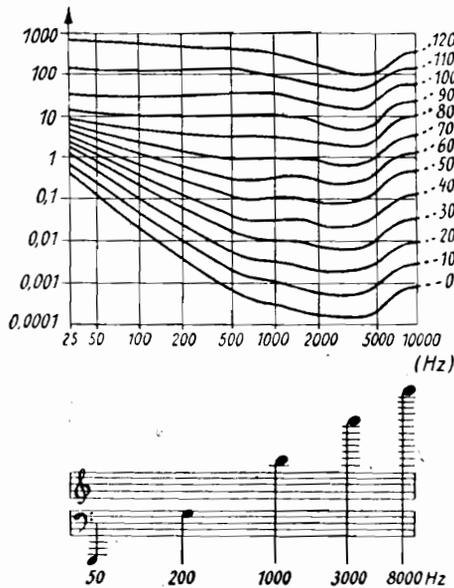


Fig. 1.11. - Audiogrammi indicanti come deve variare l'intensità sonora alle diverse frequenze affinché rimanga costante la sensazione auditiva espressa in decibel.

abbiano i confini d'udibilità. A sinistra sono indicati i livelli sonori relativi alle frequenze più basse. Le note più basse del pianoforte, a 27 ed a 32 c/s, non si possono sentire se non ad un livello sonoro assai alto, di circa 80 decibel; però se il livello è oltre i 100 decibel, la sensazione si trasforma in malessere; sicchè il campo d'udibilità di queste note è molto limitato, essendo compreso tra 80 e 100 decibel.

Note musicali a 50 c/s si sentono già a circa 50 decibel, e danno dolore solo a 120 decibel. La zona d'udibilità più estesa è quella relativa a frequenze da 500 a

5000 c/s. Anche i suoni molto acuti non si sentono se non quando sono già molto forti. Una nota a 20 mila cicli si sente solo se è molto intensa, a circa 45 decibel.

Nella figura è indicata la zona sonora « occupata » dalle grandi orchestre; essa può dare un'idea della vastità della gamma di frequenze musicali e della gamma delle intensità sonore che le grandi orchestre sono in grado di sviluppare.

Si traccia un *audiogramma* quando si esprime con una curva la variazione d'intensità sonora necessaria per conservare inalterata una data sensazione sonora al variare della frequenza. La fig. 1.11 illustra varie curve di questo tipo. Ciascuna curva corrisponde ad un dato livello sonoro in decibel; si riferisce alle variazioni di rapporto d'intensità sonora al variare della frequenza. Nella figura, la scala dei rapporti, a sinistra, non ha inizio con 1 poichè essa si riferisce a misure di pressione sonora espresse in dine per centimetro quadrato. Il significato però non varia. A destra è indicato il livello in decibel corrispondente alle varie curve. Un suono a 25 c/s deve essere quasi 5000 volte più intenso di un altro a 2500 cicli, per determinare la stessa sensazione a zero decibel, ossia per essere appena percettibile. Non avviene la stessa cosa quando si tratta di livello sonoro molto alto, in questo caso bastano piccole variazioni d'intensità sonora per conservare inalterata l'entità della sensazione al variare della frequenza.

Gli audiogrammi, detti anche *curve isofoniche*, sono frequentemente usati per stabilire le condizioni d'udibilità delle persone deboli d'udito, per stabilire le condizioni acustiche di un ambiente, quelle di assorbimento dei vari materiali isolanti, ecc.

### 3. — L'ORECCHIO

#### Caratteristiche basilari dell'orecchio.

La parte più importante dell'orecchio è simile ad un prodigioso, complicatissimo pianoforte, con ben 24 mila corde musicali, realizzato con precisione così estrema da poter avere le dimensioni di un piccolo pisello.

Le corde di questo pianoforte-pisello vibrano in corrispondenza alle note di varia altezza. Sono perciò di varie lunghezze; la più lunga, quella che vibra quando all'orecchio giunge il suono più basso percettibile, misura 1,6 millimetri; la più corta, posta all'altra estremità, misura appena 0,14 millimetri. Dall'intensità del suono dipende l'ampiezza delle loro vibrazioni. Le corde più lunghe sono spaziate, le più corte sono fitte.

Uno strumento che emetta un *la* a 435 c/s, determina la vibrazione della corrispondente corda musicale a frequenza 435 c/s dell'orecchio, nonchè quella di altre corde a frequenze armoniche, a 870 c/s, a 1305 c/s, ecc. L'orecchio costituisce uno « specchio sonoro » estremamente fedele. Non è però ben chiaro come esso funzioni, anche soltanto dal punto di vista acustico, poichè non s'intende come una corda lunga appena 1,6 mm possa vibrare a frequenza tale da richiedere in un pianoforte una corda lunga ben 1 metro ed 80 centimetri. L'esperimento dimostra

che se le corde più lunghe si deteriorano o si spezzano, l'orecchio non può più percepire i corrispondenti suoni bassi. Con l'avanzare dell'età le corde più corte, quelle che vibrano alle note più alte, si atrofizzano, specie nel tratto tra 14 000 e 20 000 cicli.

Non sono le onde sonore dell'aria a mettere in vibrazione le 24 mila corde del pianoforte-pisello, poichè basterebbe il pulviscolo sospeso in essa per rendere rapidamente inutilizzabile un organo di così alta delicatezza. Le 24 mila corde, dette *fibrille*, sono tese lungo un tubetto di natura ossea, piegato a spirale, a forma di chiocciola, pieno di un liquido speciale, detto *endolinfa*. Il pianoforte è dunque a forma di chiocciola, e vien detto *coclea*.

Le onde sonore dell'aria, raccolte dal padiglione dell'orecchio si propagano lungo il canale uditivo, lungo circa 25 mm, e vanno ad esaurire la loro forza su una membrana che chiude completamente il canale. È la *membrana del timpano*, tesa come la pelle di un tamburo e fissata ad una cornice ossea. Le pressioni propagantisi nell'aria sotto forma di onde sonore determinano vibrazioni della membrana; ma poichè le pressioni corrispondenti ai suoni debolissimi sono estremamente lievi, la sensibilità della membrana del timpano è prodigiosa. Uno spostamento d'aria di appena due miliardesimi di mm, paragonabile alla variazione di pressione atmosferica determinata dal sollevare la testa di 7,5 centimetri, è già sufficiente per mettere in vibrazione la membrana del timpano.

La membrana possiede anche la straordinaria facoltà di variare automaticamente la propria elasticità; diventa più elastica in presenza di suoni bassi, ai quali corrispondono vibrazioni più ampie, data la maggior energia posseduta, e più rigida in presenza di suoni acuti. I suoni di una grande orchestra sono rappresentati da un susseguirsi di onde multiformi, le quali determinano complesse ed armoniche vibrazioni della membrana del timpano. Essa si rinnova nel tempo, ed in caso di lesione si ripara.

Al lato opposto della membrana del timpano è necessario vi sia la stessa pressione d'aria esistente nel canale auditivo. Se dietro la membrana vi fosse il vuoto, o aria molto rarefatta, la membrana verrebbe immediatamente sfondata dalla pressione dell'aria antistante. Avverrebbe la stessa cosa se posteriormente la pressione fosse più alta. Affinchè la pressione sia eguale ai due lati, un apposito canale comunica con la bocca, è detto *canale d'Eustachio*, ed è ben visibile in fig. 1.12.

Le parti dell'orecchio sono dunque tre, quella anteriore alla membrana, quella posteriore e, infine, la coclea. Le vibrazioni della membrana del timpano vengono trasmesse al liquido presente nell'interno della coclea. All'entrata del tubetto con le 24 mila corde vi è una seconda membrana, la quale costituisce l'ingresso dell'orecchio interno, v. fig. 1.13. Le vibrazioni della prima membrana vengono trasmesse a questa seconda membrana, dalla quale si propagano nella endolinfa, e quindi alle corde.

La seconda membrana ha forma ovale e la sua superficie è circa la ventesima parte di quella del timpano; essa chiude una « finestra » non più grande della cruna di un ago. Senza qualche particolare accorgimento, le vibrazioni sonore impresse all'endolinfa si propagherebbero sino in fondo alla chiocciola, e poi, riflesse

dalle pareti, ritornerebbero indietro, mettendo due volte in vibrazione le fibrille, ciò che non deve avvenire. È necessario che l'energia delle vibrazioni si esaurisca in qualche modo, e non ritorni indietro.

A tale scopo, le 24 mila fibrille sono intessute in una sottilissima membrana, di

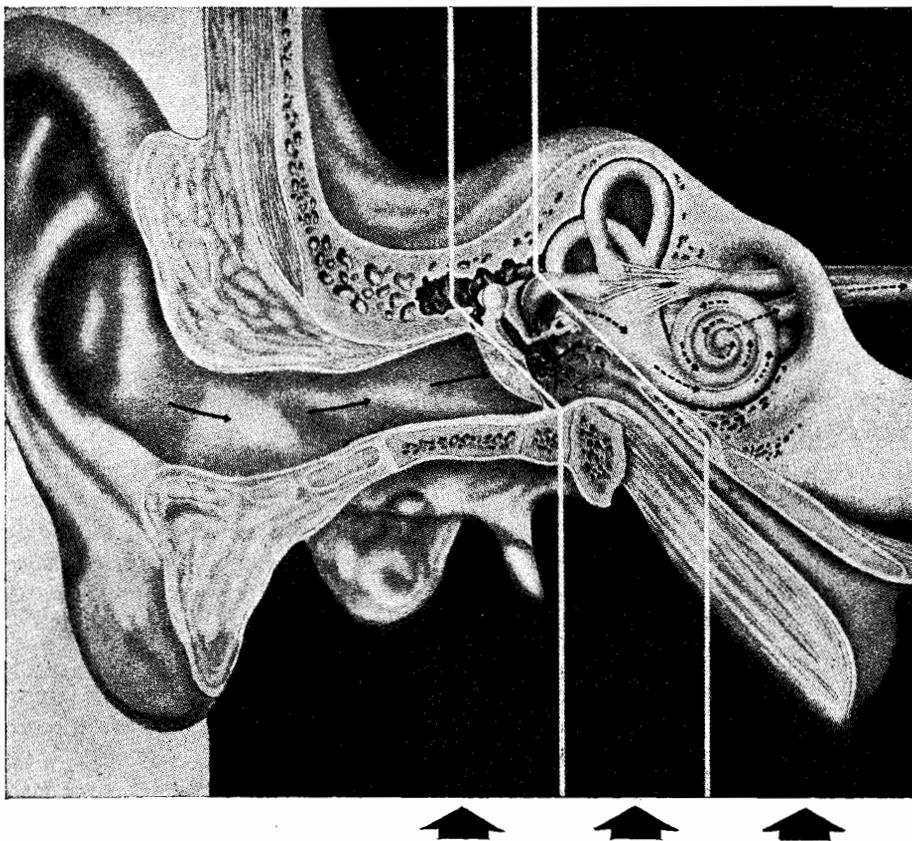


Fig. 1.12. - Le varie parti costituenti l'orecchio esterno, medio e interno. La conformazione della coclea e le sue due finestre sono illustrate anche dalla fig. 1.13.

qualche millesimo di millimetro, la quale divide in due parti il tubetto avvolto a spirale; lo divide insieme con un particolare sostegno osseo, il quale fa anch'esso da parete divisoria. La finestra ovale è presente su una sola metà del tubetto, la metà superiore, detta *galleria superiore* o *canale semicircolare superiore* o anche *rampa vestibolare* oppure *scala vestibulae*. Le vibrazioni della piccola membrana si propagano nella endolinfa presente in questa galleria superiore, e poi a quella presente nella galleria inferiore, detta anche *rampa timpanica* o *scala tympani*. Questa seconda gal-

leria finisce anch'essa con una « finestra », di forma rotonda, chiusa da una membrana, la quale ha il solo scopo di assorbire l'energia vibratoria rimasta.

La lunghezza di ciascuna delle gallerie è di 32 millimetri; il punto in cui esse comunicano è detto *elicotrema*. L'avvolgimento comprende due spirali e tre quarti.

La membrana del timpano non potrebbe comunicare le sue vibrazioni direttamente all'endolinfa, data la diversa *impedenza acustica*, un po' come la valvola finale di potenza non può comunicare direttamente con la bobina mobile dell'altoparlante, appunto per la diversa impedenza. Come è necessario un trasformatore adattatore, così è necessario un adattatore delle due impedenze, costituito da un dispositivo di tre ossicini, tra le due membrane, presente nell'orecchio medio. La membrana del timpano ha la stessa impedenza caratteristica dell'aria, di 42 ohm acustici; la parte interna dell'orecchio, ossia la coclea, ha un'impedenza molto maggiore, intorno ai 150 000 ohm acustici.

Le vibrazioni della membrana del timpano vengono trasmesse alla *catena degli ossicini*, prima al martello, quindi all'incudine e infine alla staffa, la quale poggia

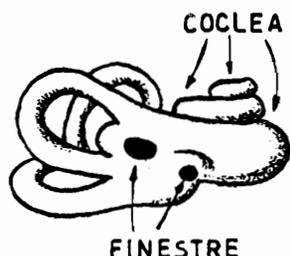


Fig. 1.13. - Il labirinto, ossia i canali semicirculari orientati a 90 gradi tra di loro, e la coclea con le sue due finestre.

sulla membrana ovale, ingresso dell'orecchio interno. In fig. 1.12 i tre ossicini si vedono abbastanza nitidamente.

Le vibrazioni della staffa risultano ridotte, rispetto a quelle della membrana del timpano, nella proporzione di 1,5 a 1; dato che la superficie della membrana ovale è circa la ventesima parte di quella del timpano, la pressione sull'endolinfa è circa 60 volte maggiore di quella delle onde sonore sulla membrana del timpano; il principio è un po' quello della leva idraulica.

La coclea è collegata a tre canali semicirculari, orientati ad angoli di 90° tra di loro, nei quali ha sede il senso dell'equilibrio, ma che non partecipano al fenomeno uditivo. L'insieme della coclea e dei tre canali vien detto *labirinto*.

Ciascuna delle 24 mila fibrille della coclea è collegata per cavo diretto con una zona del cervello; ne risulta che dall'orecchio parte un cavo uditivo composto di 24 mila conduttori isolati. Nella coclea c'è « qualche cosa », in corrispondenza di

ciascuna fibrilla, in grado di tradurre la vibrazione meccanica in onda elettrica di forma corrispondente. L'orecchio si comporta un po' come una centrale telefonica, dalla quale partono continui messaggi a misteriosi abbonati in grado di interpretarli.

Ciascuno di noi sente la propria voce in modo diverso da come la sentono gli altri, per il fatto che parte delle onde sonore prodotte dalle corde vocali giungono nell'orecchio medio, tramite il canale d'Eustachio, ed agiscono direttamente sulla catena degli ossicini.