

## ACUSTICA MUSICALE RIASSUNTO

Lo strumento di valutazione dei fenomeni acustici è la **nostra percezione**.

Quindi è necessario:

- Conoscere il dominio delle grandezze fisiche oggetto della percezione;
- Conosce e misurare le **PRESTAZIONI** del nostro sistema percettivo e cognitivo;
- Conoscere il dominio dei parametri acustici legati al linguaggio musicale e alla sua struttura;

## TIPOLOGIE DI INFORMAZIONI AUDIO

### Suoni ambientali:

composti da suoni e rumori, sono associati ad eventi, sono immediatamente riconoscibili, si memorizzano facilmente, non hanno struttura linguistica e hanno contenuto informativo.

### Parlato:

utilizza un insieme conosciuto di fonemi acusticamente ben identificati, utilizza un vocabolario e una struttura linguistica, ha contenuto semantico.

### Musica:

utilizza un insieme conosciuto di suoni (strumenti, scala musicale), una struttura linguistica e ha un contenuto emozionale.

## LA CATENA ACUSTICA

**Movimento di eccitazione** --> MOVIMENTO: Apporto di energia;

**Corpo elastico oscillante** --> Determina delle caratteristiche fondamentali del suono;

**Risuonatore** --> Determina le caratteristiche finali della vibrazione e converte l'energia in onde sonore;

**Mezzo di propagazione** --> Propagazione sonora;

**Ambiente** --> Ha una funzione di riflessione, assorbimento e riverbero;

**Timpano e Orecchio Medio** --> Convertono in oscillazioni meccaniche e impulsi elettrici;

**Orecchio Interno** --> Isola le frequenze principali;

**Sistema nervoso** --> Elabora, identifica, memorizza e trasferisce ad altri centri del cervello: tutte queste azioni costituiscono la **PERCEZIONE**

## Grandezze scalari e vettoriali

Esistono due tipi fondamentali di grandezze: quelle **scalari** e quelle **vettoriali**.

Le grandezze **scalari** sono le più comuni e sono identificate unicamente da un numero. Sono grandezze scalari il **tempo**, la **lunghezza** e **l'altezza**, **l'energia**.

Le grandezze **vettoriali** sono caratterizzate da:

- Un **numero** che esprime la misura della grandezza e che viene rappresentata in scala dalla lunghezza del vettore ;
- Una **direzione** ovvero la retta sulla quale giace il vettore;
- Un **verso** che indica il senso in cui dovrà essere percorso il vettore .

Sono grandezze vettoriali la **velocità**, **l'accelerazione** e la **Forza**.

## STUDIO DEL MOTO

- “Una sensazione sonora è sempre prodotta da un oggetto in movimento(**SORGENTE**)”
- **Cinematica** : *pura descrizione del moto;*
- **Dinamica** : *investigazione sulle “cause” del moto;*
- Di particolare interesse per l’Acustica sono i moti di tipo **PERIODICO**.

## LE FORZE

*Sono le entità responsabili del moto dei corpi.*

### Principi di Newton:

- Un corpo non soggetto a forze persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme;
- **$F=ma$**  (**massa**=proprietà di un corpo di resistere a cambiamenti nella velocità)
- Se un corpo esercita su un altro una forza, questo eserciterà sul primo una forza uguale e contraria.

## L’ELASTICITA’

- In generale **l’elasticità** è la *proprietà di un oggetto o un materiale che ne causa il ritorno alla posizione di origine dopo uno spostamento.*  
*Quanto più il corpo è elastico tanto più ritorna con precisione nella sua posizione originale;*
- Questa *forza* è generalmente *proporzionale allo spostamento dalla posizione di riposo* ed è descritta dalla **legge di Hooke**;
- Anche l’aria si comporta come un mezzo elastico: sottoposta ad una pressione reagisce con una forza di segno opposto, cercando di ritornare allo stato di pressione iniziale.

## LA FORZA ELASTICA

- E’ una *forza lineare, che si oppone allo spostamento dell’oggetto secondo una costante  $k$  che dipende dalle caratteristiche dell’oggetto;*
- Legge di Hooke:

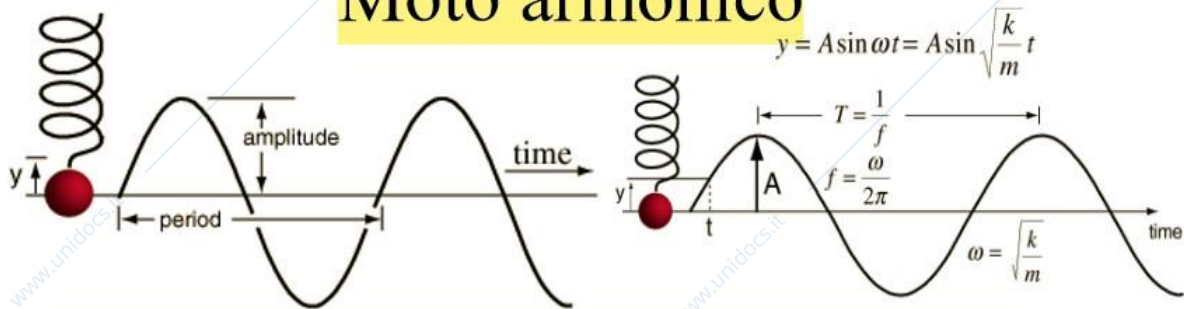
$$F=-kx$$

K=costante elastica

## IL SISTEMA MASSA MOLLA

- Per studiare il moto di un corpo soggetto a forza elastica si utilizza un sistema composto da una molla ideale con **elasticità  $k$** , cui è attaccata una **massa  $M$** .
- Il sistema non ha attriti.

## Moto armonico

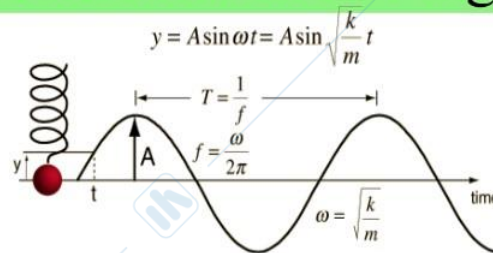


- **Periodo  $T$**  = intervallo di tempo dopo il quale il fenomeno (oscillazione) si ripresenta con le stesse caratteristiche - Dipende dalle caratteristiche fisiche del corpo ( $m$  e  $k$  nel caso delle oscillazioni elastiche)
- **Frequenza  $f=1/T$**  numero di oscillazioni al secondo - frequenza di risonanza del sistema
- **Ampiezza** = dipende dallo spostamento iniziale
- **Fase** = angolo corrispondente all'istante iniziale di osservazione

A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale

## Moto armonico : leggi



- **Equazione del moto armonico** :  $y=A\sin(2\pi ft)$  :
- la **frequenza** è data da  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$
- aumentando l'elasticità la frequenza  $f$  aumenta - aumentando la massa la frequenza  $f$  diminuisce

## IL LAVORO

Il **lavoro** è il *prodotto di una Forza per lo spostamento nella direzione della forza*.

## ENERGIA

- **L'energia** è la *capacità di un corpo di compiere lavoro*.  
In natura esiste in diverse forme e si può trasformare da un tipo all'altro.
- **ENERGIA POTENZIALE**: dipende dalla posizione del corpo rispetto ad un campo di forze.
- **ENERGIA CINETICA**:  $E = 1/2(mv^2)$
- **ENERGIA MECCANICA TOTALE** di un sistema è la somma dell'**ENERGIA CINETICA** e dell'**ENERGIA POTENZIALE**.
- La **POTENZA** è l'*energia (o il lavoro) spesa nell'unità di tempo*:  $W = E/t$

## MOTO ARMONICO SMORZATO

Azione dell'attrito:

- **Forza** *dipendente dalla velocità*;
- **Diminuisce** esponenzialmente l'**AMPIEZZA** del moto;
- La **FREQUENZA** rimane *invariata*;

## OSCILLAZIONI FORZATE

- Studio del movimento di un sistema massa molla attrito nel caso di azione di una forza di tipo **periodico**;
- Il **sistema accetta energia** solo **quando la frequenza della forza è uguale a quella di risonanza del sistema** (esempio altalena)

La **risonanza** è una condizione fisica che si verifica quando un [sistema oscillante forzato](#) viene sottoposto a sollecitazione periodica di [frequenza](#) pari all'[oscillazione propria](#) del sistema stesso.

## SISTEMI VIBRANTI COMPLESSI

I **corpi vibranti** sono caratterizzati da:

- Vincoli geometrici
- Vincoli di movimento
- Modalità di erogazione dell'energia

Inoltre i **sistemi reali** sono caratterizzati da:

- Imperfezioni dei materiali
- Comportamenti non del tutto lineari
- Condizioni di sforzo

## LA CORDA VIBRANTE

Le **vibrazioni** trasversali (**perpendicolari**) di **una corda vibrante ideale** (montata su supporti rigidi, con distribuzione costante della massa e perfettamente flessibile) seguono le seguenti leggi:

- La **frequenza della vibrazione fondamentale** è data da:

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

- Le **frequenze delle altre vibrazioni** sono **multiple** di quella della fondamentale secondo numeri interi; 2f, 3f, 4f ... (armoniche o armonici);
- I punti fermi si chiamano **NODI**;
- La **modalità con cui viene messa in moto la corda determina quali armoniche sono presenti nella vibrazione.**

**UN** sistema massa molla= **1 modo di vibrazione**

**DUE** sistemi uguali accoppiati=**2 modi di vibrazione**

**N** sistemi uguali accoppiati=**N modi**

**Il numero dei modi (normali) di oscillazione di un sistema è pari al numero di masse messe in oscillazione.**

**Infiniti sistemi= corda vibrante – infiniti modi di vibrazione.**

# La corda vibrante

Il moto della corda risulta dalla somma dei singoli modi di vibrazione.

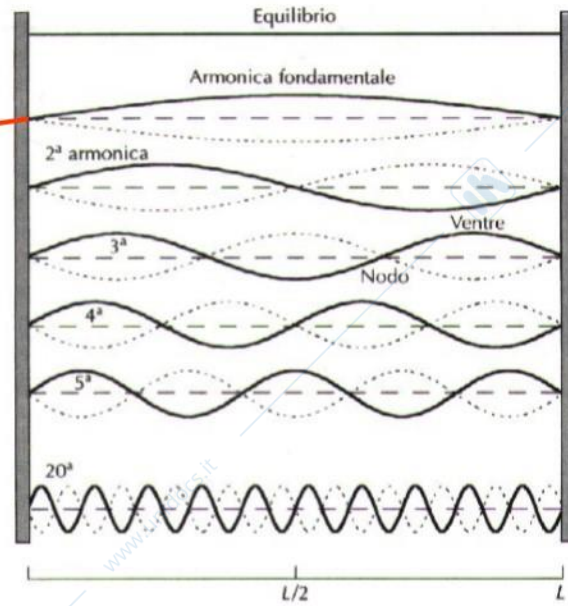
Ogni modo ha una lunghezza

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

Per ogni singolo modo la relazione che lega la frequenza alla lunghezza è

$$f_n = \frac{c}{\lambda_n}$$

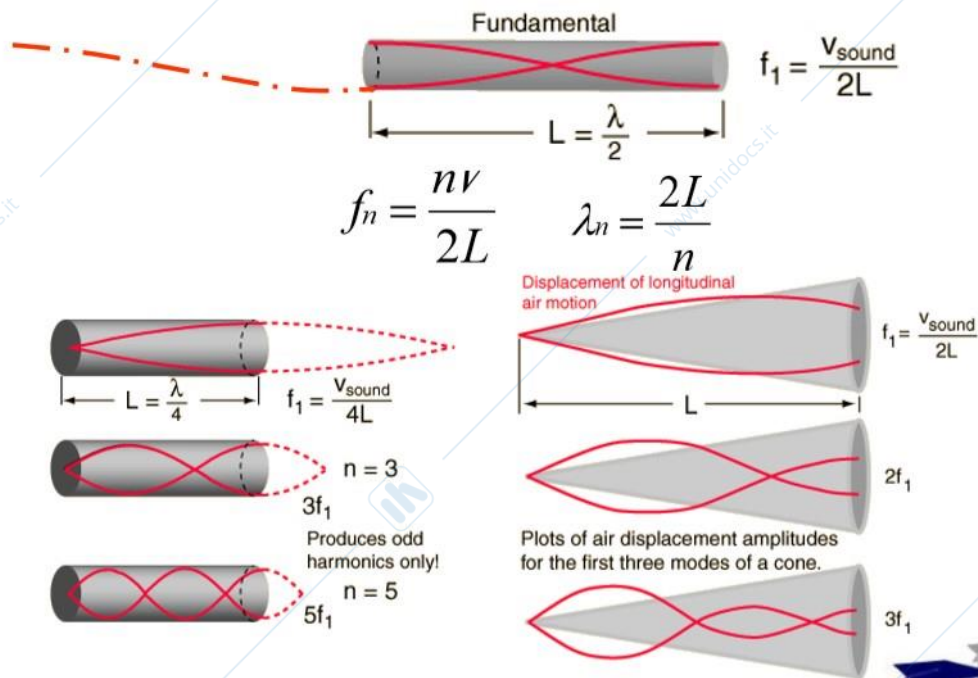
$$f_n = \frac{nc}{2L}$$



A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale

# Tubi sonori

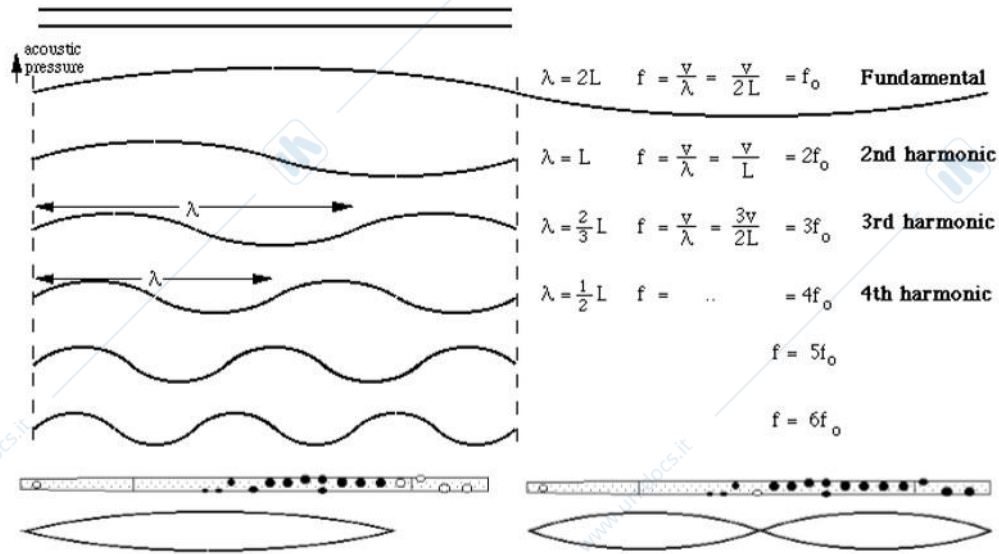


A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale



# Tubi sonori aperti



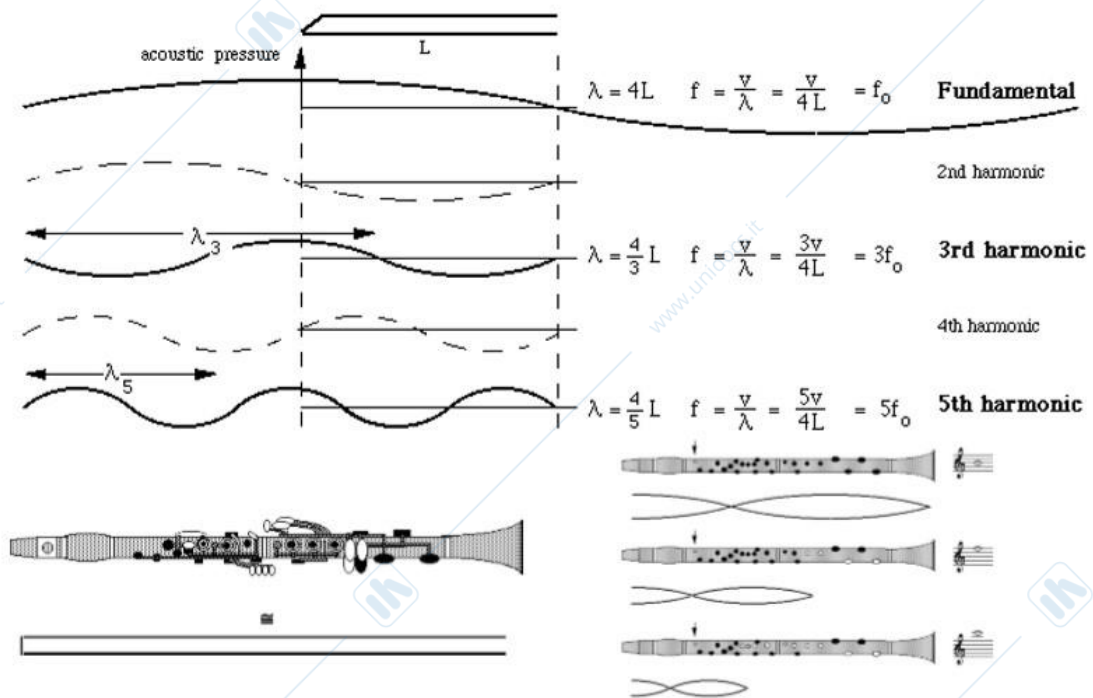
<http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/fluteacoustics.html>

A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale



# Tubi sonori chiusi



<http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/woodwind.html>

A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale

## PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE

Quando *due onde o due vibrazioni si sommano* in un mezzo lineare, **la risultante è data dalla somma di due vibrazioni**.

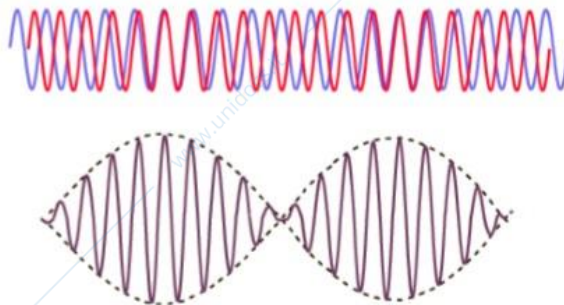
## BATTIMENTI

I **BATTIMENTI** si hanno quando si sommano **due vibrazioni di frequenza simile**.

La **frequenza d'onda risultante** presenta due periodicità e può essere descritta come una oscillazione di **frequenza media  $F_m$**  fra le due la cui ampiezza varia con una **frequenza pari alla differenza fra le due (frequenza di battimento  $f_b$ )**.

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$f_b = f_2 - f_1$$



Sommando suoni **complessi** i battimenti si possono avere anche fra le singole armoniche.

## TEOREMA DI FOURIER

Afferma che:

«*qualunque funzione periodica, finita, continua può essere rappresentata mediante una **somma di funzioni sinusoidali pure**, pesate da opportuni coefficienti, nei cui argomenti compaiono tutte le frequenze (**le armoniche**) multiple **di una frequenza fondamentale, caratterizzante la periodicità della funzione***»

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega_0 t) + b_k \sin(k\omega_0 t))$$

## ANALISI DI FOURIER

L'**analisi di Fourier** quel **procedimento matematico che conduce alla serie di armoniche che costituiscono un suono**, questa analisi consiste nel determinare le ampiezze e le fasi relative a ciascuna armonica contenuta in un'onda.

**Lo spettro di un segnale** è la sua **rappresentazione in termine di frequenze, ampiezze e fasi**.

## FORME D'ONDA

Ogni strumento musicale si porta dietro una forma d'onda particolare, che cambia durante la vita del suono stesso.

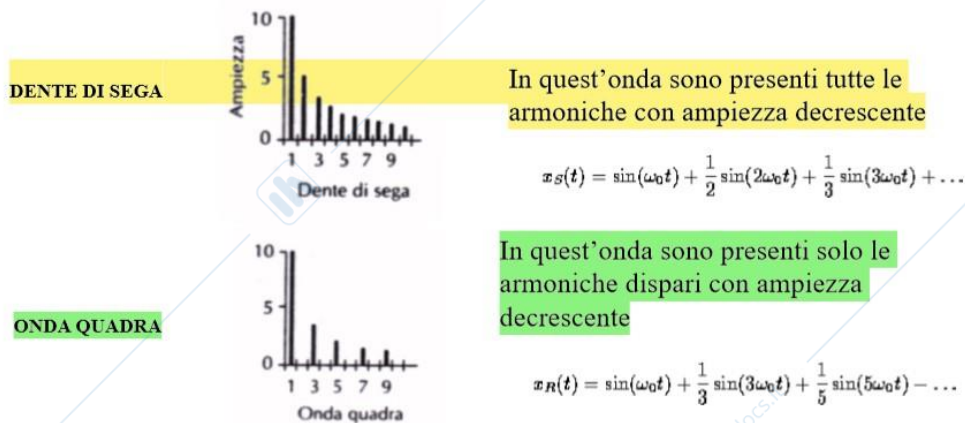
Questa forma d'onda risulta dalla combinazione dell'armonica fondamentale (che a volte può mancare) e delle armoniche superiori.

*E' proprio la forma d'onda, risultante dal contenuto spettrale delle armoniche, a determinare il timbro di uno strumento musicale.*

## FORME D'ONDA PARTICOLARI

### FORME D'ONDA PARTICOLARI

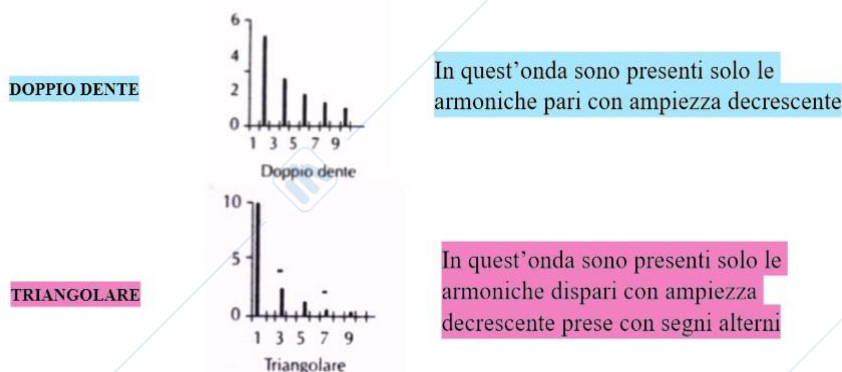
Esiste un gruppo di forme d'onda di particolare simmetria che possono essere realizzate con opportune sintesi additive:



A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale

### FORME D'ONDA PARTICOLARI



L'interesse di queste forme d'onda particolari, generabili soltanto elettronicamente, sta nel fatto che esse vengono usate nell'ambito della sintesi del suono.

A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale

## RUMORE

### Rumore bianco :

*Un rumore di ampiezza costante su tutto lo spettro di frequenza.*

Si tratta di un rumore termico solo che in questo caso si intende un rumore appositamente generato con finalità di test.

Per vedere infatti il comportamento di un componente audio, per esempio di un canale di un mixer, si invia in ingresso un rumore bianco e si esamina il segnale di uscita.

L'obiettivo sarà quello di ottenere un segnale in uscita mediamente costante a tutte le frequenze, questo significherà che il componente è affidabile a tutte le frequenze.

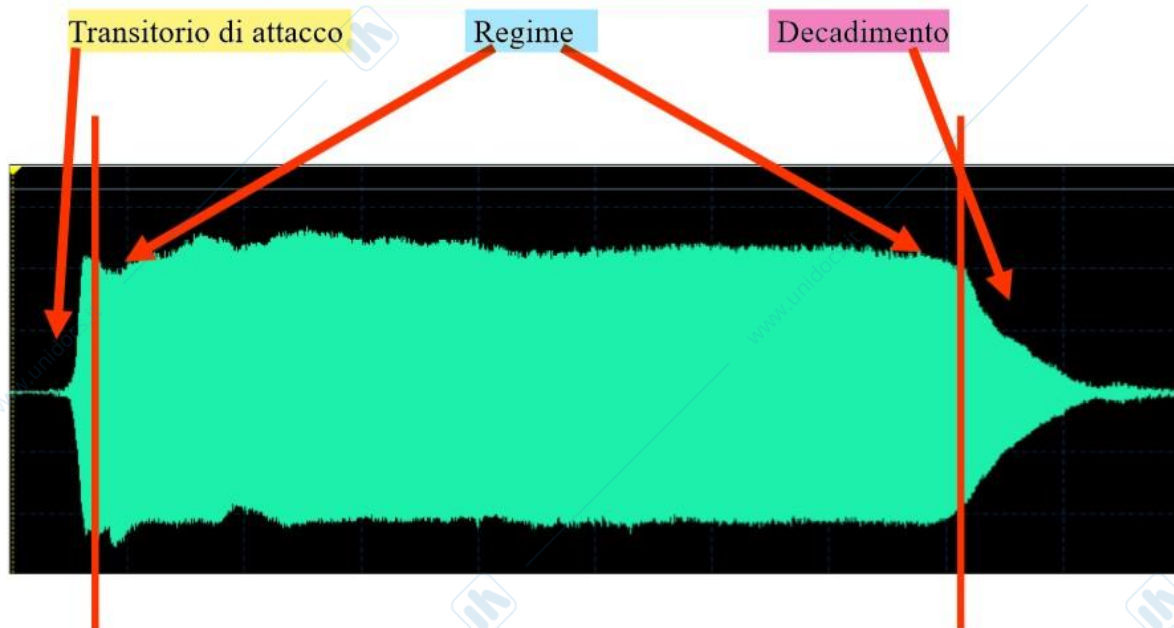
### Rumore rosa:

*Il rumore rosa è usato anch'esso con finalità di test e **presenta un decremento di 3dB ogni volta che una frequenza viene raddoppiata.***

*In questo modo l'energia associata ad ogni ottava rimane costante su tutto lo spettro.*

## Aspetti temporali

I suoni musicali sono caratterizzati da una evoluzione temporale :



A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale

## ANALISI SPETTRALE

L'analisi spettrale **consiste nel suddividere una vibrazione complessa nelle singole componenti.**

Si tratta di rappresentare il fenomeno descrivendo il contenuto energetico alle varie frequenze.

L'analisi può essere anche fatta nel tempo, analizzando l'evoluzione della vibrazione.

**Gli strumenti producono spettri "quasi armonici"**, per esempio nel pianoforte i modi di vibrazione più alti sono più corti di quanto avviene nella corda ideale e quindi hanno frequenza maggiore.

**IPERTONI: Tutti i suoni con frequenza maggiore della fondamentale.**

I **suoni** hanno spettri **a righe**.

I **rumori** hanno spettri **comuni**.

Le **frequenze degli IMPULSI aumentano di estensione al diminuire della durata.**

**ONDE ELASTICHE**

Le **onde** sono particolari tipi di movimenti oscillatori che interessano sistemi caratterizzati da insiemi continui di punti (**mezzi**).

In **questi** una perturbazione si propaga ad una certa velocità lungo il mezzo

Non si **propaga** materia ma **energia**

**TIPOLOGIE DI ONDE:**

- Onde **longitudinali** (*aria, solidi*): il movimento del mezzo avviene avanti e indietro nella direzione di propagazione
- Onde **trasversali** (*corde*): il movimento del mezzo avviene avanti e indietro perpendicolarmente alla direzione di propagazione
- Onde **superficiali** (*liquidi*)
- Onde **sferiche** : Onde sonore nei *gas*

**LUNGHEZZA D'ONDA**

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

**Velocità:**

- Nei **gas** è direttamente proporzionale alla **costante dei gas** e alla **pressione**, inversamente proporzionale alla **densità**;

$$v_{\text{sound}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad \text{where}$$

$\gamma$  = adiabatic constant  
 $R$  = gas constant  
 $M$  = molecular mass of gas  
 $T$  = absolute temperature

$$v_{\text{sound in air}} \approx 331.4 + 0.6T_C \quad \text{m / s}$$

- Nella **corda** è direttamente proporzionale alla **TRAZIONE** ed inversamente proporzionale alla **MASSA**.

$$v = \sqrt{\frac{T}{M}}$$

**RIFLESSIONE:** Le onde sonore vengono riflesse da ostacoli.

**DIFFRAZIONE:** Capacità di superare ostacoli piccoli rispetto alla lunghezza d'onda.

**RIFRAZIONE:** Cambiamento di direzione dovuto al passaggio fra mezzi diversi.

## IMPEDENZA

L'impedenza è l'**opposizione che fornisce un qualsiasi sistema quando è attraversato da un flusso di energia vibratoria.**

Parlando di trasmissione di segnali acustici e oscillatori, *la grandezza principale da considerare è l'impedenza.*

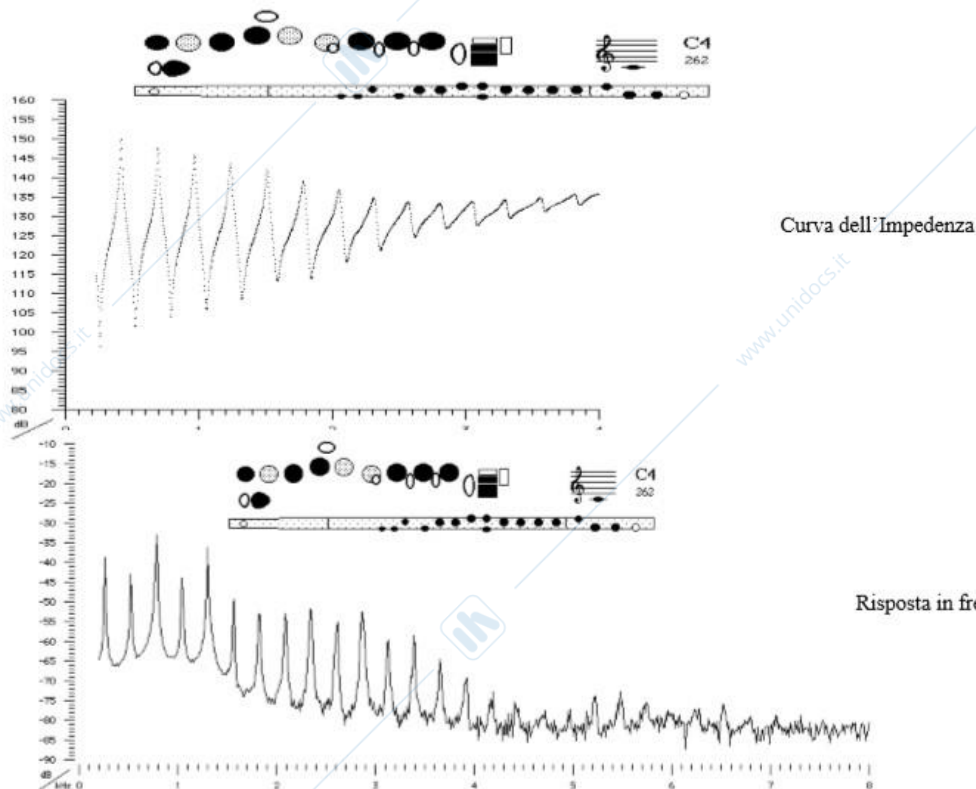
Fisicamente è data dal rapporto fra *un grandezza di tipo forza* (esempio: **PRESSIONE**) e una *velocità* (esempio: **FLUSSO**).

**BASSA IMPEDENZA** indica che c'è poca pressione e molto flusso.

**ALTA IMPEDENZA** indica che c'è molta pressione e poco flusso.

Dipende per ogni corpo **dalle caratteristiche fisiche e varia con la frequenza.**

# Impedenza



Curva dell'Impedenza

Risposta in frequenza

A.A. 2019-2020

Modelli della Percezione Musicale

## PRESSIONE ESERCITATA DALL'ARIA

- Una atmosfera =  $10^5 \text{ N/m}^2$  (pressione esercitata normalmente dall'aria su ogni superficie s.l.m.)
- L'aria è **elastica**: comprimendola in un volume inferiore, reagirà con pressione maggiore
  - o tale fenomeno è fondamentale per la propagazione del suono (compressione e espansione dell'aria)
  - o ampiezza di pressione delle onde sonore da **0,01 N/m<sup>2</sup>**
  - o ( $10^{-7} = 0,0000001 \text{ atm}$ ) a **1 N/m<sup>2</sup>** ( $10^{-5} = 0,00001 \text{ atm}$ )
  - o a  $10^{-5} \text{ atm}$ : compressioni  $1,00001 \text{ atm}$ ; rarefazioni  $0,99999 \text{ atm}$

## INTENSITA' DI UN'ONDA SONORA

**INTENSITA'**: l'energia trasportata nell'unità di tempo attraverso una superficie.

$$I = \frac{E}{\Delta t \times S}$$

unità di misura:  $\frac{\text{joule}}{\text{sec} \times \text{m}^2} = \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$

onda sferica:  $S = 4\pi r^2$

L'energia é costante (cons.energia)

L'intensità diminuisce con il quadrato della distanza

- L'INTENSITA' è proporzionale al quadrato dell'ampiezza di oscillazione e al quadrato delle vibrazioni di pressione  $I = \left(\frac{p}{c}\right)^2$ ; dove c dipende da densità e velocità;
- L'INTENSITA' diminuisce con il quadrato della distanza;
- L'INTENSITA' MINIMA percepibile a 1000 Hz è di  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  che corrisponde ad una pressione di  $2 * 10^{-10} \text{ atm}$ ;
- L'INTENSITA' MASSIMA percepibile a 1000 Hz è di  $1 \text{ W/m}^2$  che corrisponde ad una pressione di  $2 * 10^{-4} \text{ atm}$ ;
- Se immaginiamo la fonte sonora completamente racchiusa in una sfera, **l'energia totale che fluisce attraverso la sua superficie** viene detta **POTENZA ACUSTICA** e si misura in **Watt**.

**MISURA DEL LIVELLO DI INTENSITA'**

- L'intensità ha un campo di variazioni di circa 14 ordini di grandezza;
- Per la percezione dell'intensità, il nostro sistema percettivo si comporta in modo circa logaritmico;
- Livello sonoro in Decibel:  $L_{dB} = 10 \log I / I_0$
- $I_0$  : Intensità minima percepibile a 1000Hz

**SIL (Livello di intensità sonora) E DECIBEL**

Il **bel** non è una quantità di suono; è una relazione tra due suoni!

- **1 bel =  $\log I / I_0$**
- **1 dB = 10 bel**

Cosa vuol dire "quel suono è n dB" ?

- **numero di decibel =  $10 \log (I / I_0)$**
- $I$  = intensità sonora in esame
- $I_0$  = intensità di riferimento ( **$0,000000000001 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$** )

**SIL E SPL**

- Livello di **INTENSITA' SONORA (SIL)**

$$SIL = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{ con } I_0 = 0,000000000001 = 10^{-12} \text{ W/m}^2;$$

- Livello di **PRESSIONE SONORA (SPL)**

$$SPL = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right) \text{ con } P_0 = 0.00002 \text{ N/m}^2$$

Infatti l'intensità sonora dipende dal quadrato della pressione sonora

$$I = \frac{P^2}{c} : 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left( \frac{P^2}{P_0^2} \right) = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

- Livello di **POTENZA SONORA**

$$SIL = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right)$$

## Somme e differenze di dB

- Consideriamo un suono di Intensità  $I_x$ , pari a  $n$  db SIL

$$I_{\text{xdB}} = 10 \text{ Log } (I_x/I_0)$$

- Se consideriamo un suono di Intensità doppia, il suo valore in decibel sarà :

$$\begin{aligned} I_{2\text{xdB}} &= 10 \text{ Log } (2I_x/I_0) = 10 \text{ Log } 2(I_x/I_0) = \\ &= 10 \text{ Log } 2 + 10 \text{ Log } (I_x/I_0) = 10 (0,3..) + I_{\text{xdB}} = \end{aligned}$$

$$I_{2\text{xdB}} = 3 + I_{\text{xdB}}$$

In campo libero, l'intensità cala di 6 dB (un quarto del suo valore) raddoppiando la distanza :

- $10\text{Log}(I_x/4I_0) = 10\text{Log}(I_x/I_0) - 10\text{Log } 4 = 10\text{Log}(I_x/I_0) - 6$
- Esempio 90 db a 3 mt; 84 db a 6 mt; 78 db a 12 mt

### Somme e differenze di dB

- Per sommare fra di loro direttamente i decibel quindi, occorre fare attenzione: sommando due sorgenti di 50 dB si ha una risultante di 53 dB
- Se due suoni aventi singolarmente lo stesso livello di intensità sono prodotti contemporaneamente, il livello risultante è aumentato di 3 dB.  
Se la differenza tra i due livelli di intensità è superiore a 15 dB, l'intensità sonora risultante è praticamente uguale a quella del suono di livello più elevato.
- Supponiamo che il livello di intensità sonora di una strada sia di 70 dB; se un'auto suona il clacson ad un livello di intensità di 110 dB, il livello di intensità della strada passa allora a 110 dB.

# Intensità in musica

- Sotto i 50 dB raramente utili
  - mantenere più bassi i sistemi di ventilazione
  - impedire i movimenti del pubblico
- Sopra i 100 dB è dannosa (115 dB concerti rock)
  - 70 dB tipica intensità media (*mf* o *mp*)
  - 60, 50, 40 per *p*, *pp*, *ppp*
  - 80, 90, 100 per *f*, *ff*, *fff*
- Sono valori che esagerano le differenze
  - in pratica un'orchestra sinfonica suona tra 65 e 80 dB
  - 90 è sicuramente *fff* e 100 potrebbe essere *ffff*
  - un solo scende a 50 dB, 40 sono in pratica non udibili

## Dominio dell'acustica musicale

- Frequenze : da 20 a 20000 Hz.
- Lunghezze d'onda : da 20,7 m a 1,65 cm
- Intensità : da  $10^{-12}$  a  $10^{-3}$  Watt/m<sup>2</sup>

# Aspetti temporali nella musica

- **Microscopici:** da 0,05 s a 0,00005 s – rilevati e codificati nell'Orecchio Interno e legati alle sensazioni primarie : altezza, intensità e timbro
- **Intermedi** (transitori) : attorno al decimo di secondo – trattati nelle vie neurali che vanno dall'orecchio al cervello e che forniscono strumenti addizionali per la qualità della percezione, identificazione dei suoni e la loro discriminazione
- **Macroscopici:** > 0,1 s – processati a livello del cervello e determinano la comprensione dei contenuti musicali e dei loro attributi cognitivi ed emozionali

## La Voce Umana

L'organo vocale può essere distinto nelle seguenti zone :

- La **trachea**, attraverso cui viaggia un flusso di aria continuo;
- La **laringe**, al cui interno le corde vocali trasformano il flusso d'aria continuo in un flusso periodico con caratteristiche che dipendono dalla tensione muscolare (il moto oscillatorio delle corde vocali è quindi un periodico aprirsi e chiudersi della glottide, con una conseguente modulazione del flusso gassoso).

La forma d'onda è assimilabile ad un dente di sega.

**L'altezza del suono viene quindi determinata dalla frequenza di apertura e chiusura delle corde vibranti.**

- Il **tratto vocale**, che modifica l'andamento spettrale delle onde prodotte dalla laringe a seconda delle diverse condizioni di risonanza. Le frequenze formanti sono differenti per ogni vocale e possono essere alterate in modo volontario.
- **Le aperture dalla bocca e del naso** attraverso cui si irradiano le onde sonore nello spazio circostante.

## Il canto

Nella voce cantata vi è la necessità da parte del cantante di superare la formante orchestrale che si pone fra 500-1500 Hz atteggiando opportunamente i risuonatori faringo buccali in modo da concentrare le varie formanti in un solo gruppo omogeneo chiamato formante di canto.

Nonostante l'intensità sostenuta del muro orchestrale, l'uditorio riesce ad apprezzare le performances vocali del cantante.

**La formante del canto** è un picco che emerge nel profilo spettrale attorno ai 2500 3000 Hz, che si riscontra tipicamente nelle vocalizzazioni prodotte da cantanti lirici classici.

Secondo una ricerca precedente, si tratta principalmente un fenomeno risonante prodotto dalla fusione delle formanti 3, 4 e 5.

Il suo livello, rispetto alla prima formante varia a seconda della vocale, l'intensità della vocale ed altri fattori.