



Psicoacustica



Psicoacustica – Soglia di udibilità

Come ricordiamo, gli esseri umani non possono udire in generale suoni inferiori a **0 phon**. I corrispondenti valori in **dB** dipendono però dalla frequenza. Le curve isofoniche mostrano come a frequenze molto basse o molto alte, sia necessaria più energia per superare la soglia di udibilità.

- Se controllando lo spettro notiamo che una frequenza non supera la soglia di udibilità, possiamo semplicemente sopprimerla. Non verrà udita in ogni caso!
- Alle frequenze basse o alte l'orecchio perde sensibilità e selettività, per cui anche se udibili, si tende a ridurre l'informazione relativa ad esse.



Frequency masking

Se consideriamo un tono composto da due frequenze vicine tra loro (es: 1000 e 1100 Hz), potremmo aspettarci che quella ad ampiezza (energia) maggiore sovrasti l'altra rendendola non udibile.

In particolare dato un tono puro ad una certa frequenza detto **mascheratore**, ed un tono puro detto **mascherato**, si definisce **mascheramento frequenziale** il fenomeno per cui la presenza del suono mascheratore rende non udibile il suono mascherato.

- Il fenomeno si osserva quando il segnale **mascherato** e il segnale **mascheratore** hanno una frequenza simile, e contemporaneamente il segnale **mascherato** ha un'ampiezza non sufficientemente grande.
- Nella pratica, se siamo in presenza di mascheramento frequenziale, **possiamo eliminare il suono mascherato**.



Mascheramento frequenziale e Banda Critica

- 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 frequenziale e Banda Critica

■ 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 frequenziale

- Distinguiamo 2 tipi di mascheramento frequenziale:
 - **Non Tonale** (con più frequenze):
 - Il mascheramento avviene con un rumore (a banda larga o stretta)
 - **Tonale** (con una sola frequenza):
 - 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

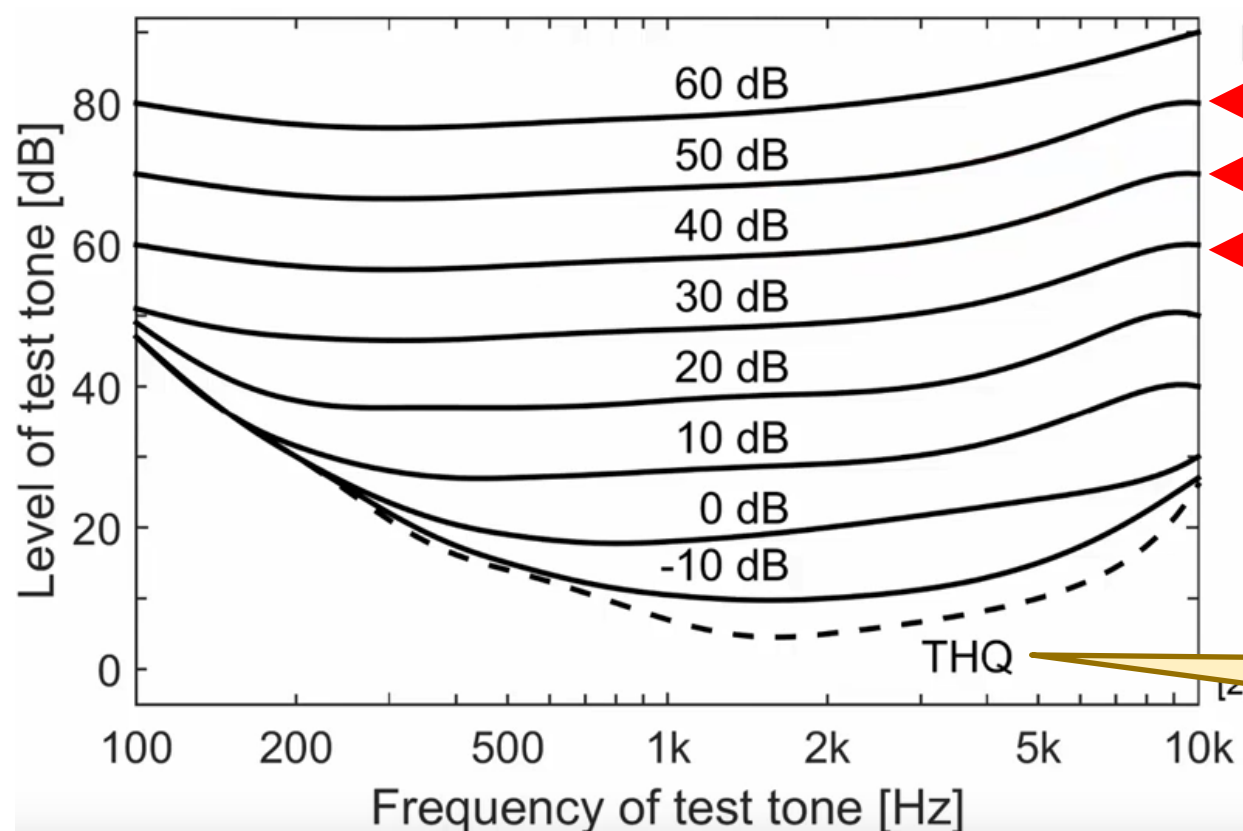
Masking Tone : un tono usato per mascherare il test tone



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.

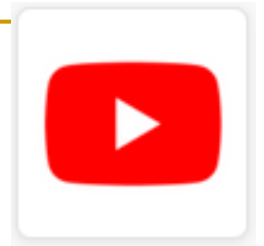
Si noti come sia verificato il comportamento lineare:
Rumore 60dB → Test tone 80dB
Rumore 50dB → Test tone 70dB
Rumore 40dB → Test tone 60dB
...

Threshold in Quiet
(soglia di udibilità)



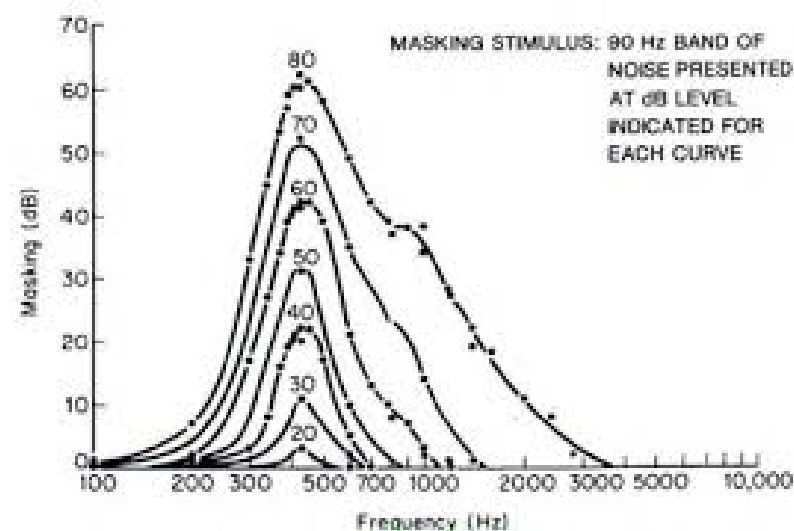
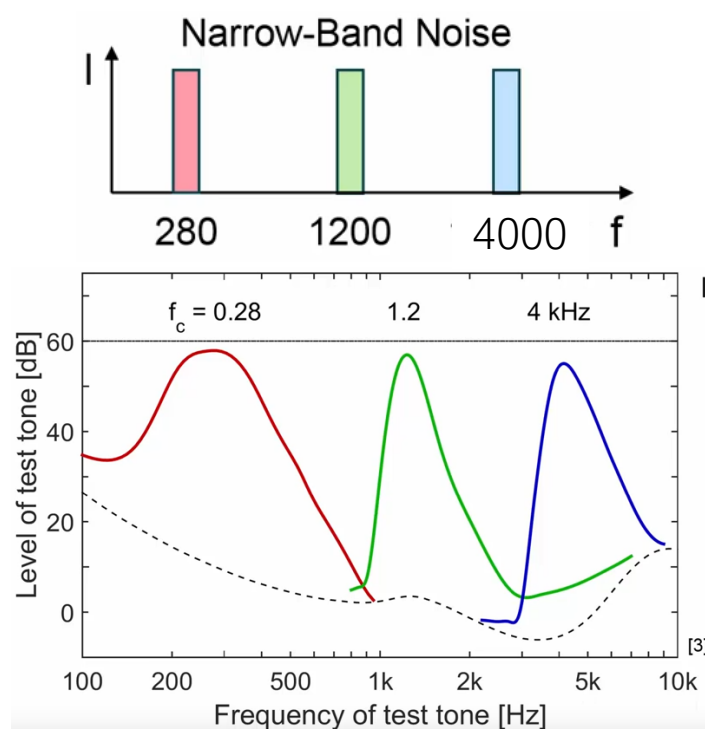
Mascheramento Non Tonale

Rumore a banda stretta

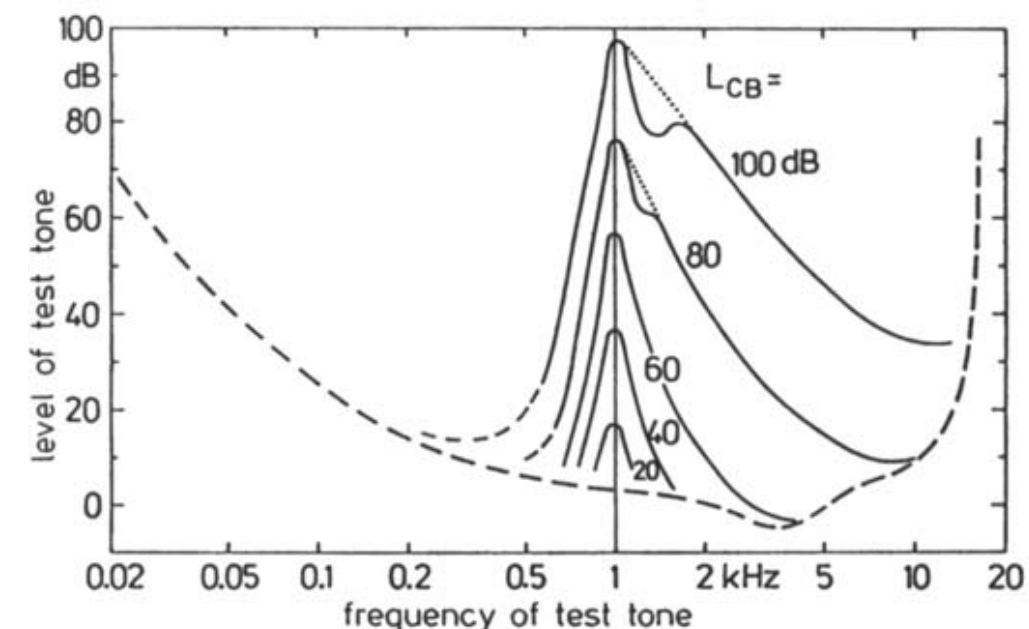


Esempio audio

- 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



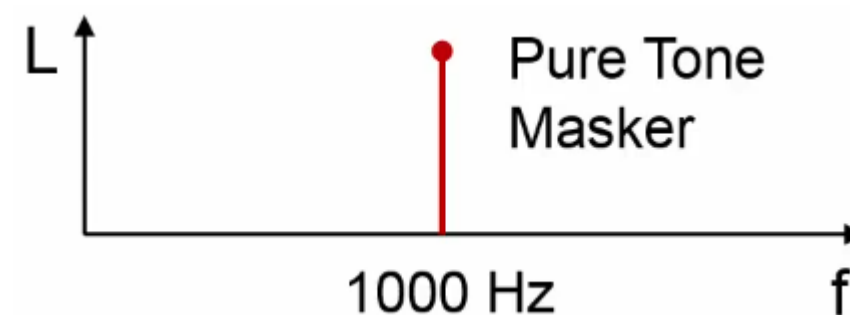
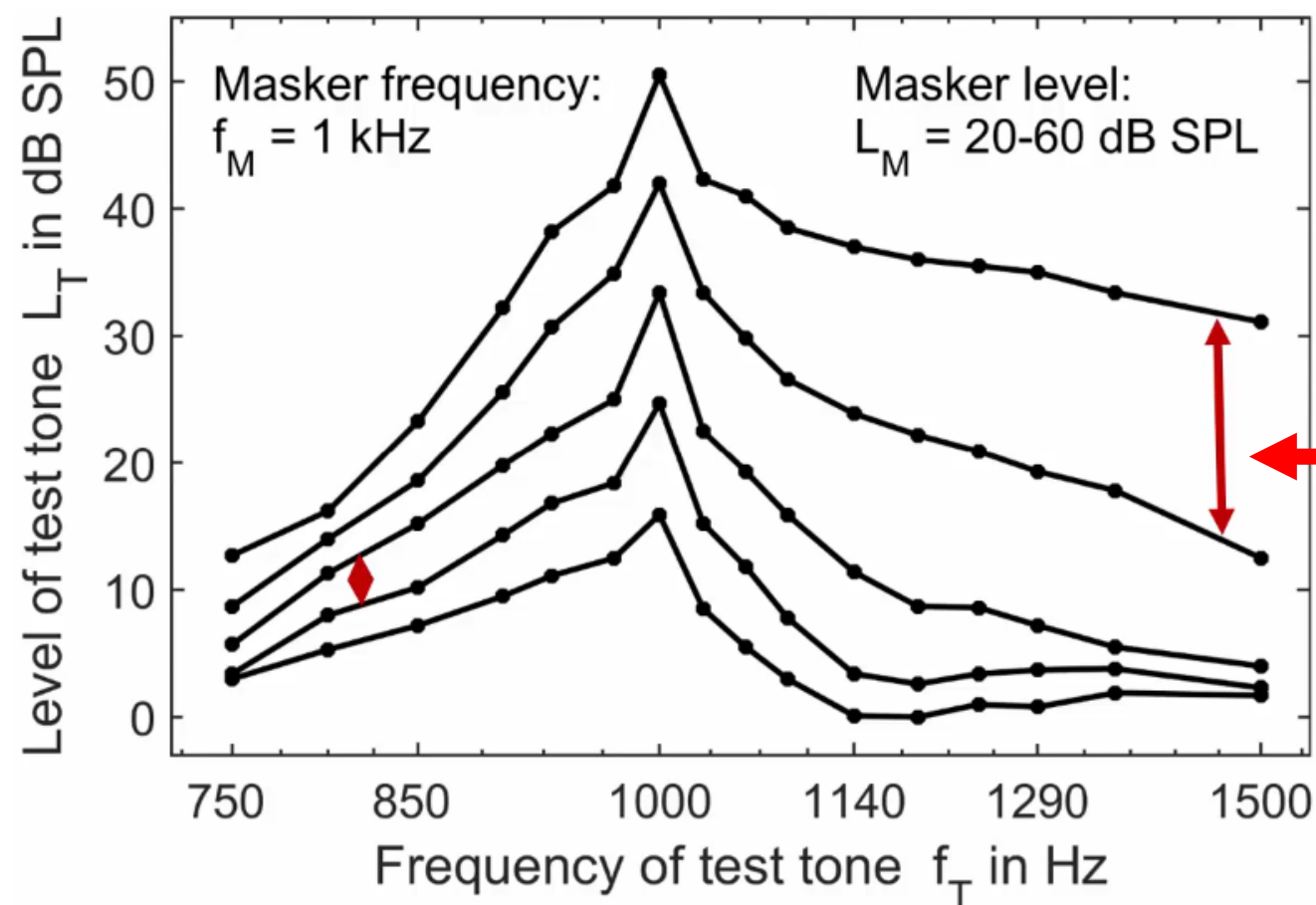
Suono mascheratore di 1000 Hz
con banda di 200 Hz

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



Mascheramento Tonale con tono puro

- Il suono mascheratore è un tono specifico



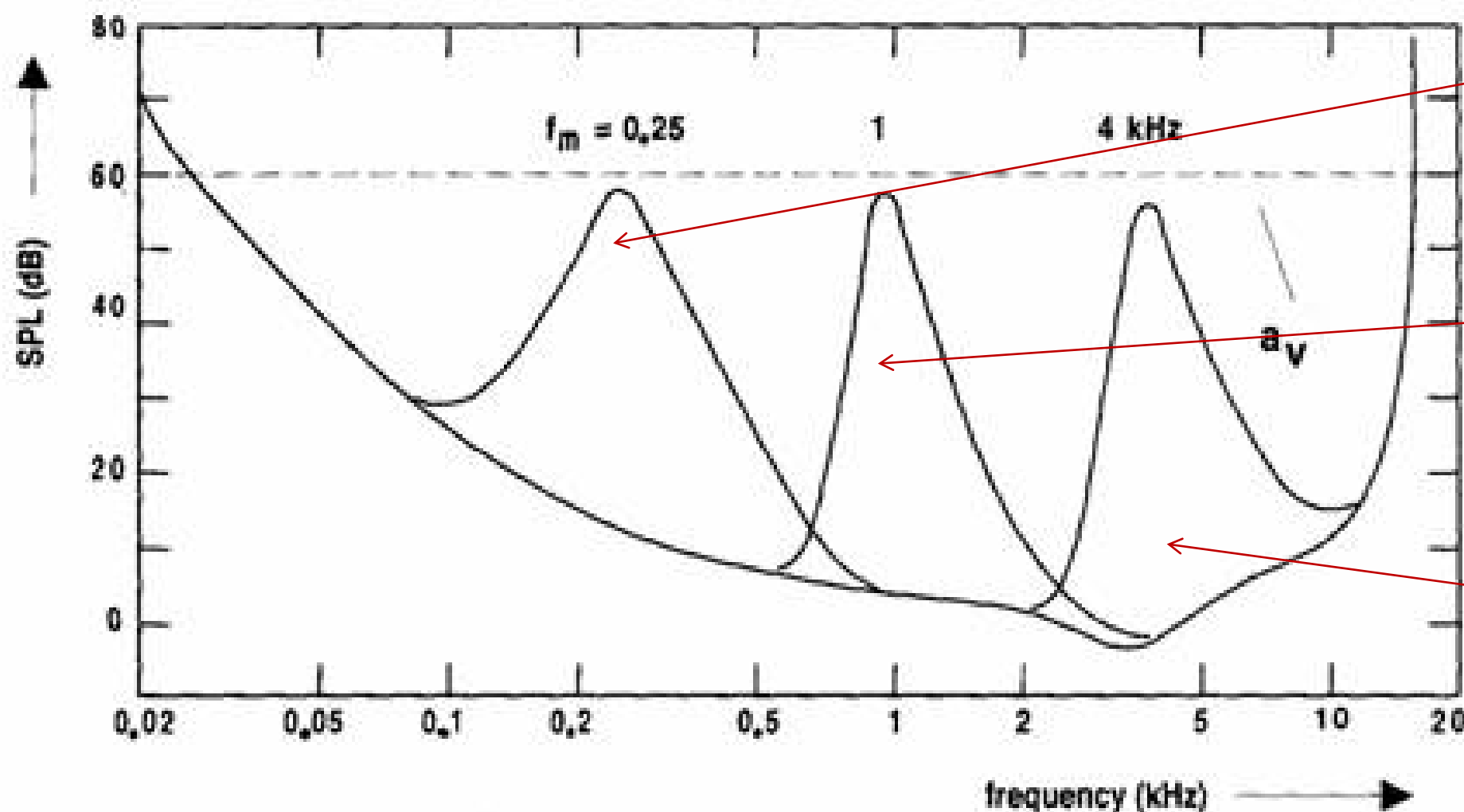
Il Tono Mascheratore maschera di più le alte frequenze, rispetto alle basse, quando ha forte intensità (alti dB), altrimenti si comporta al contrario.

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



Mascheramento Tonale con tono puro

Per ogni **mascheratore**, fissata l'ampiezza in decibel, si può definire la **soglia di mascheramento**. Ossia i minimi valori in decibel, per cui le frequenze vicine risultano udibili.



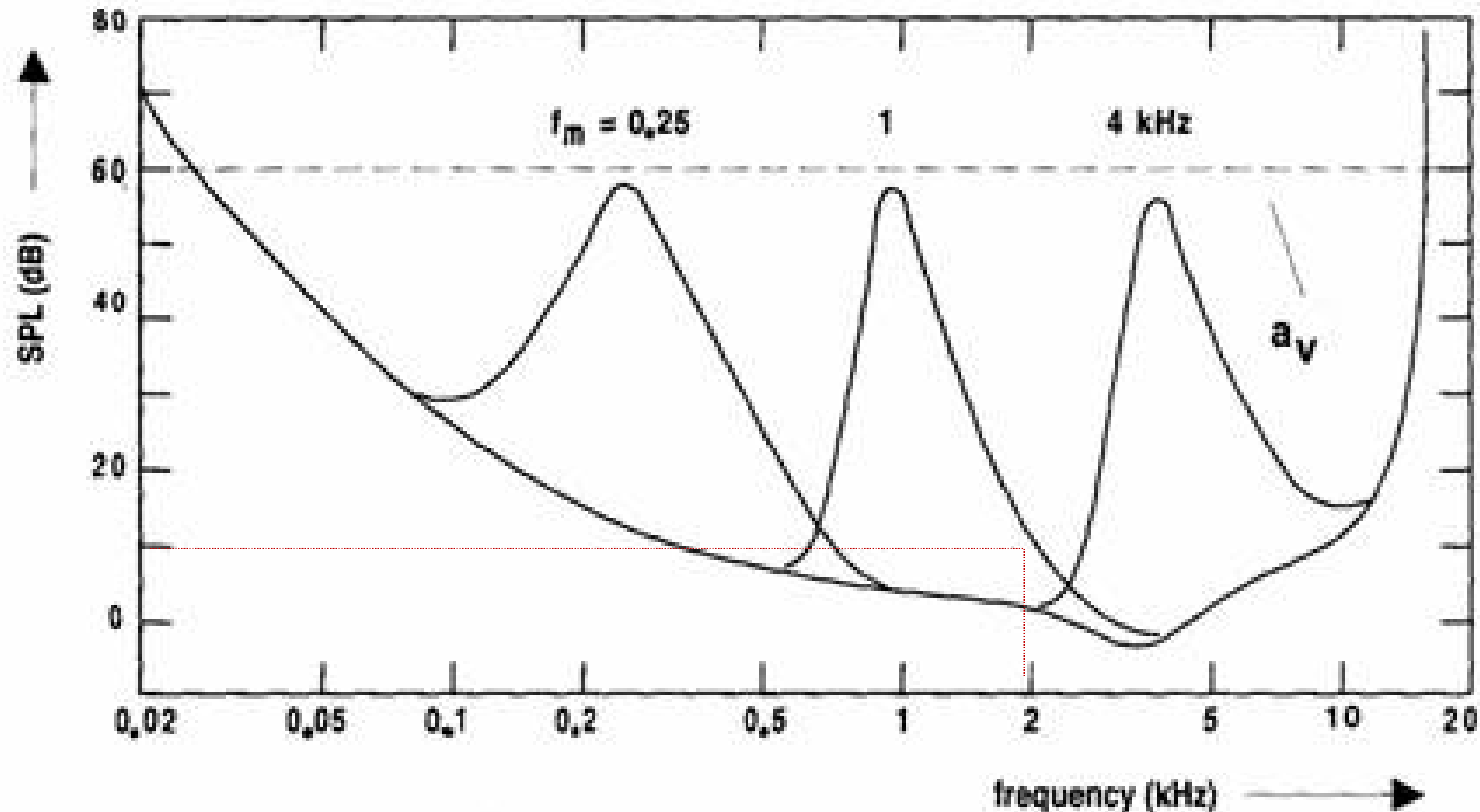
Soglia di mascheramento per
tono a 250 Hz e 60 dB

Soglia di mascheramento per
tono a 1000 Hz e 60 dB

Soglia di mascheramento per
tono a 4000 Hz e 60 dB



Mascheramento Tonale con tono puro

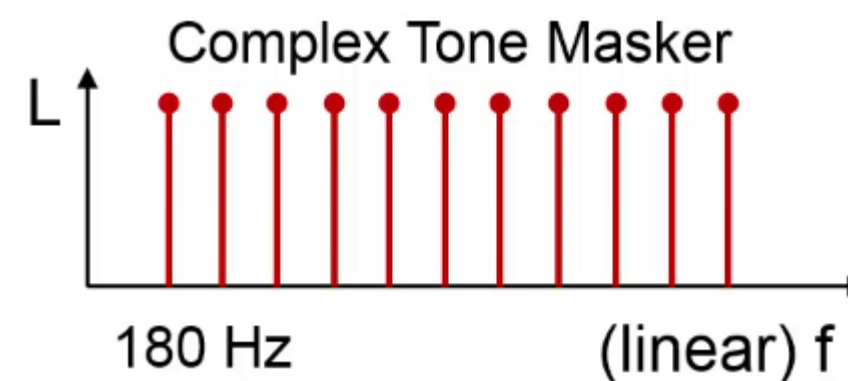
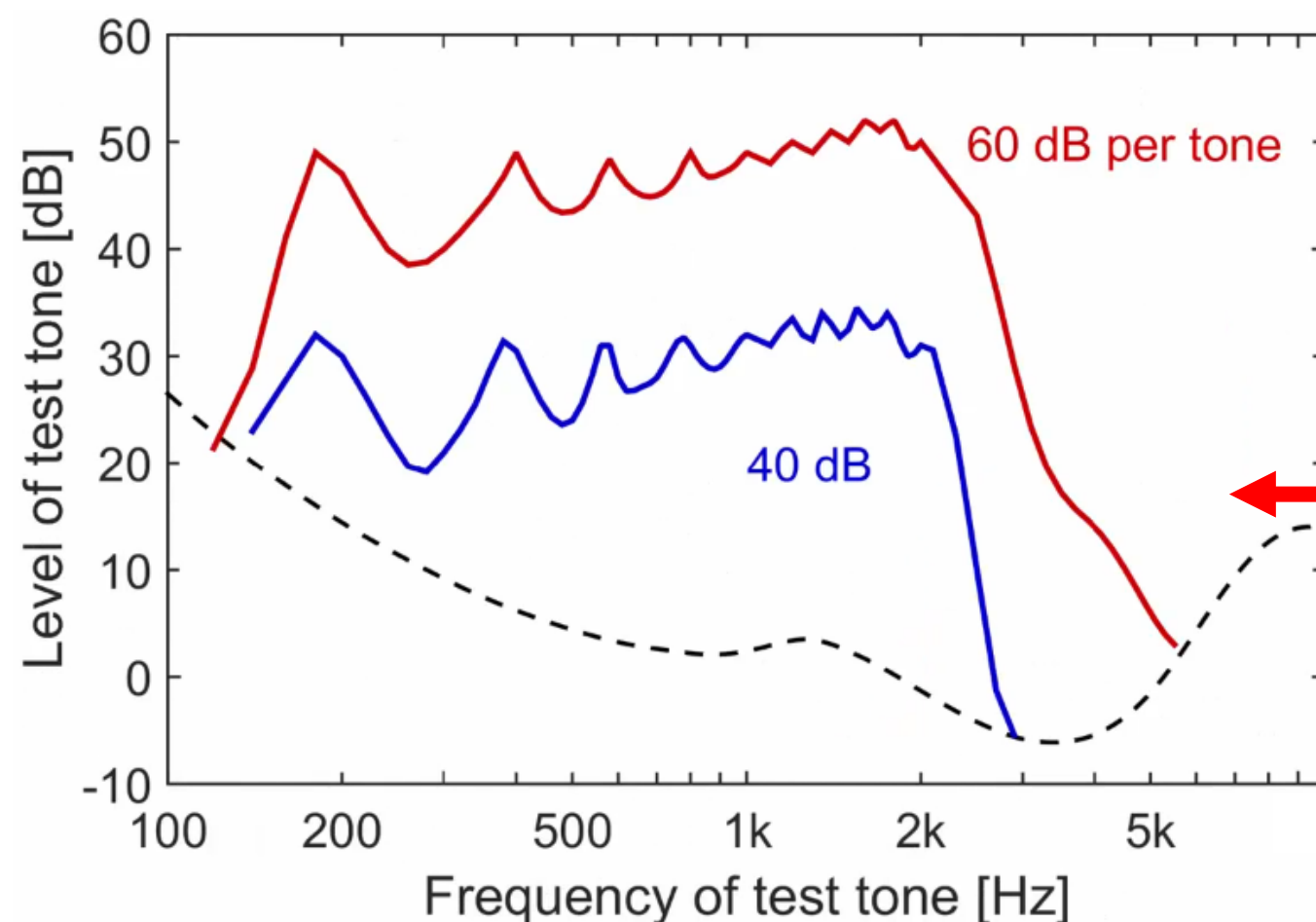


Il grafico ci dice ad esempio che in presenza di un suono a 1000 Hz a 60 dB, non possiamo udire un suono a 2000 Hz se inferiore a 10 dB.



Mascheramento Tonale con più toni puri distinguibili

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



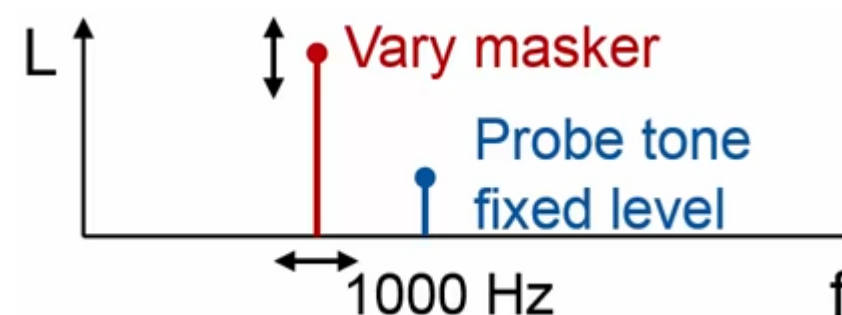
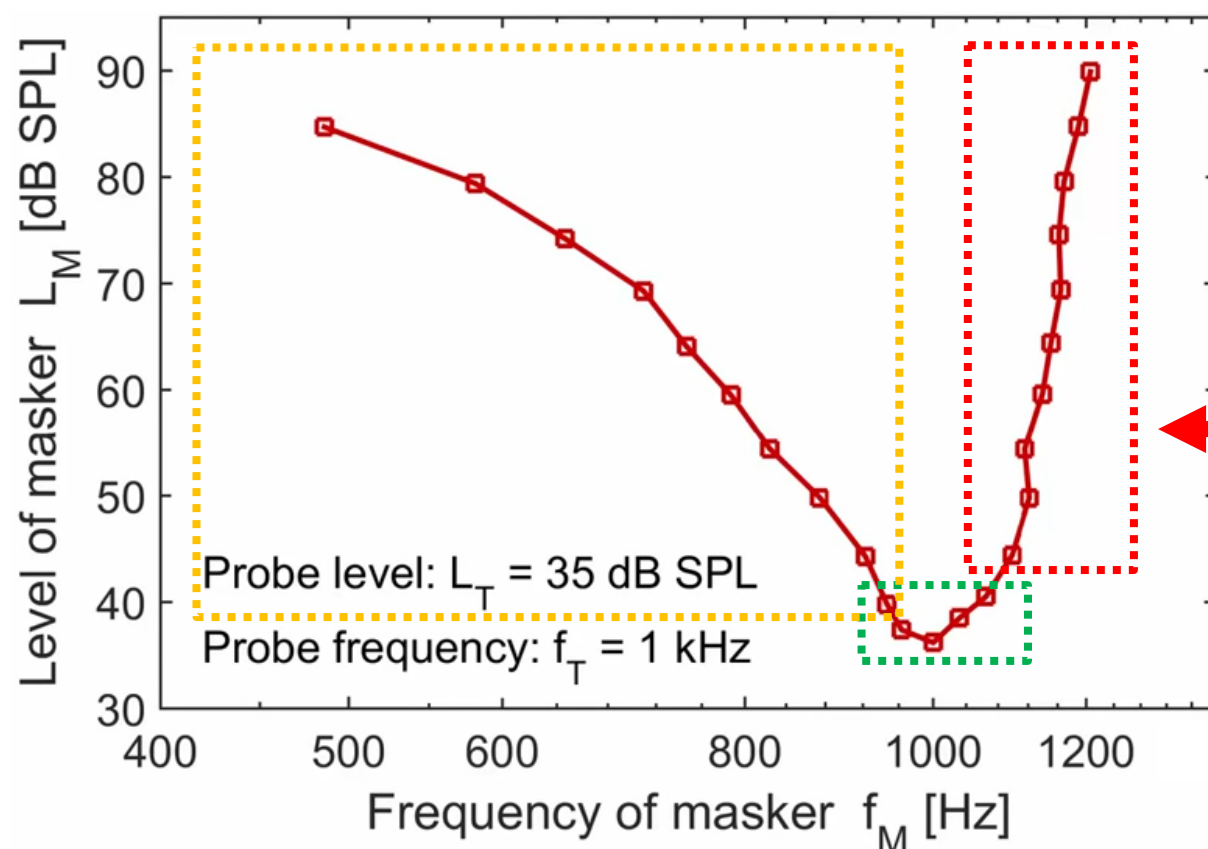
Come se avessimo sommato i singoli grafici del mascheramento di ciascun tono semplice che compone il tono complesso



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).

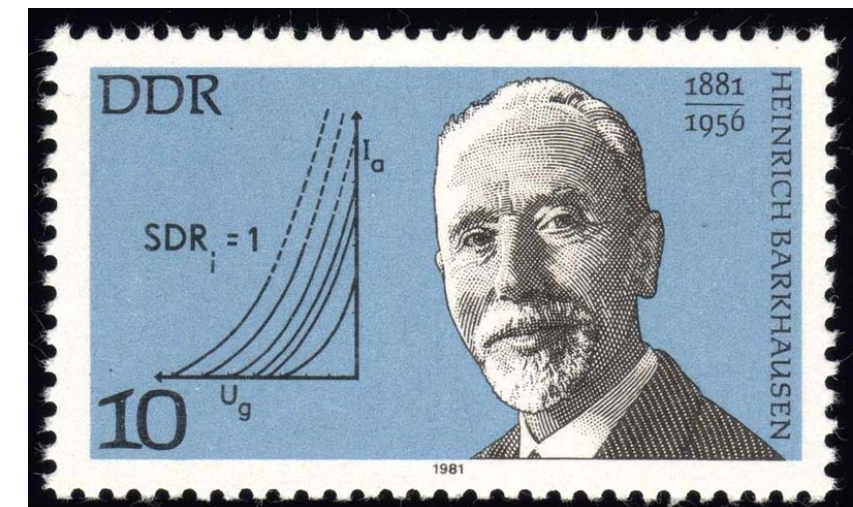
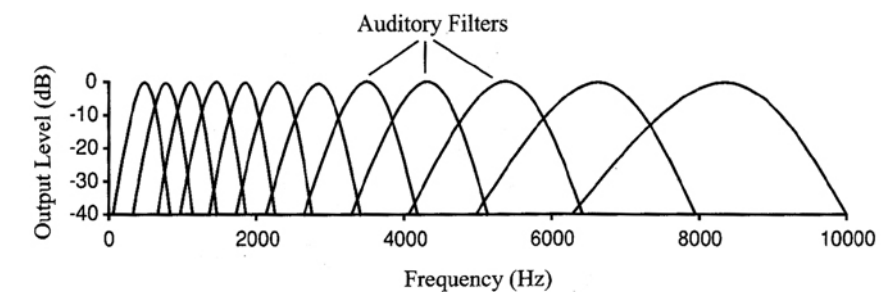
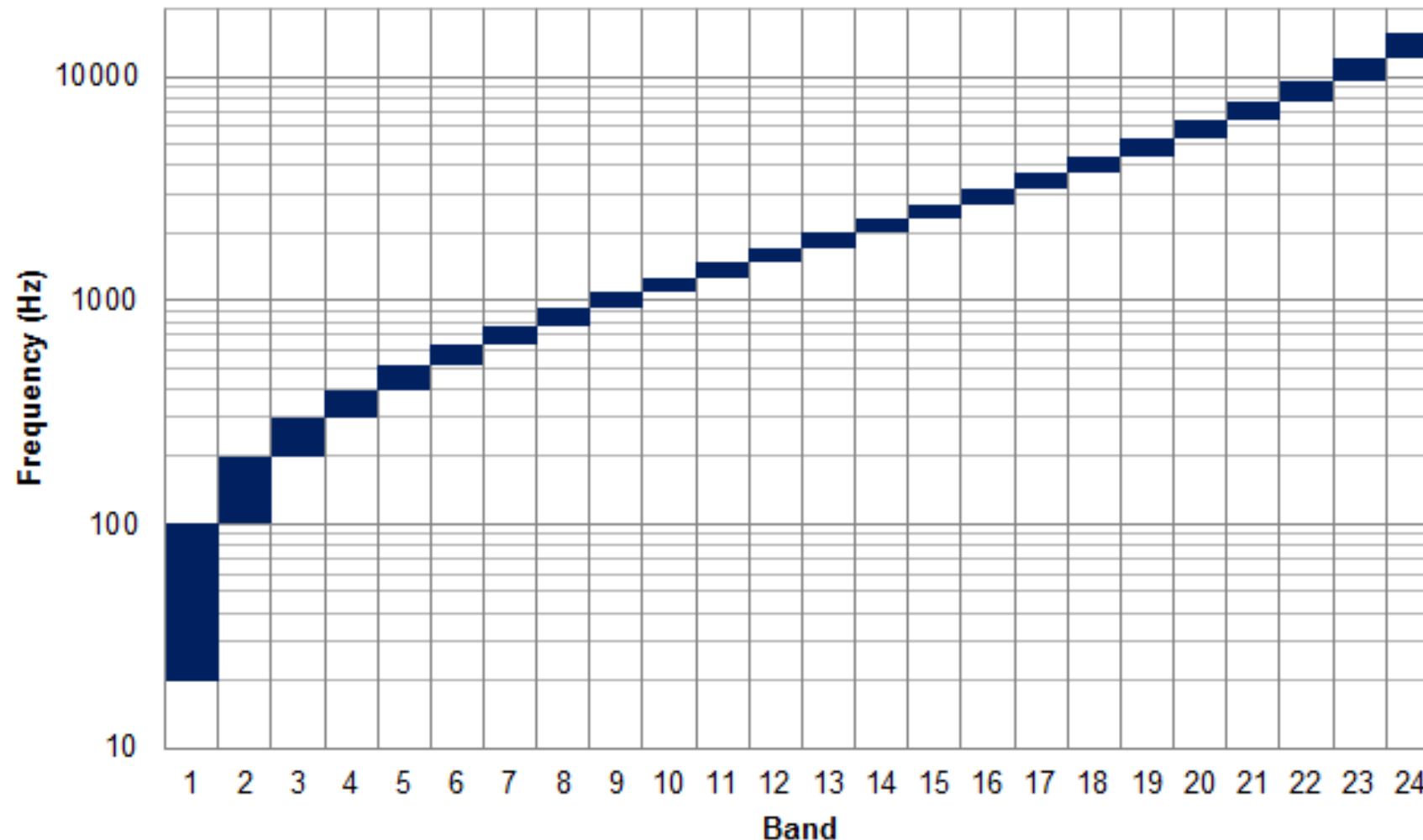
È come se ci fosse un filtro centrato su 1kHz. In effetti, abbiamo già visto che è proprio così, ma approfondiamo...



Mascheramento e Banda Critica

Scala di Bark

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





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 20% della Frequenza
 - Frequenze molto alte ($> 15\text{kHz}$)
 - Larghezza di banda critica: circa 6500Hz



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



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



Temporal masking

Ricordiamo che gli esseri umani hanno difficoltà a percepire suoni differenti che siano troppo vicini tra loro nel tempo. Il tempo necessario affinché sia possibile percepire due toni in sequenza dipende dalla frequenza e dall'ampiezza.

Anche in questo caso si possono chiamare **mascheratore** e **mascherato** i toni protagonisti del fenomeno. In particolare se il tono mascheratore cessa e il tono mascherato cessa poco dopo, ma senza essere comunque udito, si parla di mascheramento temporale.

- Anche in questo caso il fenomeno si verifica quando le frequenze tra i toni sono simili ma il segnale mascherato ha ampiezza più bassa.
- In questo caso le frequenze vengono fissate. Il valore di **soglia** caratteristico sarà dato dal minimo tempo necessario per poter udire il suono mascherato al variare dell'ampiezza.



Temporal masking

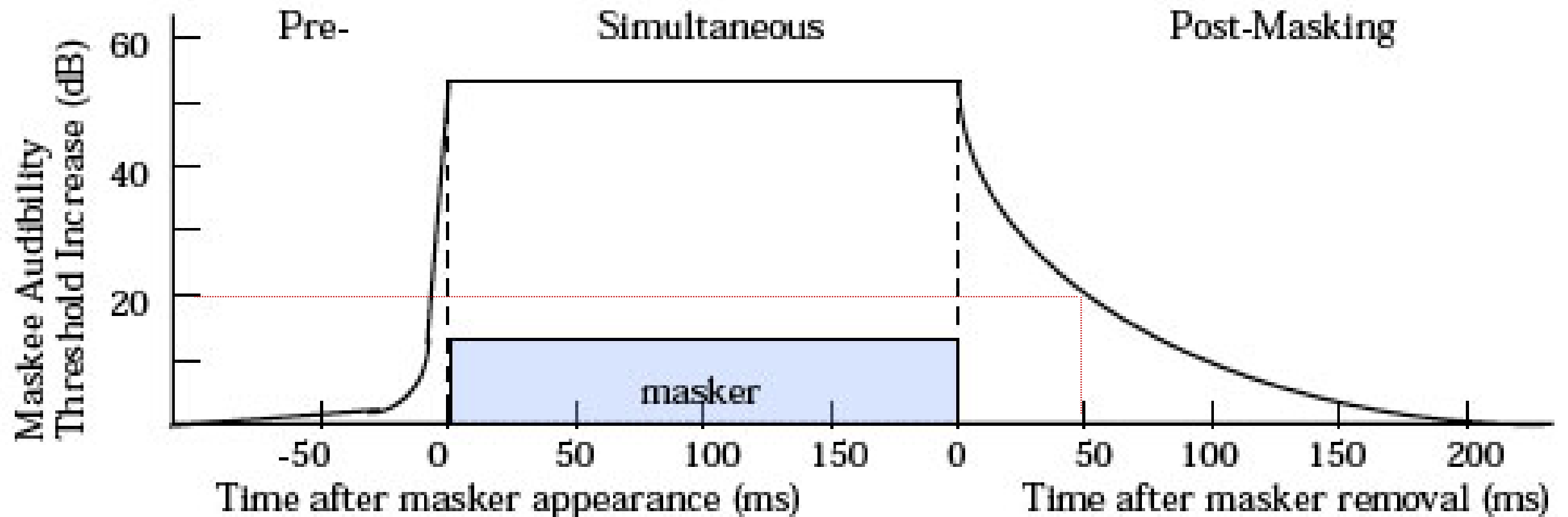


Grafico caratteristico per il mascheramento temporale tra il suono mascheratore a 1000 Hz e 60 dB e il suono mascherato a 1050 Hz. Ad esempio per poter udire un suono a 1050 Hz a 20 dB, dovrò attendere almeno 50 ms dalla fine del tono mascheratore.



Psicoacustica – In breve

- Tutti i fenomeni visti, insieme ad altri, vengono impiegati per giustificare la rimozione di informazione negli algoritmi di codifica e compressione avanzata.
- Il masking frequenziale è un fenomeno di tipo **simultaneo**, poiché si interessa toni riprodotti negli stessi intervalli di tempo.
- Il masking temporale interviene invece dopo e si dice per questo **non simultaneo**. In altre parole prende in considerazione l'effetto di un tono puro su un altro, nonostante il primo sia già cessato mentre il secondo è ancora attivo.