



# Psicoacustica

## Parte 3

---

Prof. Filippo Milotta  
milotta@dmi.unict.it



# 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



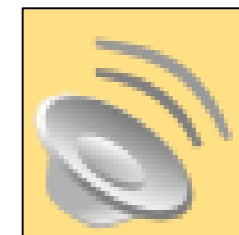
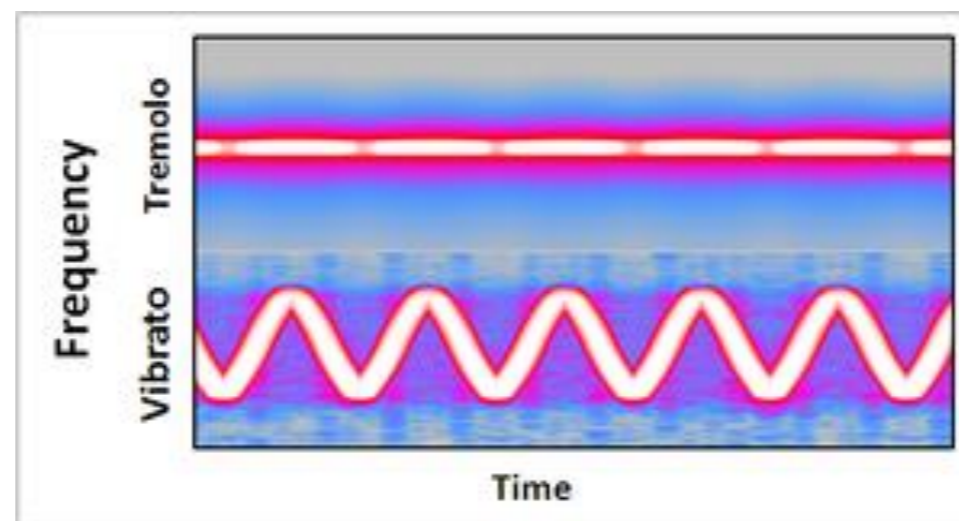
# Timbro percepito

## 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

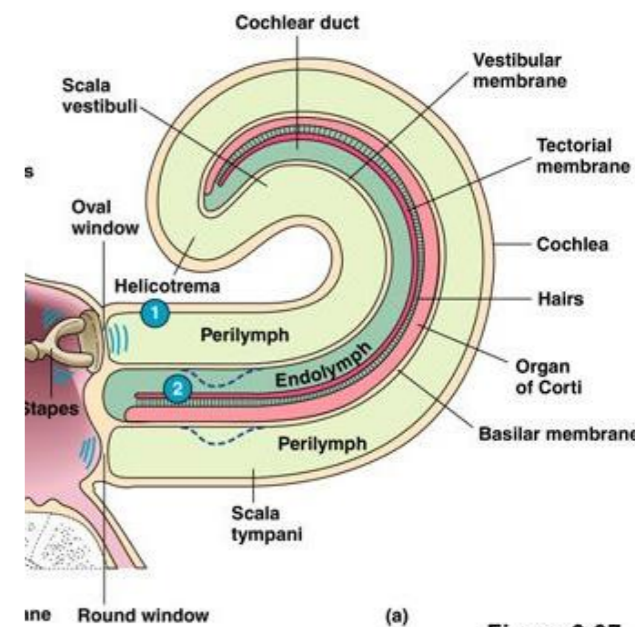


Esempi audio di tremolo  
su Wikipedia



# 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 discriminatoria 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 2000Hz, 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)

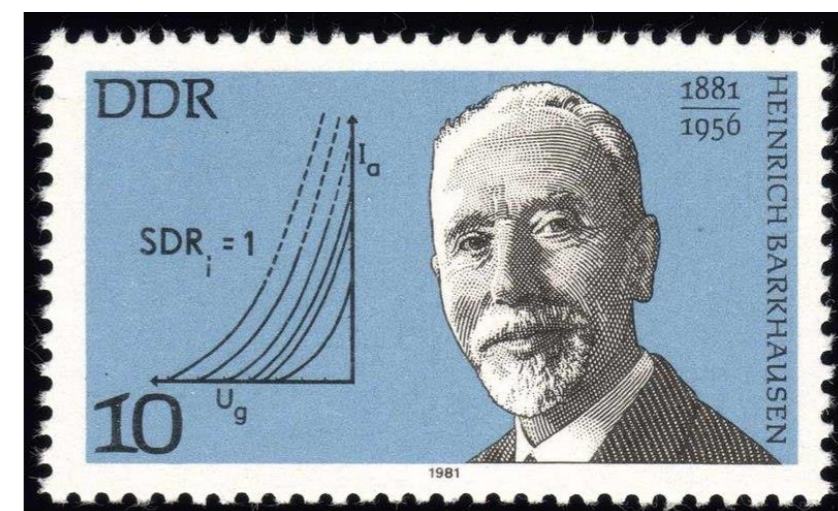
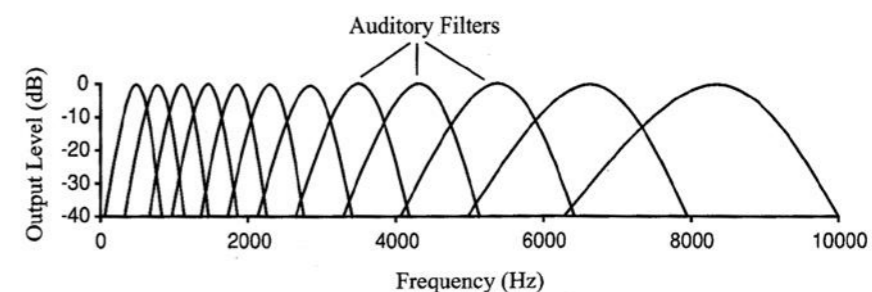
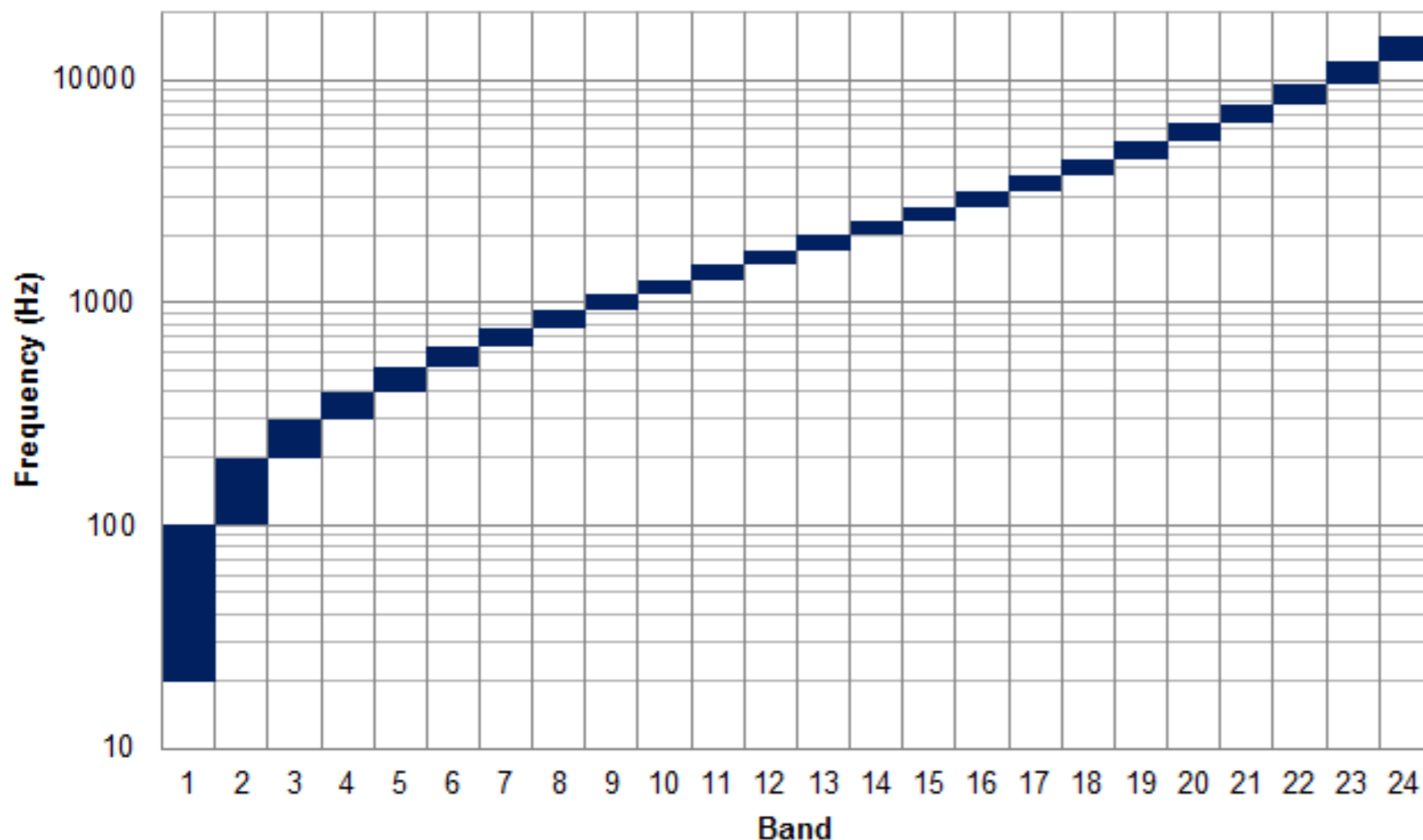
- Le bande critiche hanno larghezza di banda variabile, a seconda della frequenza
  - Frequenza  $< 500\text{Hz}$ 
    - Larghezza di banda critica: circa  $100\text{Hz}$
  - Frequenza  $> 500\text{Hz}$ 
    - Larghezza di banda critica: circa  $20\%$  della Frequenza
  - Frequenze molto alte
    - Larghezza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



# Mascheramento e Banda Critica

## Scala di Bark

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





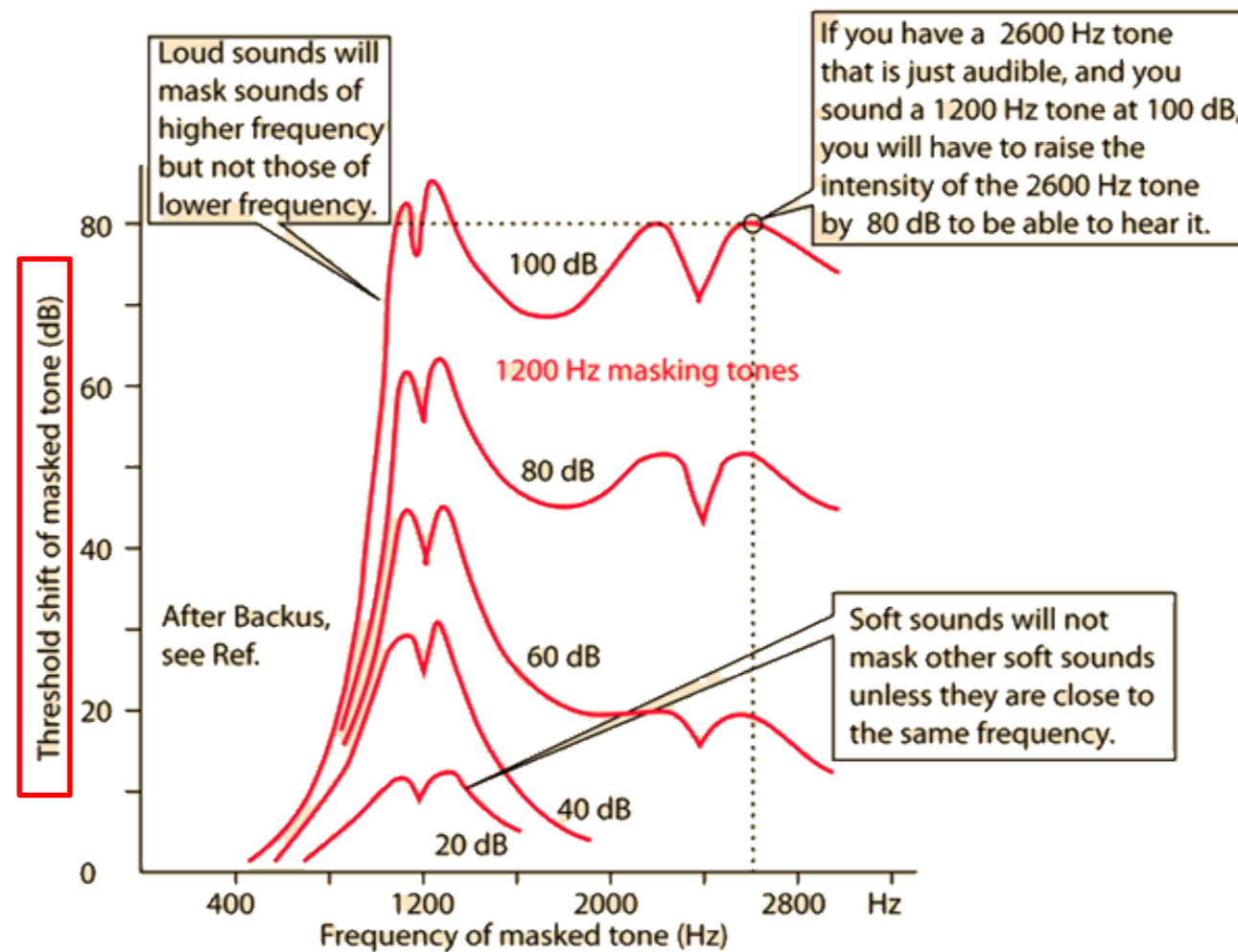
# Soglia di mascheramento (dal testo)

- La **soglia di mascheramento** di un *tono mascherato* è il livello di intensità al quale esso si riesce ad ascoltare anche in presenza di un *tono mascheratore*
- La **quantità di energia mascherata** è la differenza fra la soglia di mascheramento e la soglia assoluta di udibilità
  - Vedi curve isofoniche: curva a 0 foni
- Distinguiamo mascheramento tonale e non tonale



# Mascheramento Tonale

- Nello spettro del suono mascheratore è possibile individuare un tono

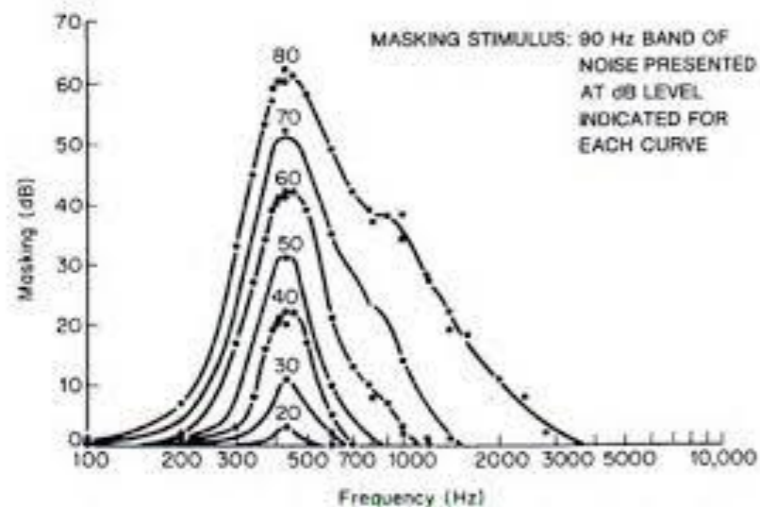


Suono mascheratore di 1200 Hz

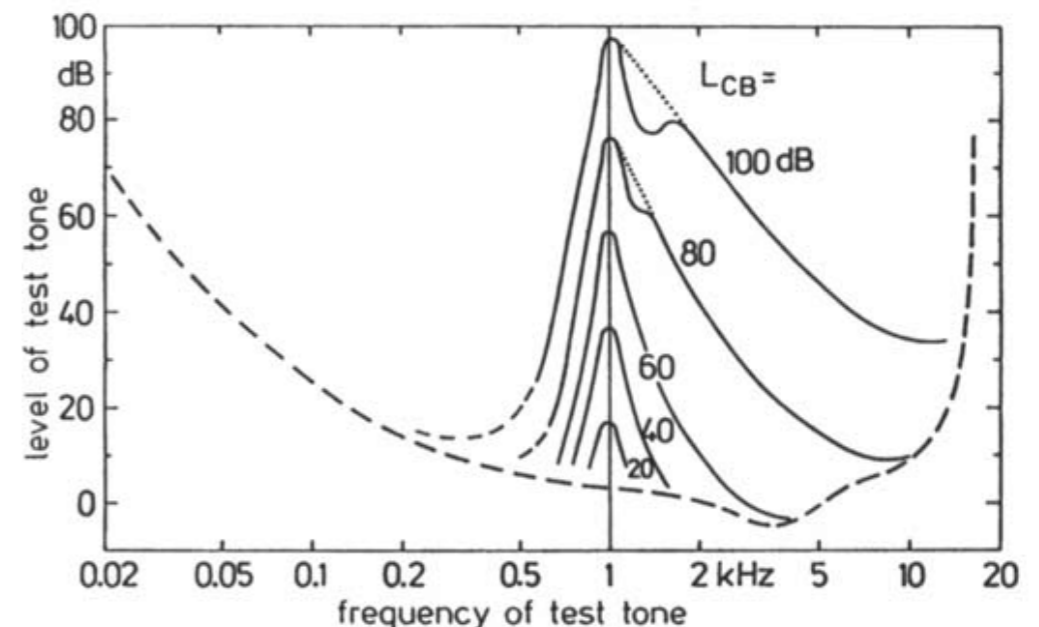


# Mascheramento Non Tonale

- Il suono mascheratore è una forma di rumore a banda più o meno larga in cui non è possibile individuare un tono specifico



Suono mascheratore di 410 Hz  
con banda di 90 Hz



Suono mascheratore di 1000 Hz  
con banda di 200 Hz

- Il mascheramento non tonale impone una soglia più alta, ma è meno efficace per le alte frequenze



# Mascheramento

- Negli esempi precedenti abbiamo assunto che tono mascherato e mascheratore fossero emessi nello stesso istante:
  - **Mascheramento Simultaneo**
  - Esistono anche fenomeni di *Mascheramento Temporale*
- Il mascheramento può essere sfruttato per la compressione del segnale audio, eliminando parti del segnale che non verrebbero percepite dal nostro apparato uditivo





# Esercitazione Pratica

## (dal testo)

### ■ 2.6.5 – Mascheramento Tonale

In un editor audio generare i seguenti segnali

- [ T1 ] Tono puro da 1000Hz, ampiezza 0.5
- [ T2 ] Tono puro da 1300Hz, ampiezza 0.5
  - Ascoltare le due tracce mixate
  - Ridurre l'ampiezza di T2, gradualmente, fino a -30dB
  - Notare come T1 maschera T2

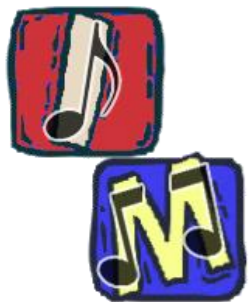




# Esercitazione Pratica

## (dal testo)

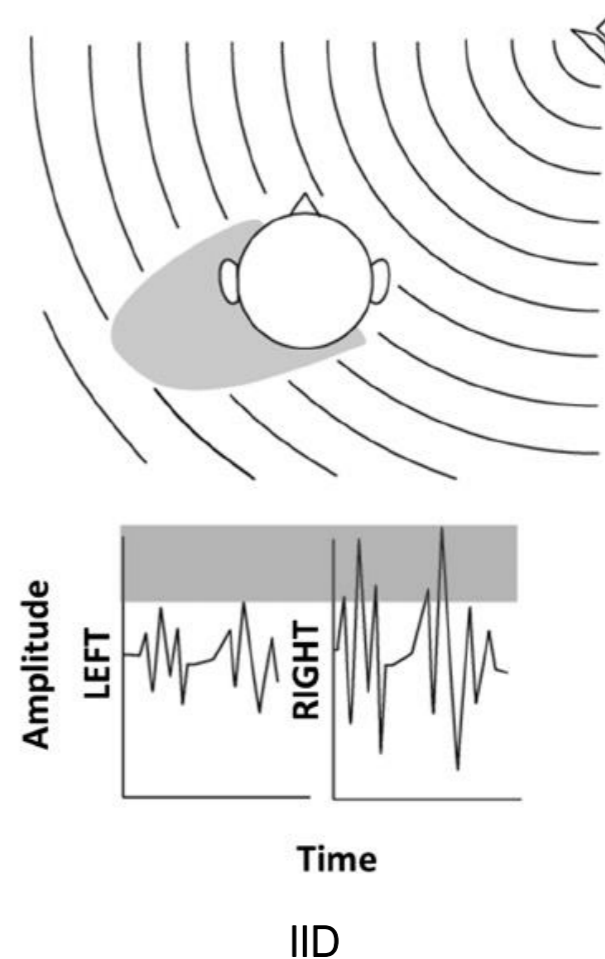
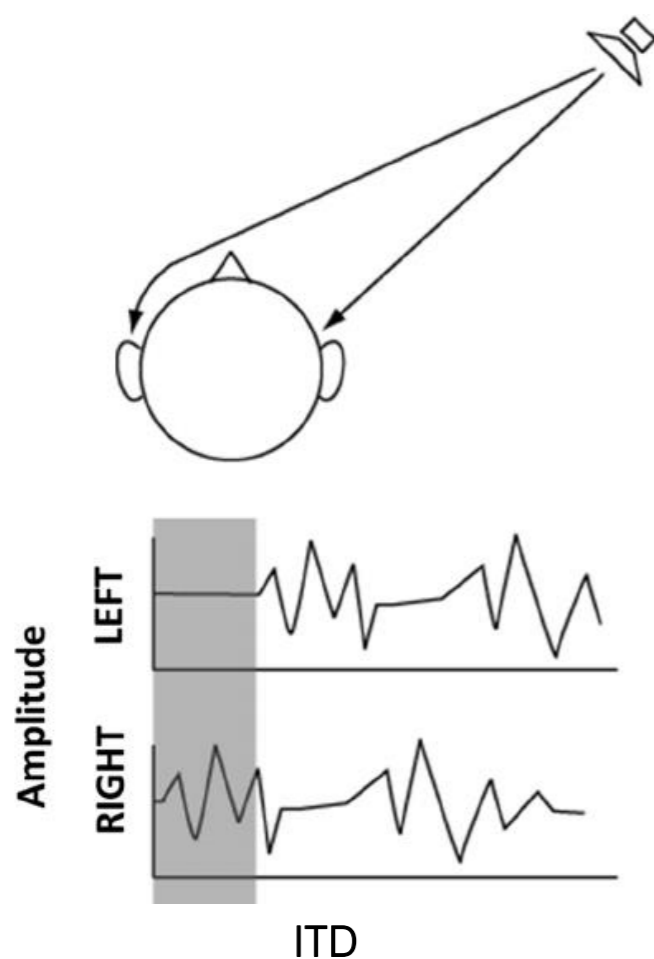
- 2.6.6 – Mascheramento Non Tonale (simile a 2.6.4)  
In un editor audio generare i seguenti segnali
  - [ T ] Tono puro da 400Hz, ampiezza 0.5
  - [ R ] Rumore bianco (banda larga), ampiezza 0.5
  - Testare il mascheramento in questi vari test
    - Riducendo l'ampiezza di T gradualmente fino a -30dB
    - Filtrare R con Passa-alto=350, Passa-Basso=450 (Banda=100Hz)
    - Aumentare l'ampiezza di R (senza superare il clipping)



# Localizzazione delle sorgenti sonore

## ITD e IID

- Interaural Time Difference (ITD)
- Interaural Intensity/Level Difference (IID o ILD)





# Approfondimenti

- ***Wikipedia [EN]: Auditory Masking***  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Auditory\\_masking#Critical\\_bandwidth](https://en.wikipedia.org/wiki/Auditory_masking#Critical_bandwidth)
- **[EN] HyperPhysics**  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- **[EN] Jass SDK**  
<http://persianney.com/kvdoelcsubc/jass/>