

La psicologia dell'udito

onde sonore → percezione uditiva → cognizione

Fisica-percezione-cognizione

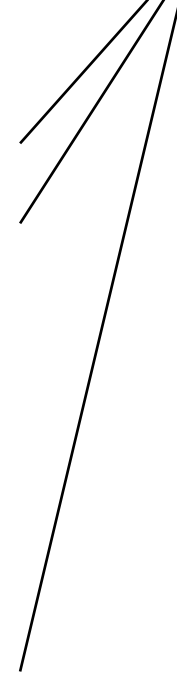
<i>Aria</i>	<i>Orecchio</i>	<i>Mente</i>
Suono	Sensazione	Musica/Parole
Ampiezza	Intensità	Dinamica
Frequenza	Altezza	Classe di toni
Spettro	Timbro	Riconoscimento strumenti
Radiazione	Localizzazione	Mappa spaziale soggettiva

SIL – volume – dinamica

- SIL in dB ($10 \log I / I_0$)
 - $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
 - I_0 a 1000 Hz (soglia udibile per ascoltatori acuti)
- Volume percepito (LL) in *foni* (phons)
 - intensità che dipende dalla frequenza
 - dato un suono A, quanto è forte un suono B a 1000Hz che è forte uguale
- Volume soggettivo (L) in *soni* (sones)
 - qual è la differenza di L tra due suoni
 - 100 soni è percepito come il doppio di 50 soni

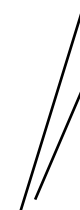
Diagramma di Fletcher-Munson

valori di volume a 1000 Hz



in pratica livelli da 10 a 20 dB
(e superiori per frequenze non centrali)

sensibilità max per
suoni da 2 a 5 kHz



Ampiezza e volume

1 sone = il volume di un'onda sinusoidale di 1000Hz a 40 dB

2.3 soni = 50 dB, 1000 Hz (A)

0.7 soni = 50 dB, 100 Hz (B)

In generale, $L \approx C \times \sqrt[3]{I}$

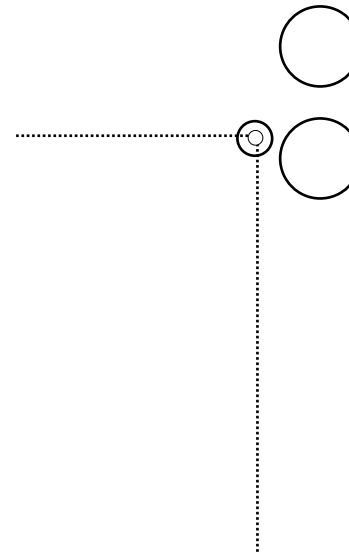
Raddoppiare il volume richiede

$8 \times I$, e dato $10 \log 8 = 9.03\dots$

In pratica:

ogni 10dB ($I \times 10$) si raddoppia il volume

10 musicisti raddoppiano un solista, 100 lo quadruplicano



Limiti in frequenza

- tendenzialmente da 20 a 20000 Hz (20 kHz)
- limiti grossolani:
 - di solito fino a 17-18 kHz per un adulto in buona salute
 - vecchiaia: 12 Khz (donne), 5 Khz (uomini)

Estremità e valori abituali

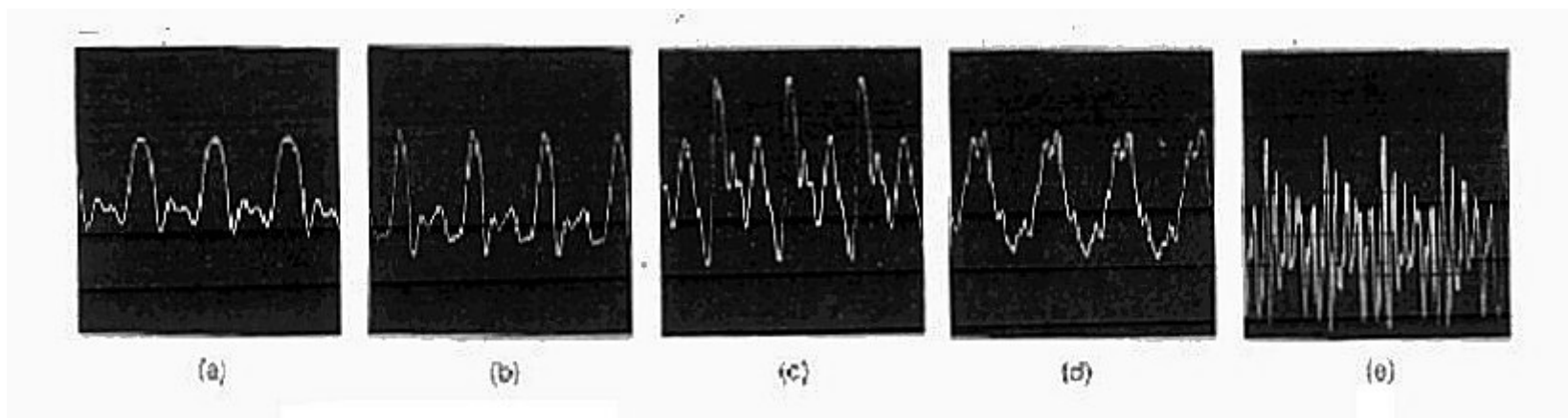
- suoni sotto 30 Hz piuttosto difficili da udire
 - forte intensità e isolamento per onde sin di 15 Hz
 - sotto i 20 Hz si passa al “sentire” (sopra 100 dB)
- musica reale non usa onde pure sinusoidali
 - grande organo a canne può suonare Do_0 (16 Hz)
 - un buon altoparlante può riprodurlo
 - occorrono più armoniche per poterlo udire

Frequenza e altezza

- Simile al problema ampiezza-volume
- Approssimazione: ottava come i bel

Timbro

- Timbro dalla forma d'onda
- Relazione più difficile da trovare



flauto

tromba

sax soprano

violino

tuba

Timbro e livello dinamico

- Timbro cambia con il livello dinamico
- Esempio: tromba
 - più brillante il suono a forti intensità
 - forte tromba lontana VS debole tromba vicina
- Attenzione nella sintesi

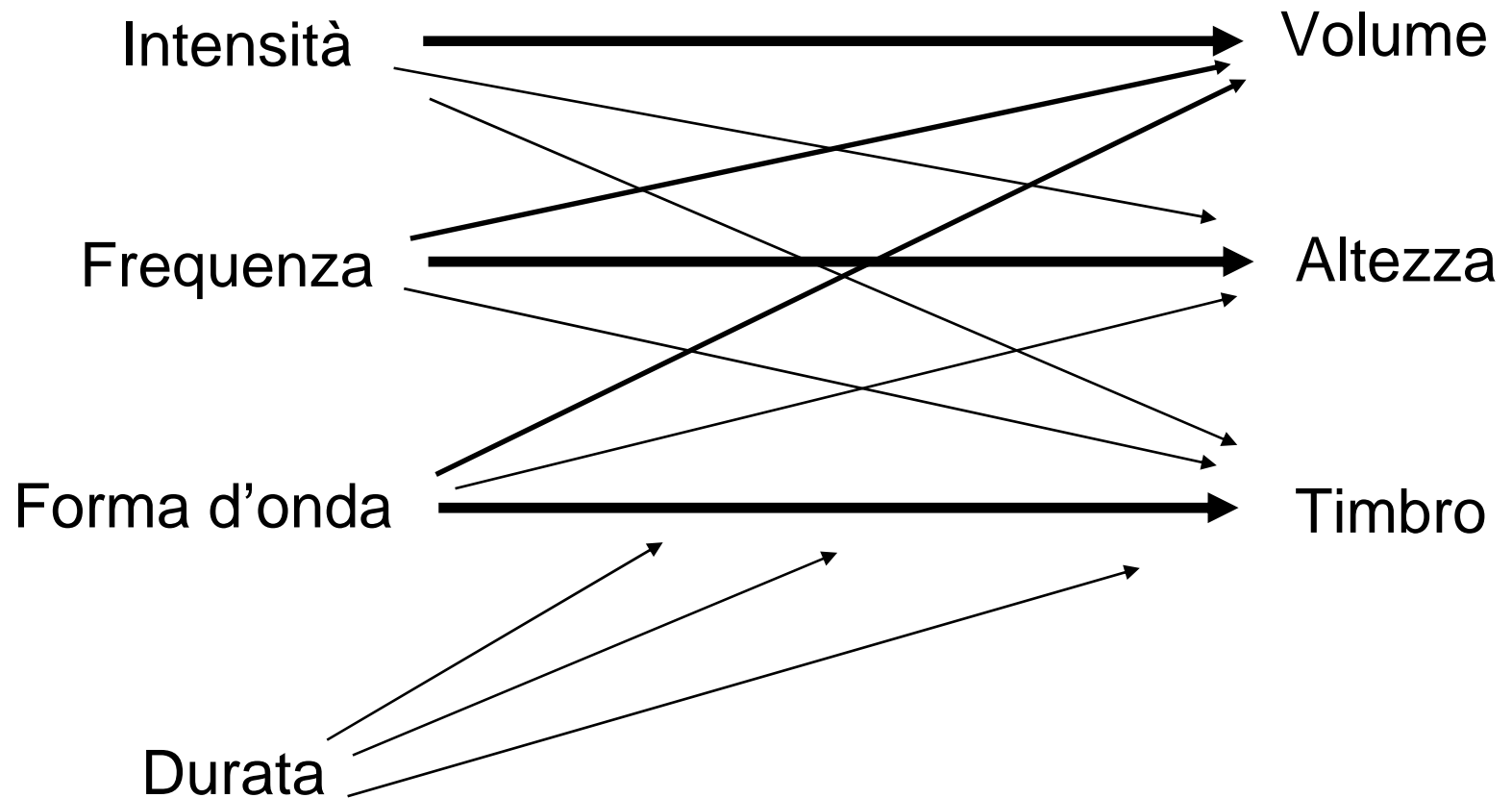
Riconoscimento degli strumenti

- Importanza dei transitori (attack e decay)
- Durata dei transitori varia tantissimo: dipende da strumento e esecutore
 - 20 ms per un oboe
 - 30-40 ms per tromba o clarinetto
 - 70-90 ms per flauto o violino
- Le note sopra il Do centrale hanno un periodo di 2-4 ms: il transitorio comprende più cicli di vibrazione

Differenze di attacco

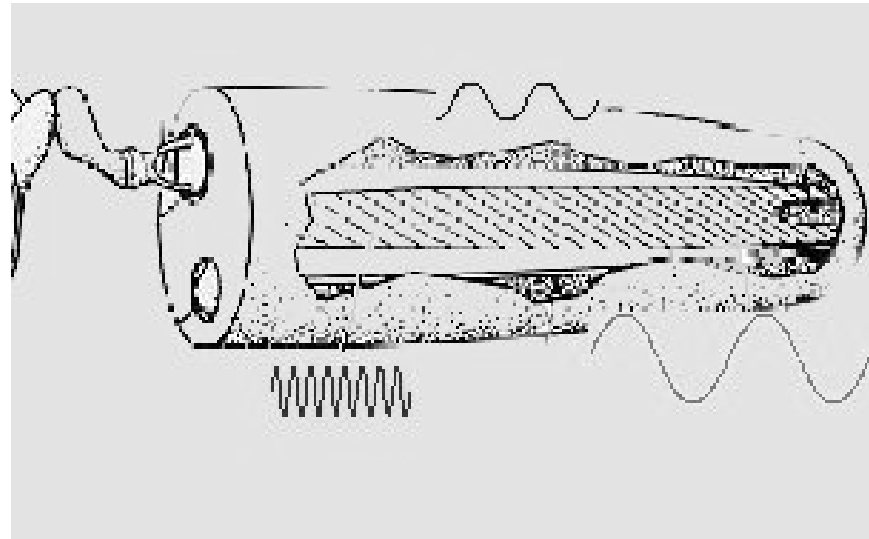
- Alta sensibilità alle differenze dei suoni tra le due orecchie
- Si percepiscono ritardi di pochi microsecondi tra due suoni

Rapporti fisica-percezione



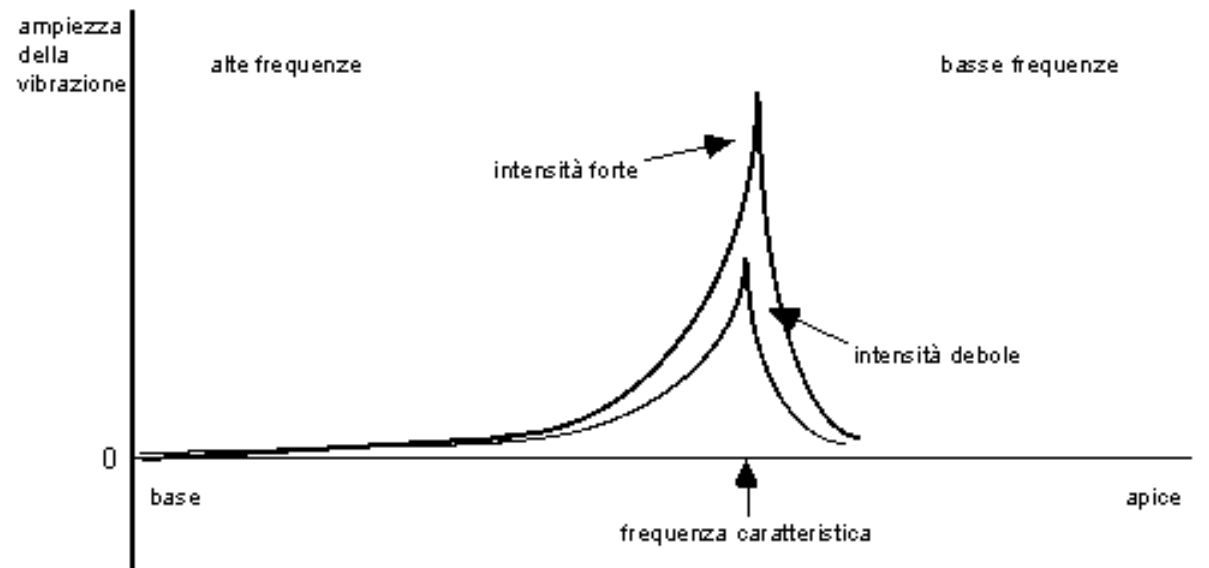
L'interferenza tra i suoni: mascheramento

- Funzionamento della membrana basilare
- Siamo in natura (non in matematica)
 - la regione del picco ha una dimensione
 - incertezza nella percezione dell'altezza di un suono



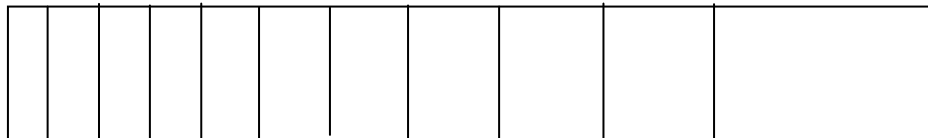
La causa del mascheramento

- I neuroni si “bloccano” per scaricare assieme al picco del segnale
- Coclea = phase-detector + frequency-discriminator

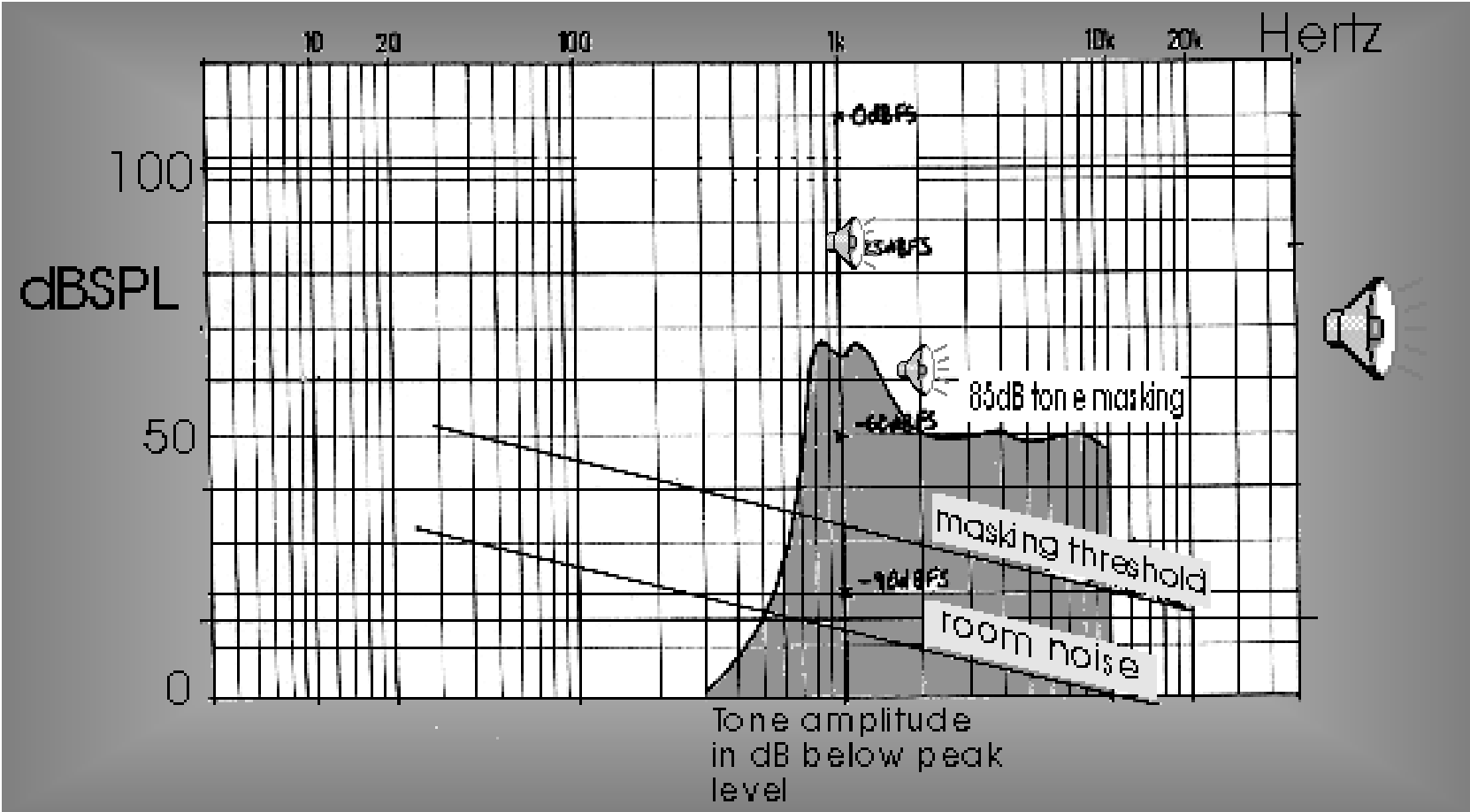


Nella vita quotidiana

- Non si riesce ad ascoltare qualcuno che bisbiglia dove qualcun altro sta urlando
- E' analogo all'effetto cattura nella radio FM
- Bande critiche di Fletcher



Il mascheramento



La segregazione del suono

- Onde da sorgenti differenti si sommano
 - risultato: forma d'onda complessa
 - parziali elaborate assieme dalla corteccia uditiva
- Formare un'immagine “acustica”
 - Analizzare le energie singole delle parziali
 - Reidentificare le sorgenti

Teorie sulla segregazione

- Fattori che influenzano la segregazione
 - coerenza/incoerenza degli attacchi del suono
 - condivisione/non della locazione spaziale tra le sorgenti
 - differenze nella struttura armonica
 - ...
- Teoria di Yost

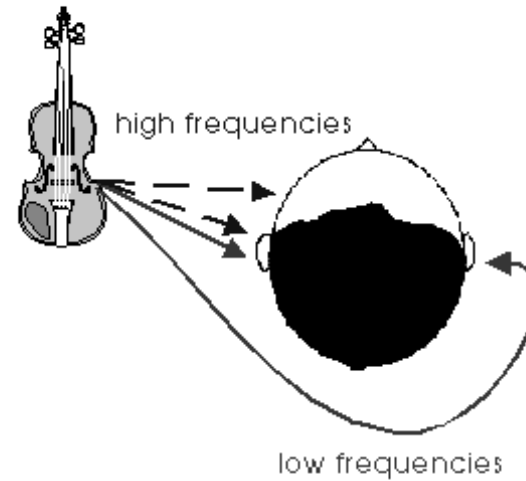
Localizzazione dei suoni

- Molto acuta
 - direzione dei suoni con un errore di pochi gradi
 - distanza delle sorgenti sonore
- Dipende probabilmente dalla differenza tra i suoni percepiti alle due orecchie

Evidenza sperimentale

- Localizzazione monoaurale: interazione tra
 - suono diretto che entra nel canale uditivo
 - suono riflesso dalle pieghe complesse dell'orecchio esterno
- Anche la localizzazione binaurale risente del filtraggio spettrale operato dal lobo
 - altezza rispetto all'ascoltatore
 - posizionamento davanti/dietro all'ascoltatore

Ruolo della testa

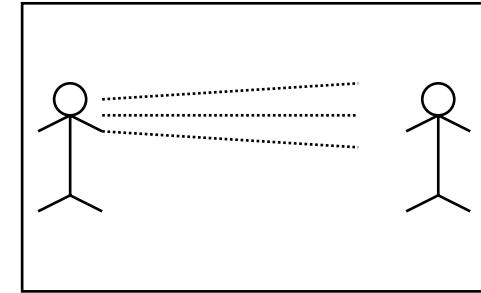


- Alte frequenze:
 - la testa getta “un’ombra acustica” (filtro passa-basso)
 - volume relativo del suono alle due orecchie differente
- Basse frequenze:
 - il suono subisce una diffrazione e avvolge la testa
 - ritardo tra i due suoni

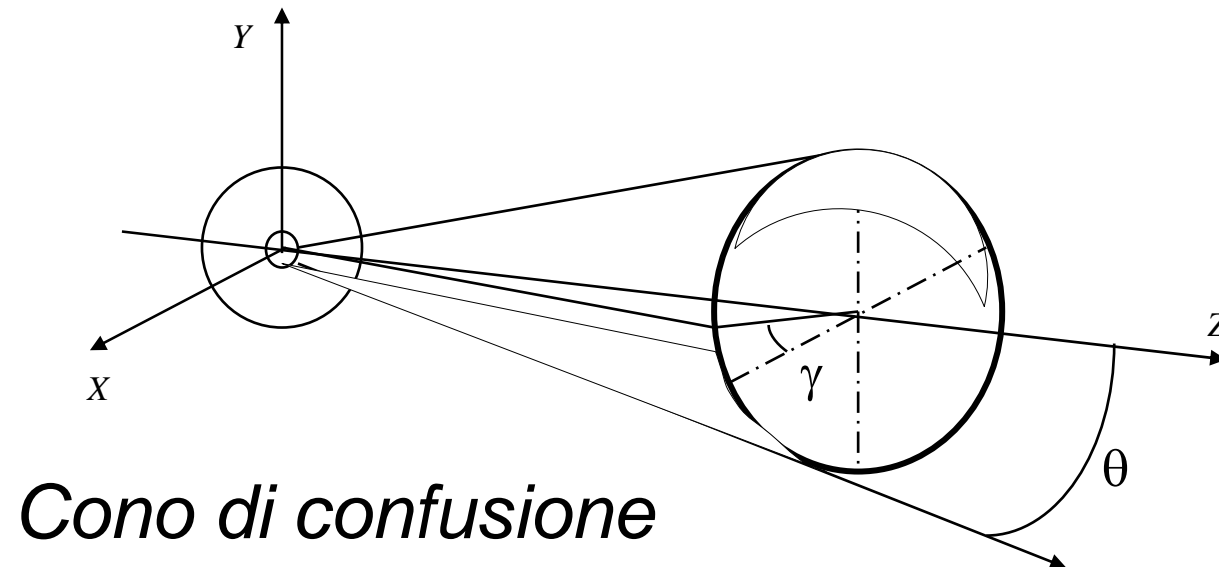
La teoria Duplex (Lord Rayleigh)

- La localizzazione del suono si basa su differenze interaurali
 - di intensità alle alte frequenze
 - di fase alle basse frequenze
- Teoria valida per i toni puri o suoni a regime
- Teoria attraente per gli ingegneri del suono

Una teoria più aggiornata



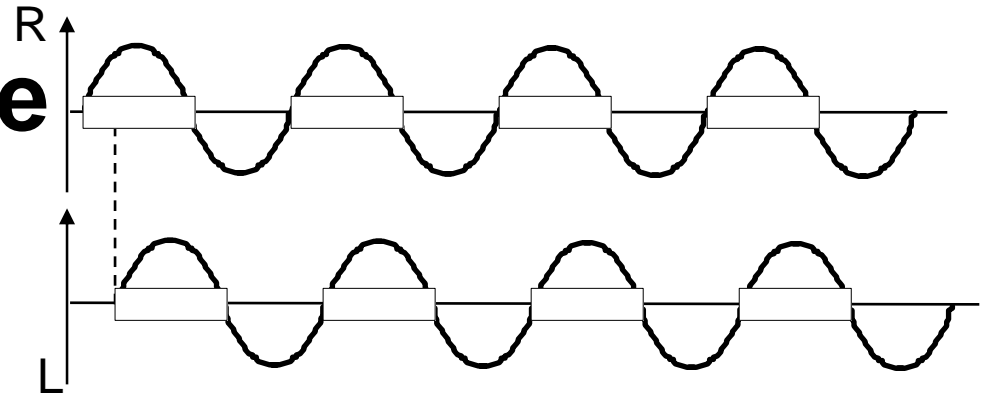
- Esperimento della camera anecoica
- La percezione della direzione dipende da almeno 4 fattori complementari



1. Rilevamento delle differenze di intensità

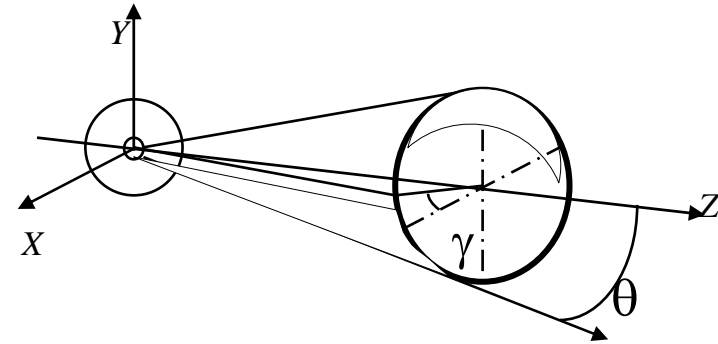
- Opera sia con suoni transitori che con suoni a regime
- E' efficace soprattutto alle alte frequenze (maggiori di 2 KHz)

2. Rilevamento delle differenze di fase



- Differenza temporale: un orecchio è più lontano dalla sorgente
- Funziona bene sotto i 1500 Hz
- Alle alte frequenze
 - cellule nervose non possono scattare tanto velocemente da mantenere l'info di fase
 - metodo ambiguo: alcuni ritardi potrebbero essere più lunghi di un ciclo
- Contribuisce alla lateralizzazione

3. Rilevamento tempi di attacco



- solo per suoni transitori ($\sim 100\text{ms}$)
- distanza tra le due orecchie = $\sim 15\text{cm}$: il suono viaggia per altri 19 cm (0.6 ms più tardi)
- lateralizzazione del suono entro pochi gradi

4. Forma orecchio esterno

- Usata per distinguere il davanti dal dietro
- Efficienza di convogliamento per le alte frequenze (> 5 KHz) dipende dalla direzione
- Forza relativa differente tra le componenti ad alta frequenza (davanti VS. dietro)

... Il movimento della testa

- Si muove per captare come cambia il suono
- Con un breve suono e testa rigidamente ferma, raramente sicuri della direzione
- Muovendo la testa e/o suono continuo o ripetuto, identificazione accurata

Conclusioni

- Funzionamento tonotopico della coclea
- Fisica-percezione-cognizione
- Mascheramento
- Localizzazione delle sorgenti sonore