

Altezza di un suono

Prof. Farabegoli Giorgio



I.T.T. “Marie Curie” di Savignano sul Rubicone (FC)

g.farabegoli@libero.it

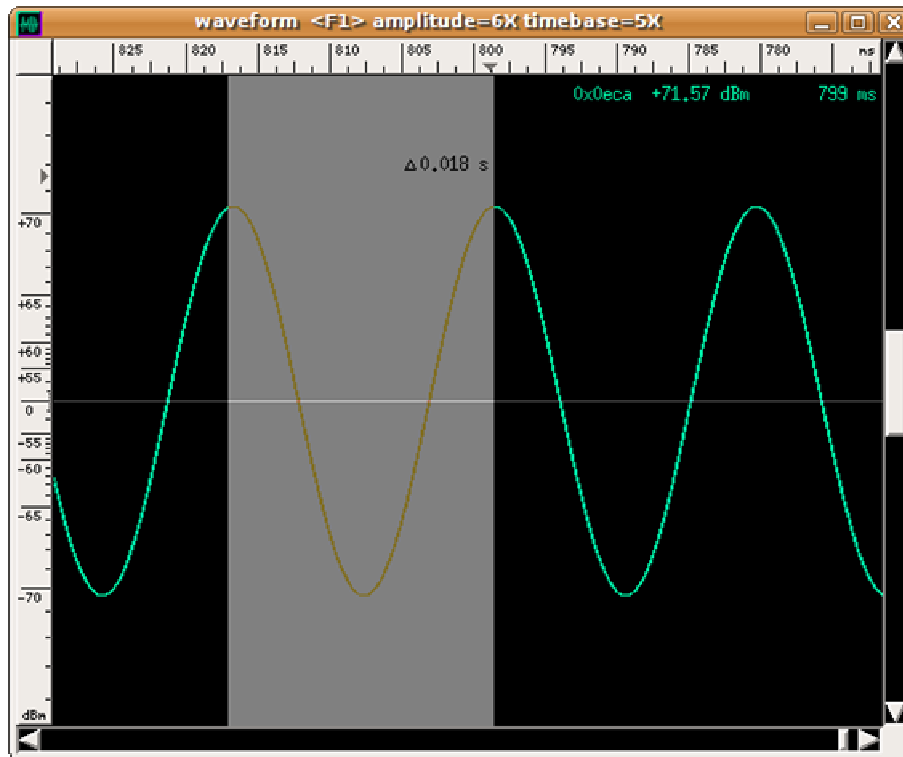
Percezione dell'altezza di un suono puro

- L'altezza di un suono è quell'attributo che ci consente di percepirlo come “nota” musicale, e che poi può essere adeguatamente trascritto con un sistema di simboli all'interno di un pentagramma.
- Il parametro fisico determinante per la generazione della sensazione di altezza di un'onda piana sinusoidale pura è la sua frequenza.
- Tale sensazione si può sperimentare ascoltando alcuni esempi relativi a “toni puri”, cioè onde costituite da una sola armonica, come sono, in prima approssimazione, quelle emesse da un diapason.
- Il suono diventa più acuto (o alto) al crescere della frequenza, e diventa più grave (o basso) quando la frequenza diminuisce.

Esempi di percezione di altezza di suoni puri



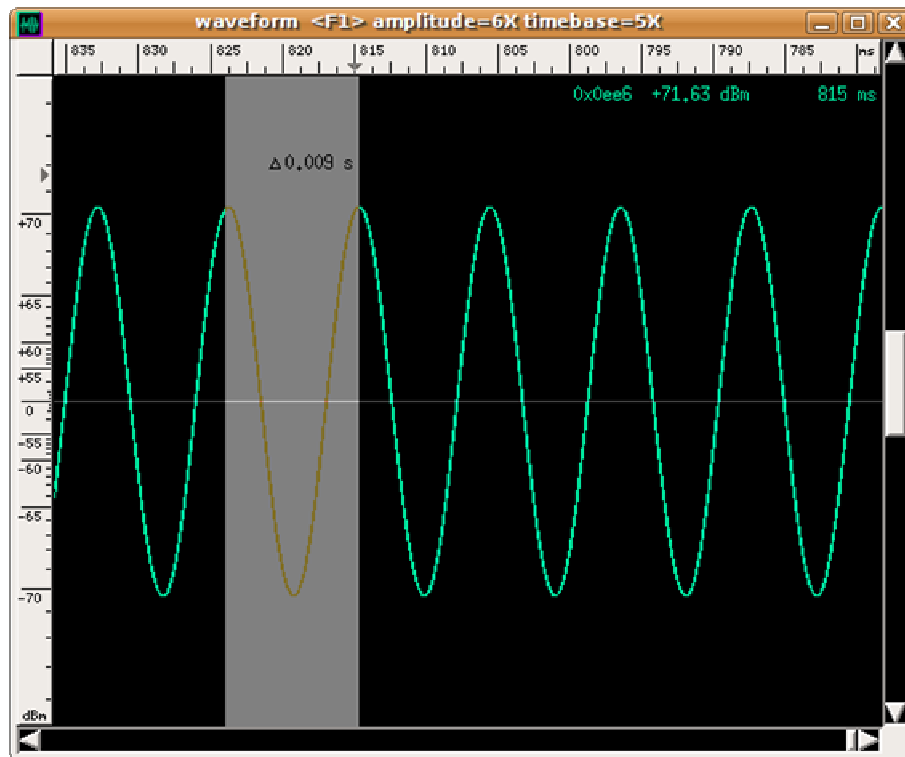
Suono puro a 55 Hz



Forma d'onda di
suono puro a 55 Hz



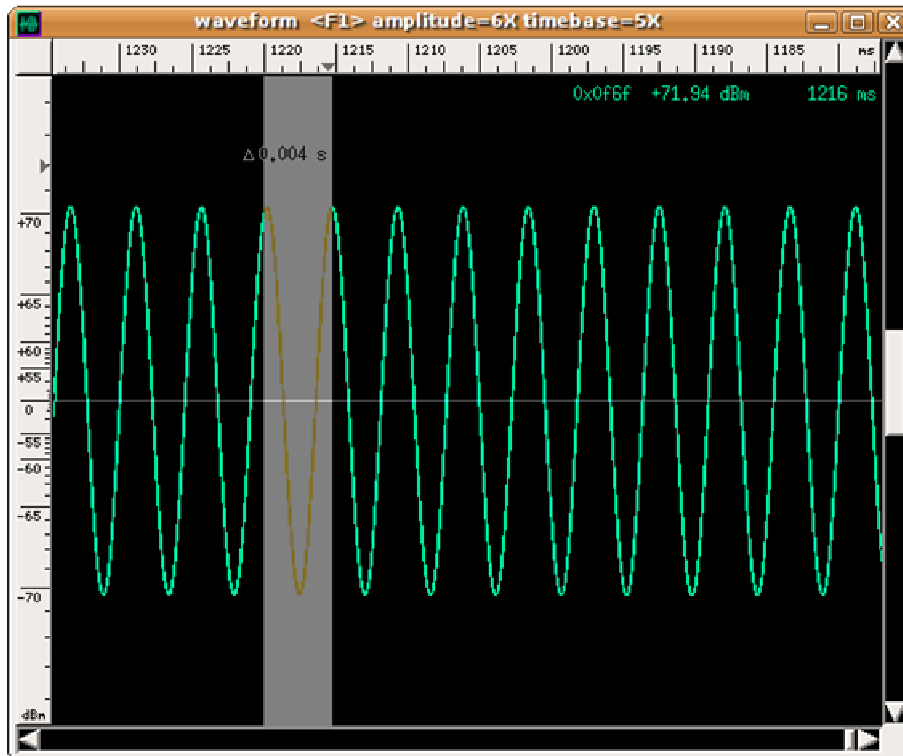
Suono puro a 110 Hz



Forma d'onda di
suono puro a 110 Hz



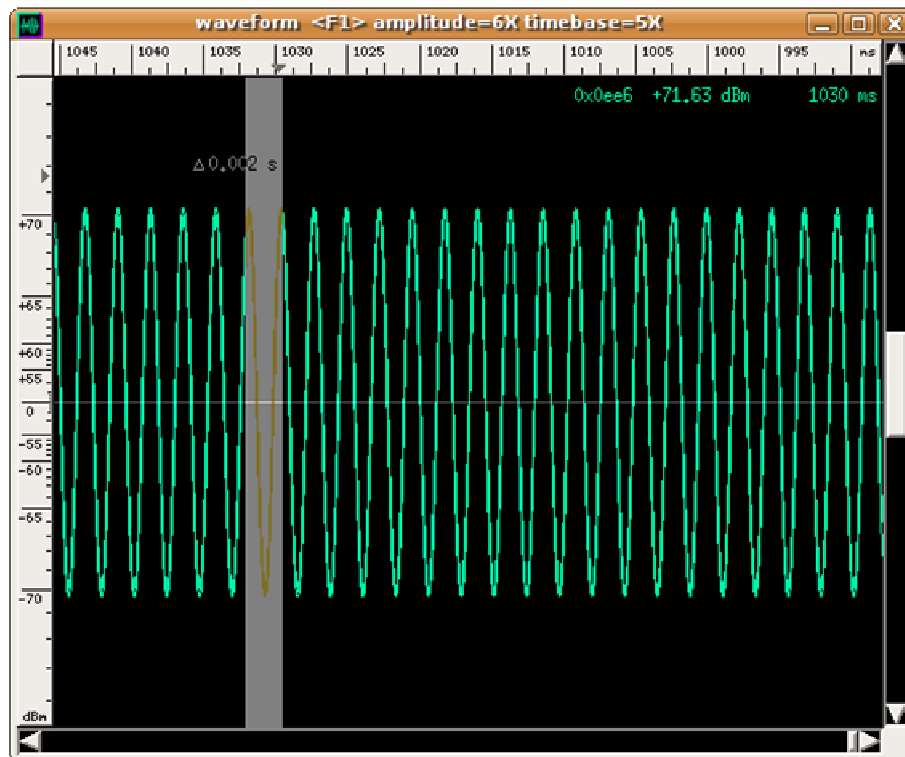
Suono puro a 220 Hz



Forma d'onda di
suono puro a 220 Hz



Suono puro a 440 Hz



Forma d'onda di
suono puro a 440 Hz

Le frequenze udibili dall'orecchio umano

- L'orecchio umano è in grado di percepire un suono solo se la sua frequenza è compresa tra circa 20 Hz e 20000 Hz, detti limiti di udibilità.
- Non tutti i suoni possono essere percepiti dall'orecchio umano, in particolare non sono percepibili i suoni con frequenze minori di 20 Hz, detti infrasuoni, e quelli con frequenze superiori a 20000 Hz, detti ultrasuoni.
- Noto l'intervallo di frequenze udibili, si può calcolare la lunghezza d'onda dei suoni corrispondenti, avendo una velocità del suono in aria pari a circa 343 m/s alla temperatura di 20 °C:

$$\text{Se } f = 20 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{343}{20} \cong 17\text{m}$$

$$\text{Se } f = 20000 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{343}{20000} \cong 0,017\text{m} = 1,7 \text{ cm}$$

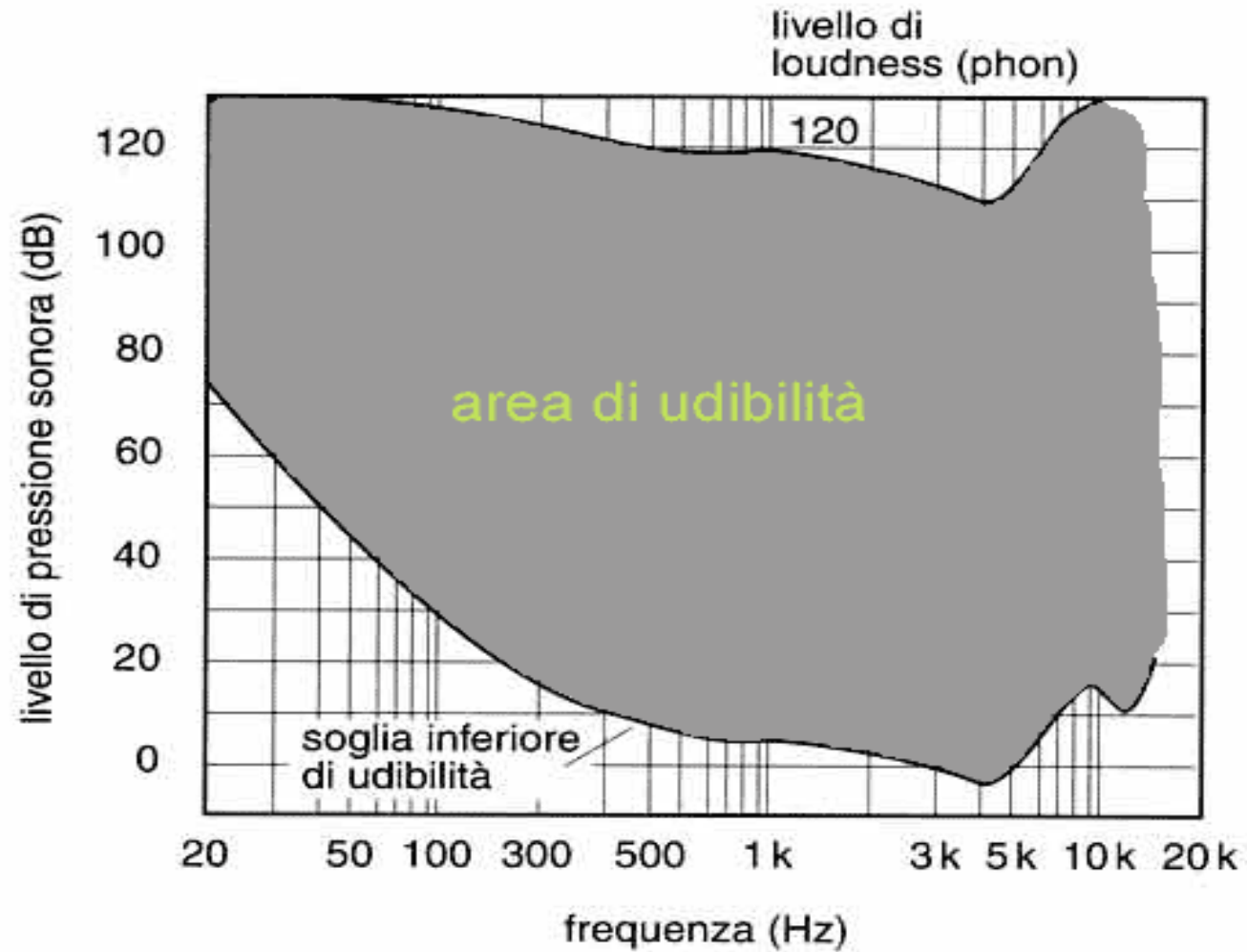
- Nel campo di udibilità dell'orecchio umano, quindi, abbiamo onde sonore di lunghezza d'onda compresa tra 1,7 cm (suoni acutissimi ad alta frequenza) e 17 metri (suoni gravissimi a bassissima frequenza)!
- Pertanto non tutte le perturbazioni periodiche che si propagano nello spazio sono percepibili dall'orecchio umano.
- Ad esempio, una pallina che oscilla appesa ad un filo non viene udita, a meno che la sua frequenza di oscillazione non risulti superiore ai 20 Hz.



- Le ali del colibrì (in inglese *hummingbird* = uccello ronzante) si muovono con una frequenza di circa 50 battiti al secondo, per cui è possibile percepirne il movimento come onda sonora (ronzio).



Grafico area di udibilità orecchio umano



Esperienza di ascolto di segnali sinusoidali puri da 20 Hz a 20000 Hz

- Si parte dalle frequenze più basse fino a quelle più acute.
- Il test di ascolto avviene tramite i seguenti suoni, intervallati per terzi d'ottava:
20 Hz, 25 Hz, 31 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 1250 Hz, 1600 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz, 3150 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz, 6300 Hz, 8000 Hz, 10000 Hz, 12500 Hz, 16000 Hz, 20000 Hz.
- Gli studenti devono indicare l'ultimo segnale percepito sulla fotocopia allegata.
- Infine viene realizzata una statistica per verificare la variabilità tra gli individui e la soglia di percezione del gruppo.

Statistica esperienza di ascolto

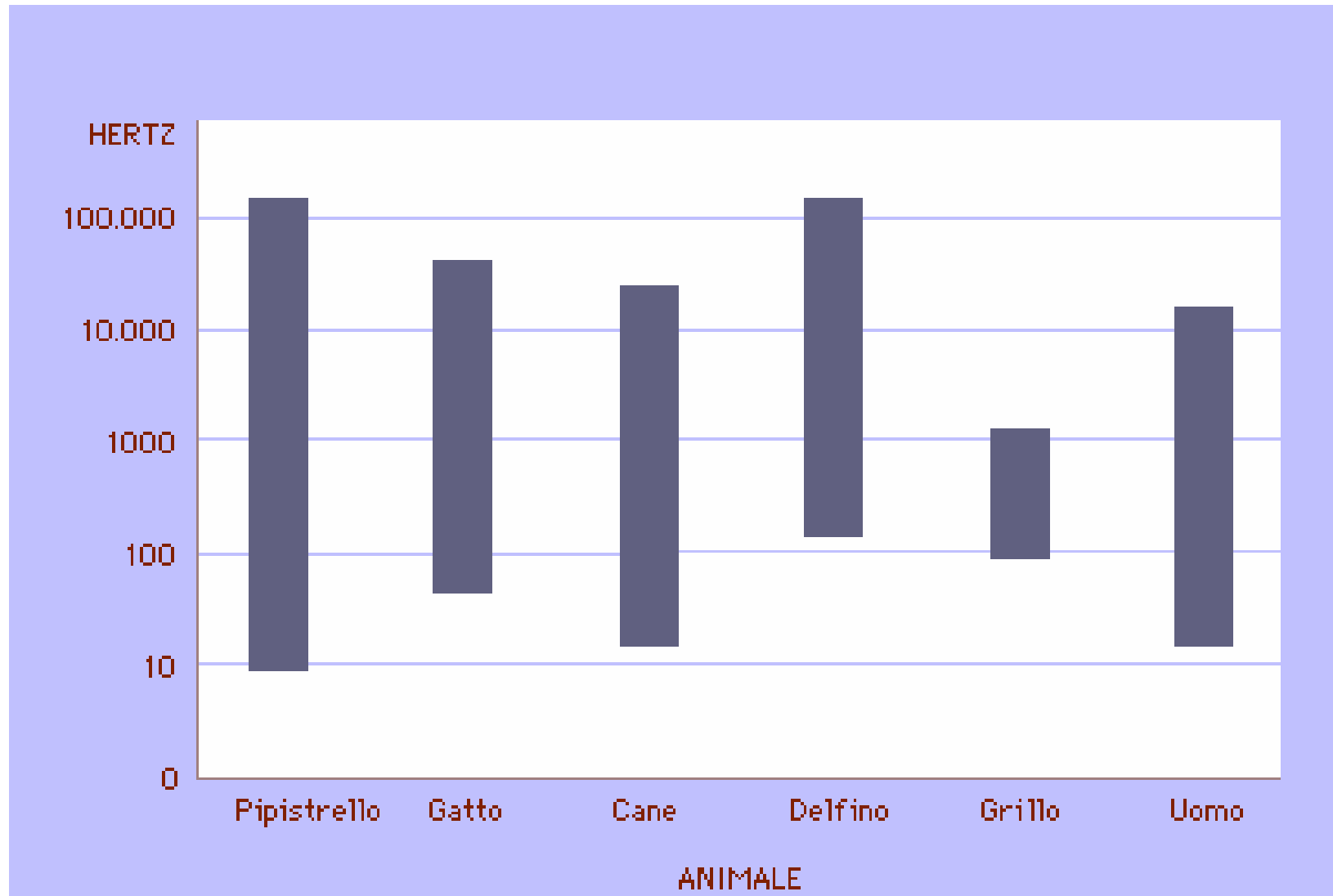
- Test 5000 Hz: percepito da _____ su _____
- Test 6300 Hz: percepito da _____ su _____
- Test 8000 Hz: percepito da _____ su _____
- Test 10000 Hz: percepito da _____ su _____
- Test 12500 Hz: percepito da _____ su _____
- Test 16000 Hz: percepito da _____ su _____
- Test 20000 Hz: percepito da _____ su _____

- Nella tabella sottostante si riportano gli intervalli di frequenze di suoni uditi da alcune specie animali:

Animale	Intervallo di frequenza udibile (Hz)
cane	10-30000
pipistrello	1000-100000
gatto	100-50000
delfino	10000-100000

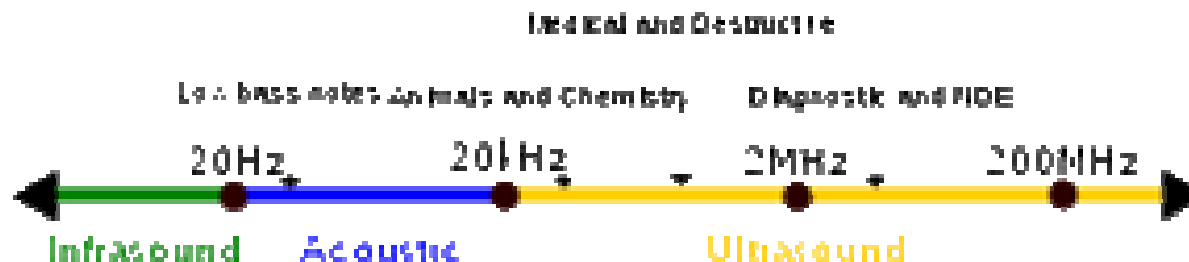
Intervalli di frequenze udibili da alcune specie animali

- Rispetto al campo di udibilità dell'orecchio umano, si può riscontrare una grande differenza nei suoni uditi da delfini e pipistrelli, dovuta al fatto che tali specie hanno sviluppato meccanismi di localizzazione e di comunicazione basati proprio sulla proprietà di percepire onde sonore ad elevata frequenza (ultrasuoni).



Infrasuoni

- Gli infrasuoni sono prodotti da tutte le vibrazioni meccaniche di bassa frequenza: possono essere prodotti da fenomeni naturali (tuoni, vento, onde longitudinali dei terremoti, ecc), da alcune macchine (motori diesel, compressori, ventilatori, aerei, ecc), da alcuni animali (elefanti, coccodrilli e balene, ecc).
- Lo studio della gamma di frequenza degli infrasuoni (da circa 16-18 Hz fino al limite minimo di 0,001 Hz) è la stessa che viene registrata dai sismografi ed utilizzata per il monitoraggio dei terremoti.



Benché gli infrasuoni non possano essere uditi, risultano percepibili attraverso lo scheletro, come si può sperimentare ponendosi vicino a un grosso diffusore acustico, e percependo “nel petto”, anziché nelle orecchie, le vibrazioni corrispondenti alle basse frequenze!

SPECIFICATIONS

Frequency Response:	15 to 23,000 Hz
Nominal Impedance:	16 ohms
Crossover Frequencies:	100, 800, 5000 Hz
Dimensions:	129.5 cm (51") h x 83.8 cm (33") w x 67.1 cm (26-7/16") d
Finish:	Satin Walnut
Furniture Style:	Traditional
Shipping Weight:	142 kg (315 lbs)



Diffusori
Electrovoice
Patrician 800

Diffusori Electrovoice Patrician 800

Annuncio speciale

Vendo Electro Voice Patrician 800, modello caricato a tromba che non ha nulla a che fare con quelle che poi hanno prodotto in bass-reflex (che si differenziano di molto nella timbrica a vantaggio ovviamente della 800); esemplari introvabili, 4 vie multiamplificabili, con il famoso ed inarrivabile woofer da 76 cm mod. 30W che scende a 15 Hz. Tale woofer è equivalente a 4 woofer da 38 cm; il medio-basso è da 30 cm mod. SP12D; il medio-alto è a tromba mod. T25A + 8HD, il tweeter a tromba è il famoso T350 che arriva a 23 kHz. Tutti i componenti sono originali in alnico 5, casse in mogano, perfette intonse sia nei mobili che nei componenti, peso netto 125 kg. cad. È un diffusore che accetta tutte le amplificazioni, dai 3 W per canale di una 2A3 alle strapotenze dei finaloni a transistor. No-compromise, ai tempi era il diffusore più costoso in assoluto.



- Gli infrasuoni sono caratterizzati dalla capacità di propagarsi su lunghe distanze e di aggirare gli ostacoli con poca dissipazione.
- Tuoni lontani possono non essere uditi dall'orecchio umano, ma propagano onde sonore di pressione infrasoniche che possono far vibrare i vetri delle finestre.
- Pur non potendo essere uditi, molte persone possono avvertire gli infrasuoni tramite una vibrazione che attraversa il corpo.
- La lunga esposizione agli infrasuoni può creare sensazioni sgradevoli, come senso di fatica e di nausea.



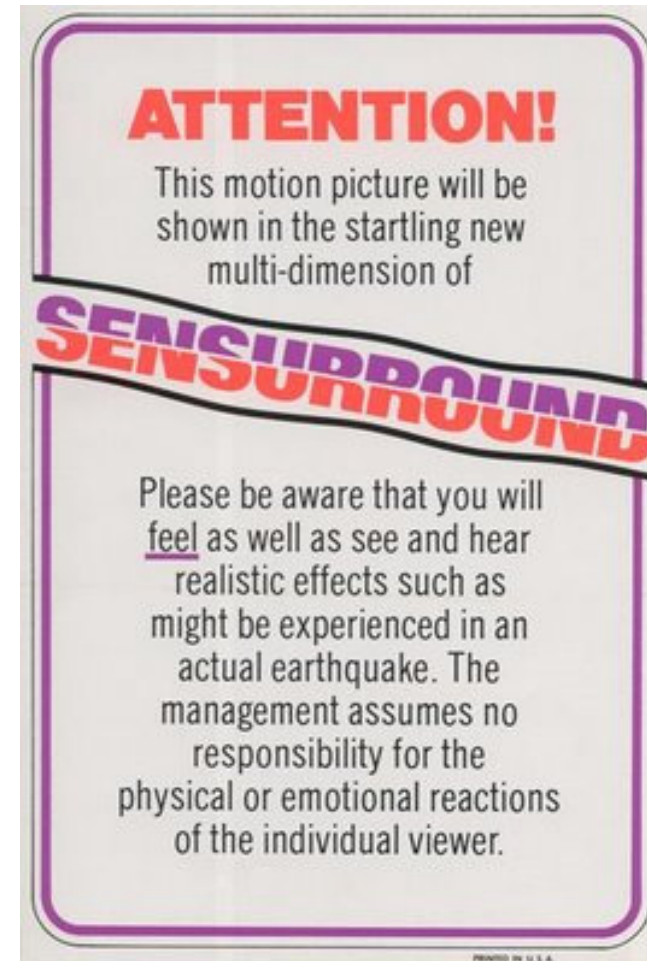
Woofer da 60 pollici di
diametro

- Balene, elefanti, ippopotami, rinoceronti, giraffe, alligatori, ecc, utilizzano infrasuoni per comunicare a distanze fino a molti chilometri.
- Gli uccelli migratori usino gli infrasuoni generati da fonti naturali (es. flusso d'aria turbolento che scavalca le catene montuose) come un aiuto alla navigazione.
- Gli elefanti, utilizzando le zampe, producono onde infrasoniche che viaggiano attraverso il terreno e sono avvertite da altri gruppi.
- Gli animali sono noti per la loro capacità di percepire le onde infrasoniche prodotte da catastrofi naturali (terremoti, eruzioni vulcaniche, ecc), che si propagano attraverso il terreno, e utilizzare questi segnali come preallarme per lasciare la zona prima che accada l'evento.



Percezione umana degli infrasuoni

- Si ritiene che gli infrasuoni, anche se non percepibili dall'orecchio umano, siano causa di ansia, tristezza, brividi e impercettibili spostamenti d'aria.
- Onde ad alto volume comprese tra 0,5 e 10 Hz risultano sufficienti a mettere in vibrazione il vestibolo (parte del labirinto dell'orecchio).
- Gli infrasuoni prodotti, ad esempio, dai condizionatori e dagli aerei provocano vertigini, nausea e mal di testa.



Percezione umana degli infrasuoni

- Poiché gli infrasuoni non sono coscientemente percepiti, è possibile far percepire alle persone un vago effetto di sensazione soprannaturale, in associazione agli eventi che si stanno svolgendo.
- Alcune colonne sonore cinematografiche fanno uso di infrasuoni per creare disorientamento nel pubblico, come nel film “Terremoto” del 1974, per il quale venne usato un sistema denominato “Sensurround”.
- Questo sistema era costituito semplicemente da un insieme di grandi subwoofer progettati per produrre infrasuoni che potevano essere percepiti fisicamente, ma non sentiti dall’orecchio umano.



Percezione umana degli infrasuoni

- Il 31 maggio 2003 un team di ricercatori inglese ha effettuato un esperimento con il quale circa 750 persone sono state esposte a musica mescolata con suoni a forma d'onda sinusoidale di frequenza pari a 17 Hz, usata ad un livello sonoro vicino alla soglia di udibilità.
- Il concerto sperimentale è avvenuto nella sala da concerto “Purcell Room” di Londra nel corso di 2 spettacoli, ciascuno composto da 4 brani musicali. Due dei pezzi in ogni concerto avevano un suono di 17 Hz in sottofondo, senza che gli ascoltatori ne fossero a conoscenza.
- La presenza dell'infrasuono ha determinato, in un numero significativo di intervistati (il 22%), un senso di ansia, disagio, nervosismo, sentimenti di orrore o paura, brividi lungo la colonna vertebrale.



“Purcell Room” di Londra

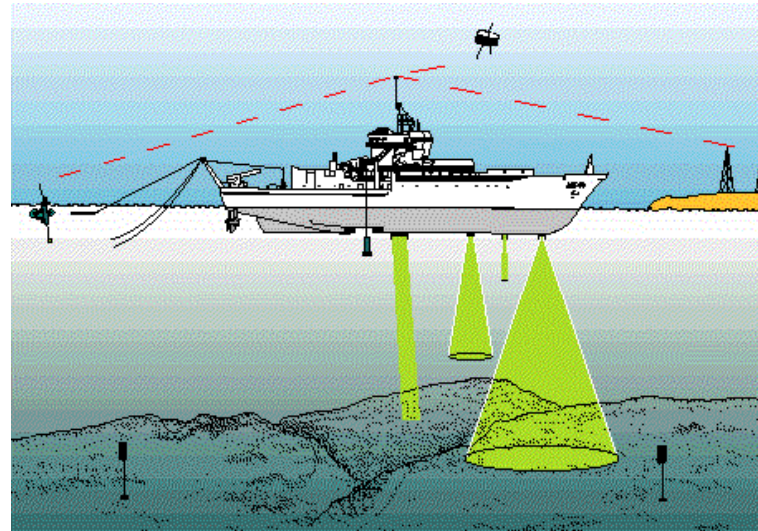
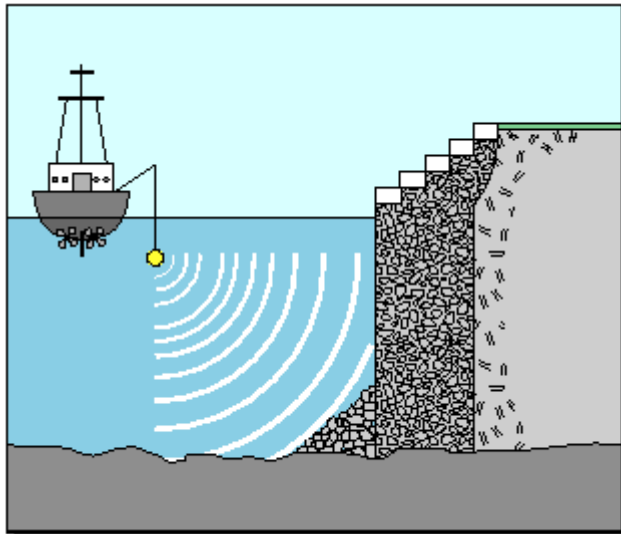
Ultrasuoni

- Gli ultrasuoni sono onde meccaniche sonore, le cui frequenze sono superiori a quelle mediamente udibili dall'orecchio umano.
- La frequenza per convenzione utilizzata per dividere le onde sonore dalle onde ultrasoniche è fissata in 20000 Hz = 20 kHz.
- Gli ultrasuoni ad alta frequenza vengono utilizzati in medicina, ad esempio nelle ecografie, poichè permettono di osservare, senza danno per il paziente, parti interne del corpo umano con una metodologia simile a quella basata sui raggi X, ma con un dettaglio di risoluzione e una penetrazione molto minori.

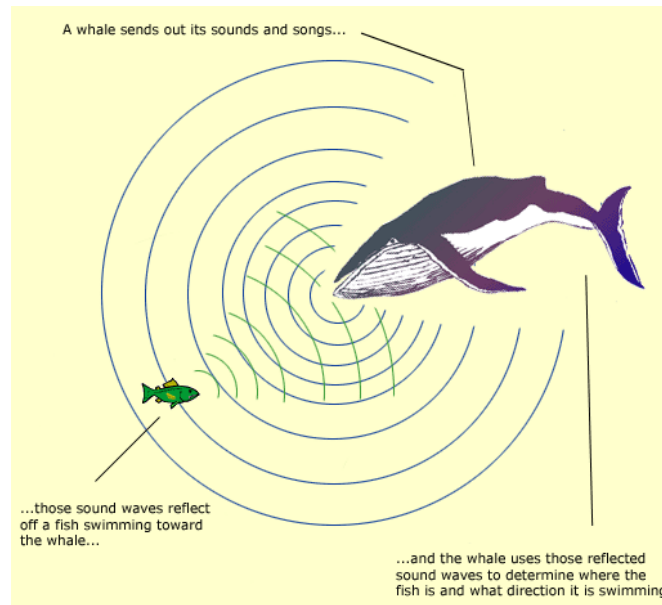
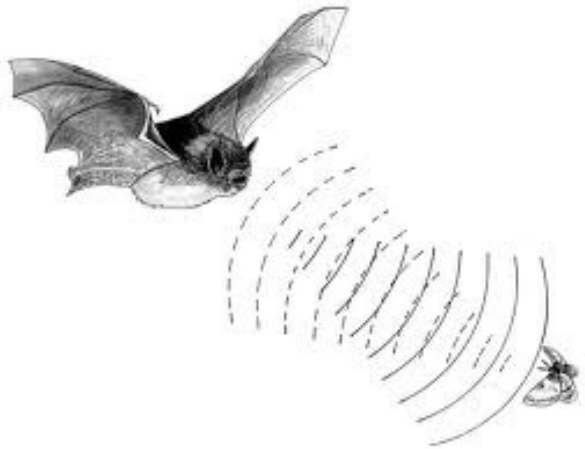
Ecografia di feto
di 23 settimane



- Il SONAR (SOund NAVigation and RANcing = navigazione e localizzazione tramite suono) sfrutta le proprietà degli ultrasuoni che possono propagarsi in acqua per molti chilometri.
- Questo dispositivo permette di conoscere la profondità del mare e di controllarne il fondo, consentendo di ricavare informazioni sull'ambiente naturale o sulla presenza di imbarcazioni affondate.
- Il SONAR genera ultrasuoni, che poi vengono indirizzati verso degli obiettivi che li riflettono. Grazie a un rilevatore si raccolgono le onde riflesse e, nota la velocità del suono nell'acqua e il tempo impiegato dalle onde per compiere l'intero cammino di andata e ritorno, si riesce a calcolare a che distanza si trova l'oggetto in questione.



- I pipistrelli sfruttano gli ultrasuoni per muoversi nel buio o per catturare prede nella notte: essi, dopo aver prodotto degli ultrasuoni ed averli indirizzati verso ciò che devono rilevare, calcolano il tempo di “andata e ritorno” dell’onda, e dunque la distanza del loro obiettivo.
- I delfini e le balene utilizzano gli ultrasuoni per comunicare tra loro.
- Per topi e ratti sono in commercio apposite apparecchiature ad ultrasuoni, denominate derattizzatori ad ultrasuoni, che generano in loro uno stress psicofisico, senza tuttavia ucciderli, costringendoli quindi ad abbandonare un luogo precedentemente occupato ed ora diventato per loro ostile.



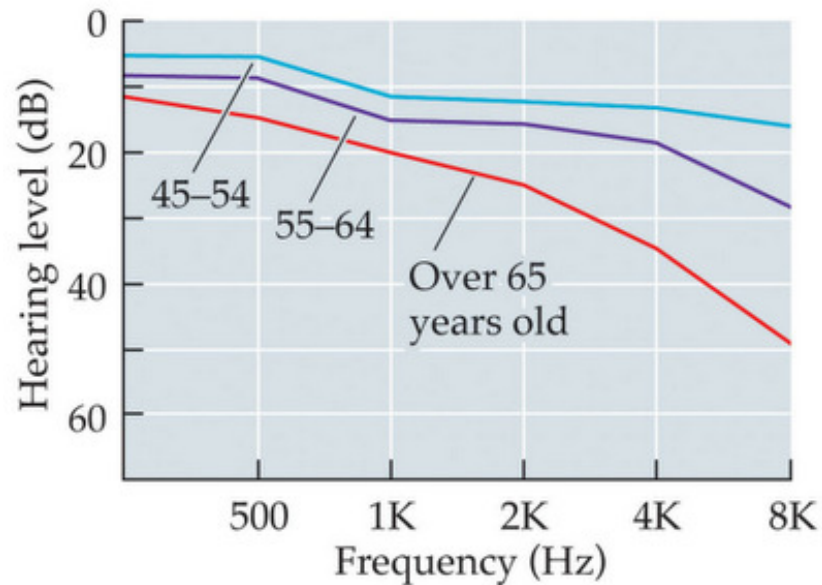
- Tramite ultrasuoni vengono effettuati controlli non distruttivi sui cordoni di saldatura fra metalli.
- Gli ultrasuoni si propagano nel metallo e, ogni volta che nel cordone in questione è presente un'imperfezione (bolla d'aria, cricca, ecc), la massa volumica cambierà rispetto al resto del cordone di saldatura, e parte degli ultrasuoni verranno riflessi.
- Noi vediamo questa onda di riflesso in uno schermo e, in base alla scala dello schermo, riusciamo ad individuare la posizione approssimativa del difetto.

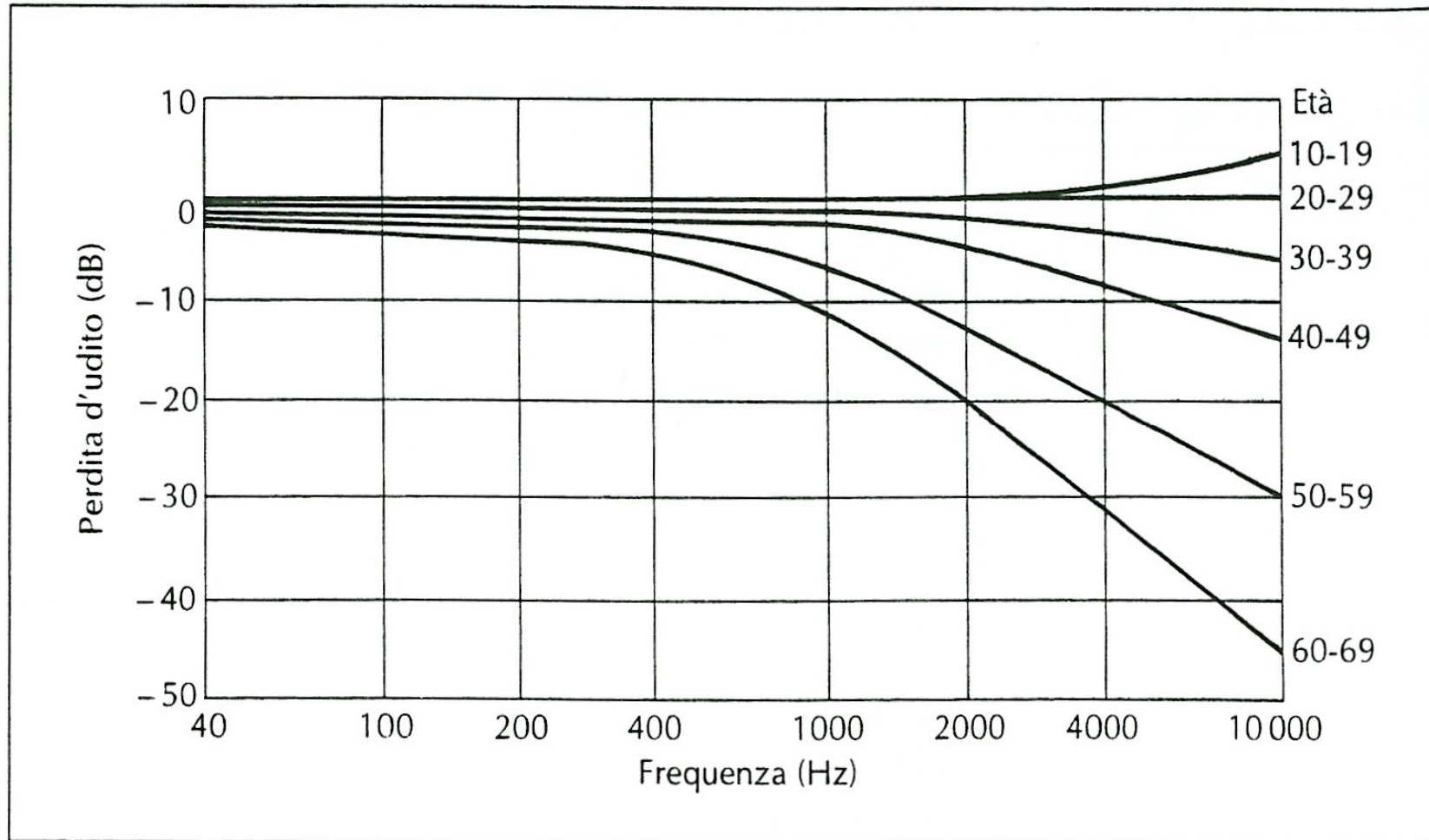
Controllo su saldature
tramite ultrasuoni



Diminuzione della sensibilità uditiva alle alte frequenze con l'età

- L'orecchio umano può udire suoni nell'intervallo di frequenze dai 20 Hz ai 20000 Hz, limite superiore che tende ad abbassarsi con l'avanzare degli anni.
- Anche alcune caratteristiche del suono vengono compromesse dall'invecchiamento dell'apparato uditivo: timbro, livello sonoro, transienti di attacco e decadimento. L'avanzare dell'età riduce la selettività dell'ascoltatore di musica.





- Variazione di capacità uditiva dell'orecchio umano in dB al variare della frequenza del suono per diverse fasce d'età, riferita alla fascia di 20-29 anni (figura tratta dal testo "Fisica nella musica" di Andrea Frova).

I suoni bassi sono quelli emozionalmente più coinvolgenti



Brano “Penny Lane” dei Beatles senza Bass-loudness



Brano “Penny Lane” dei Beatles con Bass-loudness
(Bass-Boost + 9 dB)



Brano “Hotel California” degli Eagles senza Bass-loudness



Brano “Hotel California” degli Eagles con Bass-loudness
(Bass-Boost + 9 dB)

Bibliografia

- Frova Andrea, “Fisica nella musica”, Zanichelli editore.
- Farina Angelo, dispense in PowerPoint del corso di “Acustica applicata”, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Parma.
- Buccignone Giuseppe, “Corso di principi e modelli della percezione”, Dipartimento di Scienze dell’Informazione, Università di Milano.
- “Fisica, Onde, Musica”, sito prodotto dal Dipartimento di Fisica dell’Università di Modena e Reggio Emilia:
<http://fisicaondemusica.unimore.it/>
- Wikipedia, enciclopedia libera online: <http://it.wikipedia.org>
- <http://archives.telex.com/archives/EV/Speakers/EDS/Patrician%20800%20EDS.pdf>
- http://www.corriere.it/Primo_Piano/Scienze_e_Tecnologie/2003/09_S_ettembre/08/infrasuoni.shtml