



Psicoacustica

Parte 2

Prof. Filippo Milotta
milotta@dmi.unict.it



Il suono – Percezione umana

- In che modo le grandezze fisiche che caratterizzano le onde (frequenza, ampiezza o l'intero spettro), influiscono sulla percezione del suono?

Grandezza	Percezione
Frequenza	Suono acuto o grave
Ampiezza	Volume alto o basso
Spettro	Timbro o armonia del suono

- In realtà ogni grandezza influenza in misura minore le percezioni legate alle altre due grandezze.



Percezione...

Un esempio con la luce

- In astronomia si distingue la luminosità delle stelle in *apparente* ed *assoluta*
 - Accade così che stelle tanto luminose ma lontane possano essere *percepite* come meno luminose rispetto a stelle poco luminose ma vicine





Ampiezza – Decibel SIL

L'ampiezza di un'onda sonora può anche essere misurata in funzione dell'intensità attraverso una superficie di un metro quadro. In questo caso si utilizzano i decibel SIL (Sound Intensity Level), simbolo **dB_{SIL}**

In particolare, sia I l'intensità di un suono ($\frac{W}{m^2}$), si definisce livello di intensità sonora:

$$SIL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

Dove I_0 è l'intensità associata alla soglia minima di udibilità, pari a $10^{-12} \frac{W}{m^2}$. Sebbene in alcuni casi i valori SPL e SIL coincidano, essi hanno comunque un significato fisico differente.



Volume percepito

- L'ampiezza si può misurare in termini di intensità tramite il Sound Intensity Level (SIL)
- La soglia minima di udibilità in termini di intensità è $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ per un suono di 1000 Hz
 - La percezione del volume è legata anche alla frequenza!
- L'unità di misura del volume percepito sono i foni (phons)
 - Ovviamente non ha nulla a che fare con i foni per asciugare i capelli... ma così è facile ricordarli





Volume percepito – Il phon (dal testo)

- Un suono ha un volume di x phon, se un suono di 1000 Hz che viene percepito con lo stesso volume ha un'intensità di x dB
 - Per esempio il valore della pressione sonora corrispondente alla curva isofonica di 40 phon, per un suono puro con frequenza pari a 1000 Hz, equivale a 40 dB mentre alla frequenza di 500 Hz equivale a circa 38 dB
- Diagramma di Fletcher-Munson delle curve isofoniche (o isofone), costruito in maniera statistica ed empirica

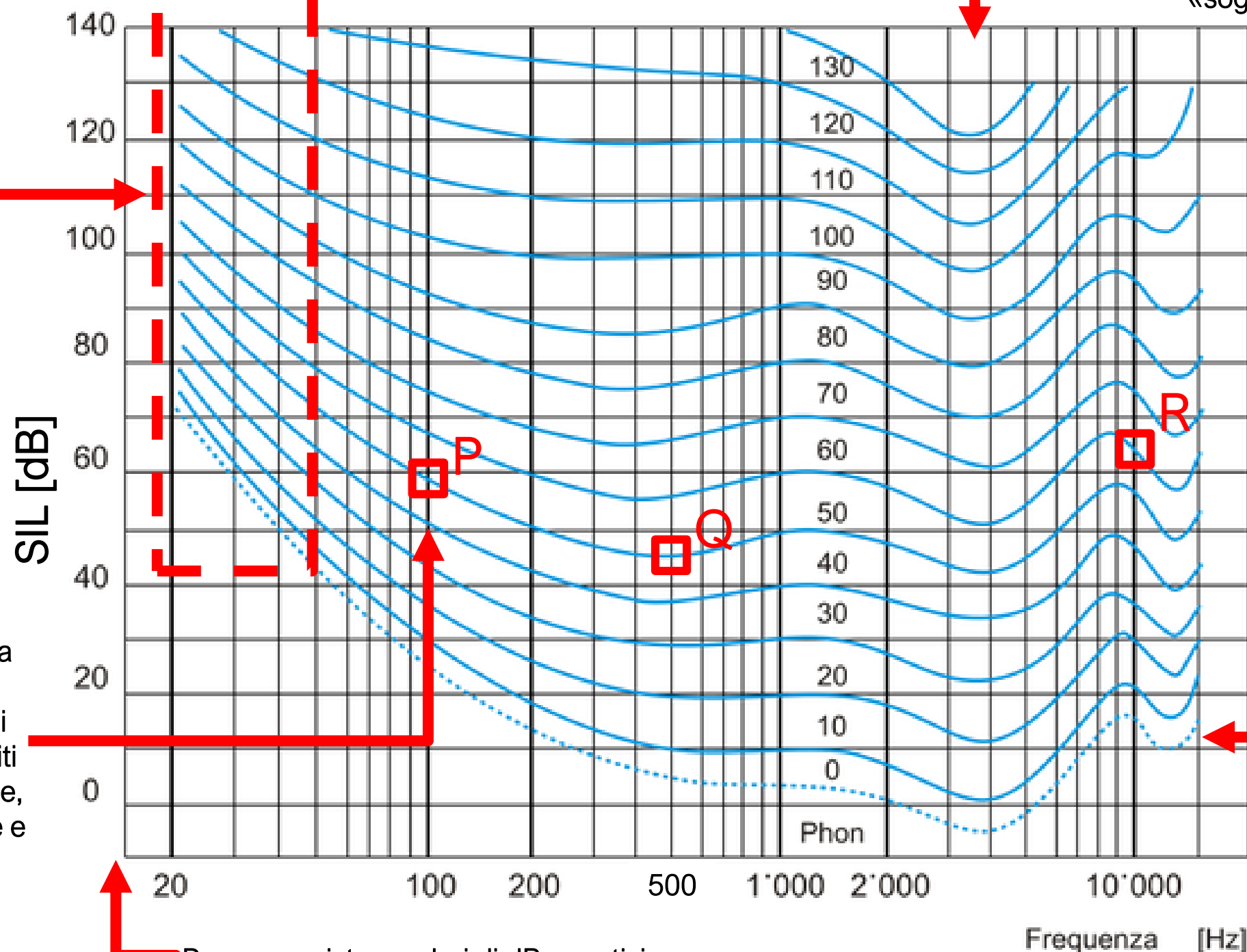




Curve isofoniche

Sensibilità Massima:
Riusciamo a percepire con
un'intensità più bassa.
Le curve definiscono delle
«soglie di udibilità»

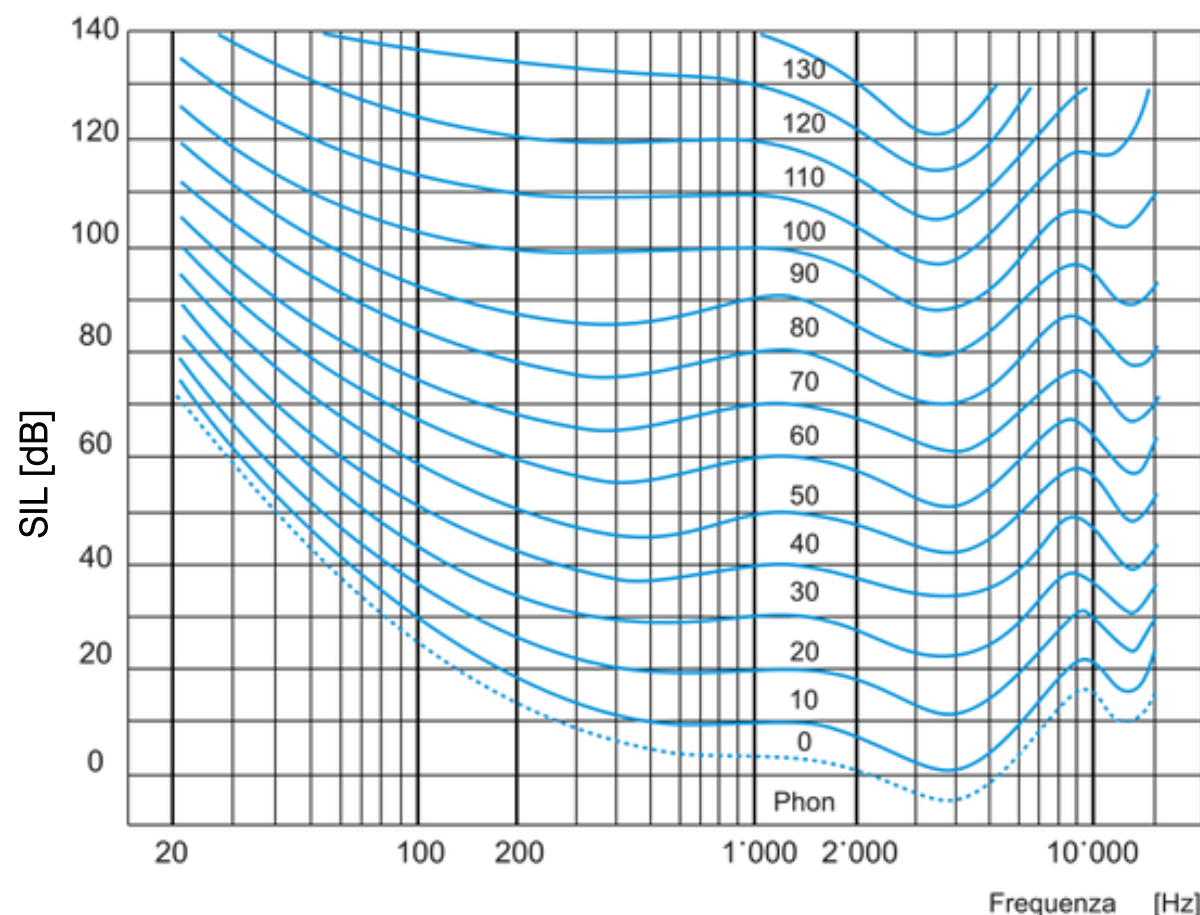
Suoni a bassa
frequenza
necessitano di
un'intensità
maggiore per
essere uditi



Soglia «Assoluta»
di udibilità
(utile per alcune
applicazioni, ad es.
la compressione)



Curve isofoniche (dal testo)



- Nel punto (x,y) del diagramma viene rappresentato un tono di frequenza x Hz a un'intensità di y dB
- I punti che fanno parte della stessa curva vengono percepiti come aventi lo stesso volume



Harvey Fletcher (1884 – 1981)

- Noto come *Il padre della Stereofonia*
- Fisico, contribuì agli studi sulla percezione sonora. Lavorò nei Bell Labs, dove fu autore della prima trasmissione stereofonica dal vivo. Morì per un ictus.

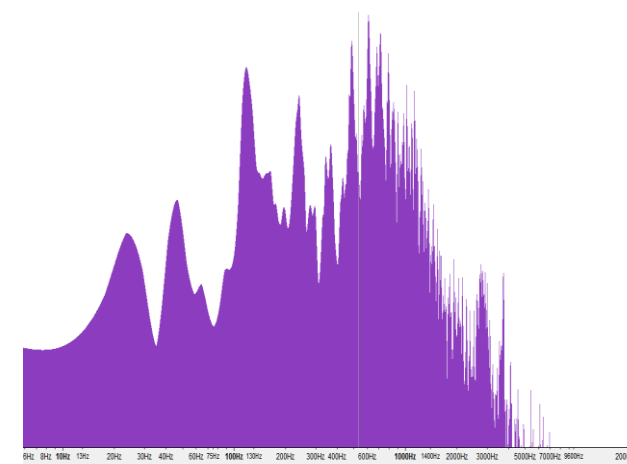
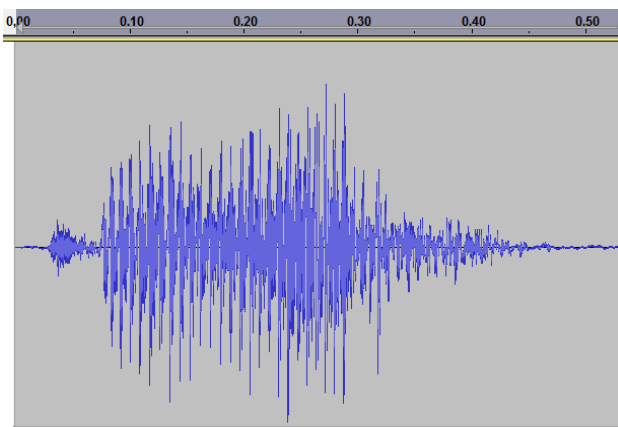




Altezza percepita (dal testo)

- Il parametro percettivo dell'altezza corrisponde in generale alla nozione di **frequenza fondamentale** di un suono
- Nel caso di segnali complessi, individuare la frequenza fondamentale potrebbe non essere immediato e si procede per inferenza
 - Altezza residua o frequenza fantasma
 - Si cerca cioè di stimare quale poteva essere la frequenza fondamentale

Forma d'onda

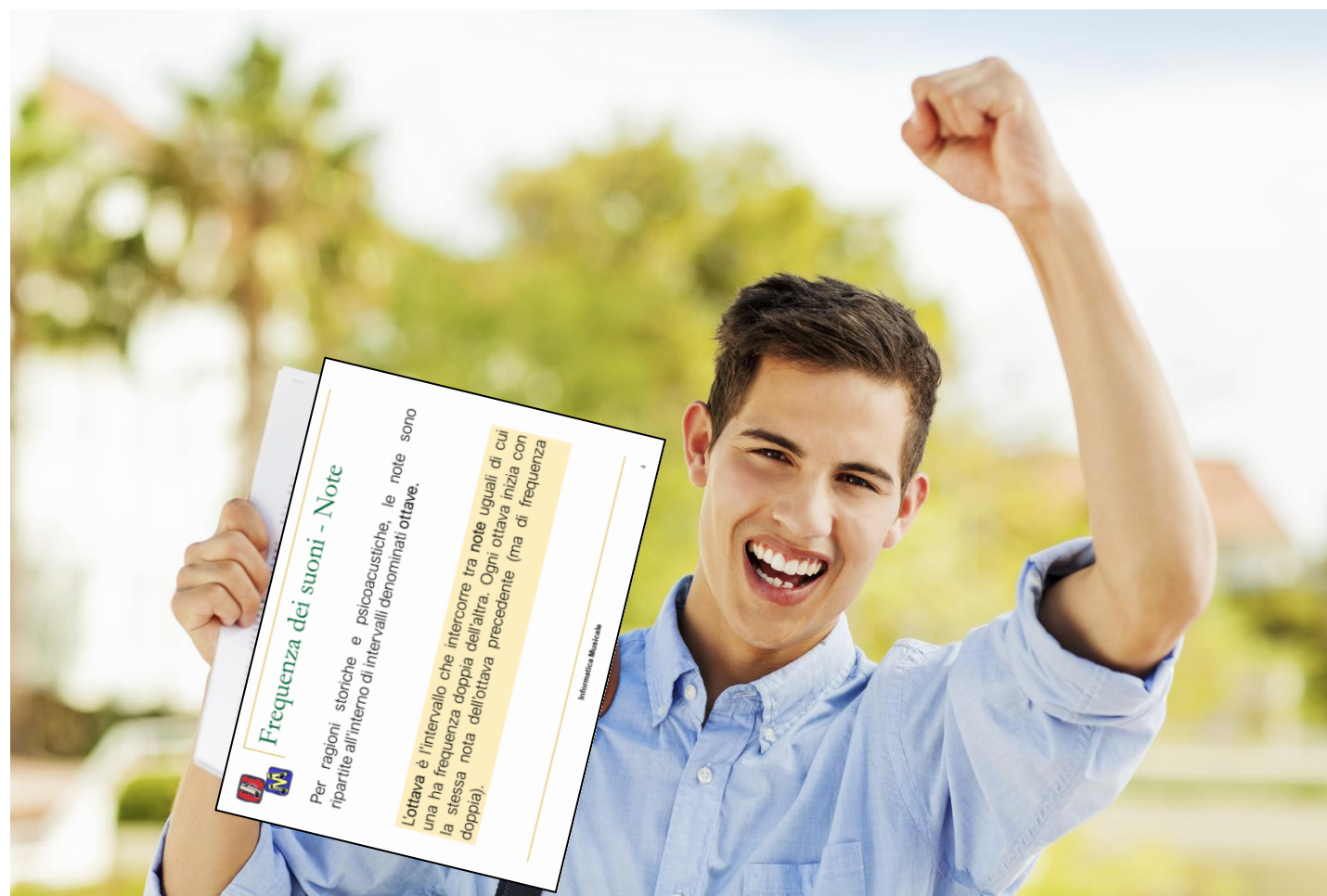


Spettro



Altezza percepita

- Dal punto di vista percettivo, si rimanda al concetto di ottava già definito nelle precedenti lezioni
- Lez 3 – Acustica 3, slide 4 e seguenti





Timbro percepito (dal testo)

- Il timbro descrive la *qualità* di un suono, cioè quel parametro che permette di distinguere due suoni con la stessa altezza e volume
 - Il principale determinante fisico del timbro è la forma d'onda, cioè il contenuto armonico del suono (involuppo, transitori, e fenomeni di vibrato/tremolo)
 - Il contenuto armonico è particolarmente importante per il timbro soprattutto per suoni che rimangono costanti (sostenuti)
 - Nella lingua parlata, quali suoni possono essere sostenuti?



Timbro percepito

Le formanti delle vocali

- Le vocali (a differenza delle consonanti) possono essere sostenute
- Il contenuto armonico delle vocali è caratterizzato dalle **formanti**: specifiche distribuzioni di energia sulle frequenze, che caratterizzano ciascuna vocale
- Esercizio 2.6.3 →



Esercitazione Pratica

(dal testo)

- 2.6.3 – Registrare una vocale e individuare le formanti
In un editor audio registrare in successione le vocali usando un microfono
 - Visualizzare la traccia come sonogramma
 - Osservare le principali regioni delle frequenze formanti:
 - A: 800-1200 Hz
 - E: 400-600 Hz e 2200-2600 Hz
 - I: 200-400 Hz e 3000-3500 Hz
 - O: 400-600 Hz
 - U: 200-400 Hz



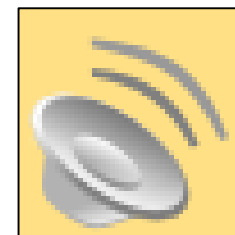
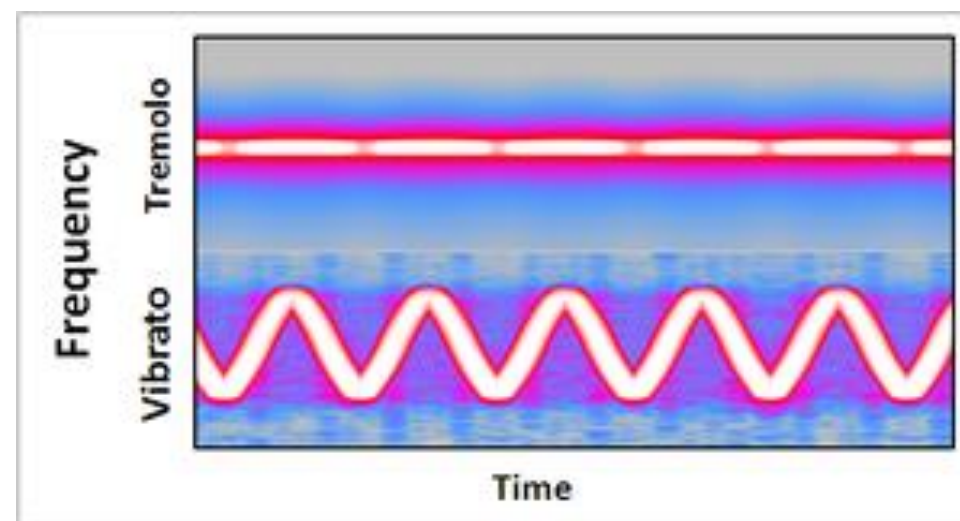
Timbro percepito

Vibrato e Tremolo

- Oltre che dai transitori e dal contenuto armonico, i contributi fondamentali al timbro possono essere modificati dall'eventuale presenza di vibrato / tremolo
- **Vibrato:**
 - Variazione periodica dell'altezza di una nota (modulazione di frequenza)
- **Tremolo:**
 - Variazione periodica dell'ampiezza di una nota (modulazione di ampiezza)



Esempi audio di vibrato
su Wikipedia

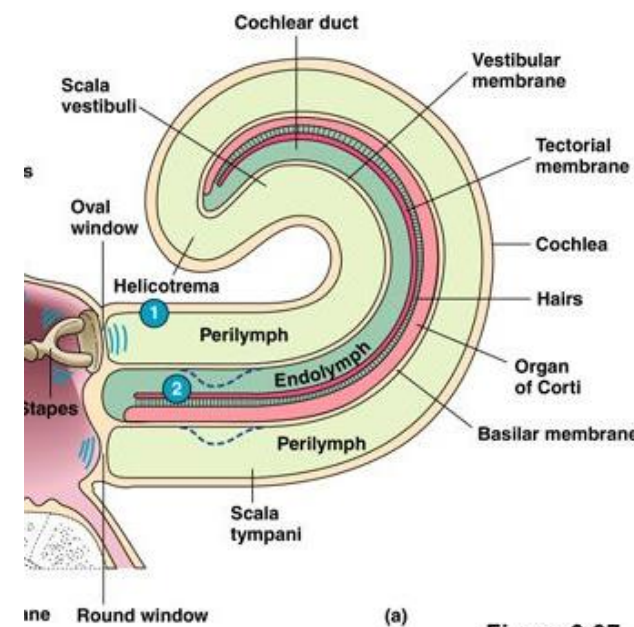


Esempi audio di tremolo
su Wikipedia



Risoluzione in Frequenza

- L'orecchio ha un funzionamento tonotopico
- In teoria, ogni zona dell'orecchio dovrebbe rilevare una specifica frequenza, tuttavia
 - I suoni che giungono all'organo di Corti non sono mai perfettamente puri
 - La zona di attivazione sulla membrana basilare non è puntiforme:
 - Più frequenze ricadono nella stessa regione
- Si parla allora di Risoluzione in Frequenza
 - Capacità discriminativa del sistema uditivo





Mascheramento e Banda Critica

(dal testo)

- Come calcolare l'ampiezza di banda dei filtri uditivi?
 - Il fenomeno psicoacustico che permette la rilevazione è detto **Mascheramento**
 - Un segnale forte maschera un segnale debole
 - Un effetto simile è la **Cattura**, che si verifica nella radio
- L'ampiezza di banda con cui lavorano i filtri uditivi ha assunto il nome di **banda critica** (Fletcher...)



Mascheramento e Banda Critica

(dal testo)

- Un piccolo esempio:
 - Dato un tono a 2kHz, qual è la sua banda critica?
 - Generiamo un rumore composto da un insieme di frequenze in un intervallo centrato su 2kHz e raggio variabile
 - Cioè avente banda variabile attorno al tono 2kHz
 - Variazioni dell'intensità sonora del suono originale sono apprezzabili solo con rumori aventi larghezza di banda inferiore a 250Hz
 - Pertanto, la larghezza di banda critica del segnale da 2kHz è 250Hz



Esercitazione Pratica

(dal testo)

■ 2.6.4 – Mascheramento nelle bande critiche

In un editor audio generare i seguenti segnali

- ❑ [T] Tono puro da 2000Hzm ampiezza 0.2
- ❑ [R] Rumore bianco (banda larga), ampiezza 0.8
- ❑ Testare il mascheramento in questi vari test
 - Riducendo l'ampiezza di T gradualmente fino a -30dB
 - Duplicando R e filtrandolo con questi filtri:
 - ❑ [R1] Passa-alto=1500, Passa-Basso=2500 (Banda=1kHz)
 - ❑ [R2] Passa-alto=1875, Passa-Basso=2125 (Banda=250Hz)
 - ❑ [R3] Passa-alto=1995, Passa-Basso=2005 (Banda=10Hz)



Mascheramento e Banda Critica

(dal testo)

- Le bande critiche hanno larghezza di banda variabile, a seconda della frequenza
 - Frequenza $< 500\text{Hz}$
 - Larghezza di banda critica: circa 100Hz
 - Frequenza $> 500\text{Hz}$
 - Larghezza di banda critica: circa $\text{Frequenza} + 20\%$
 - Frequenze molto alte
 - Larghezza di banda critica: circa 6500Hz



Mascheramento e Banda Critica

Scala di Bark

- L'intera gamma delle frequenze udibili viene ripartita in 24 bande critiche

