

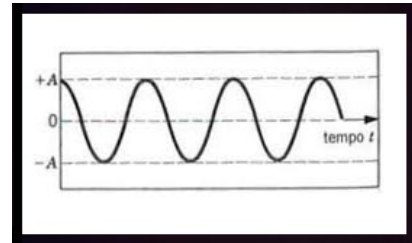
CORSO DI FISICA 2

ONDE ELASTICHE ACUSTICHE-SUONO

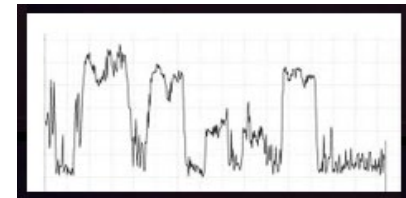
LEZIONE 29

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

SUONO = fenomeno oscillatorio di un mezzo propagante prodotto dalla **VIBRAZIONE REGOLARE** di un corpo



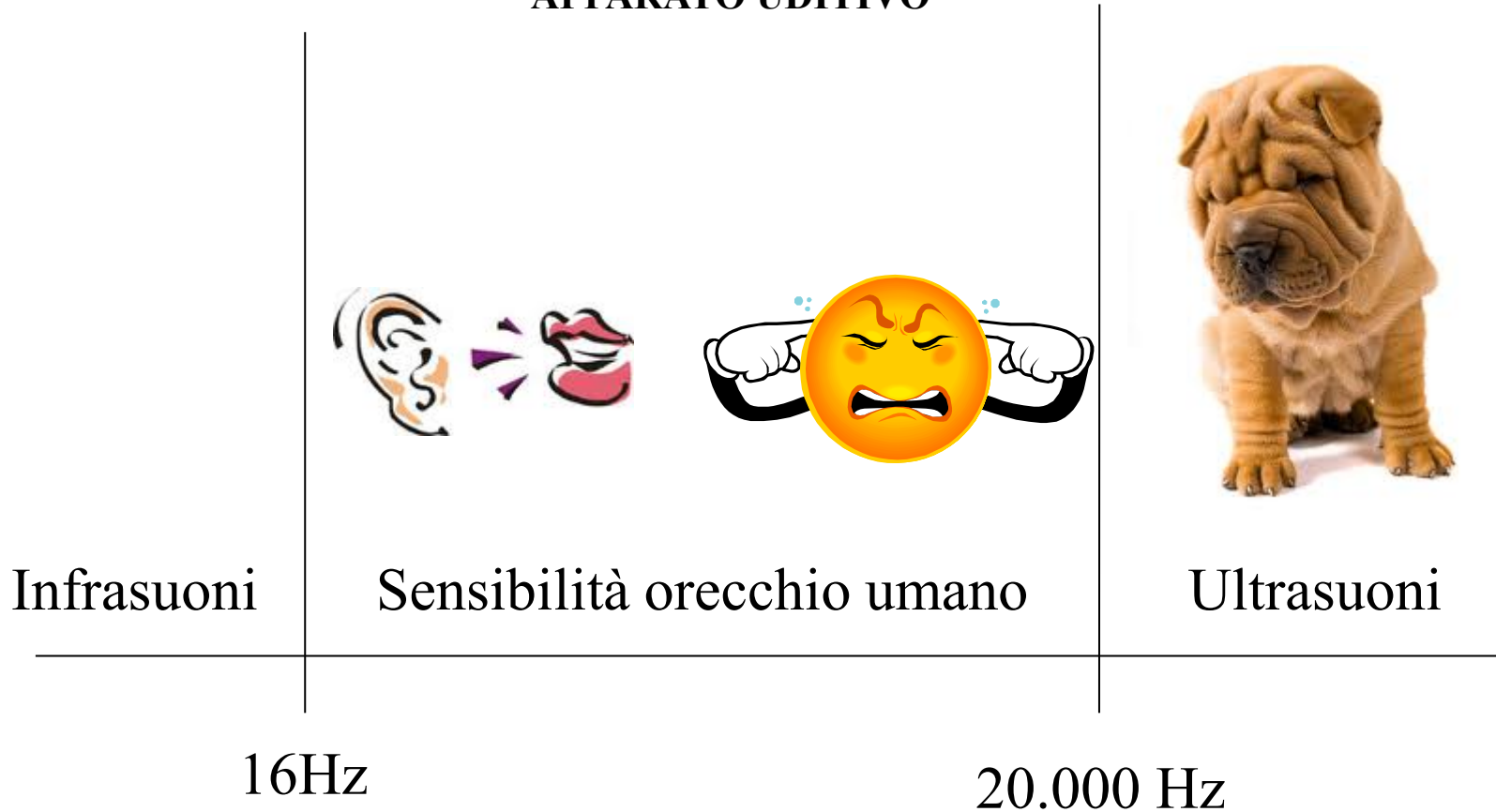
RUMORE = Fenomeno oscillatorio di un mezzo propagante prodotto dalla **VIBRAZIONE NON REGOLARE** di un corpo



ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

CARATTERISTICA DELLE ONDE ACUSTICHE = UDIBILITA'

APPARATO Uditivo

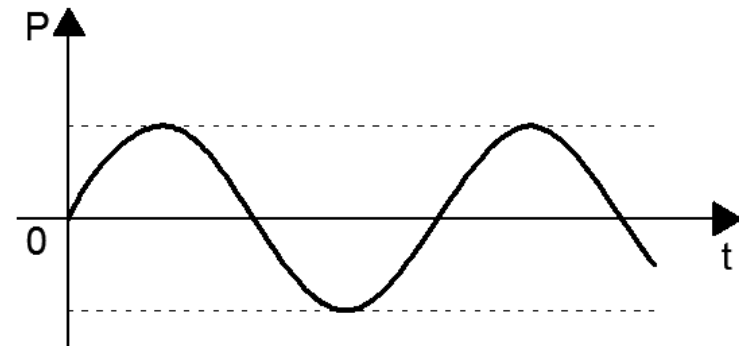
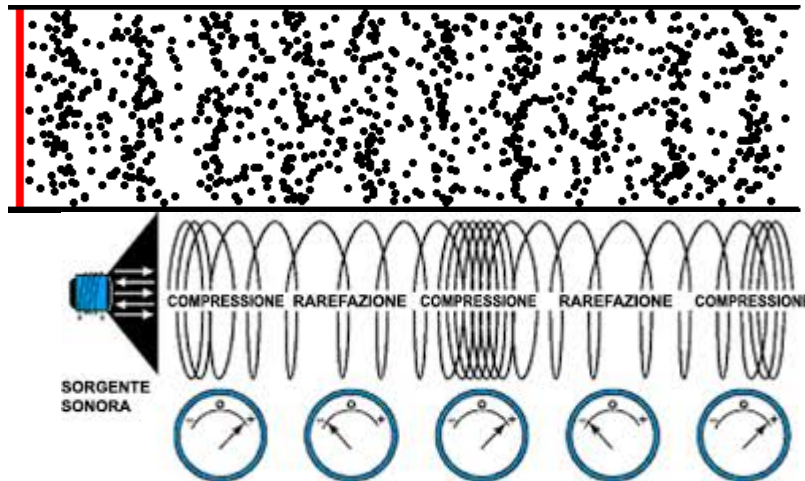


ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

PROPAGAZIONE

Hanno bisogno di un MEZZO PROPAGANTE

La vibrazione si propaga perché il mezzo è interessato da compressioni/rarefazioni progressive



ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

Velocità v_s di propagazione del suono

→ Da cosa dipende?

Ricordare la velocità di propagazione di un'onda meccanica in un mezzo 3D

$$v = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

P = modulo di compressione [Pa]

ρ = densità volumica [Kg/m³]

IN ARIA

Con $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e $\rho = 1,29 \text{ Kg/m}^3$ si calcola: $V_s = 278,4 \text{ m/s}$

TALE VALORE E' SOTTOSTIMATO,

perché sperimentalmente $v_s = 330 \div 340 \text{ m/s} = 1152 \div 1224 \text{ km/h}$

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

SPERIMENTALMENTE: anche la temperatura T dell'aria influisce su v_s

MICROSCOPICAMENTE: una grande agitazione delle particelle influisce positivamente sulla propagazione ordinata delle oscillazioni → i suoni si propagano con velocità maggiore nell'aria più CALDA!

→ Presenza di un fattore correttivo $\gamma \sim 1,4$ nel modulo di compressione:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}} \cong 340 \text{ m / s}$$

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

Nei liquidi e nei solidi, ovviamente, le particelle sono più legate e trasmettono PIU' RAPIDAMENTE le perturbazioni di pressione



LE VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE SONORA IN MEZZI PIÙ DENSI SONO SISTEMATICAMENTE MAGGIORI DI QUELLE IN MEZZI MENO DENSI

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

v PROPAGAZIONE SUONO

Dipende dal mezzo e dalla sua temperatura (v aumenta con T)

Mezzo	Velocità (m/s)
Idrogeno (0 °C)	1.286
Aria (0 °C)	331
Aria (20 °C)	343
Ossigeno (0 °C)	317
Elio (0 °C)	972

Liquidi a t=25 °C	Velocità (m/s)
Glicerina	1.904
Acqua	1.493
Mercurio	1.450
Cherosene	1.324
Alcol etilico	1.143

Solidi a t=25 °C	Velocità (m/s)
Alluminio	6.420
Pirex vetro	5.640
Vetro	5.200
Rame	5.010
Ferro	5.000
Acciaio	4.880
Ottone	4.700
Marmo	3.800
Mattoni	3.650
Legno	3.350
Oro	3.240
Gomma	1.600
Piombo	1.960

LE PROPRIETA' DEL SUONO

Sensazioni fisiologiche corrispondenti a PARAMETRI FISICI dell'onda

ALTEZZA → Frequenza di vibrazione (suoni ACUTI/GRAVI)

INTENSITA' → Ampiezza dell'onda (suoni FORTI/DEBOLI)

TIMBRO → Qualità del suono (ogni sorgente ha una qualità diversa!)

DURATA → Durata temporale del fenomeno sonoro

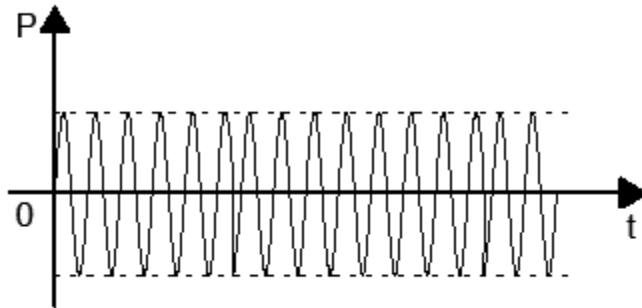
ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

ALTEZZA DEL SUONO

È PROPORZIONALE ALLA FREQUENZA DELLA FONTE SONORA

SUONO ACUTO

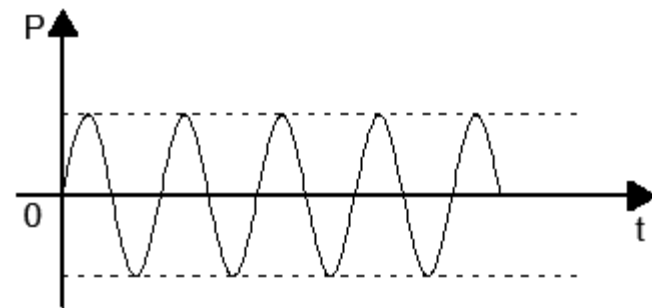
(“Alto”)



Vibrazione di frequenza maggiore

SUONO GRAVE

(“basso”)



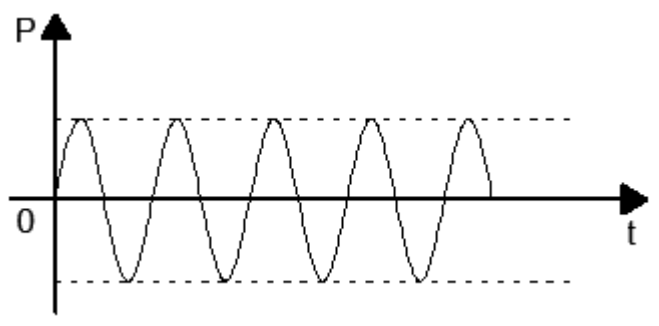
Vibrazione di frequenza minore

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

INTENSITA' SONORA

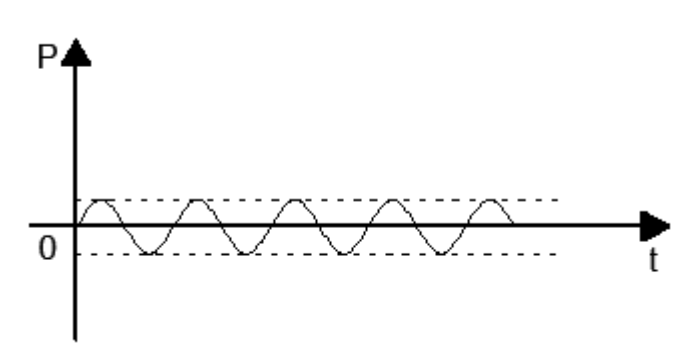
È LEGATA ALL'AMPIEZZA DELLA VIBRAZIONE

SUONO "FORTE"



Vibrazione ampia

SUONO "DEBOLE"



Vibrazione meno ampia

LIVELLO SONORO = misura dell'intensità del suono percepita

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

Come misurare il livello sonoro?

Dipende da due fattori: **sorgente (potenza)** e **l'apparato uditivo**

POTENZA I (sorgente)=energia al secondo che arriva su 1m^2 (W/m^2)



STIMOLO UDITIVO J



Che relazione? Ossia, come l'orecchio trasforma in sensazione (stimolo) un segnale ricevuto?

Fisiologicamente, l'intensità dei suoni uditi spazia da $10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$ (soglia di udibilità) a $1 \text{W}/\text{m}^2$ (soglia del dolore)

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

L'ORECCHIO NON E' UN RECETTORE LINEARE!

Di fronte a due sorgenti che emettono segnale di potenza doppia ($I_2 = 2I_1$), io non percepisco uno stimolo doppio ($J_2 \neq 2J_1$)!!!

$$J = \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

I_0 è la soglia di udibilità di 10^{-12} W/m²



ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

DECIBEL= Unità di misura dello stimolo sonoro

J = differenza esponenti fra la potenza irradiata e quella di riferimento moltiplicata per 10

Es. se $I = 10^{-6} \text{ W/m}^2$, allora la sensazione sonora quale è?

$$\frac{I}{I_0} = \frac{10^{-6} \text{ W / m}^2}{10^{-12} \text{ W / m}^2} = 10^{-6+12} = 10^6$$

L'esponente è 6 = LIVELLO SONORO DI 60 dB

Ricordare: $10^{-12} \text{ W/m}^2 = 20 \mu\text{Pa}$



ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

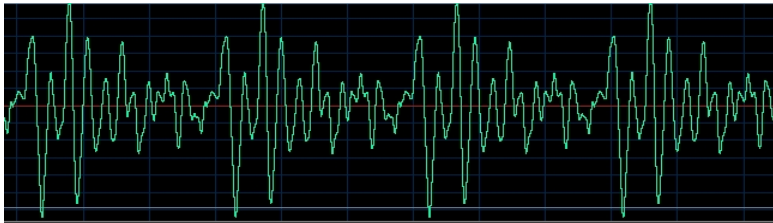
(CLASSIFICAZIONE LIVELLI DEL SUONO)

Livello del suono (dB)	Pressione sonora (μPa)	Esempi	Fascia
140	200.000.000	motore jet	fascia dannosa
130	63.245.555	martello pneumatico	
120	20.000.000	veicolo ad elica	
soglia del dolore			
110	6.324.555	discoteca	fascia critica
100	2.000.000	macchinari industriali	
90	632.455	veicolo pesante	
80	200.000	traffico intenso	fascia di sicurezza
70	63.245	aspirapolvere	
60	20.000	uffici	
50	6.324	musica a basso volume	
40	2.000	biblioteca	
30	632	passi sulle foglie	
20	200	abitazione di notte	
10	63	"tic-tac" di un orologio	
0	20	soglia dell'udibile	

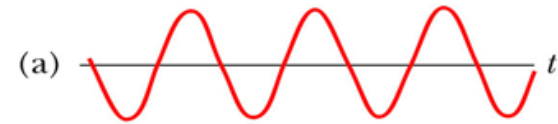
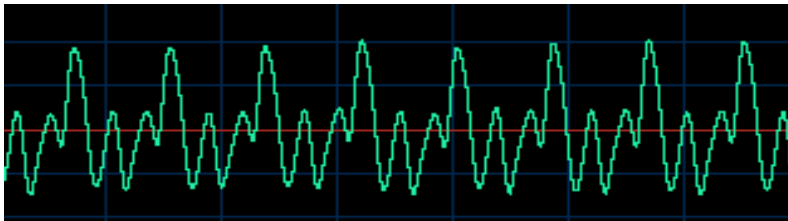
ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

TIMBRO

E' dovuto alla diversità di profilo dell'onda = diversità di sorgente e diversità di MODO DI VIBRAZIONE



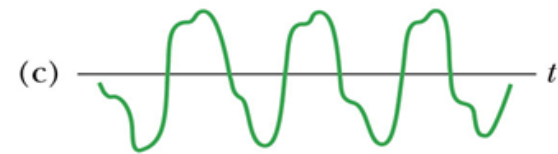
Uno stesso corpo sorgente può vibrare in DIVERSI MODI



Diapason



Flauto



Clarinetto

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

Per capirlo...

I SUONI ARMONICI

Es. Corda di violino



Se ho 2 estremi fissi si instaurano delle ONDE STAZIONARIE = la corda può vibrare con INFINITE FREQUENZE legate alla lunghezza della corda

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

Corda con due punti fissi (vibrazioni stazionarie)

1	Nota fondamentale Es. DO $v_1 = \frac{V}{2L}$
1/2	2° arm. DO all'OTTAVA $v_2 = 2 \cdot \frac{V}{2L}$
1/3	3° arm. SOL $v_3 = 3 \cdot \frac{V}{2L}$

V = velocità di propagaz. vibraz. nella corda

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

1/4	4° arm. (DO OTTAVA)	$v_4 = 4 \cdot \frac{V}{2L}$
1/5	5° arm. (MI)	$v_5 = 5 \cdot \frac{V}{2L}$

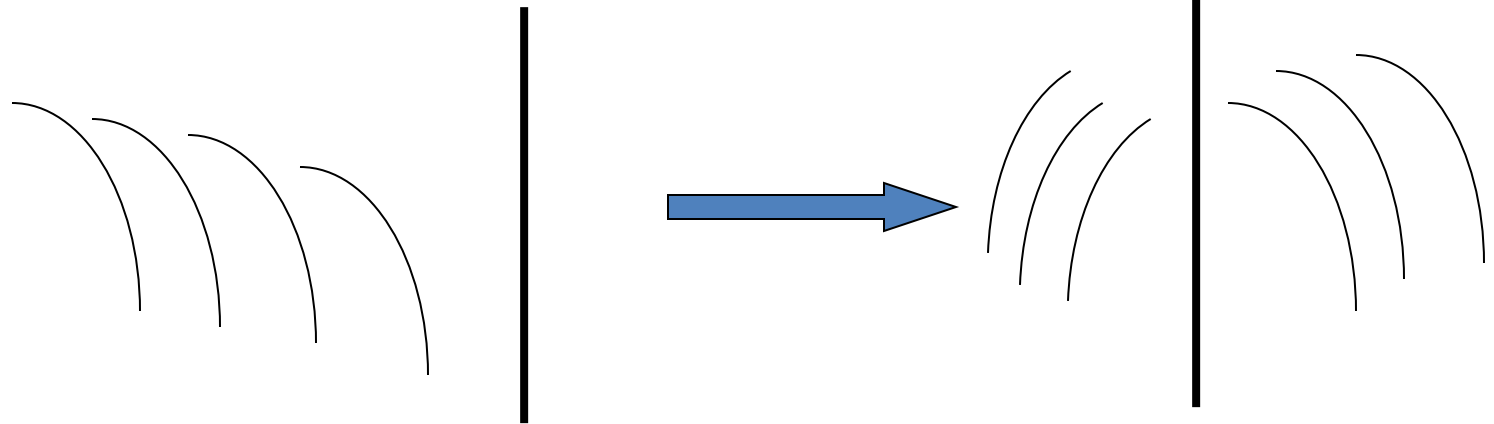
E così via.... generando tutte le note della scala

$$v_n = n \cdot \frac{V}{2L}$$

*Queste vibrazioni sono dette **ARMONICHE** o frequenze di **RISONANZA PROPRIE***

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

RISONANZA: fenomeno per il quale un corpo elastico che ammette infinite frequenze armoniche può vibrare se sollecitato (anche senza contatto) da onde con frequenza pari ad una qualsiasi delle frequenze di risonanza



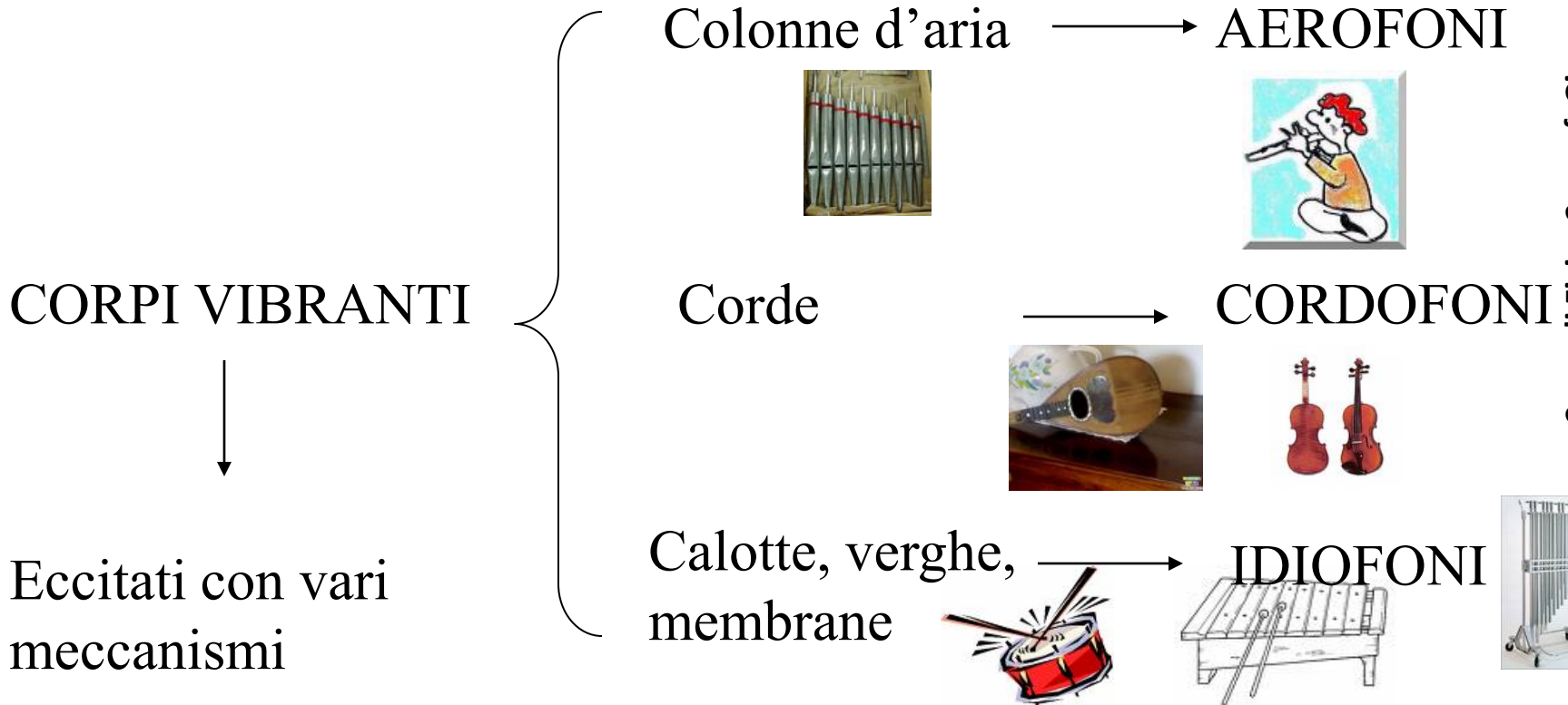
La corda viene eccitata con un'onda di frequenza ν_n esterna

La corda vibra con frequenza ν_n

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

LA RISONANZA SPIEGA LA FORMAZIONE DEI TIMBRI DEGLI STRUMENTI MUSICALI

STRUMENTI MUSICALI: corpo vibrante + sistemi di risonanza



ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

ALCUNI MECCANISMI DI ECCITAZIONE SONORA

CORDE

STROFINATE (archi, es. violino)



PERCOSSE (pianoforte)



PIZZICATE (chitarra, arpa)



COLONNE
D'ARIA

Eccitate da
vibrazioni
prodotte da

SOFFIO (flauto)



SOFFIO + ANCE (clarinetto)



LABBRA (tromba)



ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

LE VIBRAZIONI SONO AMPLIFICATE E

“MODIFICATE” DAL SISTEMA DI RISONANZA

Es. violino

Energia braccio esecutore

→ Movimento arco sulla corda (attrito per strofinio)



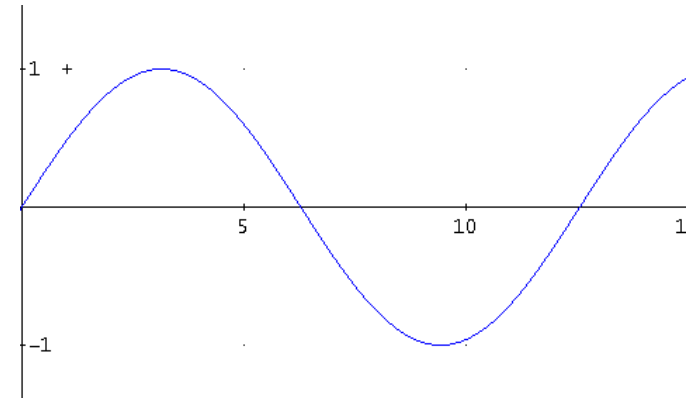
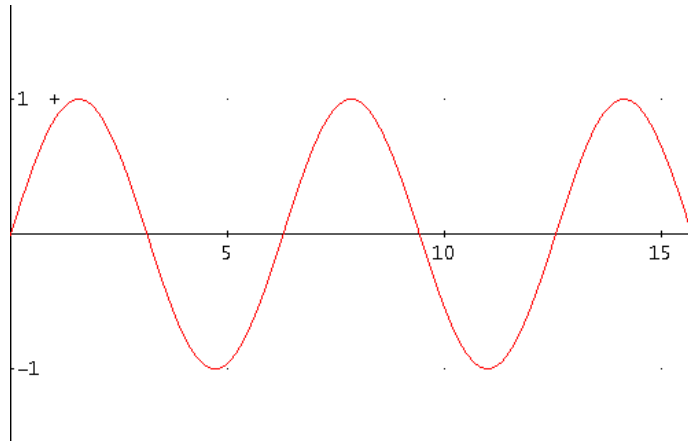
→ VIBRAZ. CORDA

→ RISONANZA DELLA CASSA = LEGNO + VERNICE + SISTEMI DI SAGOMATURA INTERNA (catena)

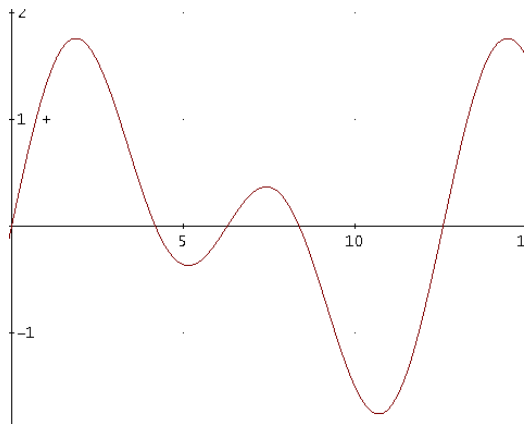
= suono fondamentale + altre vibrazioni armoniche prodotte per risonanza nella cassa armonica

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

SUONO PURO (sinusoidale) 1[^] ARMONICA



Miscela di 1[^]+2[^] ARMONICA



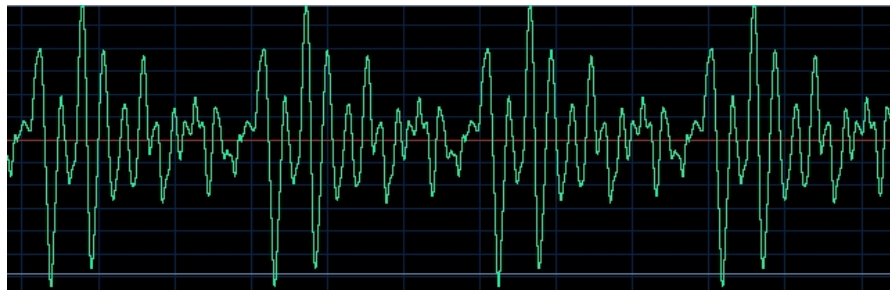
Il “profilo” dell’onda è diversa
= CAMBIA IL TIMBRO!!

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

SI SOVRAPPONGONO infinite armoniche con diverso “peso” (sistemi di risonanza accentuano alcune armoniche invece che altre)

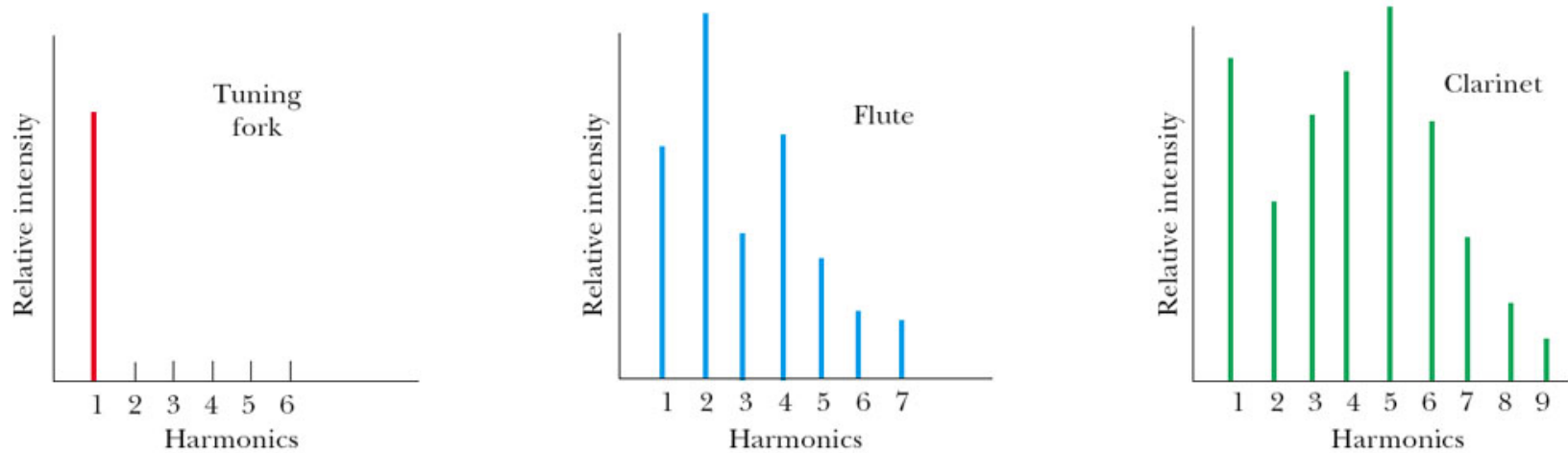
Es. 1[^] armonica al 25% + 2[^] al 10% + 3[^] al 25 % + ecc..

RISULTATO: forma dell'onda complicata quanto si vuole, corrispondente ad un suono avente timbro particolare!



ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

A seconda della MISCELA degli armonici, io produco suono di QUALITA' DIVERSA!



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

TIMBRO = combinazione di un certo numero di armonici moltiplicato per un certo “peso”.

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

ECO

Caso particolare di riflessione del suono

Ripetizione distinta di un suono a causa della presenza di un ostacolo

Serve una distanza Δx per la PERCEZIONE DISTINTA

Pronuncia sillaba : $\Delta t = 0,1 \text{ sec}$

Se la velocità di propagazione del suono è circa $v = 340 \text{ m/s}$

MI SERVONO ALMENO $\Delta s = v \cdot \Delta t/2 = 15 \text{ metri!}$

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

EFFETTO DOPPLER ACUSTICO

La percezione del suono è dipendente anche dalla VELOCITA' relativa della sorgente e dell'osservatore!

Es. sirena percepita più "bassa" quando auto ci passa accanto

➔ La frequenza percepita cambia a seconda del moto relativo!

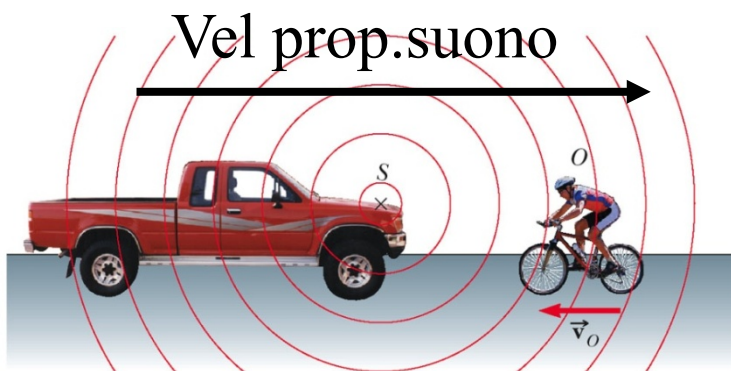
ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

SORGENTE FERMA E OSSERVATORE IN AVVICINAMENTO

(corrispondente a sorgente in avvicinamento ad osservatore fisso)

Il ciclista “va incontro” all’onda emessa dal clacson e “riceve” più onde → LA FREQUENZA AUMENTA (suono più alto!)

$$f' = (v - v_o) \frac{f}{v} = f \cdot \left(1 - \frac{v_o}{v}\right)$$



f' → freq percepita dall'osservatore

v → vel suono

f → freq emessa

$$v_o < 0, (v - v_o) > 1$$

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

SORGENTE FERMA E OSSERVATORE IN ALLONTANAMENTO

Corrisponde a oss. fermo e sorg. in allontanamento

Ho processo inverso: ricevo “meno” onde e *la frequenza* diminuisce (suono più basso!)

$$v_{perc} = v_{em} \cdot \frac{1}{1 + \frac{v_s}{V}}$$

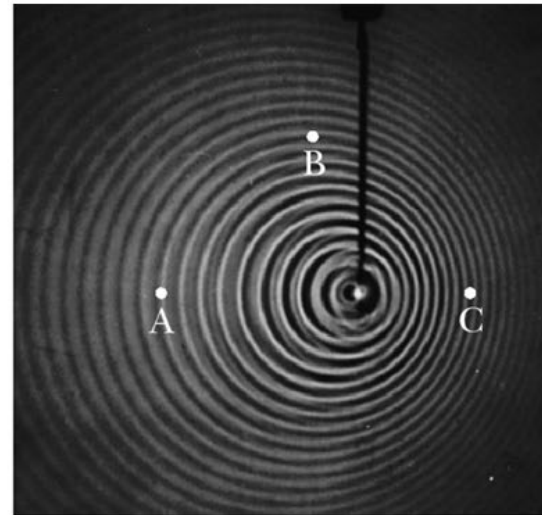
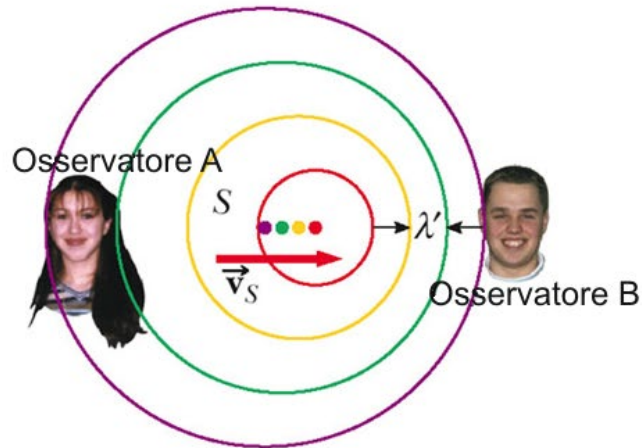


Però mi sto allontanando, quindi $v_o > 0$ e f' diminuisce!

V = velocità di allontanamento

ONDE ELASTICHE (ACUSTICHE-SUONO)

SE SI MUOVE LA SORGENTE



B percepisce suono più basso e ***A*** più alto!