

**Pasquale Citera**

Dipartimento di Musica Elettronica  
 Conservatorio di Santa Cecilia  
 via dei Greci 18  
 Roma (IT)  
 pasqualecitera81[at]gmail[dot]com

## Lezione II

### Acustica e Psicoacustica

## IL SUONO

### Caratteristiche e Percezione

**Nella seconda lezione abbiamo affrontato gli aspetti più importanti dell'Acustica e Psicoacustica dei suoni; dalle caratteristiche basilari, alle tipologie ed i fenomeni che intercorrono nell'interazione tra suoni diversi, passando per i parametri del suono nel tempo. Il tutto è stato arricchito da ascolti di composizioni storiche che, seppur opere acustiche, hanno trovato nel pensiero elettronico, la base per la scrittura e la formalizzazione delle stesse, considerando cioè gli strumenti tradizionali come generatori sia di suoni complessi che di fenomeni acustici correlati.**

Si definisce come **Suono** la sensazione umana data dalla decodifica dell'apparato uditivo delle vibrazioni di un corpo che oscilla. La vibrazione, trasmettendosi nell'aria od altro mezzo elastico e raggiungendo l'insieme degli organi preposti all'udito, viene recepita in primo luogo dalla membrana del timpano che ne registra le variazioni di pressione per poi venire inviate agli organi successivi per la successiva decodifica. Viviamo immersi continuamente in una moltitudine di vibrazioni e di oscillazioni ma solo una piccola parte di esse viene effettivamente recepita e decodificata dal cervello umano come suono.

Ogni suono può essere descritto tramite quattro qualità caratterizzanti. *Frequenza, Intensità, Timbro e Durata.*

### 1. ELEMENTI CARATTERIZZANTI

#### 1.1 FREQUENZA

La grandezza che misura il numero di ripetizioni delle vibrazioni in una unità di tempo, viene chiamata **FREQUENZA** e si ot-

tiene misurando l'intervallo di tempo che passa tra gli istanti iniziali di due eventi successivi. Il risultato è espresso nell'unità di misura chiamata *Hertz* (Hz)<sup>1</sup> intesa come  $1\text{ Hz} = \frac{1}{s}$  ovvero un Hz equivale ad una vibrazione al secondo.

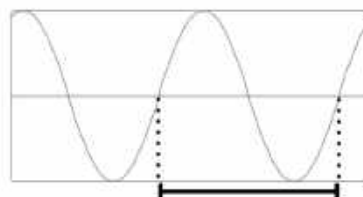


fig.1 Intervallo calcolato per definire la frequenza

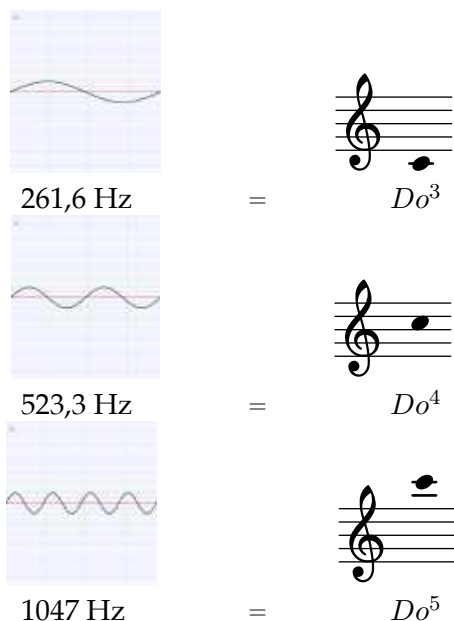


fig.2 Oscilloscopio. Strumento per misurare la frequenza

L'effetto musicale che la frequenza produce sul suono è la percezione dell'altezza. Ovvero più numerosi saranno i cicli di vibrazione al secondo - maggiore il numero di Hz- più acuto verrà percepito il

<sup>1</sup>Dal nome del fisico tedesco Heinrich Rudolf Hertz

suono.



L'orecchio umano riesce a percepire una ristrettissima banda di vibrazioni vale a dire da circa 16 a 20000 Hz. In questo modesto intervallo, vi è contenuto l'intero insieme dei suoni e dei rumori che percepiamo e che usiamo a fini musicali. Al di sotto dei 16 Hz le vibrazioni vengono chiamate *infrasuoni* ed al di sopra dei 20000 Hz, *ultrasuoni*.<sup>2</sup>

## 1.2 INTENSITÀ

L'intensità acustica è la grandezza fisica determinata dal rapporto tra la potenza di un'onda sonora e l'area della superficie che da essa viene attraversata ed è legata al *volume sonoro* ovvero la qualità che permette di distinguere suoni deboli da suoni più forti calcolata come pressione che l'onda sonora esercita sulla membrana

del timpano.

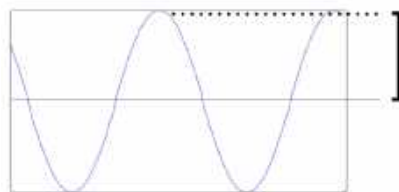


fig.3 Intervallo calcolato per definire l'intensità

Il livello di intensità acustica - o *livello sonoro* è sovente misurato in *decibel*<sup>3</sup> e nello specifico, per la pressione sonora, il  $dB_{SPL}$  (*Sound Pressure Level*).<sup>4</sup> La tabella che segue esemplifica una scala di valori in  $dB_{SPL}$  per dare una idea indicativa del cambio di volume ad uguale incremento di decibel.

130	Soglia del dolore
125	Aereo al decollo a 50 m
120	Sirena
110	Motosega a 1 m
100	Concerto rock
90	Urlo, fischietto
80	Camion pesante a 1 m
60	Ufficio rumoroso
50	Ambiente domestico
20	Respiro umano
0	Soglia dell'udibile

## 1.3 TIMBRO

Il TIMBRO è forse tra le caratteristiche del suono, quella più importante nella musica sviluppatasi dal secondo Novecento. Data l'importanza della questione, presentiamo il concetto di Timbro con degli estratti da un famoso articolo del compositore Jean-Claude Risset.<sup>5</sup>

S'intende per TIMBRO quella particolare qualità del suono che permette d'i-

<sup>2</sup>PER UN TEST SULLA PERCEZIONE DELLE FREQUENZE CLICCA **Qui** (SWEEP DA 0 A 20000 Hz)

<sup>3</sup>dB - Decima parte del Bel

<sup>4</sup>Per approfondimenti sul decibel clicca **Qui**

<sup>5</sup>JEAN-CLAUDE RISSET, *Il Timbro*, Enciclopedia della musica Einaudi, V.II pgg. 89-114.

identificare la fonte sonora: il timbro dipende dallo strumento o dalla voce che emette il suono, e non dall'intensità o dall'altezza del suono emesso. [...] Il timbro viene spesso indicato fra i parametri del suono musicale, insieme all'altezza, all'intensità e alla durata; tuttavia si tratta di un parametro che non si lascia circoscrivere facilmente. Quando si parla del timbro di uno strumento musicale, ci si riferisce a una sorta di firma dello strumento, a una caratteristica che permette d'identificarlo. L'Associazione americana di normalizzazione definisce il timbro come segue :

*Il timbro è l'attributo della sensazione uditiva che permette all'ascoltatore di differenziare due suoni della stessa altezza e della stessa intensità, presentati in maniera simile.*

Il timbro viene così definito tramite quello che esso non è: né altezza, né dinamica; esso appare dunque come un attributo residuale. [...] Il timbro sembra spesso ricoprire un ruolo subalterno nelle musiche non europee e anche nella musica classica occidentale. Nella notazione musicale tradizionale, la specificazione del timbro si riduce all'indicazione dello strumento e del modo di suonarlo, per esempio: violino *sul ponticello*, viola *pizzicato*, tromba *con sordina*. Numerose partiture dell'epoca barocca sono state scritte "per ogni sorta di strumenti", senza indicazioni di strumentazione. Ciononostante, i musicisti non hanno mai smesso di preoccuparsi della qualità sonora. La preoccupazione per il timbro diventerà centrale con l'inizio del XX secolo: Debussy storna gli accordi dalla loro funzione armonica tonale e li utilizza per la loro propria sonorità, come faranno più tardi anche Varèse e poi Messiaen, il qua-

le adotta nel suo linguaggio musicale degli *accordi-timbro*. [...] Con la musica concreta, elettronica e digitale, è stato possibile per la prima volta ai musicisti di esercitare un controllo senza precedenti sul timbro e di comporre il suono stesso, invece di accontentarsi di comporre con dei suoni preesistenti.

\*\*\*\*\*

Il timbro viene determinato sia dalla composizione interna del suono, lo *spettro armonico* ovvero la distribuzione delle frequenze armoniche rispetto al suono fondamentale che dal profilo dinamico (attacco, decadimento, sustain e rilascio - vedi cap. 3).



fig.4 Forma d'onda e Spettrogramma

Secondo alcuni enunciati del matematico francese **Joseph Fourier**, ogni suono può essere scomposto in una serie di frequenze pure, la più bassa delle quali viene chiamata *fondamentale* e le successive *parziali armoniche* se sono multiple intere della fondamentale, o *parziali inarmoniche* se non lo sono.

Nella figura seguente: una nota di clarinetto e, di seguito, la fondamentale e le parziali armoniche isolate.

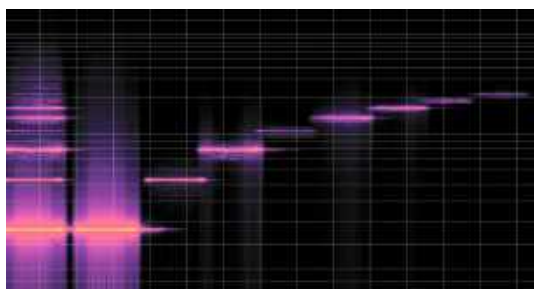


fig.5 Clarinetto ed armoniche

una estrema aperiodicità e da una ampiezza delle frequenze costante lungo tutto lo spettro sonoro. In sintesi, il rumore bianco contiene tutte le frequenze<sup>7</sup> dello spettro sonoro ad ampiezza uguale. Anche questo tipo di rumore, come il suono sinusoidale, non è presente in natura ma viene prodotto mediante strumenti elettronici.

## 2. TIPOLOGIE, COMPOSIZIONE ED INTERAZIONE TRA SUONI

### 2.1 SUONO PURO O SINUSOIDALE

Il Suono Puro o Sinusoidale è l'onda sonora più semplice avente la sola fondamentale priva quindi di qualsiasi altra armonica. Prende il nome di *sinusoidale* poiché viene descritta matematicamente dalla funzione seno.<sup>6</sup> C'è da precisare che il suono sinusoidale assoluto non è presente in natura ma creato da strumenti elettronici dato che non vi è nessun corpo in grado di produrre una singola frequenza senza armoniche.

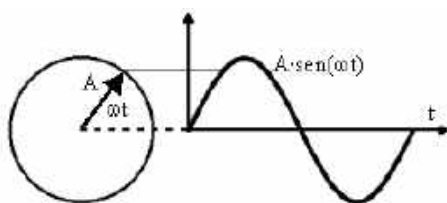


fig.6 Sinusoide

### 2.2 SUONO BIANCO

Nella scala di complessità sonora, all'estremo opposto al suono puro vi è il suono - ovvero rumore - bianco, vale a dire quel fenomeno sonoro caratterizzato da

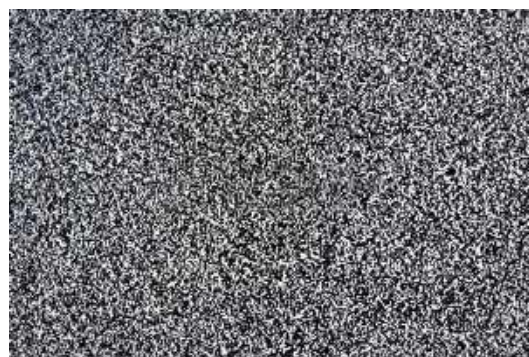


fig.7 Spettro del Rumore Bianco

I suoni degli strumenti musicali possono essere considerati come una varietà di miscele tra suoni sinusoidali (fondamentale e parziali) miste a sezioni di vari tipi di rumore; normalmente la parte più consistente del rumore si ha nello stadio iniziale di ogni suono poiché proprio in quel momento vi è la generazione della vibrazione determinata da una percussione, uno sfregamento od un soffio.

<sup>6</sup>Negli Studi della radio di Colonia, Stockhausen nei suoi primi studi sulla costruzione del suono, si impone di usare solo suoni sinusoidali, in accordo con le teorie sulla scomposizione dei suoni di Fourier.

<sup>7</sup>Nel rumore bianco le frequenze sono contenute in modo statistico, cioè non simultanee ma presenti tutte se viene preso in esame un intervallo di tempo.

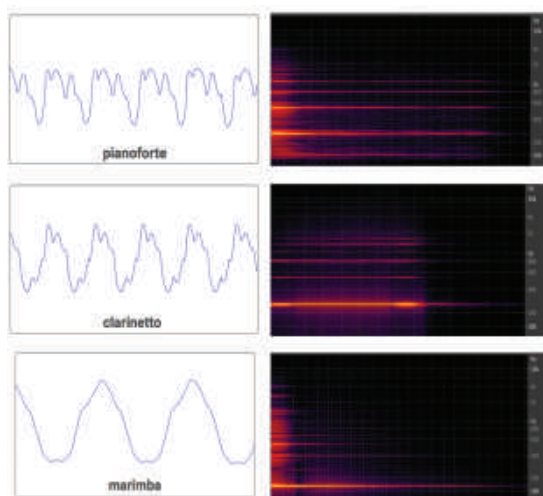


fig.7 Differenze di onda sonora e di spettro

## 2.3 SUONO E RUMORE, CONSONANZA E DISSONANZA

Le differenze tra suono e rumore vanno distinte in due tipologie; differenze acustiche e differenze culturali. In acustica parlando di suoni sintetici si può considerare *suono* quell'onda che ha un moto della vibrazione periodico mentre *rumore* l'onda sonora che ha un moto di vibrazione aperiodico.

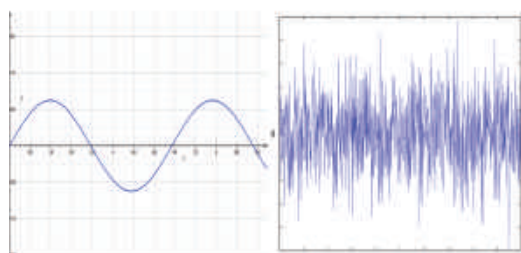
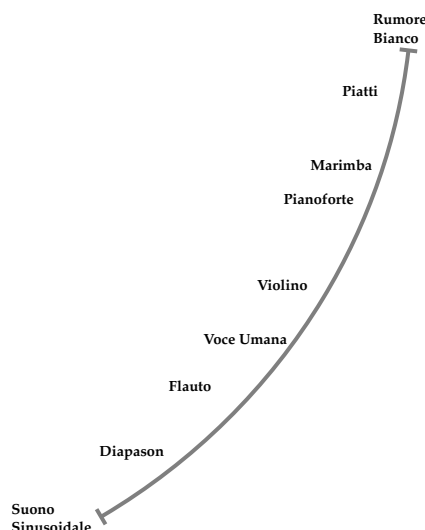


fig.8 Differenza tra Suono e Rumore

Musicalmente invece la differenza è molto più sfumata, ovvero non esiste un vero e proprio limite di demarcazione tra suono e rumore. Ogni strumento produce un

complesso di suoni e rumori che vanno a formare il timbro dello stesso. In una scala ideale (e anche eccessivamente semplificata) potremmo considerare al massimo gli strumenti dove il rumore ha più *partecipazione* nella formazione del timbro rispetto ad altri dove il rumore c'è ma influisce meno o per minor tempo:

fig.8 Scala ideale della composizione suono-rumore tra gli strumenti<sup>8</sup>

Diverso invece - e più complesso - il discorso delle differenze tra consonanza e dissonanza.

Messo da parte il problema *culturale*, già dibattuto nella precedente lezione (l'emancipazione storica della dissonanza o, sarebbe meglio dire, l'allargamento del concetto di consonanza), è meglio soffermarsi sugli aspetti acustici e fisiologici delle suddette differenze. Le ricerche acustiche hanno evidenziato come, avendo due suoni identici della stessa frequenza (unisono) e facendone variare uno dei due con dapprima leggeri e poi sempre più evidenti scostamenti di frequenza dall'origine, si provoca

<sup>8</sup>Riguardo la voce umana, s'intende una emissione totalmente vocale.

<sup>9</sup>Per non creare ambiguità in luogo di dissonanza useremo il termine *asprezza*.

nell'ascoltatore una sensazione aspra<sup>9</sup> dovuta all'incontro di frequenze leggermente diverse, che si placa superata una certa soglia di differenza di frequenza tra i due suoni. Questo intervallo di differenza di frequenza in cui viene avvertito questo senso di *asprezza* viene chiamato *Banda Critica*. È stato evidenziato inoltre che la Banda Critica copre un intervallo più ampio man mano che si prendono in esame suoni più gravi come dimostra l'immagine che segue:

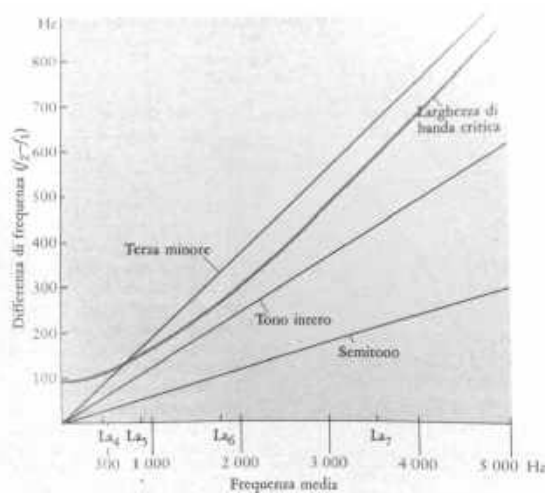


fig.9 Larghezza della Banda Critica

Da questa immagine si evince che sopra gli 800Hz circa (attorno al La ottava sopra di quello del diapason) il senso di asprezza cessa poco dopo il tono intero. Al di sotto dei 500Hz invece la Banda Critica si allarga enormemente comprendendo anche intervalli che sono normalmente considerati *consonanti* tipo la terza minore e ancor di più. Infatti è anche per questa ragione (all'inizio senz'altro empirica) che la letteratura per strumenti a tastiera - e per pianoforte in particolare - si è sviluppata seguendo una prassi che voleva la parte bas-

sa della mano sinistra procedente per note singole con raddoppio d'ottava e la parte superiore della mano destra che armonizzava. La sensazione d'asprezza prodotta dall'incontro di due suoni che rientrano nella banda critica quindi dipende dalla frequenza, possiamo dire quindi che a frequenze gravi la sensazione di dissonanza è molto più estesa che a frequenze alte, dove esiste dissonanza fino al tono intero, passato il quale, il cervello non percepisce più nessuna sensazione aspra. Il resto è filtrato dal concetto culturale che abbiamo di consonanza-dissonanza. La sensazione di *asprezza* è derivata da come il cervello umano recepisce i due suoni. In sintesi, se due suoni hanno una differenza di frequenza che rientra nella Banda Critica, al cervello vengono trasmessi usando una sola fibra neuronale, quindi il risultato è meno chiaro; se invece i due suoni hanno una differenza maggiore della Banda Critica, gli organi uditivi preposti alla decodifica delle vibrazioni riescono a scindere i suoni e ad inviarli su due fibre neuronali diverse rendendo così l'elaborazione dei suoni più chiara e precisa.

Dall'unisono alla sensazione di *asprezza* in realtà vi è uno stadio intermedio<sup>10</sup> in cui si produce un altro tipo di fenomeno, i cosiddetti *Battimenti* ovvero una variazione di intensità che ha una frequenza uguale alla differenza di frequenza tra i due suoni. Ovvero se si hanno due suoni, uno di 400 Hz ed uno di 402Hz, suonati simultaneamente producono una variazione ritmica di intensità di 2Hz (quindi due volte al secondo).

<sup>10</sup> da 0.1 a 16Hz di differenza circa.



### 3. PARAMETRI DEL SUONO NEL TEMPO

Nell'analisi dei suoni e delle loro caratteristiche, ci siamo tenuti a non considerare per semplicità il fattore temporale. Ovvero abbiamo considerato come ogni qualità presa in esame restasse immutata dall'inizio alla fine di ogni suono. Ogni suono è però un fenomeno che si evolve nel tempo e durante il tempo mostra notevoli cambiamenti ed evoluzioni. Osserviamo l'immagine che segue:

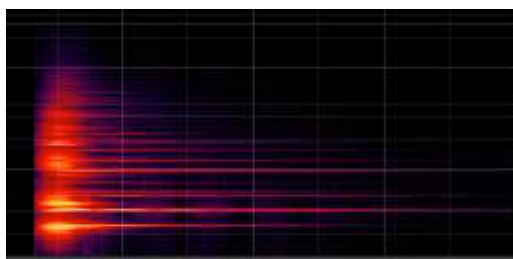


fig.11 Colpo di timpano allo spettroscopio

L'immagine rappresenta un colpo di timpano ed è abbastanza chiaro leggere l'evoluzione temporale delle componenti che fanno parte del suono. Ad una iniziale situazione di moltitudine di componenti sovrapposte (cfr. differenze Suono-Rumore) che sparisce quasi subito restano poche componenti che via via vanno spegnendosi, l'ultima più bassa è la componente fondamentale del suono. Quindi si nota chiaramente che non tutte le componenti hanno la stessa *vita*. Generalmente è chiaro che la frequenza più bassa vibra più a lungo visto che una frequenza più alta vibra più volte al secondo quindi ha bisogno di più energia. E dato che l'energia è più o meno la stessa per tutte le componenti - il colpo d'eccitazione iniziale - va da sé che chi *consuma* più energia cessa prima di il moto vi-

bratorio<sup>11</sup> Considerando poi il suono globalmente, notiamo che i cambiamenti interni delle componenti cambiano la forma dell'onda sonora (specialmente dal punto di vista dell'intensità).

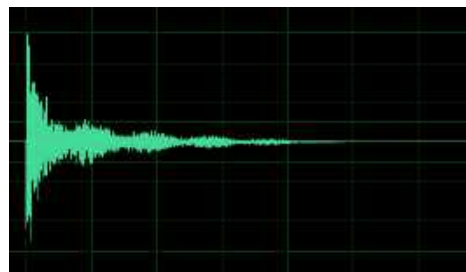


fig.12 Forma d'onda dello stesso colpo di timpano

Per descrivere quindi un suono non è necessario conoscerne solo frequenza, intensità e timbro ma anche - e Risset nel suo articolo sul timbro dice *soprattutto* - i diversi momenti che un suono attraversa dalla sua produzione all'estinzione. Generalmente il percorso del suono nel tempo viene chiamato *Involuppo* che a sua volta viene distinto in quattro fasi :

- Attacco - *Attack*: Va dall'inizio del suono fino al suo massimo;
- Decadimento - *Decay*: Dal massimo al volume in cui si stabilizza;
- Sostenuto - *Sustain*: Fase in cui il suono è stabile;
- Rilascio - *Release*: Dissolvenza del suono

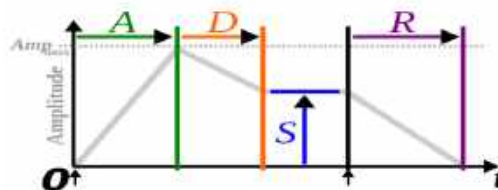


fig.13 Involuppo A.D.S.R.

#### Bibliografia

- JOHN PIERCE, *La Scienza del Suono*, Zanichelli, Bologna 2002

<sup>11</sup> È utile precisare che determinati meccanismi o zone di risonanza possono alterare questi equilibri di dissolvenza naturale delle componenti.