



# 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

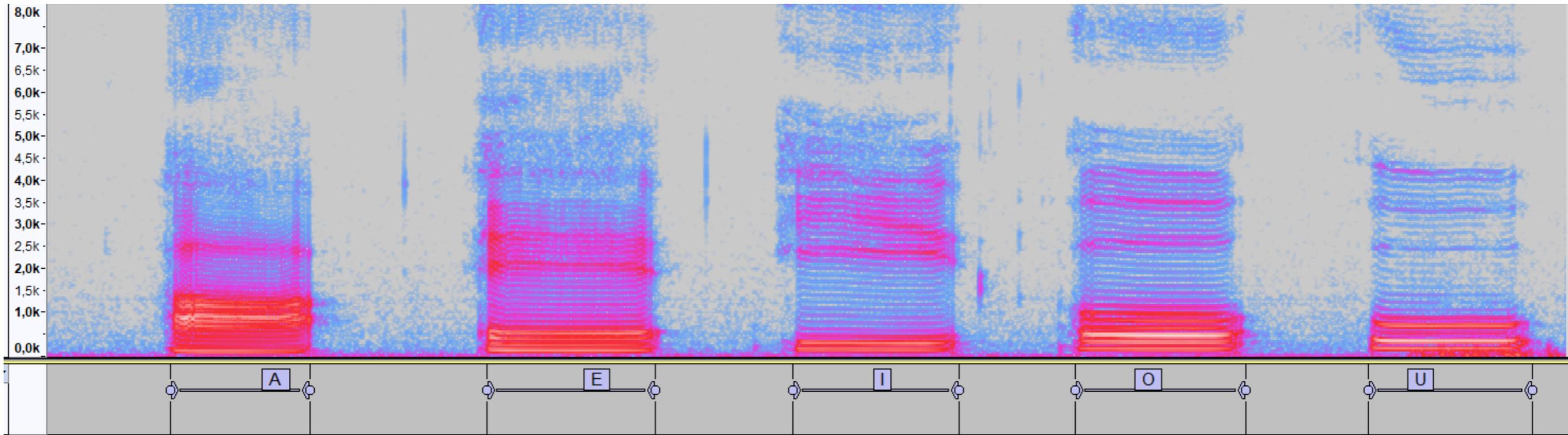
## (dal testo)

- 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



# Esercitazione Pratica (un esempio di risultato)

## ■ 2.6.3 – Registrare una vocale e individuare le formanti



- 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



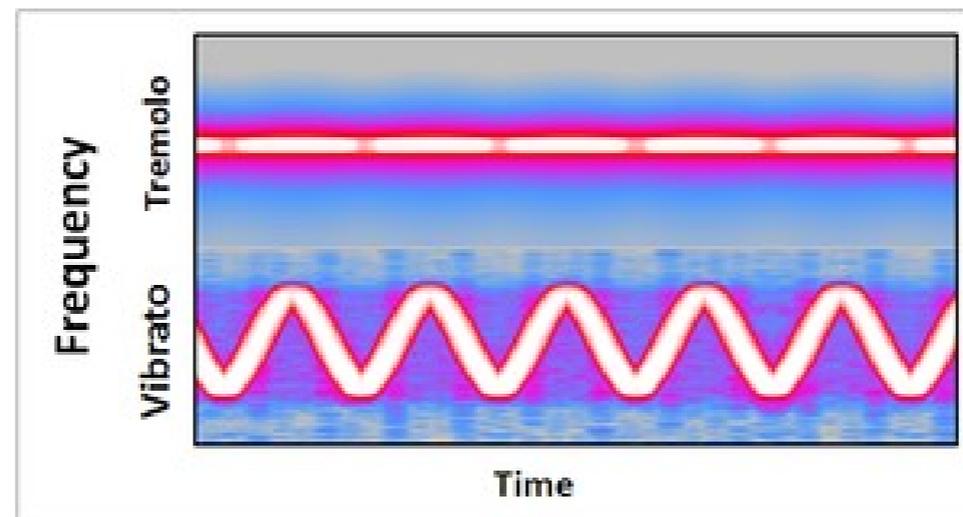
# Timbro percepito

## Tremolo e Vibrato

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



Esempi audio di tremolo su Wikipedia

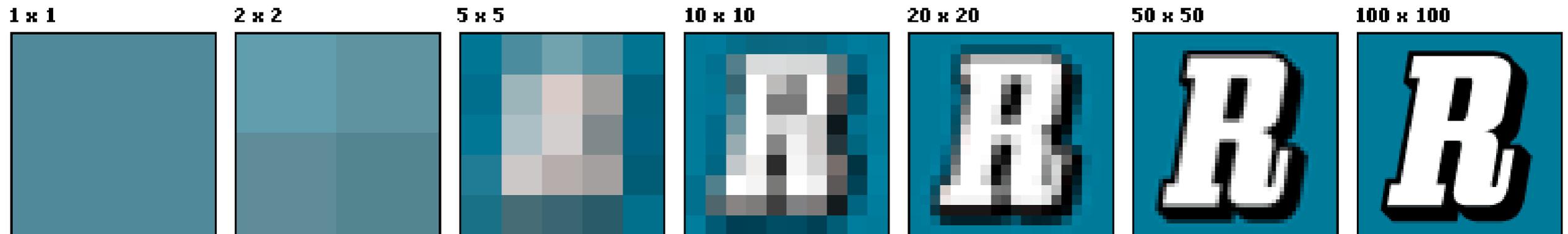


Esempi audio di vibrato su Wikipedia



# Approfondimento: la Risoluzione nelle immagini

- La *risoluzione grafica* indica la densità di pixel in un'immagine  
→ Una **maggiore risoluzione** significa che saremo in grado di **distinguere più dettagli**





# 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

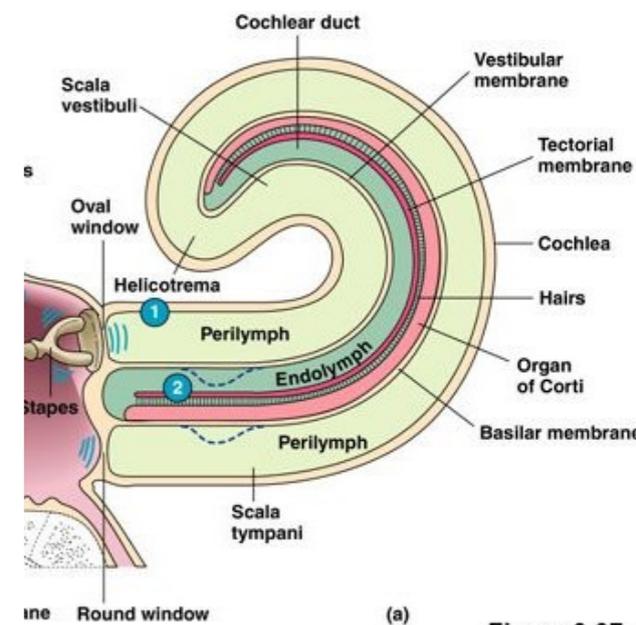


Figure 6-37

Una maggiore Risoluzione in Frequenza significa che saremo in grado di distinguere più dettagli



# 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
    - quando una stazione *forte* impedisce la ricezione di una stazione *debole*
- L'ampiezza di banda con cui lavorano i filtri uditivi ha assunto il nome di **banda critica ...**



# Mascheramento e Banda Critica

(dal testo)

## ■ Banda Critica:

- ❑ È la gamma (=intervallo) di frequenze all'interno della quale si verificano fenomeni di mascheramento
- ❑ I suoni possono essere discriminati solo quando ricadono in differenti bande critiche
- ❑ Le bande critiche sono tutte uguali?
- ❑ Quanto sono grandi?
- ❑ Quante bande critiche esistono?

Risponderemo più avanti a queste domande



# Mascheramento

- Distinguiamo 2 tipi di mascheramento:
  - **Non Tonale:**
    - Il mascheramento avviene con un rumore (a banda larga o stretta)
  - **Tonale:**
    - Il mascheramento avviene con un tono (tono semplice o complesso, cioè con più toni semplici)

## Alcune definizioni:

**Test Tone (o Probe)** : il tono (o sonda) che usiamo come riferimento, quello che proviamo a sentire dopo aver applicato il mascheramento

**Masking Noise** : Un rumore (a banda larga o stretta) usato per mascherare il test tone

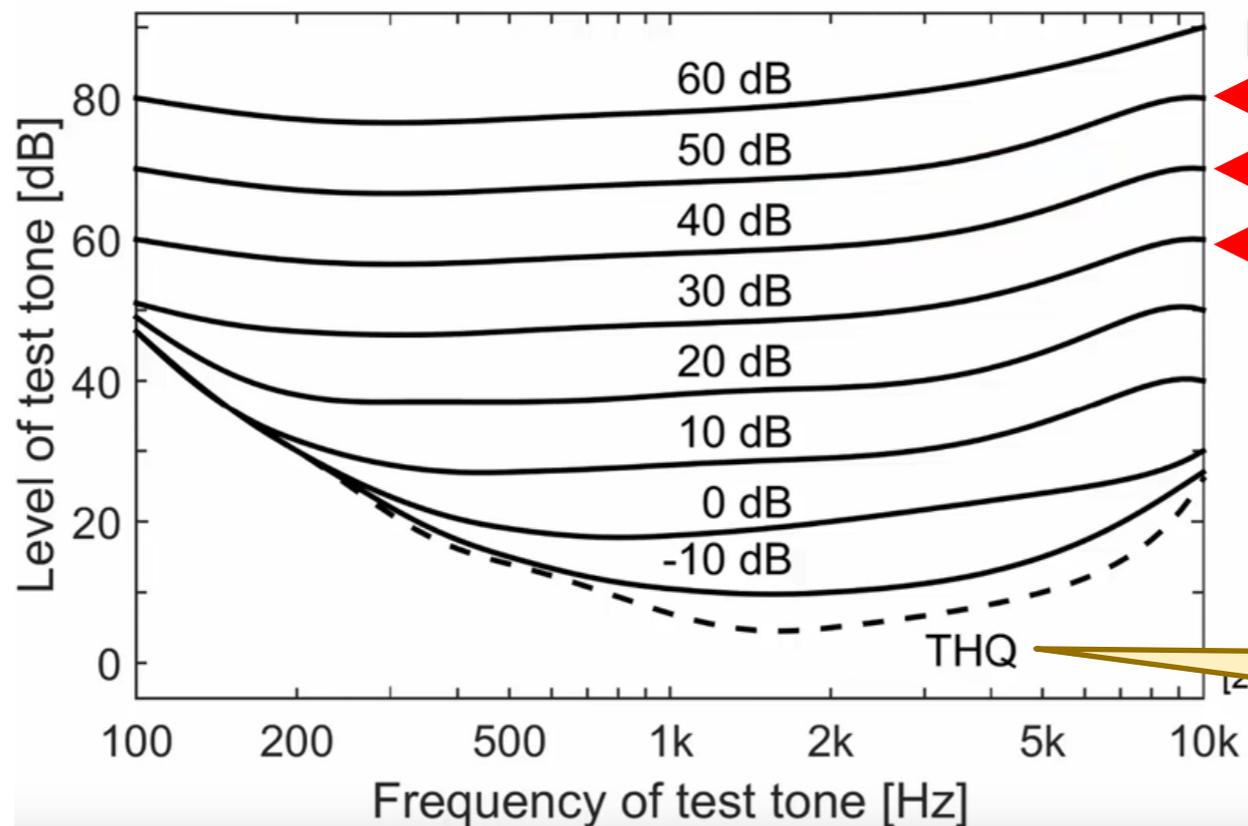
**Masking Tone** : un tono usato per mascherare il test tone



# Mascheramento Non Tonale

## Rumore bianco a banda larga

- Il rumore (*masking noise*) a banda larga maschera abbastanza uniformemente tutte le frequenze
- Ogni 10dB di incremento d'intensità del rumore, affinché il tono (*test tone*) rimanga udibile anche quest'ultimo deve essere incrementato di 10dB (→ comportamento lineare)



Queste curve indicano la soglia di mascheramento del rumore bianco al variare della sua intensità.

Si noti come sia verificato il comportamento lineare:  
Rumore 60dB → Test tone 80dB  
Rumore 50dB → Test tone 70dB  
Rumore 40dB → Test tone 60dB  
...

Ricordiamo cos'è la **THQ**?  
Vedere lezione precedente



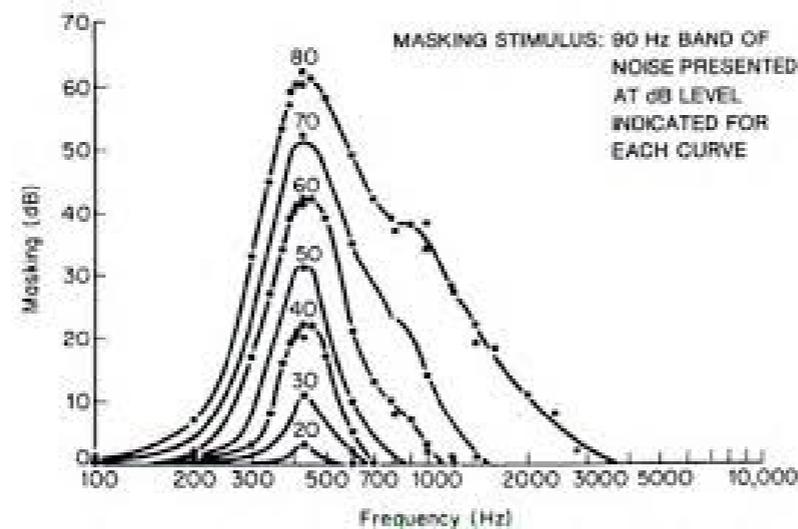
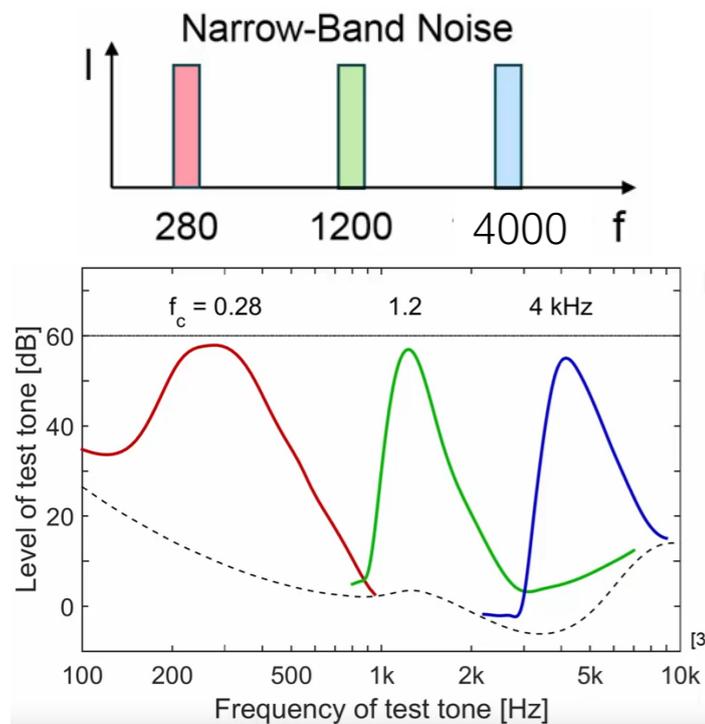
# Mascheramento Non Tonale

## Rumore a banda stretta

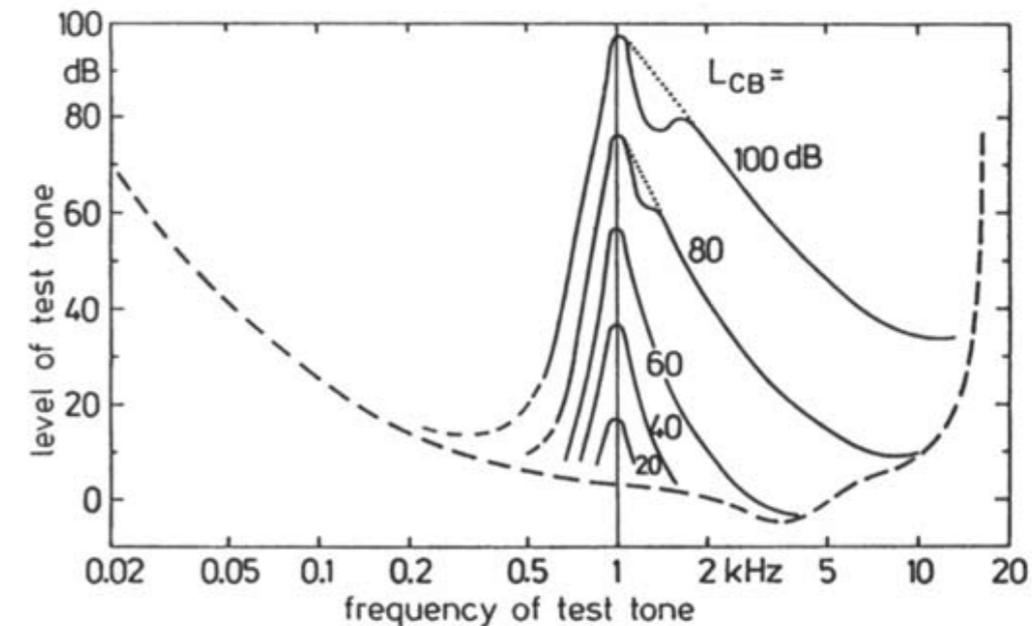


Esempio audio

- Il suono mascheratore è una forma di rumore a banda più o meno stretta 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

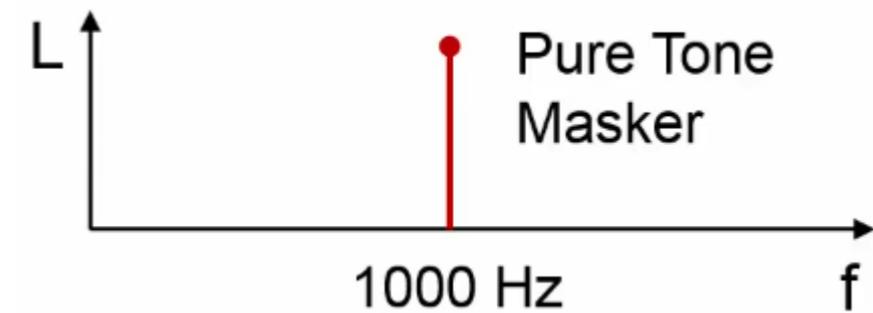
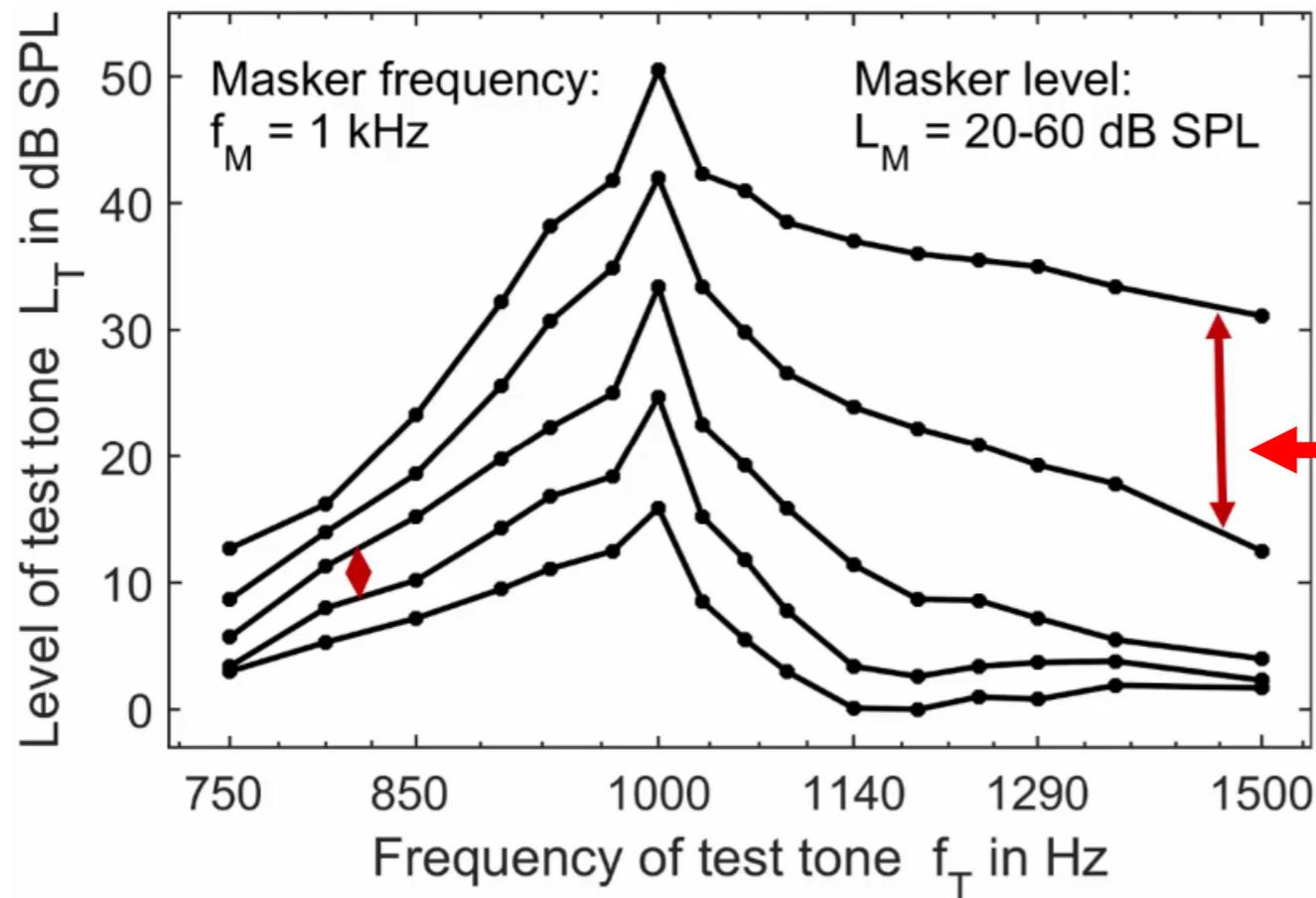
- Rispetto al mascheramento tonale, il non tonale impone una soglia più alta, ma è meno efficace per le alte frequenze



# Mascheramento Tonale

## Tono semplice (singolo tono puro)

- Il suono mascheratore è un tono specifico



Il Tono Mascheratore maschera di più le alte frequenze, rispetto alle basse, quando ha forte intensità (alti dB), altrimenti si comporta al contrario.

Il divario di mascheramento tra alte e basse frequenze diventa sempre più evidente all'aumentare dell'intensità.



# Esercitazione Pratica (dal testo)

Simile al 2.6.4,  
esercizio sulle bande critiche

## ■ 2.6.6 – Mascheramento Non Tonale

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
    - Suggestimento: usare Effetti > Amplifica > Nuovo picco
  - Aumentare l'ampiezza di R (senza superare il clipping)
  - Rumore a banda stretta: Filtrare R con Passa-alto=350, Passa-Basso=450 (Banda=100Hz)

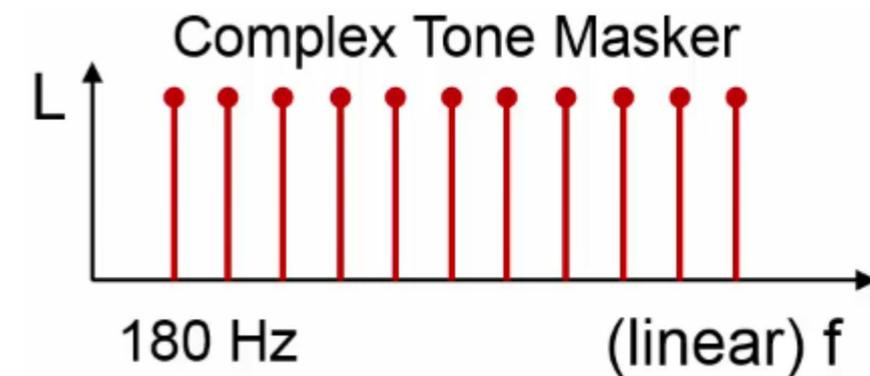
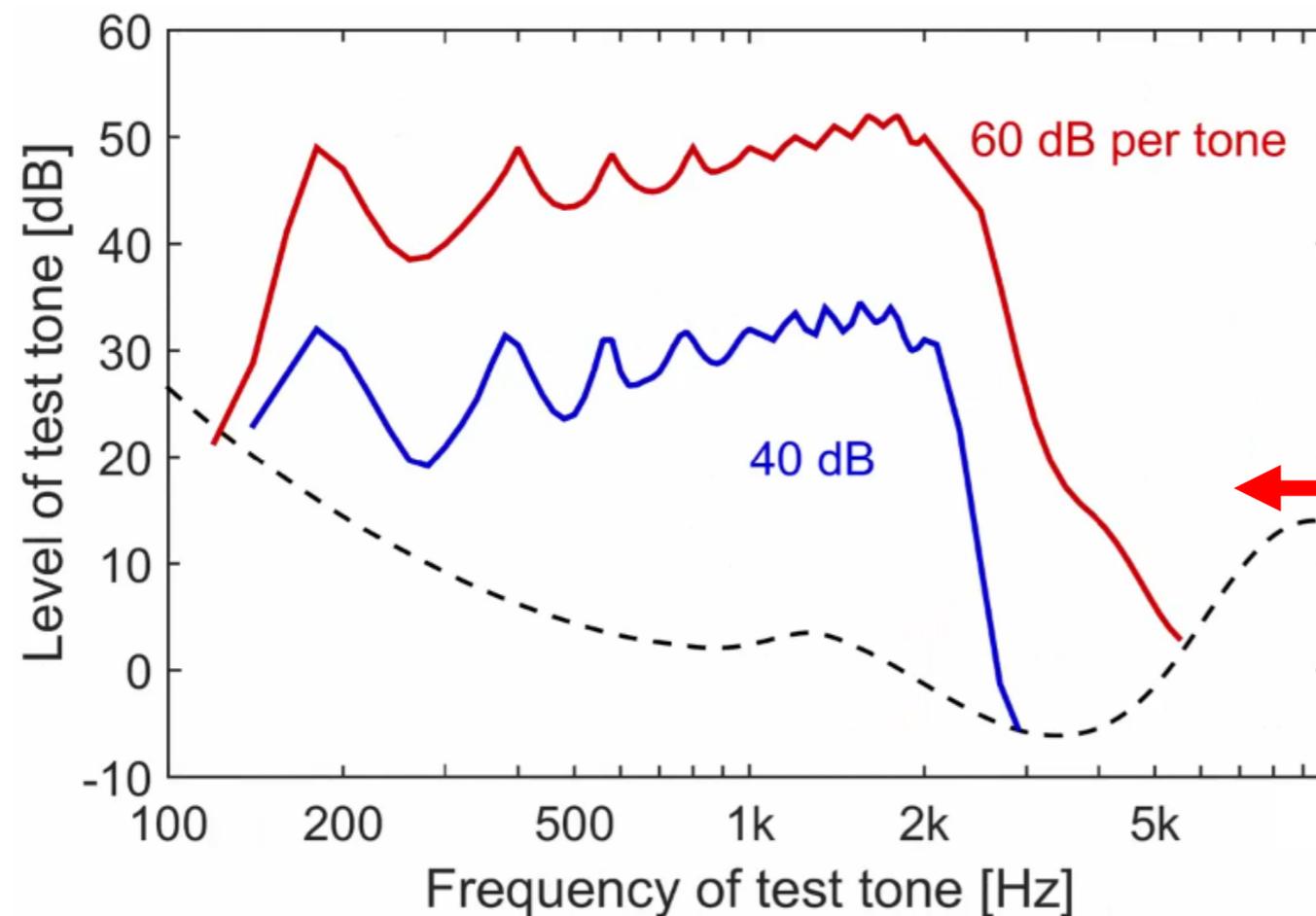


# Mascheramento Tonale

Approfondimento: Mascheramento delle consonanti utilizzando le vocali  
→ Vedi lettura consigliata Cammarata «[Acustica Applicata](#)» pag 333

## Tono complesso (più toni semplici)

- Un esempio di tono complesso è dato dalle formanti nelle vocali



Come se avessimo sommato i singoli grafici del mascheramento di ciascun tono semplice che compone il tono complesso



# Esercitazione Pratica (dal testo)

## ■ 2.6.5 – Mascheramento Tonale

In un editor audio generare i seguenti segnali

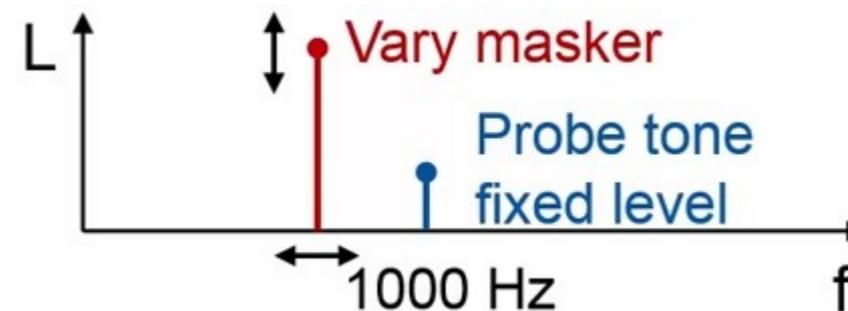
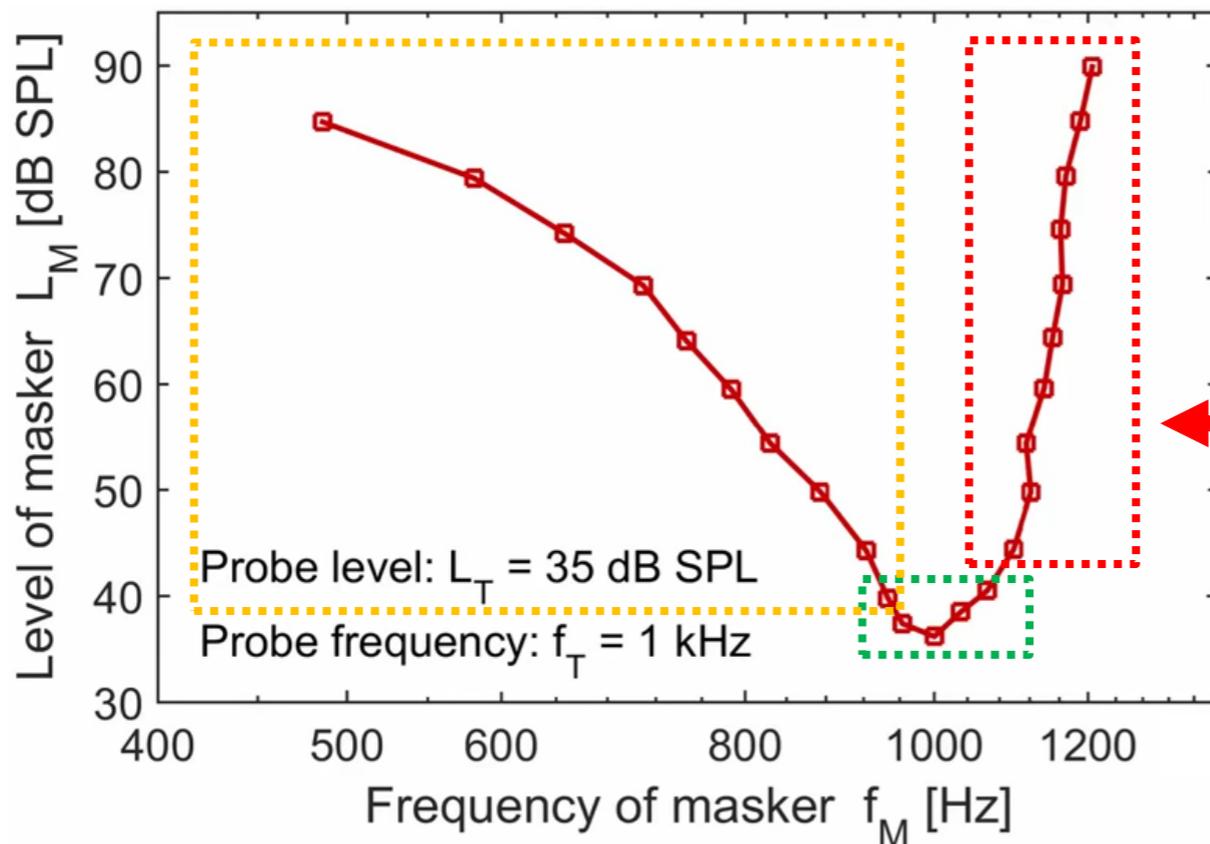
- [ T1 ] Tono puro da 1000Hz, ampiezza 0.5
- [ T2 ] Tono puro da 1300Hz, ampiezza 0.5
  - Ascoltare le due tracce mixate
  - Ridurre l'ampiezza di T2, gradualmente, fino a -30dB
  - Notare come T1 maschera T2



# Mascheramento Tonale

## La «Tuning Curve»

- Anziché fissare il rumore e variare il *test tone*, proviamo a fare il contrario...
  - Sull'asse Y non abbiamo più il test tone, ma il masking tone



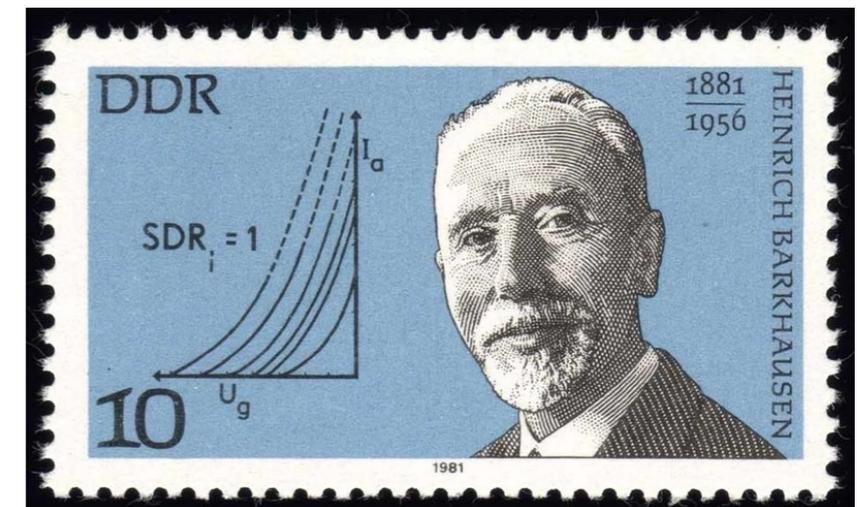
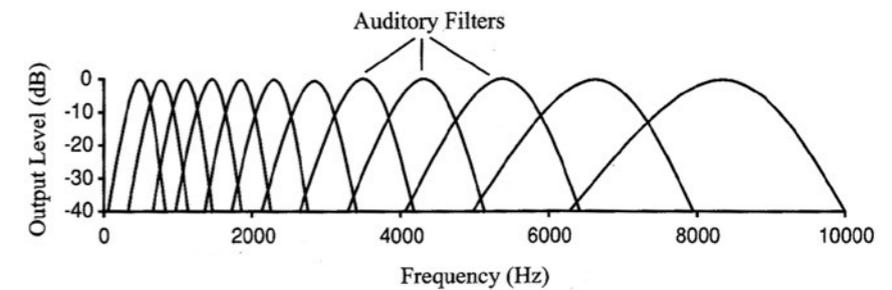
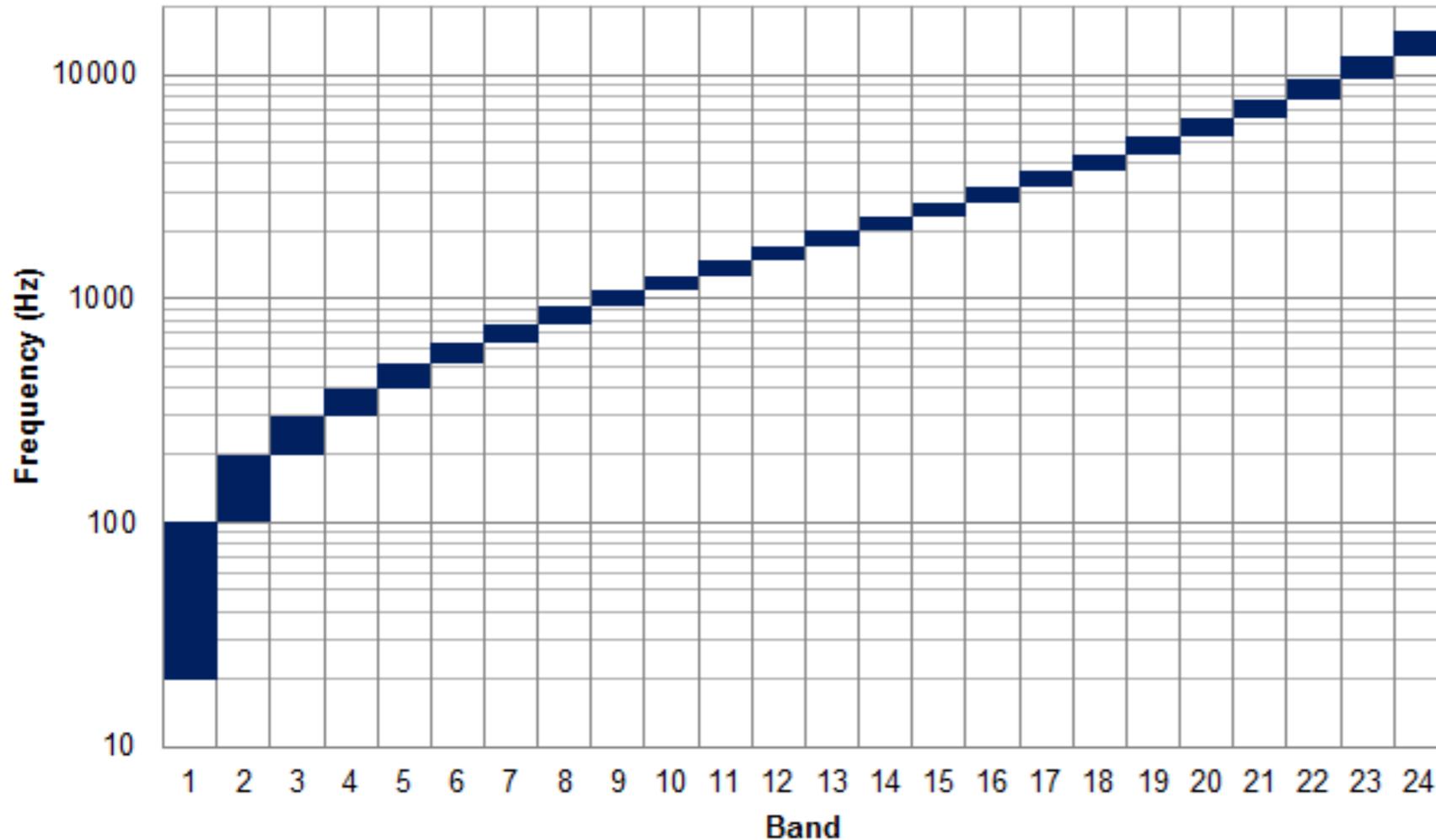
Le frequenze **vicine** sono facilmente mascherabili, le alte frequenze risultano difficilmente mascherabili (la curva sale subito), le basse frequenze sono difficilmente mascherabili (ma la curva sale piano).  
È come se ci fosse un filtro centrato su 1kHz. In effetti, abbiamo già visto che è proprio così, ma approfondiamo...



# Mascheramento e Banda Critica

## Scala di Bark

- L'intera gamma delle frequenze udibili viene ripartita in **24 bande critiche** (o filtri auditori, o filtri cocleari)





# 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 ( $> 15\text{kHz}$ )
    - Larghezza di banda critica: circa  $6500\text{Hz}$



# Mascheramento e Banda Critica (dal testo)

Cioè, come si  
calcola?

- 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)

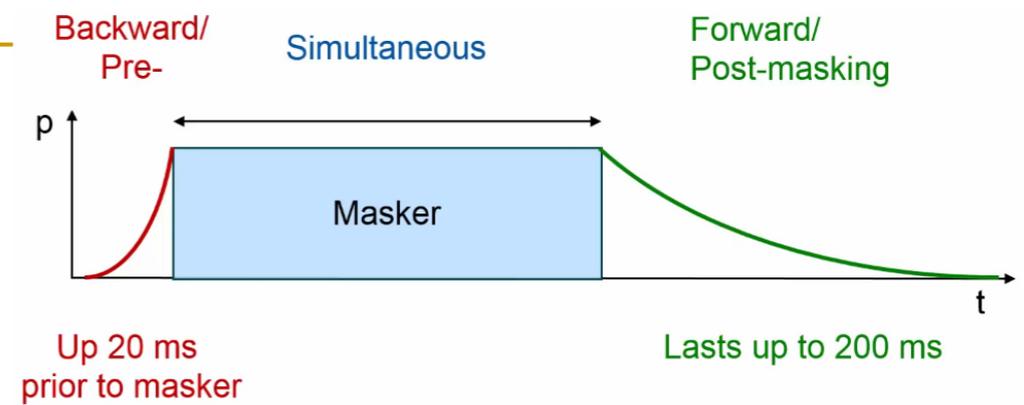


# Soglia di mascheramento (dal testo)

- 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



# Mascheramento



- Negli esempi precedenti abbiamo assunto che tono mascherato e mascheratore fossero emessi nello stesso istante:

- **Mascheramento Simultaneo**
- Esistono anche fenomeni di *Mascheramento Temporale*



Esempio audio

- Il mascheramento può essere sfruttato per la compressione del segnale audio, eliminando parti del segnale che non verrebbero percepite dal nostro apparato uditivo





# Approfondimenti (1 di 2)

- ***Wikipedia [EN]: Auditory Masking***  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Auditory\\_masking#Critical\\_bandwidth](https://en.wikipedia.org/wiki/Auditory_masking#Critical_bandwidth)
- **[EN] HyperPhysics (cliccare su “Sound and Hearing”)**  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- **Progetto 05 – 2018/19: Mascheramento**  
A cura di Andronaco M., Campione G., Caruso B.  
<https://fmilotta.github.io/teaching/computermusic/Projects/ComputerMusic-Project-05mask-2018-IT.pdf>



# Approfondimenti (2 di 2)

- [EN] YouTube – Masking Part 1  
<https://www.youtube.com/watch?v=mkZ0mWS2WAE>
- [EN] YouTube – Masking Part 2  
<https://www.youtube.com/watch?v=qKmrup8FXYM>
- [EN] YouTube – Critical Bands  
[https://www.youtube.com/watch?v=fwi8p\\_iSMz4](https://www.youtube.com/watch?v=fwi8p_iSMz4)

*Video Lezioni  
sull'argomento*