ONDE E SUONO

LE ONDE

ONDE TRASVERSALI

ONDE LONGITUDINALI

ONDE SONORE

EFFETTO DOPPLER

SOVRAPPOSIZIONE E INTERFERENZA DI ONDE

ONDE STAZIONARIE

BATTIMENTI

EXIT

LE ONDE

*UNA PERTURBAZIONE CHE SI PROPAGA DA UN PUNTO AD UN ALTRO È CHIAMATA **ONDA.** IN BASE ALL'ORIGINE DELLA PERTURBAZIONE, LE ONDE SONO CLASSIFICATE IN:*

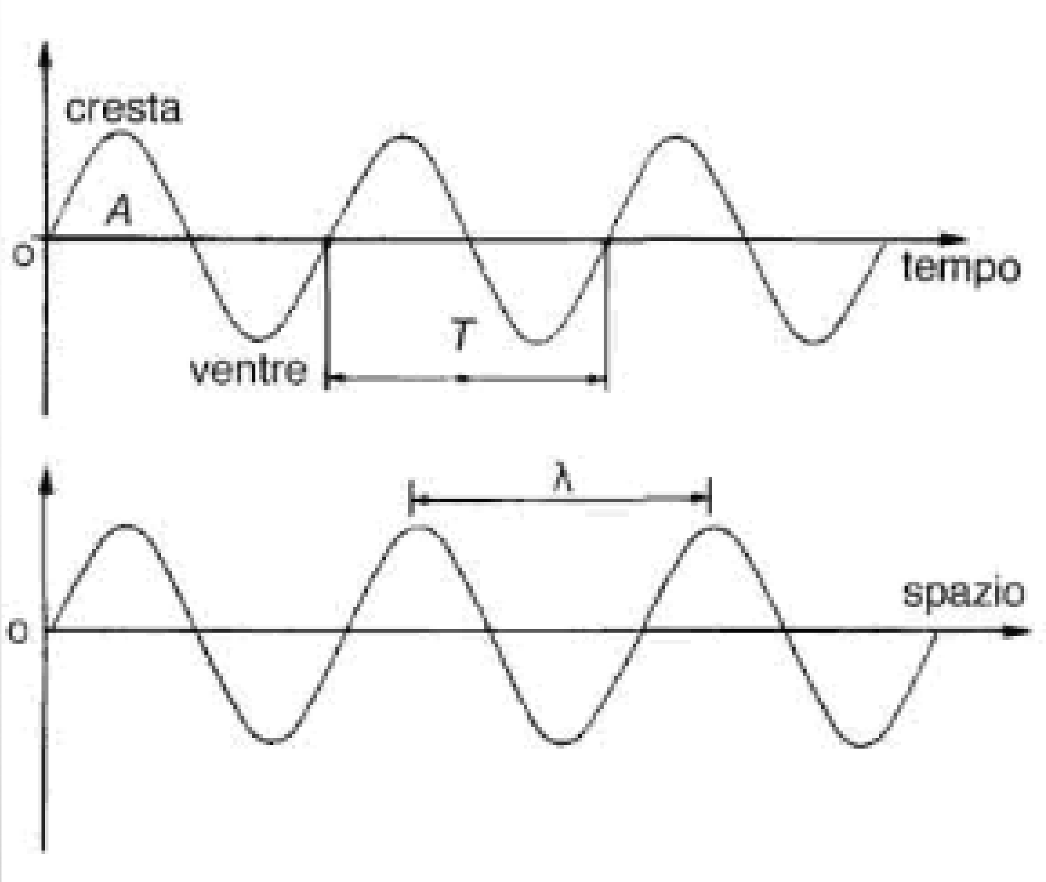
- ***ONDE MECCANICHE,*** *CARATTERIZZATE DAL FATTO CHE SI PROPAGANO ATTRAVERSO LA MATERIA, IL MEZZO, E SONO PRODOTTE PERTURBANDO UN PUNTO DEL MEZZO;*
- ***ONDE ELETTROMAGNETICHE,*** *ONDE PRODOTTE DA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO, CHE NON NECESSITANO DI UN MEZZO PER PROPAGARSI, ESSE SI PROPAGANO ANCHE NEL VUOTO.*

CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ONDE

LE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLE SONO:

- ***CRESTE:*** *I PUNTI DELLE ONDE CORRISPONDENTI AL MASSIMO SPOSTAMENTO VERSO L'ALTO;*
- ***VENTRI:*** *I PUNTI DELLE ONDE CORRISPONDENTI AL MASSIMO SPOSTAMENTO VERSO IL BASSO;*
- ***AMPIEZZA «A»:*** *L'ALTEZZA DELL'ONDA RISPETTO ALLA POSIZIONE DI EQUILIBRIO;*
- ***LUNGHEZZA D'ONDA «λ»:*** *È LO SPAZIO PERCORSO DALLA PERTURBAZIONE NEL TEMPO IN CUI UNA SINGOLA PARTICELLA COMPIE UN'OSCILLAZIONE COMPLETA;*
- ***PERIODO «T»:*** *È IL TEMPO NECESSARIO AFFINCHÉ UNA SINGOLA PARTICELLA COMPIA UN'OSCILLAZIONE COMPLETA, CIOÈ IL TEMPO CHE LA PERTURBAZIONE IMPIEGA PER PERCORRERE LA LUNGHEZZA D'ONDA;*
- ***FREQUENZA «f»:*** *È L'INVERSO DEL PERIODO,* $f = \frac{1}{T}$, *CIOÈ IL NUMERO DI OSCILLAZIONI COMPLETE IN UN SECONDO.*
- ***VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE «v»:*** *È IL RAPPORTO FRA LO SPAZIO PERCORSO E IL TEMPO IMPIEGATO A PERCORRERLO, CIOÈ:* $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$

CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ONDE



EXIT

LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DI UN'ONDA IN UNA CORDA IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE DEL MEZZO

*LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DI UN'ONDA È DETERMINATA DALLE PROPRIETÀ DEL MEZZO ATTRAVERSO CUI ESSA SI PROPAGA. NEL CASO DI UNA CORDA DI LUNGHEZZA «L», DUE CARATTERISTICHE FONDAMENTALI DETERMINANO LA VELOCITÀ DELL'ONDA: LA TENSIONE NELLA CORDA E LA SUA MASSA. PERCHÉ MI SI POSSA PROPAGARE UN'ONDA, NELLA CORDA DEVE ESSERCI UNA TENSIONE. IMMAGINIAMO CHE UNA CORDA GIACCIA SU UN PIANO LEVIGATO CON I DUE ESTREMI LIBERI. SE PRENDIAMO IN MANO UN ESTREMO E LO SCUOTIAMO, LA PARTE DI CORDA VICINO ALLA MANO OSCILLERÀ MA NESSUNA ONDA VIAGGERÀ FINO ALL'ALTRO ESTREMO. SEI UN'ALTRA PERSONA PRENDE L'ALTRO ESTREMO DELLA CORDA E LO TIRA, ALLORA QUALSIASI MOVIMENTO FACCIAMO COMPIERE A UN ESTREMO SI PROPAGHERÀ FINO ALL'ALTRO. SE LA TENSIONE AUMENTA, LE ONDE VIAGGIANO PIÙ VELOCEMENTE LUNGO LA CORDA. CHIAMIAMO «F» LA FORZA CON CUI PROVOCHIAMO QUESTA TENSIONE. CONSIDERIAMO ORA LA MASSA «M» DELLA CORDA. SE CERCHIAMO DI INVIARE UN'ONDA LUNGO UNA CORDICELLA E LUNGO UNA GROSSA FUNE, SOTTOPOSTE ALLA STESSA TENSIONE, L'ONDA LUNGO LA FUNE VIAGGIA PIÙ LENTAMENTE. A CAUSA DELL'INERZIA, MAGGIORE È LA MASSA DELLA CORDA, MINORE È LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DI UN'ONDA LUNGO ESSA. QUANDO PARLIAMO DI MASSA NON INTENDIAMO LA MASSA TOTALE DELLA CORDA; LA GRANDEZZA CHE DOBBIAMO CONSIDERARE È LA MASSA PER UNITÀ DI LUNGHEZZA, CHE PRENDE IL NOME DI **DENSITÀ LINEARE «μ»**:*

$$\mu = \frac{m}{L}$$

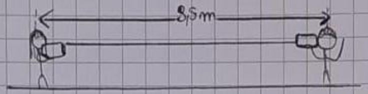
NEL SI LA DENSITÀ LINEARE SI MISURA IN KILOGRAMMI AL METRO (Kg/m). TORNANDO ALLE GRANDEZZE POSSIAMO SCRIVERE LA RELAZIONE CHE ESPRIME LA VELOCITÀ DI UN'ONDA IN FUNZIONE DELLA TENSIONE «F» E DELLA DENSITÀ LINEARE «μ»:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

*LA VELOCITÀ AUMENTA CON «F» E DIMINUISCE CON L'AUMENTARE DELLA DENSITÀ LINEARE. IN GENERALE, LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA AUMENTA ALL'AUMENTARE DELLA **RIGIDITÀ DEL MEZZO** E SI RIDUCE SE **DIMINUISCE LA DENSITÀ DEL MEZZO**.*

ESERCIZIO IN CUI COMPARE LA DENSITÀ LINEARE:

Un bambino e sua sorella cercano di comunicare attraverso una cordicella legata tra due lattine, come mostrato nella figura. Se la cordicella è lunga 9,5 m, ha una massa di 32 g ed è mantenuta tesa con una tensione di 8,6 N, quanto tempo impiega un'onda per viaggiare da un estremo all'altro della cordicella?



DATI

$L = 9,5\ m$

$m = 32\ g = 0,032\ Kg$

$F = 8,6\ N$

RICHIESTE

$t = ?$

$t = \frac{L}{v}$

1. Calcolo la velocità di propagazione dell'onda

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Mi ricavo prima la densità lineare:

$$\mu = \frac{m}{l} = \frac{0,032\ Kg}{9,5\ m} = 0,0034\ Kg/m$$

$$v = \sqrt{\frac{8,6\ N}{0,0034\ Kg/m}} = \sqrt{2529,4} = 50,3\ m/s$$

2. Calcolo ora il tempo impiegato da un'onda per viaggiare da un estremo all'altro.

$$t = \frac{L}{v} = \frac{9,5\ \cancel{m}}{50,3\ \cancel{m}/s} = \underline{0,19\ s}$$

EXIT

ESERCIZIO SULLE CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ONDE:

Onde nel lago

La velocità delle onde di superficie nell'acqua diminuisce man mano che l'acqua diventa meno profonda.
Supponi che delle onde viaggino lungo la superficie di un lago con una velocità di 2,0 m/s e una lunghezza d'onda di 1,5 m.
Quando queste onde si muovono verso la parte del lago meno profonda la loro velocità diminuisce fino a 1,6 m/s, sebbene la loro frequenza rimanga la stessa.
Calcola la lunghezza d'onda nell'acqua bassa.

Dati

a) $V_1 = 2\ m/s$

$\lambda_1 = 1,5\ m$

b) $V_2 = 1,6\ m/s$

$\lambda_2 = ?$

$f_1 = f_2 = ?$

Incognita

$\lambda_2 = ?$

Ricavo la frequenza

$V_1 = \lambda_1 \cdot f_1$

$f_1 = \frac{V_1}{\lambda_1} = \frac{2,0\ m/s}{1,5\ m} = 1,3\ Hz$

$f_1 = f_2$

Ricavo la lunghezza d'onda nella situazione b

$V_2 = \lambda_2 \cdot f_2$

$\lambda_2 = \frac{V_2}{f_2} = \frac{1,6\ m/s}{1,3\ Hz} = 1,2\ m$

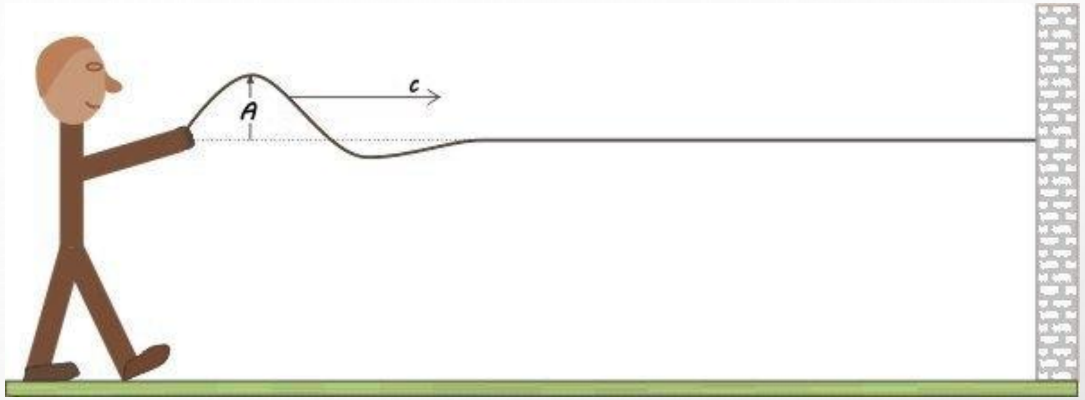
Ricavo il periodo T

$T = T_1 = T_2$

$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,3\ Hz} = 0,77\ s$

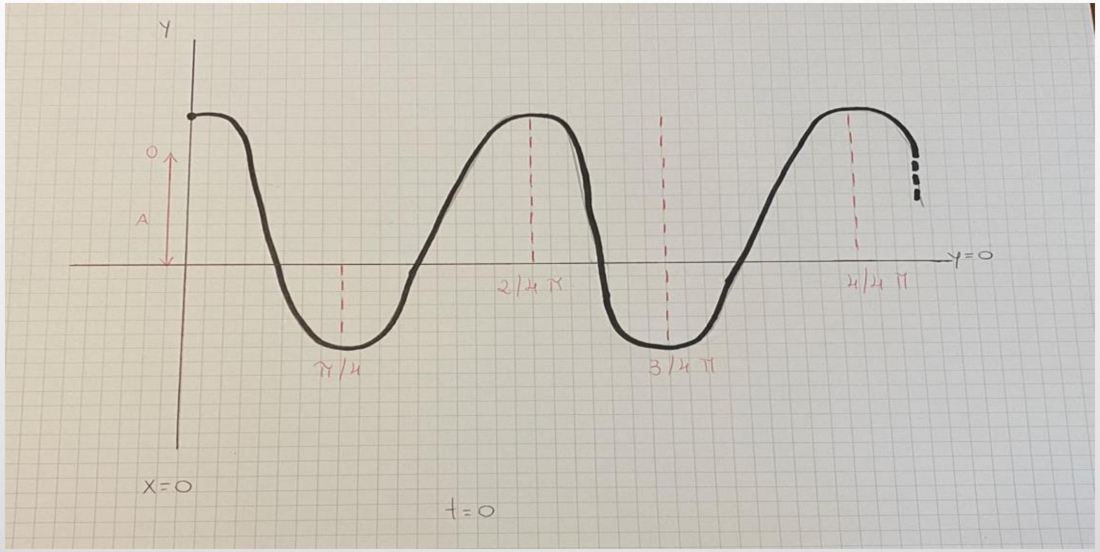
ONDE TRASVERSALI:

*UN'ONDA È DETTA **TRASVERSALE** SE IL MOTO DELLE SINGOLE PARTICELLE È PERPENDICOLARE AL MOTO DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA. SE QUESTO MOTO È ARMONICO COSTANTE NEL TEMPO, ALLORA L'ONDA È DETTA **ONDA ARMONICA.***



FUNZIONE D'ONDA ARMONICA

SE FACCIAMO OSCILLARE L'ESTREMO DI UNA CORDA CON UN MOTO ARMONICO SEMPLICE, DIAMO ORIGINE AD UN'ONDA CHE HA L'ANDAMENTO SINUSOIDALE. VOGLIAMO RICAVARE PER UN'ONDA ARMONICA DI QUESTO TIPO L'ESPRESSIONE MATEMATICA CHE DESCRIVE ***«y»*** *IN FUNZIONE DEL TEMPO* ***«t»*** *E DELLA POSIZIONE* ***«x»****:*



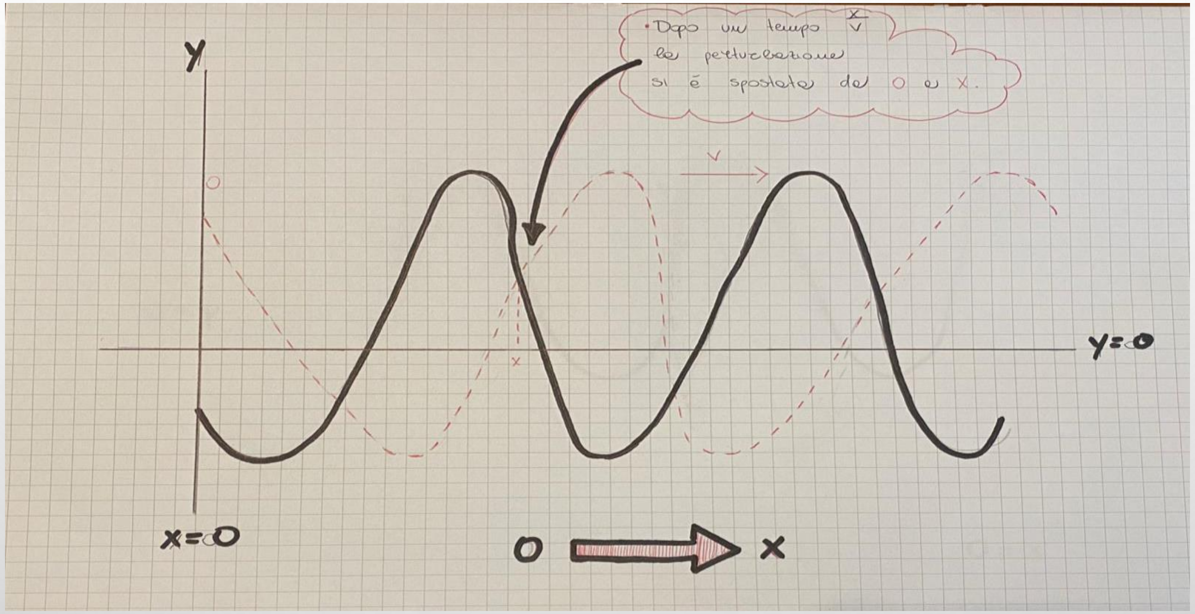
LA PERTURBAZIONE VIENE GENERATA AL TEMPO ***t = 0*** *E ALL'ESTREMO* ***«O»*** *DELLA CORDA, CHE OSCILLA IN FUNZIONE DEL TEMPO SECONDO LA «LEGGE DELL'OSCILLATORE ARMONICO»:*

$$\boldsymbol{y = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)t}$$

T= periodo; A= ampiezza

FUNZIONE D'ONDA ARMONICA

LA PERTURBAZIONE PRECEDENTE RAGGIUNGE UN GENERICO PUNTO A DISTANZA ***«X»*** *DALL' ESTREMO* ***«O»*** *DELLA CORDA DOPO UN TEMPO* $\left(\frac{X}{v}\right)$, *DOVE* ***«V»*** *E' LA VELOCITA' DELL'ONDA.*



DUNQUE LA FUNZIONE D'ONDA ARMONICA E': $y = A\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$

SE L'ONDA SI PROPAGA NEL VERSO NEGATIVO DELL'ASSE X, LA FUNZIONE D'ONDA SARA': $\boldsymbol{y(x,t) = A\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{2\pi}{T}t\right)}$

ESERCIZIO SULLA FUNZIONE D'ONDA ARMONICA:

Problema

Un'onda su una corda è descritta dalla seguente funzione:

$$y = (15\ cm)\cos\left(\frac{\pi}{5\ cm} - \frac{\pi}{12\ s}\,t\right)$$

Calcola: (a) l'ampiezza, (b) la lunghezza d'onda, (c) il periodo, (d) la velocità, (e) la direzione dell'onda.

DATI

$$y = (15\ cm)\cos\left(\frac{\pi}{5\ cm}x - \frac{\pi}{12\ s}\,t\right)$$

$$y = A\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}\,t\right)$$

a) Calcolo l'ampiezza d'onda:

$A = 15\ cm$

b) Calcolo la lunghezza d'onda:

$$\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{5\ cm}$$

$$(5)(2\pi) = (\pi)(\lambda)$$

$$\lambda = \frac{5 \cdot 2\pi}{\pi} = 10\ cm$$

c) Calcolo il periodo T:

$$\frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{12\ s}$$

$$(2\pi)\cdot(12) = (\pi)(T)$$

$$T = \frac{12 \cdot 2\pi}{\pi} = 24\ s$$

d) Calcolo la velocità v:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{10\ cm}{24\ s} = 0{,}42\ cm/s$$

e) Stabilisco la direzione dell'onda:

$$y = (15\ cm)\cos\left(\frac{\pi}{5\ cm}x - \frac{\pi}{12\ s}\,t\right)$$

I due termini tra parentesi hanno segno opposto, quindi questa funzione descrive un'onda che viaggia nella direzione "+x", cioè onda progressiva.

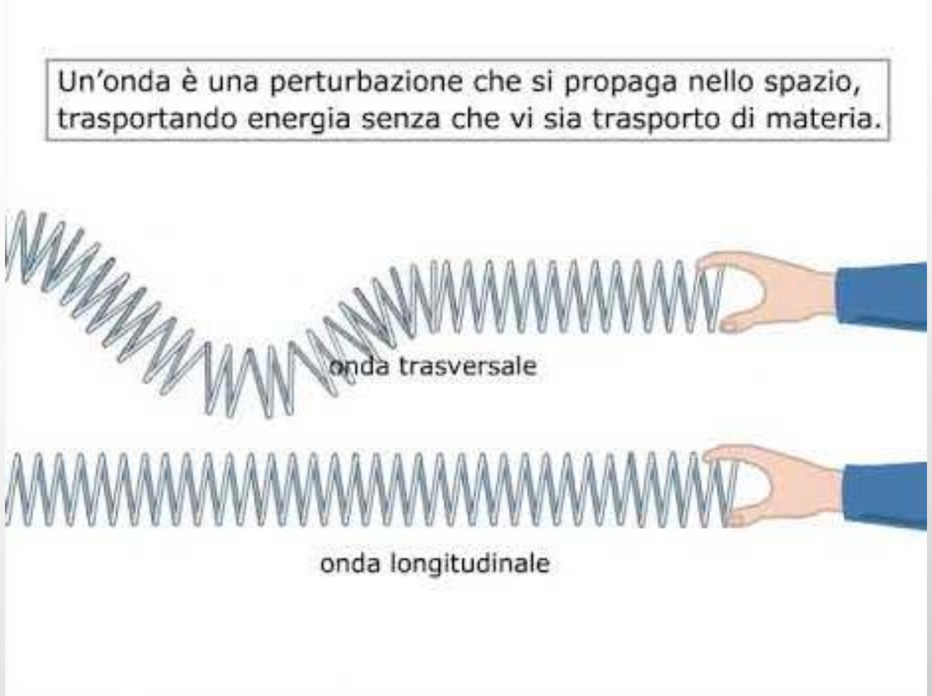
•) Mi ricavo la frequenza dell'onda:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{24\ s} = 0{,}042\ Hz$$

EXIT

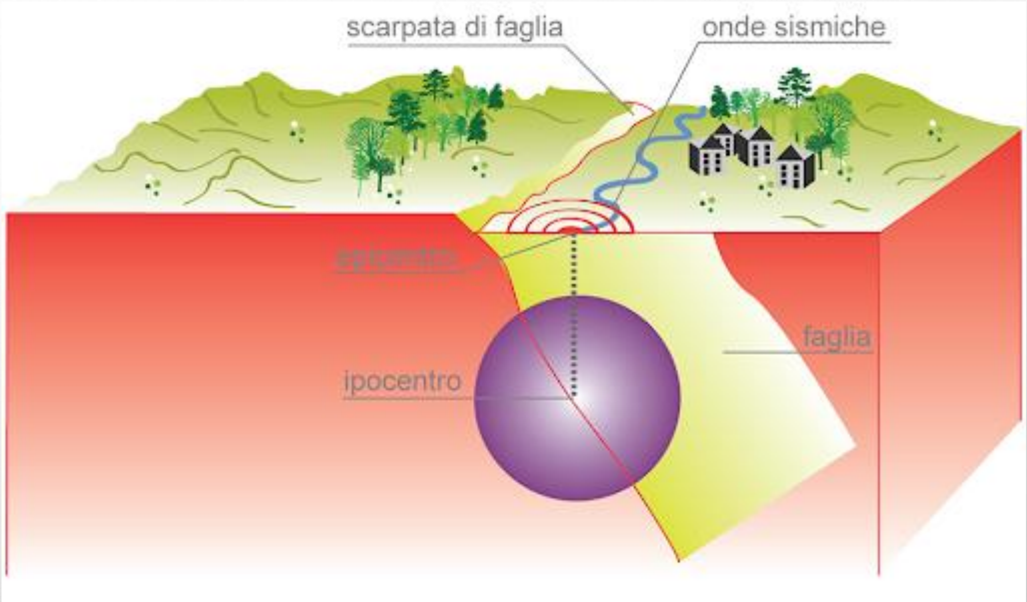
ONDE LONGITUDINALI

*UN'ONDA È DETTA **LONGITUDINALE** SE IL MOTO DELLE SINGOLE PARTICELLE AVVIENE NELLA STESSA DIREZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELL'ONDA. UN CLASSICO ESEMPIO DI ONDA LONGITUDINALE È IL SUONO. ANCHE PER LE ONDE LONGITUDINALI VALGONO LE DEFINIZIONI DI LUNGHEZZA D'ONDA, PERIODO, FREQUENZA E VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DATE PER LE ALTRE ONDE. OSSERVIAMO CHE, PER LE ONDE LONGITUDINALI, LE CRESTE SONO I PUNTI DEL MEZZO CHE HANNO LA MASSIMA PRESSIONE E DENSITÀ, MENTRE I VENTRI SONO I PUNTI CHE HANNO LA MINIMA PRESSIONE E DENSITÀ.*



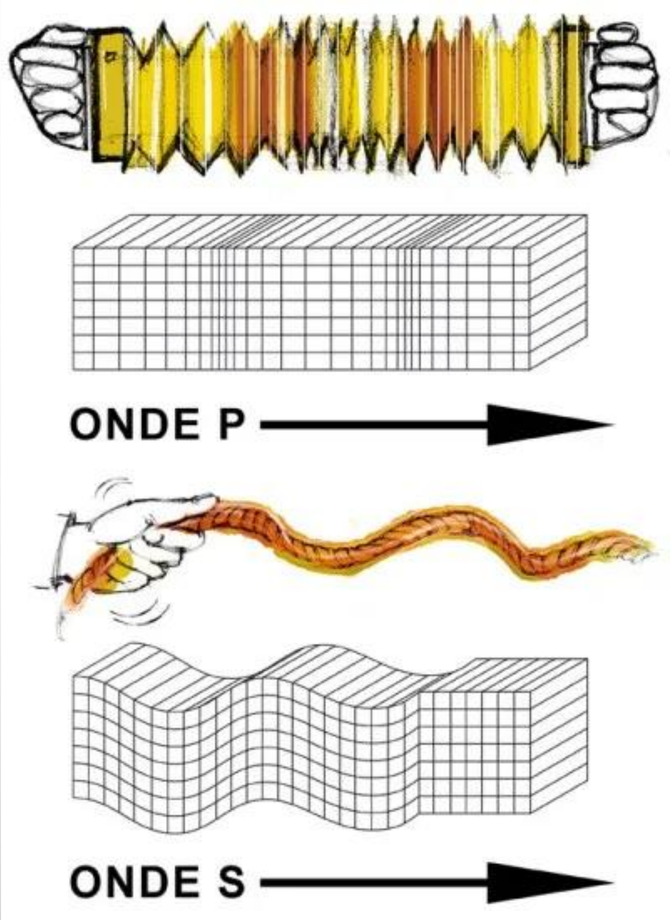
ONDE SISMICHE

*I **TERREMOTI** SONO FENOMENI NATURALI VIOLENTI CHE POSSONO CAUSARE ENORMI QUANTITÀ DI DISTRUZIONE A PERSONE E PROPRIETÀ. MOLTI MILIONI DI ANNI FA LA SUPERFICIE TERRESTRE CONTENEVA **ROCCIA LIQUIDA**, CHIAMATA **LAVA O MAGMA**. QUANDO LA LAVA SI È RAFFREDDATA NON HA FORMATO UNA SFERA PERFETTA. IN EFFETTI, SI È ROTTA IN ALCUNI PUNTI, CREANDO SINGOLE **PLACCHE TETTONICHE** CHE SI MUOVONO ATTRAVERSO IL MAGMA SEMILIQUIDO SOTTO LA SUPERFICIE. IL MOVIMENTO LENTO DI QUESTE PLACCHE CREA CREPE, CHE CHIAMIAMO **LINEE DI FAGLIA**. IN ALCUNI CASI, LE PLACCHE TETTONICHE SI MUOVONO L'UNA VERSO L'ALTRA E SI SCONTRANO. QUANDO QUESTE PLACCHE SI SCONTRANO, SI GENERANO **ONDE SISMICHE** SOTTO LA SUPERFICIE TERRESTRE. QUESTE SI PROPAGANO IN TUTTE LE DIREZIONI E CAUSANO LA DISTRUZIONE CHE ASSOCIAMO AI TERREMOTI. L'ORIGINE DELLE ONDE SISMICHE, CHE NORMALMENTE SI TROVA A QUALCHE CHILOMETRO SOTTO LA SUPERFICIE TERRESTRE, È CHIAMATA **IPOCENTRO**. IL PUNTO SULLA SUPERFICIE TERRESTRE CHE SI TROVA VERTICALMENTE SOPRA L'IPOCENTRO È CHIAMATO **EPICENTRO**.*



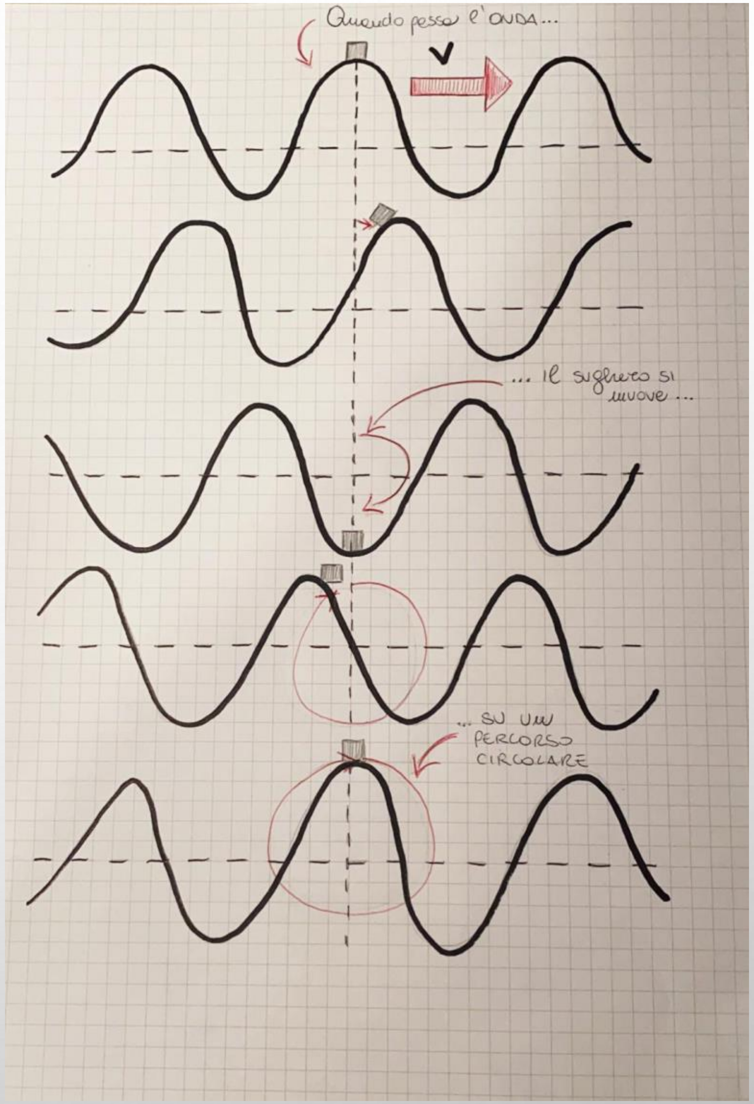
TIPOLOGIE DI ONDE SISMICHE

*LE ONDE SISMICHE CHE SI GENERANO ALL'IPOCENTRO POSSONO ESSERE SUDDIVISE IN DUE TIPOLOGIE: **ONDE PRIMARIE (ONDE P)** E **ONDE SECONDARIE (ONDE S). LE ONDE P SONO ONDE LONGITUDINALI** CHE COMPRIMONO E DILATANO LE ROCCE QUANDO PASSANO. POSSONO PROPAGARSI IN SOLIDI, LIQUIDI E GAS. **LE ONDE S SONO TRASVERSALI** E MUOVONO LA ROCCIA PERPENDICOLARMENTE ALLA DIREZIONE DI PROPAGAZIONE. È INTERESSANTE NOTARE CHE LE ONDE S SI PROPAGANO SOLO NEI SOLIDI. QUANDO LE ONDE DEL CORPO ARRIVANO IN SUPERFICIE, GENERANO UN DIVERSO TIPO DI ONDA, CHIAMATE ONDE DI SUPERFICIE. L'ATTIVITÀ SISMICA VIENE MISURATA SU UNO STRUMENTO CHIAMATO **SISMOGRAFO.** LE ONDE P SI MUOVONO PIÙ RAPIDAMENTE DELLE ONDE S, QUINDI ARRIVANO PRIMA AL SISMOGRAFO. LE ONDE P VIAGGIANO A CIRCA 6 KM/S NELLE ROCCE GRANITICHE DELLA SUPERFICIE TERRESTRE MENTRE LE ONDE S SI MUOVONO A CIRCA 3,5 KM/S. LA DISTANZA TRA IL SISMOGRAFO E L'EPICENTRO DI UN TERREMOTO PUÒ ESSERE CALCOLATA DA QUESTA DIFFERENZA DI VELOCITÀ.*



LE ONDE NELL’ACQUA

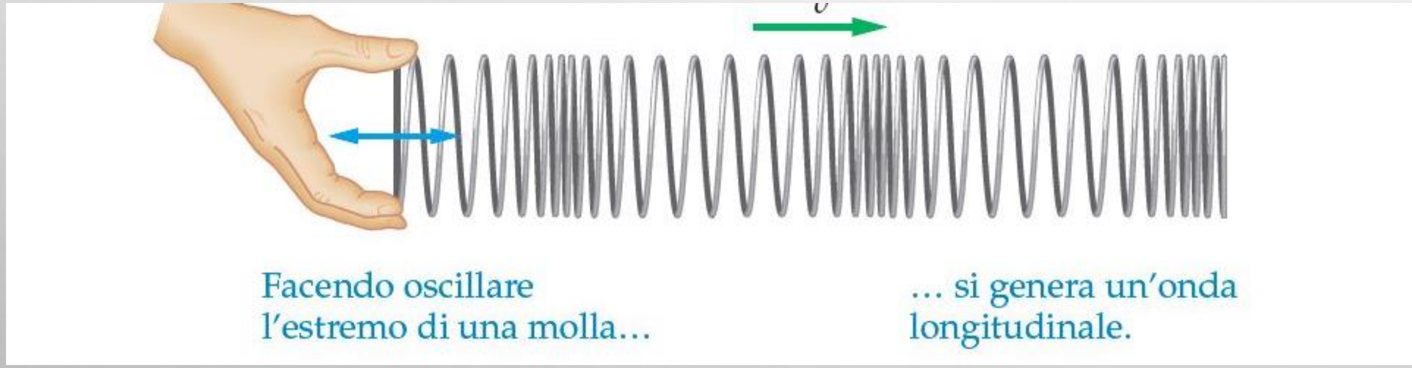
*LASCIANDO CADERE UN SASSO IN UN LAGHETTO, SI ORIGINANO UNA SERIE DI ONDE CONCENTRICHE CHE SI PROPAGANO RADIALMENTE RISPETTO AL PUNTO DA CUI È CADUTO IL SASSO. PER MOSTRARE IL MOVIMENTO DELL’ACQUA QUANDO UN’ONDA SI PROPAGA IN ESSA, È SUFFICIENTE APPOGGIARE SULLA SUPERFICIE UN PEZZETTO DI SUGHERO. ESSO SI MUOVE LUNGO UN PERCORSO CIRCOLARE, RITORNANDO APPROSSIMATIVAMENTE AL SUO PUNTO DI PARTENZA. DA CIÒ POSSIAMO CAPIRE COME OGNI MOLECOLA DELL’ACQUA SI MUOVE SIA VERTICALMENTE CHE ORIZZONTALMENTE, MENTRE L’ONDA SI PROPAGA ORIZZONTALMENTE, QUINDI UN’ONDA NELL’ACQUA È UNA COMBINAZIONE DI **ONDE TRASVERSALI E LONGITUDINALI.***

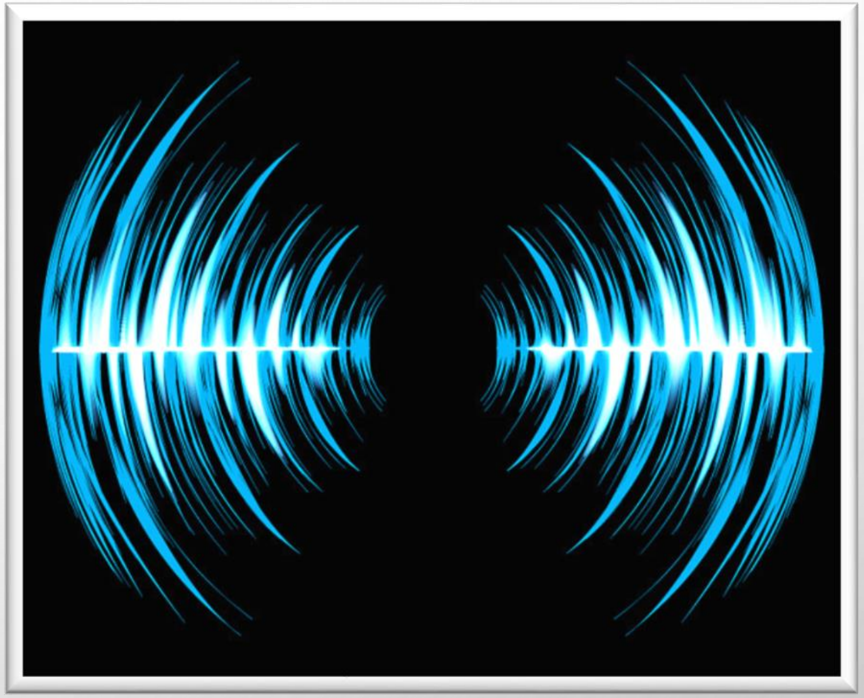


EXIT

ONDE SONORE

*UN TIPICO ESEMPIO DI ONDA LONGITUDINALE È IL **SUONO**. UN EFFICACE MODELLO MECCANICO DELLE ONDE SONORE È RAPPRESENTATO DA UNA MOLLA; FACENDO OSCILLARE UN ESTREMO DELLA MOLLA AVANTI E INDIETRO SI ANDREBBE AD ORIGINARE UN'ONDA LONGITUDINALE CHE VIAGGIA ORIZZONTALMENTE. L'ONDA PRESENTA REGIONI NELLE QUALI LE SPIRE SONO COMPRESSE MA PRESENTA ALLO STESSO TEMPO REGIONI NELLE QUALI LE SPIRE SONO PIÙ DISTANTI FRA LORO.*





EXIT

VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DI UN'ONDA SONORA

*LA **VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DEL SUONO** È DETERMINATA PROPRIO DALLE DIVERSE PROPRIETÀ DEL MEZZO ATTRAVERSO IL QUALE SI PROPAGA. NELL'ARIA IN CONDIZIONI DI PRESSIONE ATMOSFERICA E TEMPERATURA NORMALI LA VELOCITÀ DEL SUONO È APPROSSIMATIVAMENTE LA SEGUENTE:* ***V=343 m/s***

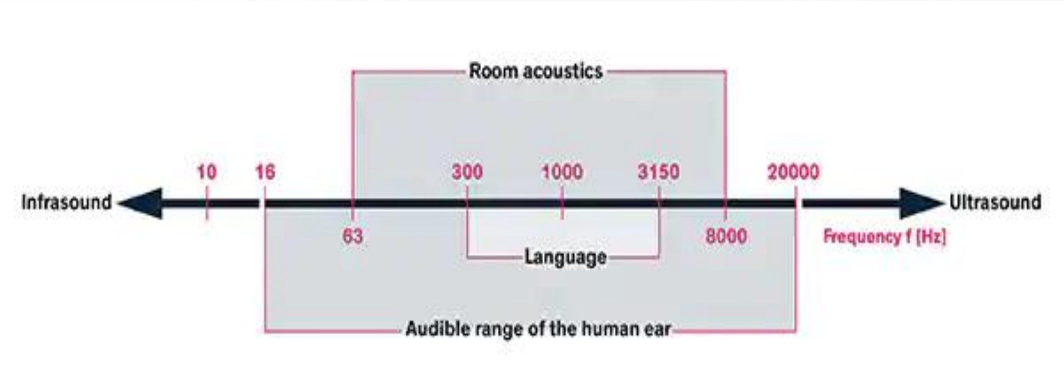
LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DEL SUONO NELL'ARIA È DIRETTAMENTE COLLEGATA ALLA VELOCITÀ DELLE MOLECOLE DELL'ARIA STESSA. INOLTRE BISOGNA DIRE CHE IN UN SOLIDO LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DEL SUONO È DETERMINATA DALLA RIGIDITÀ DEL MATERIALE; PIÙ RIGIDO SARÀ IL MATERIALE PIÙ VELOCE SARÀ L'ONDA SONORA. LE ONDE PRODOTTE DA UNA SORGENTE SONORA SI PROPAGANO RADIALMENTE CON LE CRESTE CHE FORMANO SFERE CONCENTRICHE ATTORNO ALLA SORGENTE; OCCORRE DIRE QUINDI CHE LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE NON DIPENDE DALLA DIREZIONE MA È LA STESSA IN TUTTE LE DIREZIONI.

Mezzo	Velocità del suono (*m/s*)
Aria (20 °C)	343
Acqua	1498
Acqua di mare	1531
Plastica	2680
Acciaio	5060
Alluminio	5100
Vetro pyrex	5640

FREQUENZA DI UN'ONDA SONORA

*SUONI CHE PRESENTANO FREQUENZA DIVERSA VENGONO PERCEPITI DALL'ORECCHIO UMANO COME SUONI DIFFERENTI; LA FREQUENZA INFATTI DETERMINA IL TONO O ALTEZZA DI UN SUONO. GLI ESSERI UMANI POSSONO UDIRE I SUONI CON FREQUENZE COMPRESE TRA **20 HZ E 20.000 HZ**. ESISTONO PERÒ SUONI CON FREQUENZE SUPERIORI E VENGONO CHIAMATI **ULTRASUONI**, MENTRE QUELLI CON FREQUENZE INFERIORI VENGONO CHIAMATI **INFRASUONI**. È IMPORTANTE SOTTOLINEARE CHE LA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DEL SUONO È LA STESSA PER QUALSIASI FREQUENZA:*

$$v = \lambda f$$



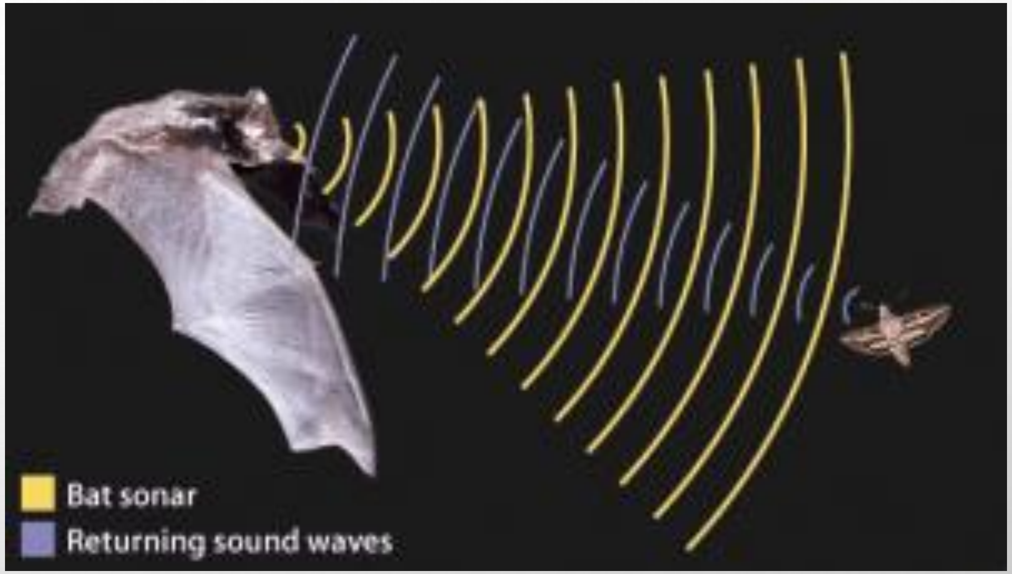
EXIT

GLI ULTRASUONI IN MEDICINA

*LA PIÙ FAMILIARE APPLICAZIONE MEDICA DEGLI ULTRASUONI È L'**ECOGRAFIA**, CHE È UTILIZZATA PER VISUALIZZARE I FETI NEL GREMBO MATERNO. BOMBARDANDO IL CORPO CON ULTRASUONI E MISURANDO IL TEMPO CHE OCCORRE PER RILEVARE L'ECO, CIOÈ IL SUONO RIFLESSO, È POSSIBILE COSTRUIRE UNA VERA E PROPRIA MAPPA DELLE STRUTTURE NASCOSTE SOTTO LA PELLE. INOLTRE NELLA TECNICA CHIAMATA LITOTRIPSIA A ONDA D'URTO UN INTENSO FASCIO DI ULTRASUONI VIENE CONCENTRATO SU UN CALCOLO, PER FRANTUMARLO E PER POI ESSERE ASPORTATO.*

ULTRASUONI E INFRASUONI IN NATURA

MOLTE SPECIE ANIMALI UTILIZZANO ONDE SONORE CON FREQUENZE TROPPO ALTE O TROPPO BASSE PERCHÉ L'ORECCHIO UMANO POSSA UDIRLE. I PIPISTRELLI E I DELFINI PRODUCONO IN CONTINUAZIONE ULTRASUONI. MENTRE ALCUNI INSETTI COME MECCANISMO DI DIFESA SONO IN GRADO DI SENTIRE GLI ULTRASUONI DEL PIPISTRELLO CACCIATORE; COME LA MANTIDE RELIGIOSA O ALCUNE FARFALLE NOTTURNE. GLI ELEFANTI POSSONO COMUNICARE FRA LORO UTILIZZANDO SUONI DI FREQUENZA INTORNO AI 15HZ; INFRASUONI CHE GLI ESSERI UMANI AVVERTONO COME VIBRAZIONI PIUTTOSTO CHE COME SUONI. COME GLI ELEFANTI ANCHE LE BALENE PRODUCONO UN POTENTE VERSO INFRASONORO.



EXIT

ESERCIZIO SULLA FREQUENZA E SULLA VELOCITÀ:

GLI ULTRASUONI DEI DELFINI

I delfini dell'oceano aperto sono classificati come Odontoceti di II tipo (balene con i denti). Questi animali utilizzano ultrasuoni con una frequenza di circa 55 KHz per navigare e individuare le loro prede.

a) Supponi che un delfino emetta una serie di ultrasuoni che vengono riflessi dal fondo dell'oceano che si trova 75 m più in basso. Quanto tempo passa prima che il delfino senta l'eco degli ultrasuoni che ha emesso?

b) Qual è la lunghezza d'onda di un ultrasuono di 55 KHz nell'oceano?

DATI

$f = 55\ KHz = 55\,000\ Hz$

$\Delta x = 75\ m$

$v = 1531\ m/s$

RICHIESTE

a) $t = ?$

b) $\lambda = ?$

a) Calcolo il tempo che passa prima che i delfini sentono l'eco degli ultra suoni emessi:

$$v = \frac{2\Delta x}{t}$$

$$t = \frac{2 \cdot \Delta x}{v} = \frac{2 \cdot 75m}{1531\ m/s} = \frac{150\ m}{1531\ m/s} = 0{,}098\ sec.$$

b) Calcolo la lunghezza d'onda dell'ultrasuono emesso:

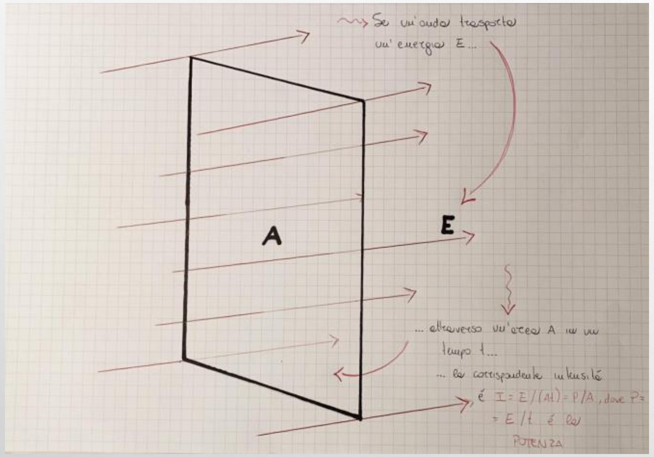
$$v = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1531\ m/sec}{55.000\ Hz} = 0{,}028\ m = 28\ mm$$

EXIT

INTENSITÀ DEL SUONO

*IL VOLUME DI UN SUONO È DETERMINATO DALLA SUA **INTENSITÀ «I»**, CIOÈ DALLA QUANTITÀ DI ENERGIA «**E**» TRASPORTATA DALL'ONDA CHE PASSA ATTRAVERSO UNA DATA SUPERFICIE «**A**» IN UN DEFINITO INTERVALLO DI TEMPO «**t**». QUINDI:* $\boldsymbol{I = \frac{E}{At}}$



RICORDANDO CHE LA POTENZA È IL RAPPORTO TRA L'ENERGIA E IL TEMPO IN CUI ESSA VIENE SVULUPPATA, L'INTENSITÀ DI UN'ONDA SONORA SI ESPRIME COME:

$$\boldsymbol{I = \frac{P}{A}\left(\frac{w}{m^2}\right)}$$

NEL SI L'INTENSITÀ DI UN'ONDA SONORA SI MISURA IN WATT AL METRO QUADRATO.

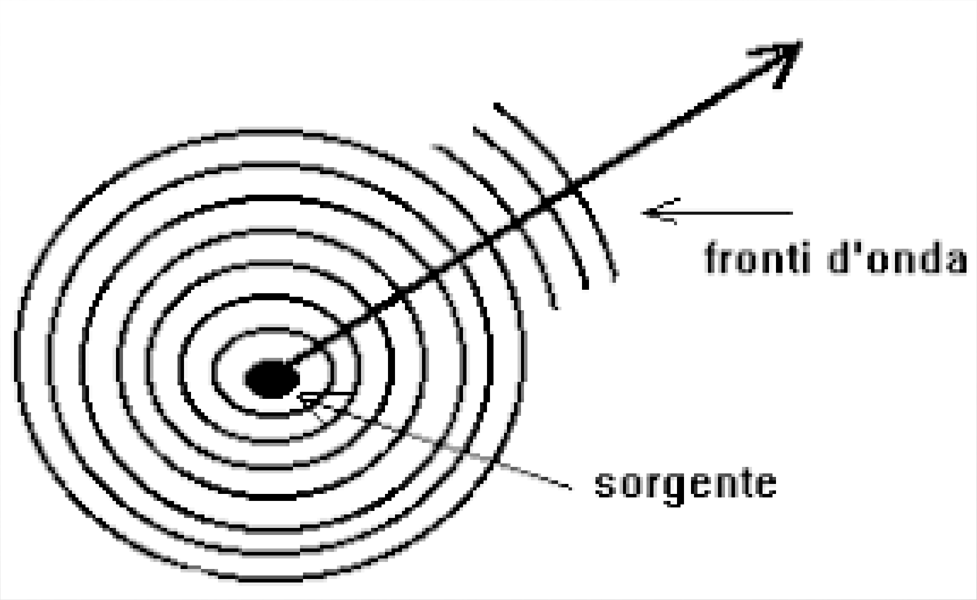
EVENTO	INTENSITÀ (W/m^2)
RUMORE PIÙ INTENSO PRODOTTO IN LABORATORIO	10^9
RAZZO SATURNO V A 50 m	10^8
RUMORE CHE PROVOCA LA ROTTURA DEL TIMPANO	10^4
MOTORE DI UN JET A 50 m	10
SOGLIA DEL DOLORE	1
CONCERTO ROCK	10^{-1}
MARTELLO PNEUMATICO A 1 m	10^{-3}
STRADA CON MOLTO TRAFFICO	10^{-5}
CONVERSAZIONE A 1 m	10^{-6}
AULA SCOLASTICA	10^{-7}
BISBIGLIO A 1 m	10^{-10}
RESPIRO NORMALE	10^{-11}
SOGLIA DELL'UDIBILE	10^{-12}

INTENSITÀ DEL SUONO EMESSA DA UNA SORGENTE PUNTIFORME

*UNA SORGENTE PUNTIFORME CON «**$A=4\pi r^2$**», CHE EMETTE UN SUONO CON UNA POTENZA «**P**», AVRÀ COME INTENSITÀ SONORA:*

$$I = \frac{p}{4\pi r^2}$$

*L'INTENSITÀ «**I**» È ESPRESSA IN FUNZIONE DELLA DISTANZA «**r**» DA UNA SORGENTE PUNTIFORME. DA QUESTA FORMULA POSSIAMO CAPIRE COME L'INTENSITÀ E LA DISTANZA SIANO **INVERSAMENTE PROPORZIONALI.** L'INTENSITÀ DEL SUONO DIMINUISCE CON IL QUADRATO DELLA DISTANZA DALLA SORGENTE: RADDOPPIANDO LA DISTANZA, L'INTENSITÀ SI RIDUCE DI UN FATTORE 4*



EXIT

ESERCIZIO SULL'INTENSITÀ DEL SUONO:

L'energia sul timpano

Il raggio del timpano dell'orecchio umano è di circa 4 mm. Calcola la quantità di energia al secondo ricevuta dal timpano, quando ascolta un suono che è:

a) alla soglia dell'udibile;

b) alla soglia del dolore.

DATI

$r = 4\ mm = 0{,}004\ m$ $\qquad I_a = 10^{-12}\ W/m^2$

$t = 1\ s$ $\qquad I_b = 1\ W/m^2$

$E_a = ?$

$E_b = ?$

Calcolo la superficie del timpano:

$$S = \pi r^2 = 3{,}14 \cdot (0{,}004\ m)^2 = 3{,}14 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-5}\ m^2 = 5 \cdot 10^{-5}\ m^2$$

a) Calcolo la quantità di energia alla soglia dell'udibile:

$$I_a = \frac{E_a}{S\,t} \Rightarrow E_a = I_a \cdot S \cdot t = 10^{-12}\ W/m^2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}\ m^2 \cdot 1\ s = 5 \cdot 10^{-17}\ W/s$$

b) Calcolo la quantità di energia alla soglia del dolore:

$$I_b = \frac{E_b}{S\,t} \Rightarrow E_b = I_b \cdot S \cdot t = 1\ W/m^2 \cdot 10^{-5} \cdot 5\ m^2 \cdot 1\ s = 5 \cdot 10^{-5}\ W/s$$

LIVELLO D'INTENSITÀ

*IL **LIVELLO D'INTENSITÀ** DI UN'ONDA SONORA, CHE MISURA IL VOLUME DEL SUONO, È DEFINITO NEL SEGUENTE MODO:*

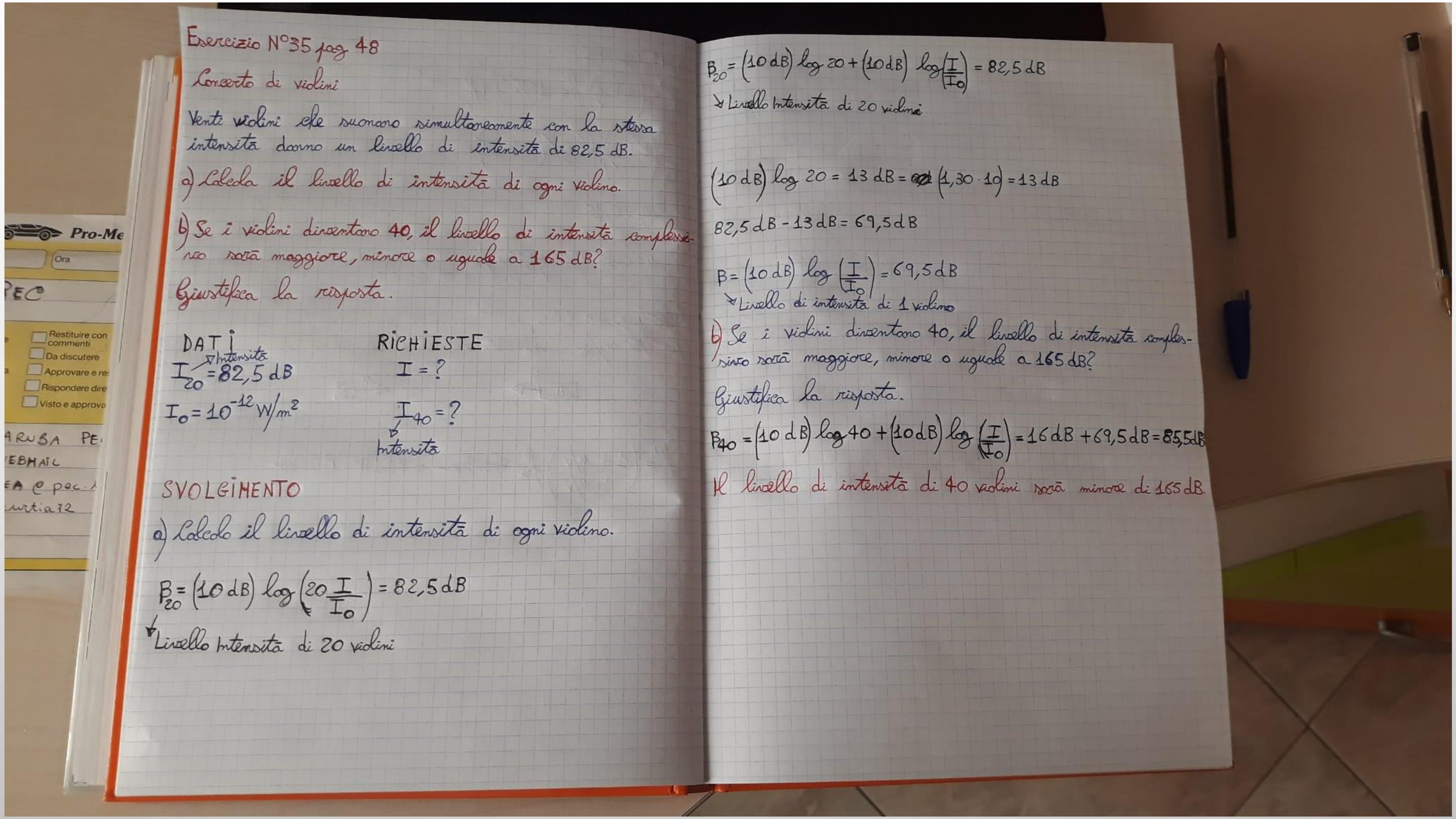
$$\beta = (10\ dB)\ log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

"I_0" È UN VALORE FISSO CHE INDICA LA PIÙ DEBOLE INTENSITÀ DEL SUONO PERCEPIBILE DALL'ORECCHIO UMANO: $I_0 = 10^{-12}\ {}^{w}/_{m^2}$

*IL LIVELLO D'INTENSITÀ È UNA GRANDEZZA **ADIMENSIONALE.** NONOSTANTE CIÒ, RISULTA CONVENIENTE INDICARE I VALORI DEL LIVELLO DI INTENSITÀ CON IL **«BEL»,** IN ONORE DI ALEXANDER GRAHAM BELL, INVENTORE SCOZZESE. POICHÉ IL BEL È UN'UNITÀ DI MISURA PIUTTOSTO GRANDE, USUALMENTE SI USA IL **DECIBEL,** CHE CORRISPONDE AD 1/10 DEL BEL. A OGNI INCREMENTO DI 10 dB DEL LIVELLO D'INTENSITÀ CORRISPONDE UN VOLUME DEL SUONO RADDOPPIATO. IL PIÙ PICCOLO AUMENTO DEL LIVELLO D'INTENSITÀ PERCEPIBILE DALL'ORECCHIO UMANO È DI CIRCA 1 dB.*

Sorgenti di rumore Esempi con distanza	Sound pressure Level L_p dB SPL
Jet, a 50 m	140
Soglia del dolore	130
Soglia del disagio	120
Sega a catena, 1 m	110
Disco music, 1 m dall'altoparlante	100
Camion diesel, 10 m	90
Marciapiede di strada trafficata	80
Aspirapolvere, 1 m	70
Conversazione, 1 m	60
Casa media	50
Biblioteca silenziosa	40
Camera da letto di notte	30
Background in un uno studio TV	20
Stormire di foglie in lontananza	10
Soglia di udibilità	0

ESERCIZIO SUL LIVELLO DELL'INTENSITÀ DEL SUONO:


Esercizio N°35 pag 48

Concerto di violini

Venti violini che suonano simultaneamente con la stessa intensità danno un livello di intensità di 82,5 dB.

a) Calcola il livello di intensità di ogni violino.

b) Se i violini diventano 40, il livello di intensità complessivo sarà maggiore, minore o uguale a 165 dB?

Giustifica la risposta.

DATI

intensità

$I_{20} = 82,5\ dB$

$I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$

RICHIESTE

$I = ?$

$I_{40} = ?$

intensità

SVOLGIMENTO

a) Calcolo il livello di intensità di ogni violino.

$B_{20} = (10\ dB) \log\left(20 \frac{I}{I_0}\right) = 82,5\ dB$

Livello intensità di 20 violini

$B_{20} = (10\ dB) \log 20 + (10\ dB) \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 82,5\ dB$

Livello intensità di 20 violini

$(10\ dB) \log 20 = 13\ dB = (1,30 \cdot 10) = 13\ dB$

$82,5\ dB - 13\ dB = 69,5\ dB$

$B = (10\ dB) \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 69,5\ dB$

Livello di intensità di 1 violino

b) Se i violini diventano 40, il livello di intensità complessivo sarà maggiore, minore o uguale a 165 dB?

Giustifica la risposta.

$B_{40} = (10\ dB) \log 40 + (10\ dB) \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 16\ dB + 69,5\ dB = 85,5\ dB$

Il livello di intensità di 40 violini sarà minore di 165 dB.

EFFETTO DOPPLER

IL CAMBIAMENTO DI TONO DEL FISCHIO DI UN TRENO O DEL CLACSON DI UN'AUTOMOBILE QUANDO CI SORPASSANO È UN FENOMENO FISICO RIGUARDANTE IL SUONO CHE SPERIMENTIAMO ABITUALMENTE. QUESTO CAMBIAMENTO DI TONO, DOVUTO AL MOTO RELATIVO DELLA SORGENTE DEL SUONO E DEL RICEVITORE, È CHIAMATO ***EFFETTO DOPPLER,*** *DAL NOME DEL FISICO AUSTRIACO* ***"CHRISTIAN DOPPLER".*** *SE ASCOLTIAMO ATTENTAMENTE IL FISCHIO DEL TRENO O IL CLACSON DELL'AUTO, NOTIAMO CHE IL TONO DEL SUONO(CIOÈ LA SUA FREQUENZA) AUMENTA QUANDO LA SORGENTE DEL SUONO SI AVVICINA A NOI, MENTRE DIMINUISCE QUANDO LA SORGENTE SI ALLONTANA. L'EFFETTO DOPPLER VALE PER TUTTI I TIPI DI FENOMENI ONDULATORI, NON SOLO PER IL SUONO: ANCHE LA FREQUENZA DELLA LUCE(CHE, COME VEDREMO, SI COMPORTA COME UN'ONDA) SI MODIFICA PER EFFETTO DOPPLER, QUANDO C'È UN MOTO RELATIVO TRA LA SORGENTE E IL RICEVITORE. L'EFFETTO DOPPLER È MOLTO IMPORTANTE SOPRATTUTTO NELLE ONDE SONORE. POICHÉ IL SUONO È UN'ONDA DI PRESSIONE CHE SI PROPAGA IN UN MEZZO, TALE EFFETTO È DIFFERENTE A SECONDA CHE AD EFFETTUARE IL MOVIMENTO RISPETTO AL MEZZO SIA LA SORGENTE OPPURE L'OSSERVATORE O ENTRAMBI.*

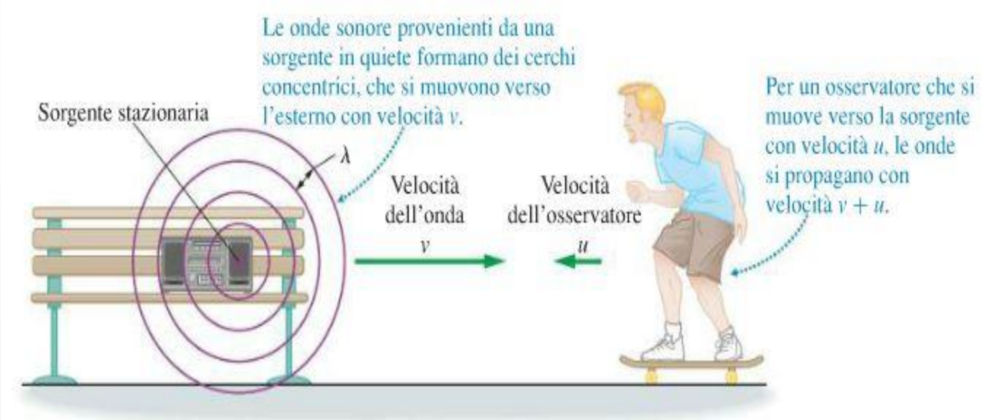
OSSERVATORE IN MOVIMENTO

*PER UN OSSERVATORE CHE SI MUOVE VERSO LA SORGENTE CON VELOCITÀ **«U»,** IL SUONO SEMBRA AVERE UNA VELOCITÀ MAGGIORE, **V+U,** SEBBENE, NATURALMENTE, LA VELOCITÀ DEL SUONO RISPETTO ALL'ARIA SIA SEMPRE LA STESSA. DI CONSEGUENZA, IN UN DATO INTERVALLO DI TEMPO L'OSSERVATORE È INVESTITO DA PIÙ COMPRESSIONI DI QUANTE NON NE INCONTREREBBE SE STESSE FERMO. PER L'OSSERVATORE, QUINDI, IL SUONO HA UNA FREQUENZA **«F1»** CHE È MAGGIORE DI **F.** POSSIAMO DETERMINARE LA FREQUENZA **«F1»** OSSERVANDO CHE LA LUNGHEZZA D'ONDA DEL SUONO NON CAMBIA, MENTRE LA VELOCITÀ È DIVENTATA **V1=V+U.** SE INVECE L'OSSERVATORE SI ALLONTANA DALLA SORGENTE CON UNA VELOCITÀ **U,** GLI SEMBRA CHE IL SUONO SI PROPAGHI A UNA VELOCITÀ **V1=V-U.** IN QUESTO CASO **«F1»** È MINORE DI **«F»,** CIOÈ, L'OSSERVATORE CHE SI ALLONTANA DALLA SORGENTE PERCEPISCE UN SUONO CON FREQUENZA PIÙ BASSA. LA FORMULA GENERALE DELL'EFFETTO DOPPLER PER UN OSSERVATORE IN MOVIMENTO È:*

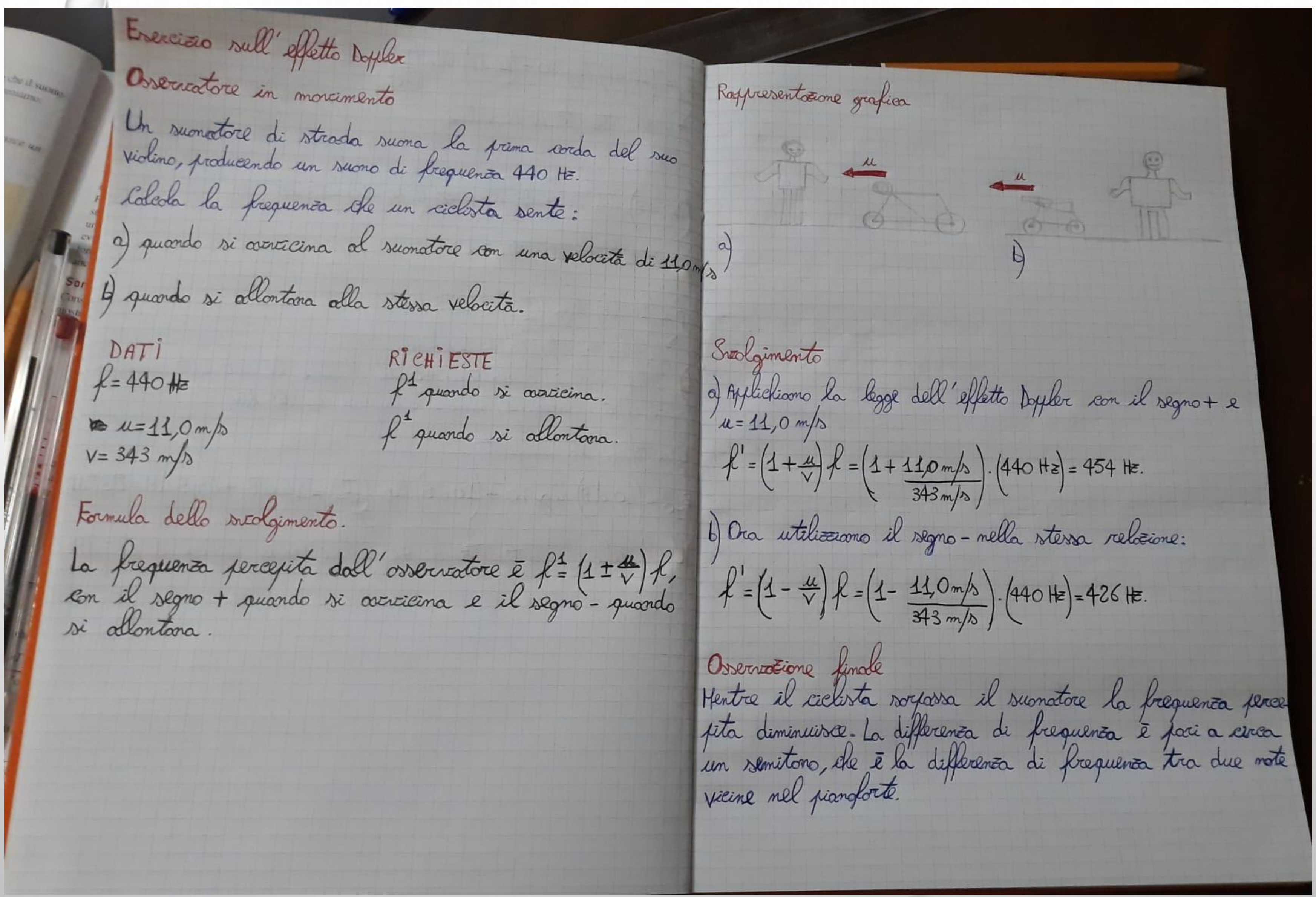
$$f_1 = \frac{v1}{\lambda} = \left(1 \pm \frac{u}{v}\right) f$$

SI USA IL «+» PER L'OSSERVATORE CHE SI AVVICINA

SI USA IL «−» PER L'OSSERVATORE CHE SI ALLONTANA



ESERCIZIO SULL'OSSERVATORE IN MOVIMENTO:



Esercizio sull'effetto Doppler

Osservatore in movimento

Un suonatore di strada suona la prima corda del suo violino, producendo un suono di frequenza 440 Hz.

Calcola la frequenza che un ciclista sente:

a) quando si avvicina al suonatore con una velocità di 11,0 m/s

b) quando si allontana alla stessa velocità.

DATI

$f = 440\ Hz$

$u = 11{,}0\ m/s$

$v = 343\ m/s$

RICHIESTE

f' quando si avvicina.

f' quando si allontana.

Formula dello svolgimento.

La frequenza percepita dall'osservatore è $f' = \left(1 \pm \frac{u}{v}\right) f$, con il segno + quando si avvicina e il segno − quando si allontana.

Rappresentazione grafica

Svolgimento

a) Applichiamo la legge dell'effetto Doppler con il segno + e $u = 11{,}0\ m/s$

$$f' = \left(1 + \frac{u}{v}\right) f = \left(1 + \frac{11{,}0\ m/s}{343\ m/s}\right) \cdot (440\ Hz) = 454\ Hz.$$

b) Ora utilizziamo il segno − nella stessa relazione:

$$f' = \left(1 - \frac{u}{v}\right) f = \left(1 - \frac{11{,}0\ m/s}{343\ m/s}\right) \cdot (440\ Hz) = 426\ Hz.$$

Osservazione finale

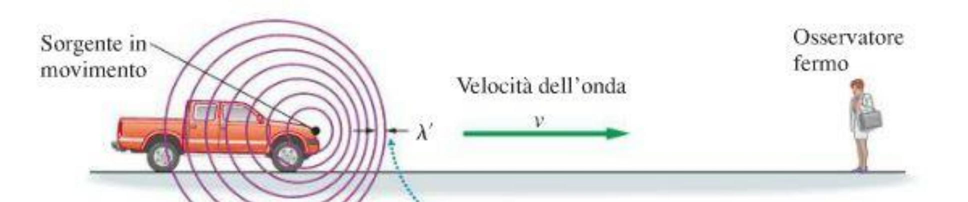
Mentre il ciclista sorpassa il suonatore la frequenza percepita diminuisce. La differenza di frequenza è pari a circa un semitono, che è la differenza di frequenza tra due note vicine nel pianoforte.

SORGENTE IN MOVIMENTO

SE L'OSSERVATORE È IN QUIETE E LA SORGENTE IN MOVIMENTO, L'EFFETTO DOPPLER NON È DOVUTO AL FATTO CHE L'ONDA SONORA SEMBRA AVERE UNA VELOCITÀ MAGGIORE O MINORE, COME NEL CASO DELL'OSSERVATORE IN MOVIMENTO. LA VELOCITÀ DELL'ONDA, INFATTI, È DETERMINATA ESCLUSIVAMENTE DALLE PROPRIETÀ DEL MEZZO ATTRAVERSO CUI L'ONDA SI PROPAGA: DOPO CHE È STATA EMESSA DALLA SORGENTE, L'ONDA SONORA VIAGGIA NEL MEZZO CON UNA VELOCITÀ ***«V»*** *CARATTERISTICA DI QUEL MEZZO, INDIPENDENTEMENTE DA CIÒ CHE FA LA SORGENTE. SE LA SORGENTE SI AVVICINA ALL'OSSERVATORE CON UNA VELOCITÀ* ***«U»****, LA LUNGHEZZA DELL'ONDA EMESSA SI COMPRIME, QUINDI DOPO UN PERIODO* ***«T»*** *SARÀ UGUALE A* $\lambda_1 = vT - uT$. *IN QUESTO CASO PER L'OSSERVATORE* ***«F1»*** *SARÀ MAGGIORE DI* ***«F»****, PERCHÉ LA SORGENTE SI AVVICINA. SE LA SORGENTE SI ALLONTANA DALL'OSSERVATORE, LA LUNGHEZZA DELL'ONDA EMESSA SI DILATA, QUINDI DOPO UN PERIODO* ***«T»*** *SARÀ UGUALE A* $\lambda_1 = vT + uT$. *IN QUESTO CASO PER L'OSSERVATORE* ***«F1»*** *SARÀ MINORE DI* ***«F»****, PERCHÉ LA SORGENTE SI ALLONTANA. LA FORMULA GENERALE DELL'EFFETTO DOPPLER PER UNA SORGENTE IN MOVIMENTO È:*

$$f_1 = \frac{1}{1 \mp u/v} f$$

SI USA IL «–» PER LA SORGENTE CHE SI AVVICINA
SI USA IL «+» PER LA SORGENTE CHE SI ALLONTANA



Le onde sonore generate da una sorgente in movimento sono più addensate nella direzione del moto e determinano una lunghezza d'onda più corta, quindi una frequenza più alta.

ESERCIZIO SULLA SORGENTE IN MOVIMENTO:

LA CACCIA DEL PIPISTRELLO

Un pipistrello, che vola alla velocità di 3,25 m/s ed emette un suono di 35,0 KHz, si avvicina a una falena ferma sul tronco di un albero.

a) Qual è la frequenza percepita dalla falena?

b) Se il pipistrello aumenta la velocità, la frequenza percepita dalla falena sarà più alta oppure più bassa?

c) Calcola la frequenza percepita dalla falena quando la velocità del pipistrello è 4,25 m/s.

DATI

a) $v_1 = 3,25\ m/s$

$v = 343\ m/s$

$f = 35\ KHz = 35000\ Hz$

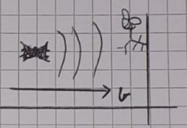
$f_1 = ?$

b) $v_2 = 4,25\ m/s$

$v = 343\ m/s$

$f = 35\ KHz = 35000\ Hz$

$f_2 = ?$



Richieste: $f_1 = ?$ $f_2 = ?$

Pipistrello = sorgente
Falena = osservatore

La sorgente (pipistrello) si avvicina all'osservatore (falena) che è fermo. Quindi usiamo la formula della sorgente che si avvicina all'osservatore fermo.

A) Calcolo la frequenza con $v_1 = 3,25\ m/s$

$$f_1 = \left(\frac{1}{1 - v_1/v}\right) f = \left(\frac{1}{1 - \frac{3,25\ m/s}{343\ m/s}}\right) \cdot 35\,000\ Hz = \left(\frac{1}{1 - 0,009}\right) \cdot 35000 =$$

$$= \left(\frac{1}{0,991}\right) \cdot 35\,000 = 1,01 \cdot 35\,000 = 35\,300\ Hz = \underline{35,3\ KHz}$$

C) Calcolo la frequenza con $v_2 = 4,25\ m/s$

$$f_2 = \left(\frac{1}{1 - v_2/v}\right) f = \left(\frac{1}{1 - \frac{4,25\ m/s}{343\ m/s}}\right) \cdot 35\,000\ Hz = \left(\frac{1}{1 - 0,012}\right) \cdot 35000 =$$

$$= \frac{1}{0,988} \cdot 35\,000 = 1,0122 \cdot 35\,000 = 35427\ Hz = \underline{35,4\ KHz}$$

B) Come dimostrato, se il pipistrello aumenta la velocità, la falena percepirà una frequenza più alta.

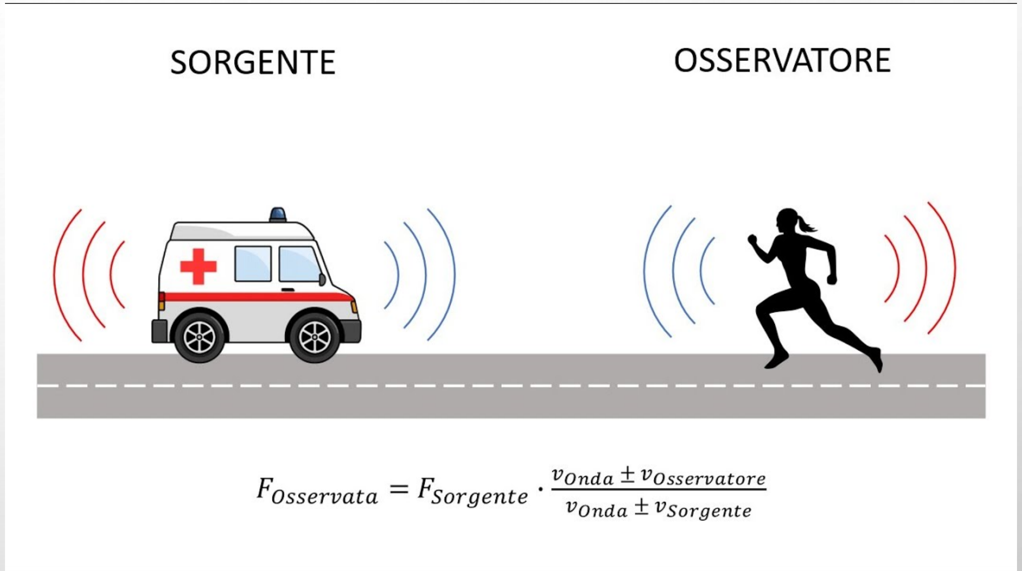
EXIT

OSSERVATORE E SORGENTE IN MOVIMENTO

I RISULTATI CHE ABBIAMO OTTENUTO POSSONO ESSERE COMBINATI PER DETERMINARE LA ***LEGGE DELL'EFFETTO DOPPLER*** *IN SITUAZIONI NELLE QUALI SIA L'OSSERVATORE SIA LA SORGENTE SI MUOVONO RISPETTO AL MEZZO. SE u_S È LA VELOCITÀ DELLA SORGENTE E u_O QUELLA DELL'OSSERVATORE, OTTENIAMO:*

$$f_1 = \frac{1 \pm u_o/v}{1 \mp u_s/v} f$$

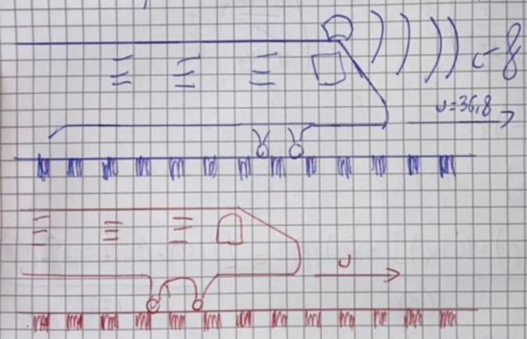
- *AL NUMERATORE UTILIZZIAMO IL SEGNO «+» QUANDO L'OSSERVATORE SI AVVICINA ALLA SORGENTE E IL SEGNO «–» QUANDO SE NE ALLONTANA;*
- *AL DENOMINATORE UTLIZZIAMO IL SEGNO «–» QUANDO LA SORGENTE SI AVVICINA ALL'OSSERVATORE E IL SEGNO «+» QUANDO SE NE ALLONTANA.*



ESERCIZIO SU OSSERVATORE E SORGENTE IN MOVIMENTO:

Treni in corsa:

Un treno su un binario si muove nella stessa direzione di un altro treno che viaggia nel binario adiacente. Il primo treno, che si trova davanti al secondo e viaggia con una velocità di 36,8 m/s, emette un fischio di frequenza 124 Hz. Se la frequenza percepita dal secondo treno è 135 Hz, qual è la velocità di quest'ultimo?



Il primo treno che emette un fischio è la sorgente, mentre il secondo treno che percepisce la frequenza emessa dal primo è l'osservatore. In questa situazione, l'osservatore si avvicina alla sorgente (quindi al numeratore usiamo il segno «+») e la sorgente si allontana dell'osservatore (usiamo «+» anche al denominatore).

DATI

$v_s = 36,8\ m/s$

$f = 124\ Hz$

$f_1 = 135\ Hz$

$v = 343\ m/s$

INCOGNITA:

$v_0 = ?$

Calcolo la velocità di v_0:

$$f_1 = \left(\frac{1 + \frac{v_0}{v}}{1 + \frac{v_s}{v}}\right) f = \left(\frac{\frac{v + v_0}{\cancel{v}}}{\frac{v + v_s}{\cancel{v}}}\right) f$$

$$f_1 = \left(\frac{v + v_0}{v + v_s}\right) f$$

$$(f_1)\cdot(v + v_s) = vf + v_0 f$$

$$v_0 = \frac{[(f_1)\cdot(v+v_s)] - (v)(f)}{(f)} = \frac{[(135)\cdot(343+36,8)] - (343)(124)}{124}$$

$$= \frac{[135 \cdot 379,8] - 42532}{124} = \frac{51273 - 42532}{124} = \frac{8741}{124} =$$

$$= 70,5\ m/s$$

EXIT

EFFETTO DOPPLER IN MEDICINA

IN MEDICINA L'EFFETTO DOPPLER È IL PRINCIPIO SU CUI SI BASANO MOLTE ***TECNICHE ECOGRAFICHE*** *IN CUI SI ESPLORANO TESSUTI BIOLOGICI IN MOVIMENTO. IN PARTICOLARE L'ECO-DOPPLER È UNA TECNICA NON INVASIVA CHE CONSENTE DI MISURARE LA VELOCITÀ DEL FLUSSO SANGUIGNO NELLE ARTERIE E NEL CUORE. IN QUESTA APPLICAZIONE UN FASCIO DI ULTRASUONI È DIRETTO VERSO L'ARTERIA DEL PAZIENTE; PARTE DEL SUONO È RIFLESSO DAI GLOBULI ROSSI DEL SANGUE CHE SI MUOVONO NELLE ARTERIE. IL SUONO RIFLESSO È ANALIZZATO E LA SUA FREQUENZA È UTILIZZATA PER DETERMINARE LA* ***VELOCITÀ DEL FLUSSO SANGUIGNO****. SE QUESTA INFORMAZIONE È CODIFICATA ATTRAVERSO DEI COLORI È POSSIBILE RICOSTRUIRE UN'IMMAGINE IN TEMPO REALE DEL SANGUE CHE SCORRE NELLE ARTERIE E NEL CUORE: NELLA TECNICA CHIAMATA* ***ECO-COLOR DOPPLER****, COLORI DIFFERENTI INDICANO DIVERSE VELOCITÀ E DIVERSE DIREZIONI DEL FLUSSO DEL SANGUE.*

EXIT

APPLICAZIONI DELL'EFFETTO DOPPLER

*UNA DELLE PIÙ CONOSCIUTE APPLICAZIONI DELL'EFFETTO DOPPLER È LA **PISTOLA RADAR**, IMPIEGATA PER MISURARE LA VELOCITÀ DEGLI AUTOVEICOLI IN ALTERNATIVA AGLI AUTOVELOX. SEBBENE LA PISTOLA RADAR UTILIZZI ONDE RADIO E NON ONDE SONORE, IL PRINCIPIO FISICO SUL QUALE SI BASA È LO STESSO: MISURANDO LO SPOSTAMENTO DOPPLER DELLA FREQUENZA DELLE ONDE RIFLESSE DAL CORPO IN MOVIMENTO, È POSSIBILE DETERMINARE LA SUA VELOCITÀ. IL RADAR DOPPLER APPLICA QUESTA STESSA TECNOLOGIA PER SEGUIRE IL MOTO DELLE PRECIPITAZIONI DOVUTE AI TEMPORALI. QUESTO DISPOSITIVO, OGGI LARGAMENTE UTILIZZATO NEGLI AEROPORTI E PER LE PREVISIONI DEL TEMPO, PERMETTE DI DETERMINARE LA VELOCITÀ E LA DIREZIONE DEI VENTI IN UNA TEMPESTA LONTANA MISURANDO LO SPOSTAMENTO DOPPLER CHE ESSI PRODUCONO: I VENTI **SPOSTANO LA FREQUENZA DEL RADAR** VERSO L'ALTO SE SOFFIANO IN DIREZIONE DELLA SORGENTE E VERSO IL BASSO SE SOFFIANO IN DIREZIONE OPPOSTA. NELL'IMMAGINE RELATIVA A UNA TEMPESTA NEGLI STATI UNITI, I COLORI CHE TENDONO AL ROSSO INDICANO I VENTI CHE SOFFIANO VERSO LA STAZIONE RADAR, QUELLI TENDENTI AL BLU I VENTI CHE SOFFIANO IN DIREZIONE OPPOSTA.*

EXIT

SUPERAMENTO DELLA VELOCITÀ DEL SUONO

DOPO AVER STUDIATO L'EFFETTO NEI CASI DELL'OSSERVATORE E DELLA SORGENTE IN MOVIMENTO, È INTERESSANTE CONFRONTARE I RISULTATI OTTENUTI. POSSIAMO VEDERE CHE, MENTRE LE DUE SITUAZIONI PRESENTANO RISULTATI SIMILI PER PICCOLE VELOCITÀ, IL COMPORTAMENTO ALLE ALTE VELOCITÀ È ***DECISAMENTE DIVERSO****. IN EFFETTI, LA FREQUENZA DOPPLER PER UNA SORGENTE IN MOVIMENTO AUMENTA ENORMEMENTE PER VELOCITÀ VICINE A QUELLA DEL SUONO, MENTRE LA FREQUENZA DOPPLER PER UN OSSERVATORE IN MOVIMENTO RIMANE RELATIVAMENTE BASSA. QUANDO LA VELOCITÀ DELLA SORGENTE RAGGIUNGE LA VELOCITÀ DEL SUONO INCONTRA UN VERO E PROPRIO "MURO", DETTO* ***MURO DEL SUONO,*** *DOVUTO AL SOMMARSI DELLE VARIE COMPRESSIONI DELL'ARIA. NELL'ISTANTE IN CUI LA VELOCITÀ DELLA SORGENTE SUPERA LA VELOCITÀ DEL SUONO, PRODUCE UN SUONO CHE È PERCEPITO COME* ***UN'ONDA D'URTO*** *E CHE VIENE USUALMENTE INDICATO COME* ***BOOM SONICO****. QUANDO LA VELOCITÀ DELLA SORGENTE È MAGGIORE DI QUELLA DEL SUONO SI GENERA UN'ONDA D'URTO A FORMA DI CONO, TANGENTE A TUTTE LE CRESTE EMESSE.*

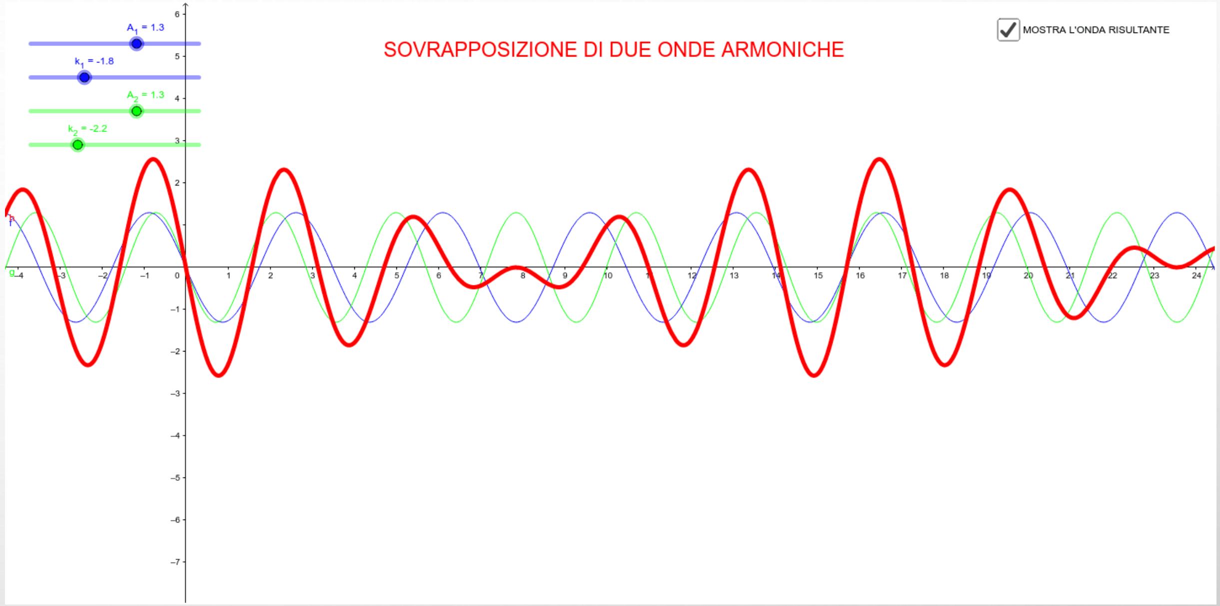
EXIT

SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

LA COMBINAZIONE DI DUE O PIÙ ONDE CHE FORMANO UN'ONDA RISULTANTE VIENE DETTA ***SOVRAPPOSIZIONE.*** *LE ONDE DI PICCOLA AMPIEZZA SI SOVRAPPONGONO NEL MODO PIÙ SEMPLICE, CIOÈ SI SOMMANO:*

$$y = y_1 + y_2$$

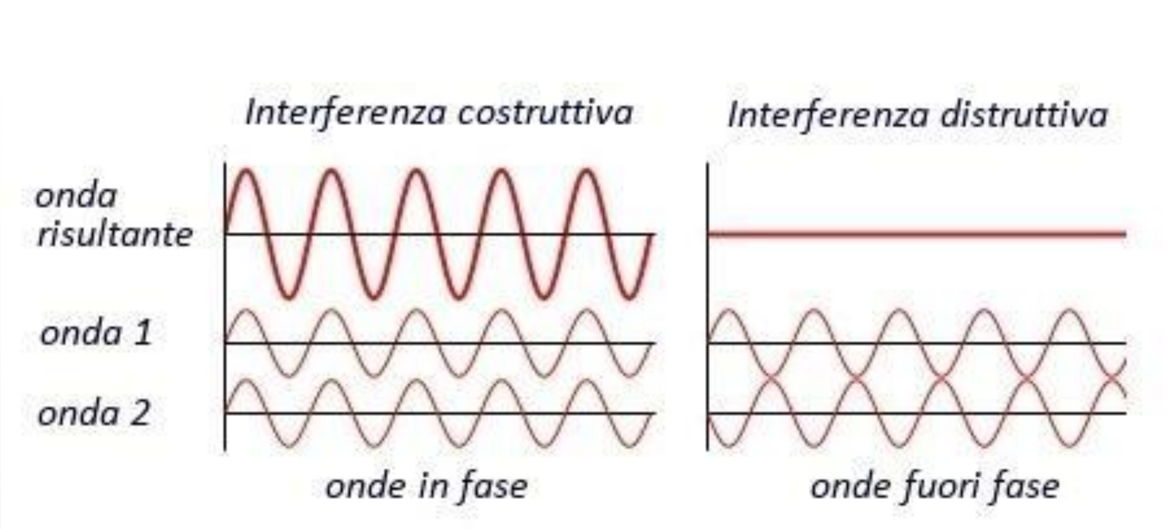
LE ONDE CHE SI SOVRAPPONGONO, AL VARIARE DEL TEMPO, PROSEGUONO IL LORO PERCORSO COME NULLA FOSSE ACCADUTO, ESSE NON VENGONO PER NIENTE MODIFICATE DALLA LORO INTERAZIONE.



EXIT

INTERFERENZA DI ONDE

QUANDO SI COMBINANO DUE ONDE CHE HANNO L'IMPULSO NELLO STESSO VERSO, COME RISULTANTE AVREMO UN IMPULSO CHE HA UN'AMPIEZZA UGUALE ALLA SOMMA DELLE AMPIEZZE DEI SINGOLI IMPULSI. QUESTA SITUAZIONE È DETTA ***INTERFERENZA COSTRUTTIVA.*** *SE INVECE SI COMBINANO DUE ONDE CHE HANNO IMPULSI UGUALI MA DI VERSO OPPOSTO, COME RISULTANTE AVREMO UN IMPULSO CON AMPIEZZA UGUALE A* ***«0».*** *IN QUESTO CASO ABBIAMO UN'****INTERFERENZA DISTRUTTIVA****. DOPO QUALSIASI TIPO DI INTERFERENZA, LE ONDE PROSEGUONO INALTERATE IL LORO PERCORSO, SENZA SUBIRE MODIFICA DOPO L'INTERAZIONE.*

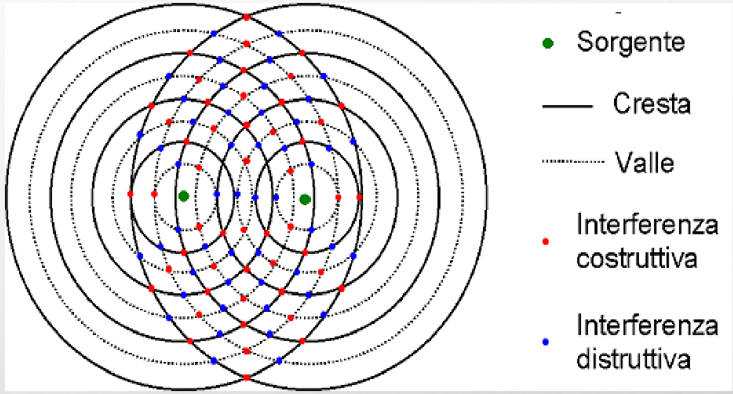


EXIT

FIGURE DI INTERFERENZA

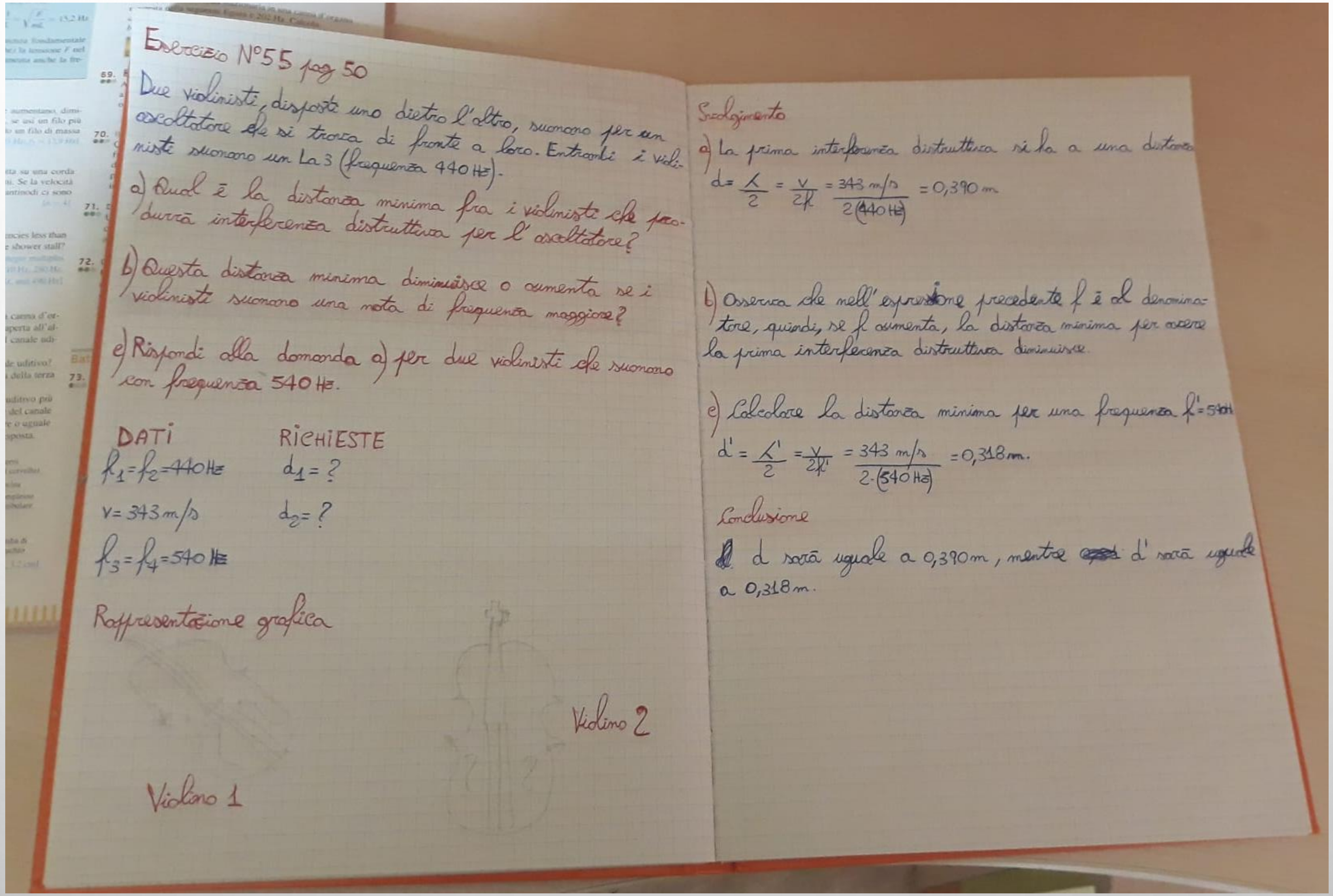
DOBBIAMO ANCHE OSSERVARE CHE L'INTERFERENZA NON È UN FENOMENO RELATIVO SOLO ALLE ONDE NELLE CORDE; TUTTE LE ONDE SONO SOGGETTE AL FENOMENO DELL'INTERFERENZA. ANZI, POSSIAMO DIRE CHE L'INTERFERENZA È UNA DELLE CARATTERISTICHE PECULIARI CHE DEFINISCONO LE ONDE. IN GENERALE, QUANDO DELLE ONDE SI COMBINANO, FORMANO DELLE ***FIGURE DI INTERFERENZA****, COSTITUITE DA ALCUNE ZONE DI INTERFERENZA COSTRUTTIVA E ALTRE DI INTERFERENZA DISTRUTTIVA. PER COMPRENDERE MEGLIO LE AFFERMAZIONI DATE IN PRECEDENZA, CONSIDERIAMO UN SISTEMA COSTITUITO DA DUE SORGENTI IDENTICHE, CHE EMETTONO ONDE FORMATE DA CRESTE ALTERNATE A VENTRI. REGOLANDO IL SISTEMA IN MODO CHE, QUANDO UNA SORGENTE EMETTE UNA CRESTA, ANCHE L'ALTRA EMETTE UNA CRESTA. SORGENTI SINCRONIZZATE IN QUESTO MODO SONO DETTE IN* ***FASE****. IN GENERALE, QUINDI, POSSIAMO AFFERMARE CHE SI HA INTERFERENZA COSTRUTTIVA O DISTRUTTIVA DI ONDE PROVENIENTI DA SORGENTI IN FASE NELLE SEGUENTI CONDIZIONI:*

- *SI HA* ***INTERFERENZA COSTRUTTIVA*** *NEI PUNTI IN CUI LA DIFFERENZA DI CAMMINO DELLE DUE SORGENTI È* $\mathbf{0}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{2}\boldsymbol{\lambda}, \mathbf{3}\boldsymbol{\lambda}, \ldots$ *CIOÈ È UN MULTIPLO INTERO DELLA LUNGHEZZA D'ONDA.*
- *SI HA* ***INTERFERENZA DISTRUTTIVA*** *NEI PUNTI IN CUI LA DIFFERENZA DI CAMMINO DELLE DUE SORGENTI È* $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}; \ldots$ *CIOÈ È UN MULTIPLO DISPARI DI MEZZA LUNGHEZZA D'ONDA.*



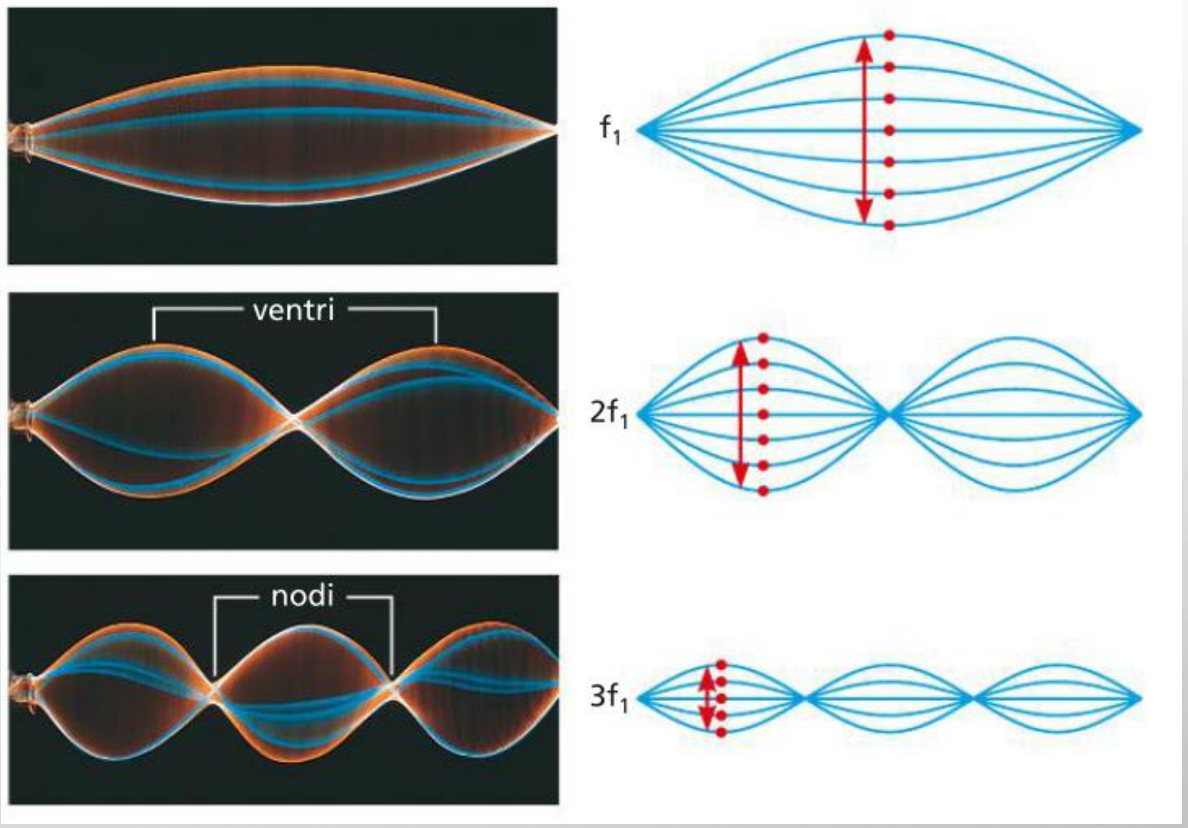
ALTRE DIFFERENZE DI CAMMINO COMPORTANO UN GRADO INTERMEDIO DI INTERFERENZA TRA LE SITUAZIONI ESTREME DI INTERFERENZA COSTRUTTIVA E DISTRUTTIVA. SE LE DUE SORGENTI SONO IN ***OPPOSIZIONE DI FASE,*** *CIOÈ QUANDO UNA EMETTE UNA CRESTA L'ALTRA EMETTE UN VENTRE, LE CONDIZIONI PER L'INTERFERENZA COSTRUTTIVA E DISTRUTTIVA SI SCAMBIANO.*

ESERCIZIO SU SOVRAPPOSIZIONE E INTERFERENZA:



ONDE STAZIONARIE

*UN'**ONDA STAZIONARIA** È UN'ONDA CHE OSCILLA NEL TEMPO MA RIMANE FERMA NELLA SUA POSIZIONE. È IN QUESTO SENSO CHE VIENE CHIAMATA "STAZIONARIA". POSSIAMO CONSIDERARE UN'ONDA STAZIONARIA COME IL RISULTATO DI UN'INTERFERENZA COSTRUTTIVA DI UN'ONDA CON SÉ STESSA. LE ONDE STAZIONARIE SONO QUINDI PRODOTTE SOLO QUANDO SONO SODDISFATTE PARTICOLARI CONDIZIONI.*



EXIT

ONDE STAZIONARIE IN UNA CORDA

*CONSIDERIAMO UNA CORDA DI LUNGHEZZA **«L»**, FISSATA AD ENTRAMBI GLI ESTREMI. SE PIZZICHIAMO QUESTA CORDA NEL PUNTO MEDIO, ESSA VIBRA. TALE VIBRAZIONE È DETTA **MODO FONDAMENTALE** DI OSCILLAZIONE O ANCHE **PRIMA ARMONICA**. LA CORDA ASSUME UN ASPETTO A ONDA, MA A CAUSA DELLE CONDIZIONI ALLE SUE ESTREMITÀ, CHE SONO FISSATE, L'ONDA RIMANE NELLA STESSA POSIZIONE. SE LA FREQUENZA È QUELLA GIUSTA, LA RIFLESSIONE SI COMBINA IN MODO DA DARE INTERFERENZA COSTRUTTIVA, FORMANDO IL **MODO FONDAMENTALE**; SE LA FREQUENZA È DIVERSA DA QUELLA FONDAMENTALE, LA RIFLESSIONE PRODUCE UN'INTERFERENZA DISTRUTTIVA, NON PORTANDO ALLA FORMAZIONE DI ONDE STAZIONARIE. LA **LUNGHEZZA D'ONDA** DEL MODO FONDAMENTALE È IL DOPPIO DELLA DISTANZA TRA LE DUE PARETI **«L»**, QUINDI:* $\boldsymbol{\lambda} = 2L$. *DA CIÒ SI EVINCE CHE LA **FREQUENZA FONDAMENTALE,** CIOÈ LA FREQUENZA D'ONDA DEL MODO FONDAMENTALE, È:*

$$\boldsymbol{f_1 = \frac{v}{2L}}$$

DA QUESTA FORMULA OSSERVIAMO COME LA FREQUENZA FONDAMENTALE SIA DIRETTAMENTE PROPORZIONALE ALLA VELOCITÀ DELL'ONDA E INVERSAMENTE PROPORZIONALE ALLA LUNGHEZZA DELLA CORDA. LA PRIMA ARMONICA NON È L'UNICA ONDA STAZIONARIA CHE PUÒ ESISTERE SU UNA CORDA. INFATTI, PER OGNI DATA CORDA, C'È UN NUMERO INFINITO DI MODI DI ONDE STAZIONARIE, CON FREQUENZE CHE SONO MULTIPLI INTERI DI QUELLA FONDAMENTALE.

ONDE STAZIONARIE IN UNA CORDA

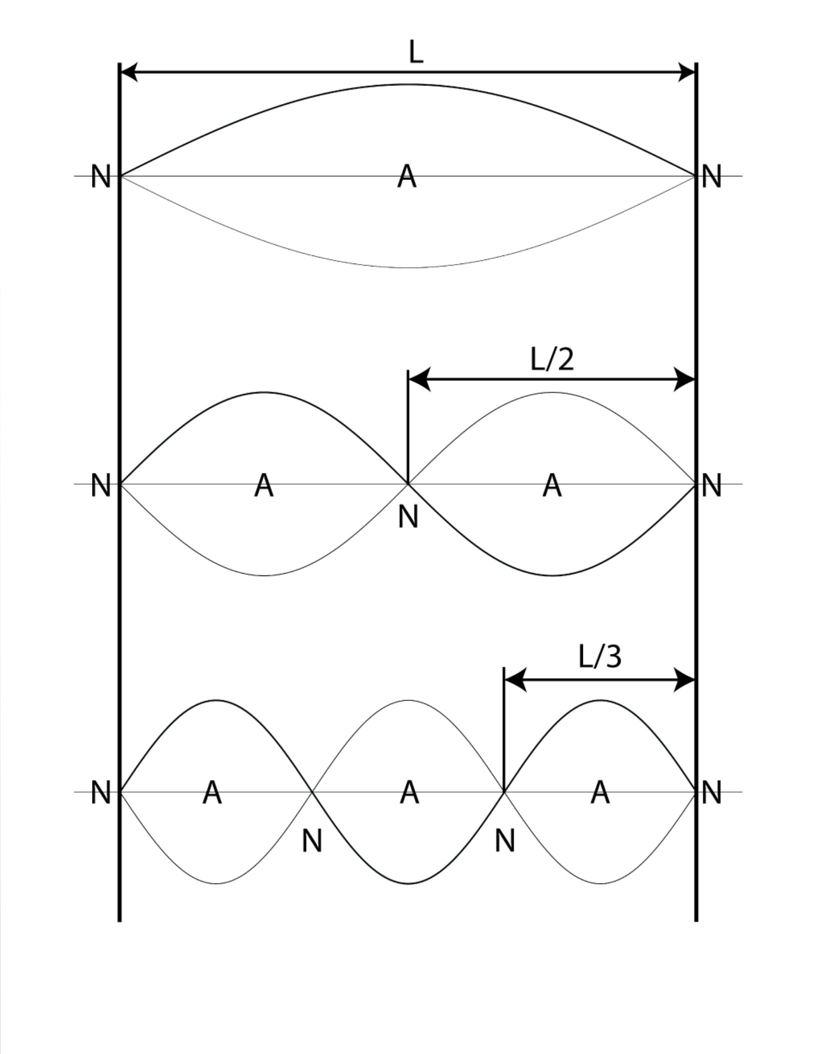
*PER TROVARE LE ARMONICHE SUPERIORI, I DUE ESTREMI DELLA CORDA DEVONO RIMANERE FISSI. I PUNTI DI UN'ONDA STAZIONARIA CHE RIMANGONO FISSI SONO DETTI **NODI.** NEL PUNTO MEDIO TRA I DUE NODI C'È UN PUNTO DELL'ONDA CHE HA UNO SPOSTAMENTO MASSIMO: TALE PUNTO È CHIAMATO **ANTINODO**. L'ONDA STAZIONARIA FONDAMENTALE, O PRIMA ARMONICA, HA DUE NODI "N" E UN ANTINODO "A", QUINDI AVRÀ COME SEQUENZA **N-A-N**. LA SECONDA ARMONICA PUÒ ESSERE COSTRUITA INCLUDENDO UN'ALTRA MEZZA ONDA, QUESTO MODO AVRÀ SEQUENZA **N-A-N-A-N.** ANALOGAMENTE LA TERZA ARMONICA INCLUDE NUOVAMENTE UN'ALTRA MEZZA LUNGHEZZA D'ONDA, E COSÌ VIA...*

OGNI ARMONICA HA UNA FREQUENZA CHE È UN MULTIPLO INTERO DELLA FREQUENZA DELLA PRIMA ARMONICA. LA DIFFERENZA TRA LE FREQUENZE DI DUE QUALSIASI ARMONICHE SUCCESSIVE, È UGUALE ALLA FREQUENZA FONDAMENTALE.

FREQUENZA E LUNGHEZZA D'ONDA DELL'n-ESIMA ARMONICA, CON n= 1,2,3...:

$$f_n = n\frac{v}{2L} \qquad \lambda_n = \frac{\lambda_1}{n} = \frac{2L}{n}$$

"n" RAPPRESENTA IL NUMERO DELLE MEZZE LUNGHEZZE D'ONDA NELL'ONDA STAZIONARIA.



EXIT

ESERCIZIO SULLE ONDE STAZIONARIE IN UNA CORDA:

Problema:

Un filo per stendere la biancheria di massa 12,5 g è tirato con una tensione di 22,1 N tra due estremità che distano 7,66 m. Calcola: a) la frequenza fondamentale; b) la seconda armonica.

DATI

$m = 12,5\ g = 0,0125\ kg$

$F = 22,1\ N$

$L = 7,66\ m$

$f_1 = \frac{v}{2L}$; $f_2 = 2\frac{v}{2L}$

INCOGNITE

1ª armonica: $f_1 = ?$

2ª armonica: $f_2 = ?$

- Calcolo la velocità di propagazione dell'onda:

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0,0125\ kg}{7,66\ m} = 0,00163\ kg/m$

$v = \sqrt{\frac{22,1}{0,00163}} = 116,2\ m/s$

- Calcolo la frequenza della prima e della seconda armonica:

$f_1 = \frac{v}{2L} = \frac{116,2\ m/s}{2 \cdot 7,66\ m} = \boxed{7,60\ Hz}$

$f_2 = 2\frac{v}{2L} = 2 \cdot 7,60\ Hz = \boxed{15,2\ Hz}$

EXIT

LA CHITARRA

LE CORDE DI UNA CHITARRA, QUANDO VENGONO SOLLECITATE, VIBRANO PRINCIPALMENTE NEL LORO MODO FONDAMENTALE. NE CONSEGUE CHE NOTE DIVERSE POSSONO ESSERE PRODOTTE UTILIZZANDO CORDE DI DIVERSA LUNGHEZZA. RICORDANDO CHE LA FREQUENZA FONDAMENTALE PER UNA CORDA DI LUNGHEZZA L È ***F1= V/(2L);*** *CORDE LUNGHE PRODUCONO BASSE FREQUENZE E CORDE CORTE PRODUCONO ALTE FREQUENZE. IN UNA CHITARRA POSSONO ESSERE PRODOTTE PIÙ DI* ***DUE OTTAVE COMPLETE*** *SU UNA SINGOLA CORDA PREMENDO LA CORDA SULLA TASTIERA RIPORTATA SUL MANICO(I CUI "TASTI" SONO GLI SPAZI FRA UNA SBARRETTA E L'ALTRA). LA DISTANZA TRA LE SBARRETTE NON È UNIFORME, SE LA CORDA HA UNA FREQUENZA FONDAMENTALE DI 250 HZ, POICHÉ UN'OTTAVA SUPERIORE SULLA SCALA COMPORTA UN RADDOPPIO DELLA FREQUENZA, OSSIA 500 HZ, PER OTTENERE QUELLA NOTA È NECESSARIO DIMEZZARE LA LUNGHEZZA DELLA CORDA. PER PASSARE ALL'OTTAVA SUCCESSIVA, DOBBIAMO RADDOPPIARE NUOVAMENTE LA FREQUENZA, A 1000 HZ, E QUINDI ACCORCIARE NUOVAMENTE LA CORDA DI UN FATTORE 2, A UN QUARTO DELLA LUNGHEZZA ORIGINALE. POICHÉ LA DISTANZA TRA OTTAVE E SUCCESSIVE DIMINUISCE, IN QUESTO CASO DA L/2 A L/4 , LA DISTANZA TRA LE SBARRETTE DEVE DIMINUIRE MAN MANO CHE SI VA VERSO LE NOTE PIÙ ALTE. PER SALIRE DI UN'OTTAVA RISPETTO ALLA FONDAMENTALE, LA LUNGHEZZA DELLA CORDA DI UNA CHITARRA DEVE ESSERE DIMEZZATA. PER SALIRE DI UN'ALTRA OTTAVA, È NECESSARIO DIMEZZARE NUOVAMENTE LA LUNGHEZZA DELLA CORDA. PERCIÒ LA DISTANZA TRA LE SBARRETTE NON È UNIFORME, MA SI RIDUCE MAN MANO CHE CI SI MUOVE VERSO LA BASE DELLA TASTIERA.*

ESERCIZIO SULL'ARMONICA DELLA CHITARRA:

3ª armonica della chitarra

Una corda di chitarra, lunga 66 cm, vibra con un'onda fissa che ha tre antinodi.

a) Di quale armonica si tratta?

b) Qual é la sua lunghezza d'onda?

Dati	Incognita
$L = 66$ cm	$\lambda = ?$
$n°A = 3$	

a) Poiché l'onda ha 3 antinodi si tratta della 3° armonica, la quale avrá sequenza N-A-N-A-N-A-N

b) Calcola la lunghezza di onda della 3° armonica

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$n = 3$ (poiché é la 3° armonica)

quindi

$$\lambda_3 = \frac{2L}{3} = \frac{2 \cdot 66\ cm}{3} = \frac{132}{3}\ cm = 44\ cm$$

EXIT

ONDE IN UNA COLONNA D'ARIA VIBRANTE CHIUSA A UN ESTREMO

*SE SOFFIAMO DELL'ARIA SULL'APERTURA DI UNA BOTTIGLIA, SENTIAMO UNA NOTA DI UNA CERTA FREQUENZA, QUINDI IL FLUSSO DI ARIA TURBOLENTA PUÒ CAUSARE UN'ONDA SONORA. SE VERSIAMO DELL'ACQUA NELLA BOTTIGLIA, IL SUONO EMESSO HA UNA FREQUENZA PIÙ ALTA. IN ENTRAMBI I CASI VIENE ECCITATO **IL MODO FONDAMENTALE** DELLA COLONNA D'ARIA NELLA BOTTIGLIA. ESAMINANDO IL FENOMENO, POSSIAMO AFFERMARE CHE SOFFIANDO SULL'APERTURA DI UNA BOTTIGLIA OTTENIAMO UN MOTO VORTICOSO DELL'ARIA, CHE PRODUCE RAREFAZIONI E COMPRESSIONI. PER QUESTO MOTIVO, L'ONDA STAZIONARIA HA UN ANTINODO "A" ALL'APERTURA DELLA BOTTIGLIA DOVE SI HA IL MOTO DELL'ARIA. D'ALTRA PARTE IL FONDO DELLA BOTTIGLIA ESSENDO CHIUSO IMPEDISCE IL MOVIMENTO DELL'ARIA, RAPPRESENTA UN NODO «N». SE RAPPRESENTIAMO LA VARIAZIONE DELLA DENSITÀ DELL'ARIA PER QUEST'ONDA, VEDIAMO CHE UN QUARTO DI UNA LUNGHEZZA D'ONDA È CONTENUTO NELLA COLONNA D'ARIA PRESENTE NELLA BOTTIGLIA. PERCIÒ, SE LA LUNGHEZZA DELLA COLONNA D'ARIA È «L», L'ARMONICA FONDAMENTALE HA UNA LUNGHEZZA D'ONDA CHE AFFERMA TALE RELAZIONE:* $\boldsymbol{\lambda = 4L}$.
PERTANTO LA FREQUENZA FONDAMENTALE È:

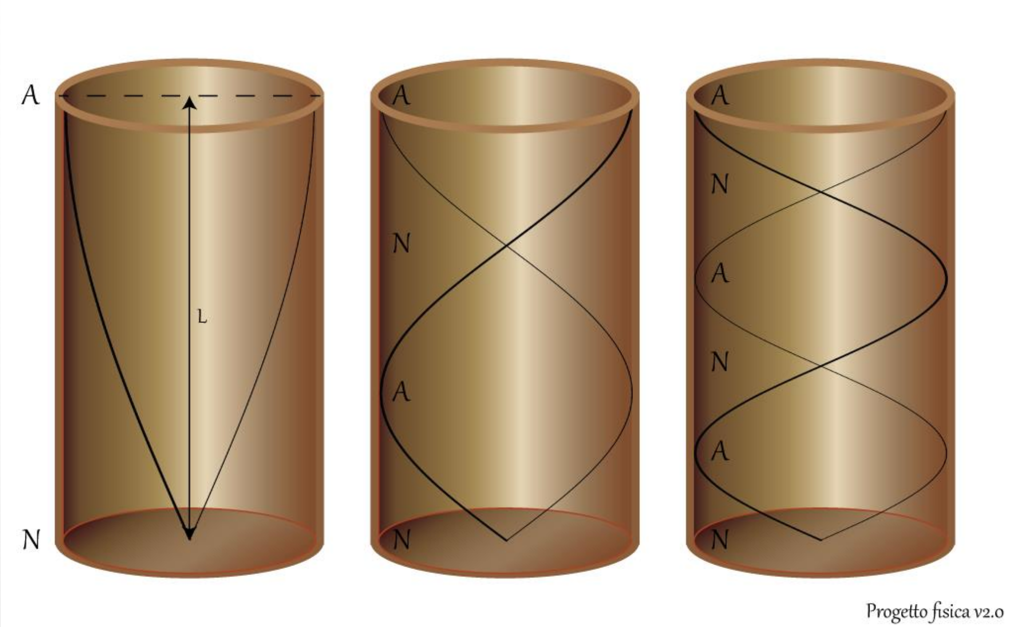
$$f_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4L}$$

EXIT

ONDE IN UNA COLONNA D'ARIA VIBRANTE CHIUSA A UN ESTREMO

*LA SUCCESSIVA ARMONICA È PRODOTTA AGGIUNGENDO MEZZA LUNGHEZZA D'ONDA, PERCIÒ SE L'ARMONICA FONDAMENTALE È RAPPRESENTATA DALLA SEQUENZA **N-A**, POSSIAMO IDENTIFICARE LA SUCCESSIVA COME **N-A-N-A.** POICHÉ LA DISTANZA TRA UN NODO E UN ANTINODO È UN QUARTO DI LUNGHEZZA D'ONDA, NELLA BOTTIGLIA SONO CONTENUTI 3/4 DI UNA LUNGHEZZA D'ONDA. LA FREQUENZA DELL'ARMONICA **N-A-N-A,** SARÀ DUNQUE «$3f_1$», IL TRIPLO DELLA FREQUENZA FONDAMENTALE. POICHÉ L'ARMONICA N-A-N-A, HA LA FREQUENZA IL TRIPLO DELLA FREQUENZA FONDAMENTALE, È CHIAMATA **TERZA ARMONICA**. ANALOGAMENTE L'ARMONICA RAPPRESENTATA DALLA SEQUENZA **N-A-N-A-N-A**, AVRÀ LA FREQUENZA IL QUINTUPLO DELLA FREQUENZA FONDAMENTALE, QUINDI È CHIAMATA **QUINTA ARMONICA.** IN BASE A CIÒ RICAVIAMO **LA FREQUENZA E LA LUNGHEZZA D'ONDA DELL'N-ESIMA ARMONICA IN UNA COLONNA D'ARIA CHIUSA A UN ESTREMO:***

$$f_n = nf_1 = n\frac{v}{4L} \qquad \lambda_n = \frac{\lambda_1}{n} = \frac{4L}{n}$$



EXIT

ESERCIZIO SULLE ONDE IN UNA COLONNA D'ARIA VIBRANTE CHIUSA AD UN ESTREMO:

Il suono nell'elio

Quando soffi sulla bocca di una bottiglia vuota, senti una frequenza fondamentale di 206 Hz. Se riempi la bottiglia di elio, quale sarà la nuova frequenza fondamentale?

DATI

$f_1 = 206\ Hz$

$v_a = 343\ m/s$

$v_1 = 3 \cdot v_a = 3 \cdot 343\ m/s = 1029\ m/s$

INCOGNITA:

$f_2 = \frac{v_1}{4L} = ?$

- Calcolo la lunghezza della bottiglia:

$$f_1 = \frac{v_a}{4L} \Rightarrow 4L = \frac{v_a}{f_1} = \frac{343\ m/\cancel{s}}{206\ \cancel{s^{-1}}} = 1,67\ m$$

- Calcolo la frequenza fondamentale nel caso in cui mettessi elio nella bottiglia:

$$f_2 = \frac{v_1}{4L} = \frac{1029\ \cancel{m}/s}{1,67\ \cancel{m}} = \boxed{618\ Hz}$$

EXIT

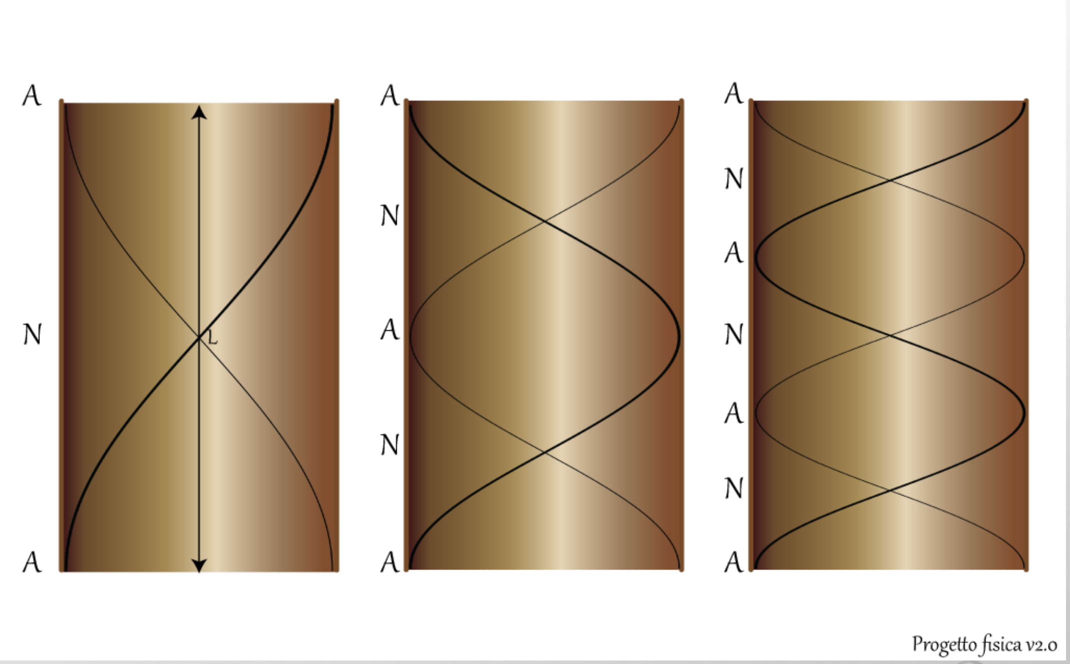
ONDE IN UNA COLONNA D'ARIA VIBRANTE APERTA A ENTRAMBI GLI ESTREMI

LE ONDE STAZIONARIE POSSONO ESSERE ANCHE PRODOTTE IN COLONNE D'ARIA APERTE A ENTRAMBI GLI ESTREMI. IN QUESTO CASO C'È UN ANTINODO IN CIASCUN DEGLI ESTREMI DELLA COLONNA, QUINDI L'ARMONICA FONDAMENTALE HA COME SEQUENZA ***A-N-A.*** *NEL TUBO È CONTENUTA MEZZA LUNGHEZZA D'ONDA PERCIÒ:*

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

OTTENIAMO LO STESSO RISULTATO VISTO IN PRECEDENZA PER LE ONDE STAZIONARIE IN UNA CORDA. QUINDI ***LA FREQUENZA E LA LUNGHEZZA D'ONDA DELL'N-ESIMA ARMONICA IN UNA COLONNA D'ARIA APERTA A ENTRAMBI GLI ESTREMI*** *SONO:*

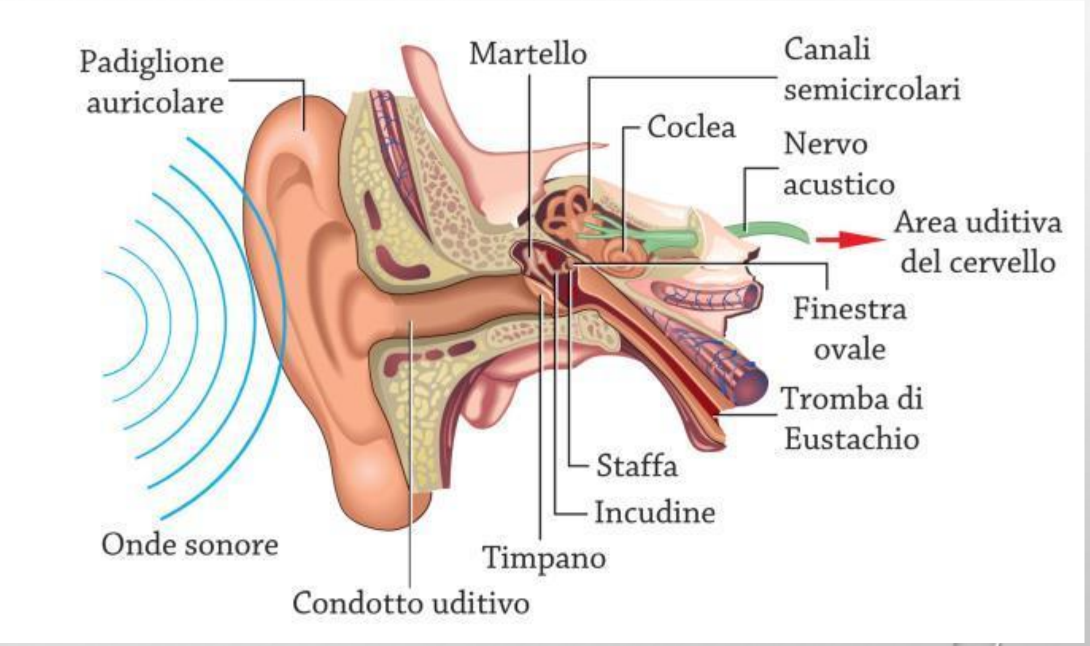
$$f_n = n\frac{v}{2L} \qquad \lambda_n = \frac{\lambda_1}{n} = \frac{2L}{n}$$



EXIT

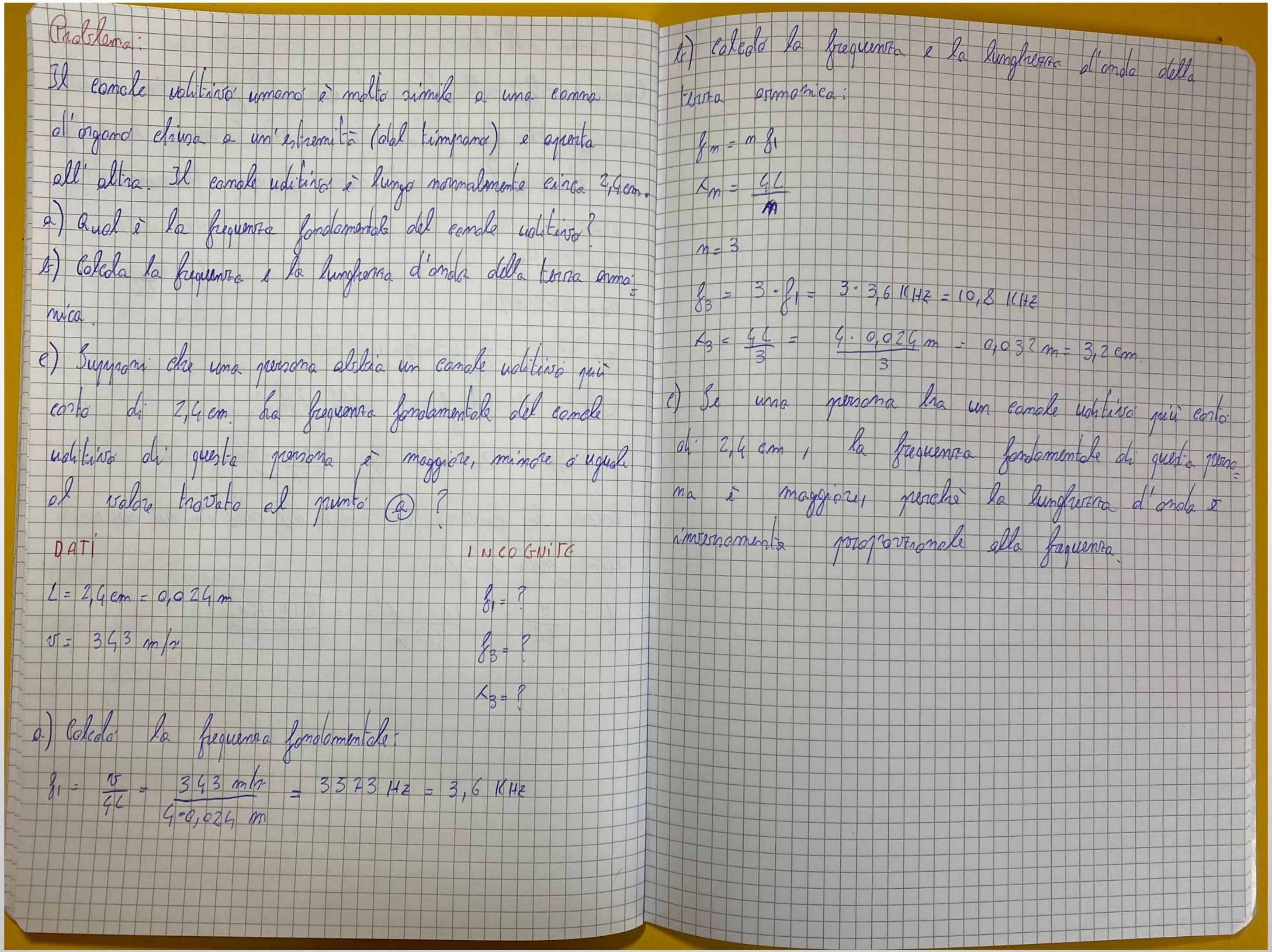
EFFETTI DELLE ONDE STAZIONARIE NEL CANALE UDITIVO

*IL **CANALE UDITIVO** DELL'ORECCHIO UMANO È UN ESEMPIO DI COLONNA D'ARIA CHIUSA A UN ESTREMO, IL TIMPANO, E APERTA DALL'ALTRO. LE ONDE STAZIONARIE DEL CANALE UDITIVO POSSONO DETERMINARE UN AUMENTO DELLA SENSIBILITÀ DELL'ORECCHIO. L'ORECCHIO UMANO È PIÙ SENSIBILE AD ALCUNE FREQUENZE DI SUONO CHE NON AD ALTRE. TUTTO CIÒ VIENE RAPPRESENTATO ANCHE IN UN GRAFICO CHE RIPORTA PROPRIO LE CURVE DI UGUALE VOLUME IN FUNZIONE DELLA FREQUENZA. NEI TRATTI IN CUI QUESTE CURVE PIEGANO VERSO IL BASSO, SUONI DI INTENSITÀ INFERIORE SEMBRANO AVERE LO STESSO VOLUME DI SUONI DI INTENSITÀ SUPERIORE A UNA DIFFERENTE FREQUENZA. LA SOGLIA UDITIVA NON È UGUALE A 0 DB PER TUTTE LE FREQUENZE, MA È APPROSSIMATIVAMENTE **25 DB A 100 HZ**, CIRCA **5 DB A 1000 HZ** E ADDIRITTURA LEGGERMENTE NEGATIVA INTORNO A 3500 HZ. LE DUE DEPRESSIONI PIÙ ACCENTUATE ,INTORNO A 3500 HZ E 11000 HZ SONO DOVUTE A ONDE STAZIONARIE NEL CANALE UDITIVO CHE CORRISPONDONO **ALLA PRIMA E ALLA TERZA ARMONICA.***



EXIT

ESERCIZIO SULLE ONDE STAZIONARIE NEL CANALE UDITIVO:



Problema:

Il canale uditivo umano è molto simile a una canna d'organo chiusa a un'estremità (dal timpano) e aperta all'altra. Il canale uditivo è lungo normalmente circa 2,4 cm.

a) Qual è la frequenza fondamentale del canale uditivo?

b) Calcola la frequenza e la lunghezza d'onda della terza armonica.

c) Supponi che una persona abbia un canale uditivo più corto di 2,4 cm. La frequenza fondamentale del canale uditivo di questa persona è maggiore, minore o uguale al valore trovato al punto (a)?

DATI

$L = 2{,}4\ cm = 0{,}024\ m$

$v = 343\ m/s$

INCOGNITE

$f_1 = ?$

$f_3 = ?$

$\lambda_3 = ?$

a) Calcola la frequenza fondamentale:

$$f_1 = \frac{v}{4L} = \frac{343\ m/s}{4 \cdot 0{,}024\ m} = 3573\ Hz = 3{,}6\ kHz$$

b) Calcola la frequenza e la lunghezza d'onda della terza armonica:

$f_m = m\, f_1$

$\lambda_m = \frac{4L}{m}$

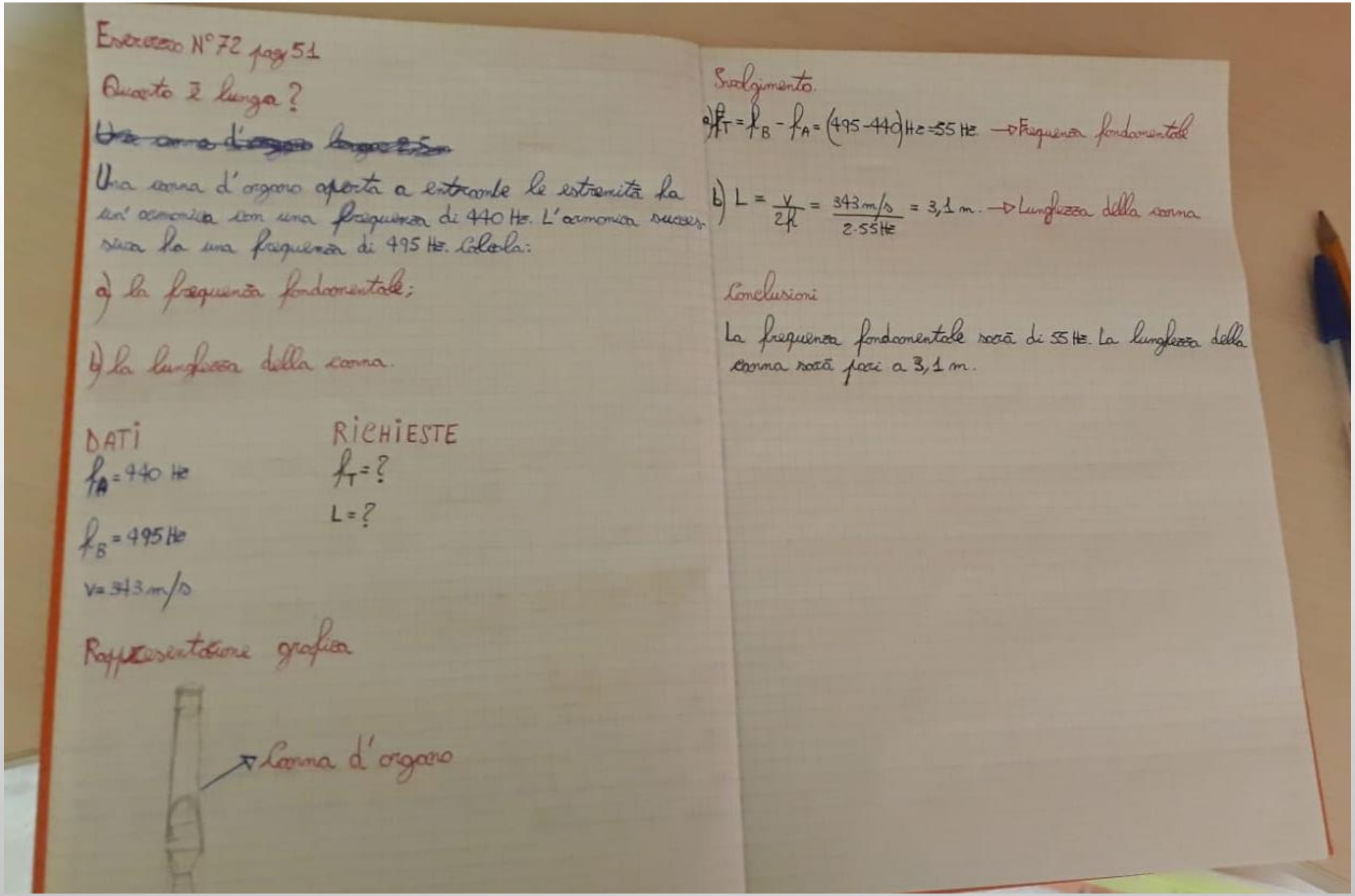
$m = 3$

$$f_3 = 3 \cdot f_1 = 3 \cdot 3{,}6\ kHz = 10{,}8\ kHz$$

$$\lambda_3 = \frac{4L}{3} = \frac{4 \cdot 0{,}024\ m}{3} = 0{,}032\ m = 3{,}2\ cm$$

c) Se una persona ha un canale uditivo più corto di 2,4 cm, la frequenza fondamentale di questa persona è maggiore, perché la lunghezza d'onda è inversamente proporzionale alla frequenza.

ESERCIZIO SULLE ONDE IN UNA COLONNA D'ARIA VIBRANTE APERTA A ENTRAMBI GLI ESTREMI:


Esercizio N°72 pag 51

Quanto è lunga?

~~Una canna d'organo lunga 2,5m~~

Una canna d'organo aperta a entrambe le estremità ha un'armonica con una frequenza di 440 Hz. L'armonica successiva ha una frequenza di 495 Hz. Calcola:

a) la frequenza fondamentale;

b) la lunghezza della canna.

DATI

$f_A = 440$ Hz

$f_B = 495$ Hz

$v = 343$ m/s

RICHIESTE

$f_1 = ?$

$L = ?$

Rappresentazione grafica

Svolgimento

a) $f_1 = f_B - f_A = (495-440)\,\text{Hz} = 55\,\text{Hz}$ → Frequenza fondamentale

b) $L = \frac{v}{2f} = \frac{343\,\text{m/s}}{2 \cdot 55\,\text{Hz}} = 3{,}1\,\text{m}$ → Lunghezza della canna

Conclusioni

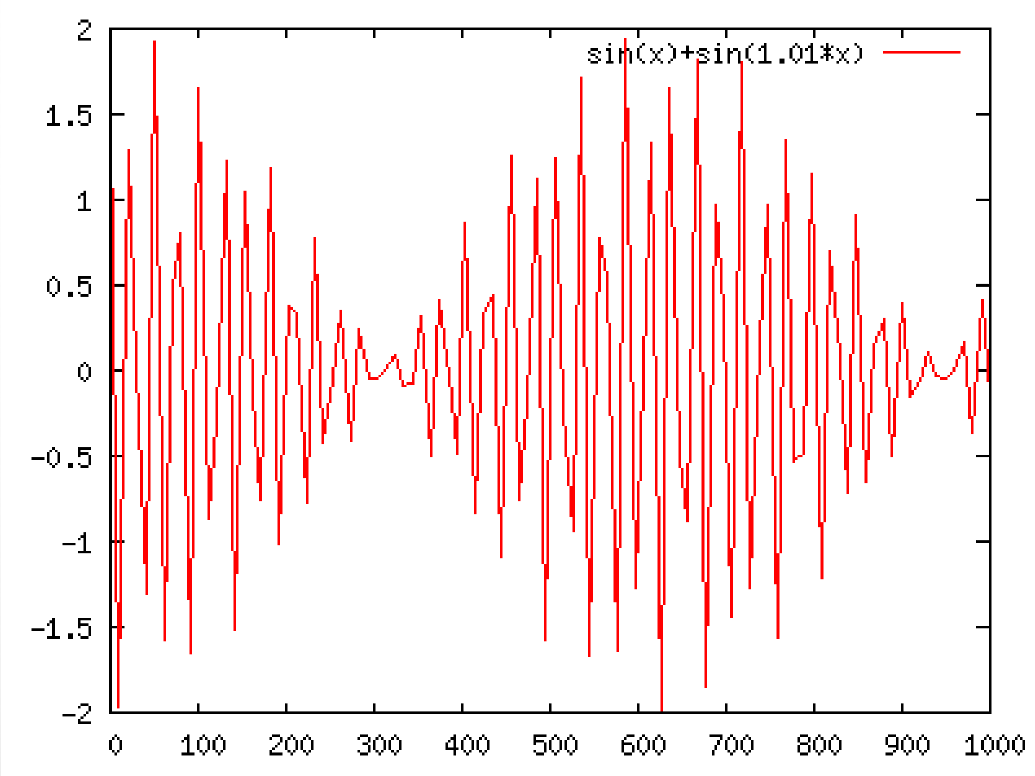
La frequenza fondamentale sarà di 55 Hz. La lunghezza della canna sarà pari a 3,1 m.

BATTIMENTI

*I **BATTIMENTI** POSSONO ESSERE CONSIDERATI COME UNA FIGURA DI INTERFERENZA NEL TEMPO. UN BATTIMENTO È PERCEPITO DALL'ORECCHIO COME UN'ALTERNANZA DI SUONI DI VOLUME PIÙ ALTO E PIÙ BASSO. ESSI SI HANNO QUANDO INTERFERISCONO ONDE CHE HANNO FREQUENZE LEGGERMENTE DIVERSE E VARIAZIONE D'INTENSITÀ DETERMINATA DA UN PERIODO BEN DEFINITO. MATEMATICAMENTE UN BATTIMENTO SI OTTIENE SOMMANDO LE FUNZIONI D'ONDA ARMONICA, DELLE RISPETTIVE ONDE CHE INTEFERISCONO TRA LORO:*

$$y_{tot} = y_1 + y_2 = A\cos(2\pi f_1 t) + A\cos(2\pi f_2 t) = 2A\cos\left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t\right)\cos\left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t\right)$$

*IL PRIMO TERMINE FORNISCE **L'AMPIEZZA LENTAMENTE VARIABILE DEL BATTIMENTO**, CHE OSCILLA IN BASE ALLA FREQUENZA DI BATTIMENTO, MENTRE IL SECONDO TERMINE INDICA **LE RAPIDE OSCILLAZIONI DI FREQUENZA** ALL'INTERNO DI OGNI BATTIMENTO.*



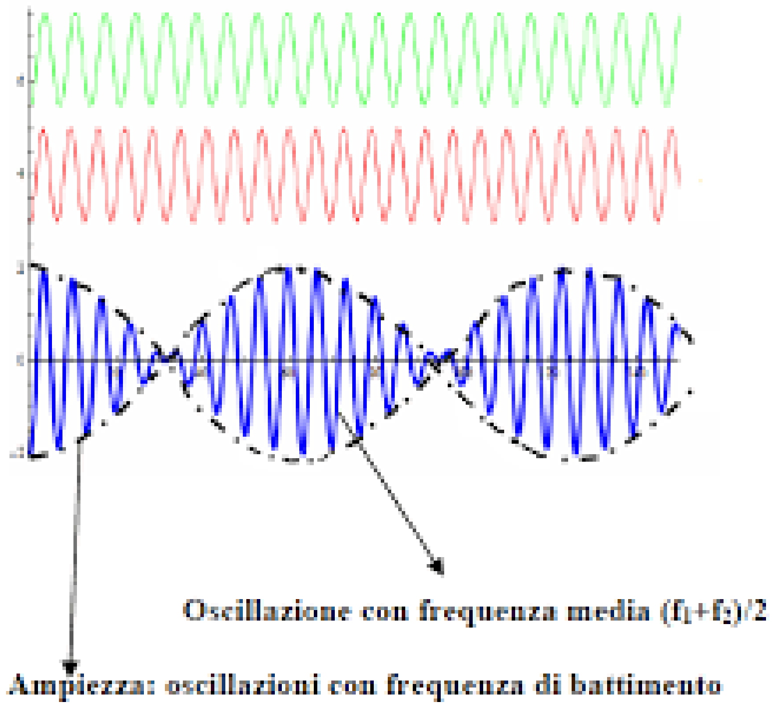
EXIT

FREQUENZA DI BATTIMENTI

*LA FREQUENZA DEI MASSIMI D'INTENSITÀ È LA **FREQUENZA DI BATTIMENTO**. SUPPONIAMO DI PIZZICARE SIMULTANEAMENTE DUE CORDE DI CHITARRA CHE ABBIANO RISPETTIVAMENTE LE FREQUENZE DI 438 HZ E 442 HZ, AL NOSTRO ORECCHIO ARRIVERÀ UN SUONO DI 440 HZ **(FREQUENZA MEDIA)**, IL CUI LIVELLO SONORO AUMENTA E DIMINUISCE NEL TEMPO CON UNA FREQUENZA DI BATTIMENTO DI 4 HZ. CIÒ SIGNIFICA CHE SENTIREMO IL **MASSIMO LIVELLO SONORO** 4 VOLTE AL SECONDO. LA FREQUENZA DI BATTIMENTO È UGUALE AL MODULO DELLA DIFFERENZA TRA LA PRIMA FREQUENZA E LA SECONDA FREQUENZA:*

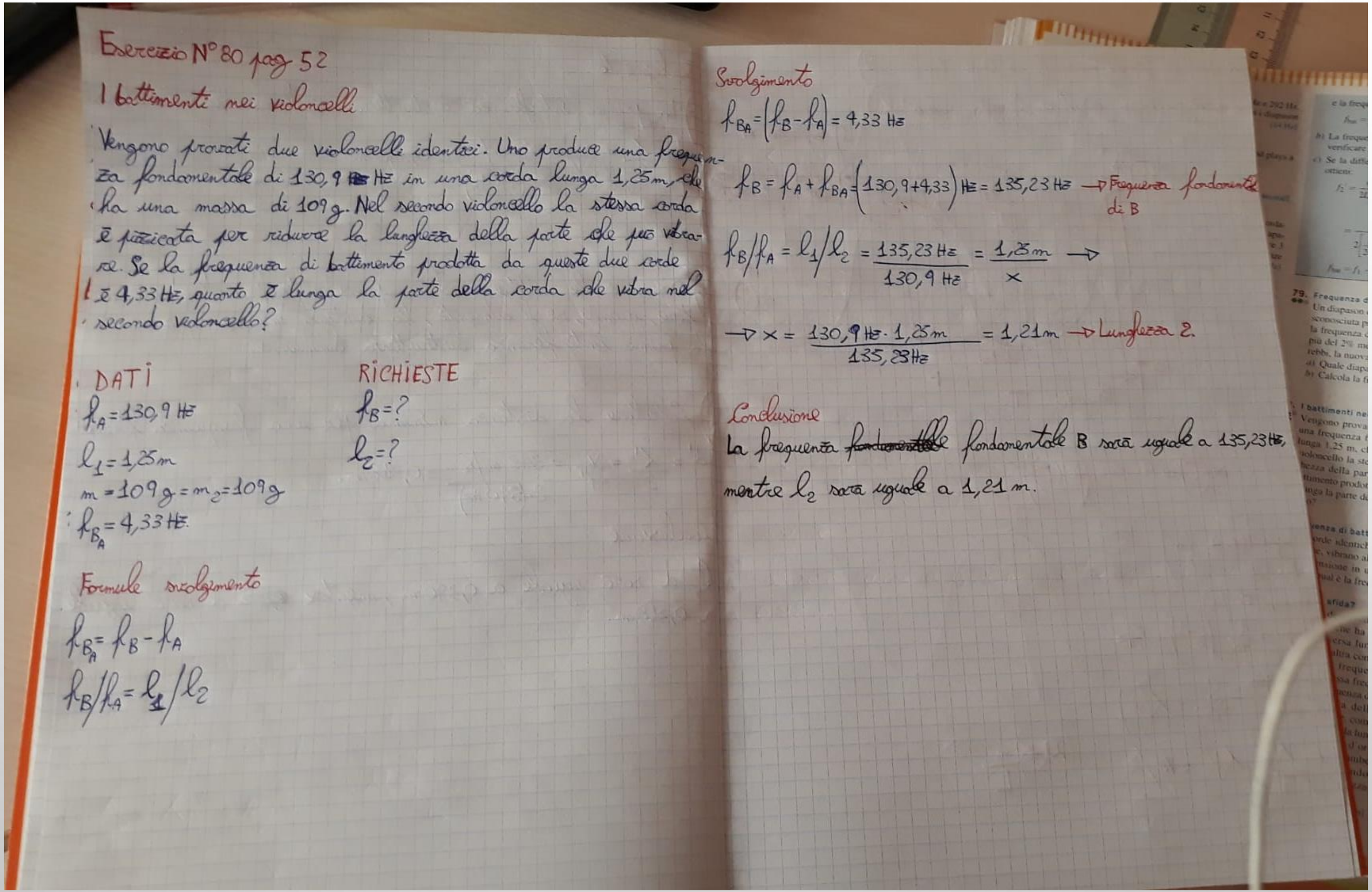
$$f_{bat} = |f_1 - f_2|$$

Esempio di battimenti b) generati dall'interferenza di due onde sinusoidali di frequenze leggermente diverse a).



EXIT

ESERCIZIO SUI BATTIMENTI:



Esercizio N°80 pag 52

I battimenti nei violoncelli

Vengono provati due violoncelli identici. Uno produce una frequenza fondamentale di 130,9 Hz in una corda lunga 1,25m, che ha una massa di 109g. Nel secondo violoncello la stessa corda è pizzicata per ridurre la lunghezza della parte che può vibrare. Se la frequenza di battimento prodotta da queste due corde è 4,33 Hz, quanto è lunga la parte della corda che vibra nel secondo violoncello?

DATI

$f_A = 130{,}9\ Hz$

$l_1 = 1{,}25m$

$m = 109g = m_2 = 109g$

$f_{B_A} = 4{,}33\ Hz$

RICHIESTE

$f_B = ?$

$l_2 = ?$

Formule svolgimento

$f_{B_A} = f_B - f_A$

$f_B / f_A = l_1 / l_2$

Svolgimento

$f_{BA} = |f_B - f_A| = 4{,}33\ Hz$

$f_B = f_A + f_{BA} = (130{,}9 + 4{,}33)\ Hz = 135{,}23\ Hz \rightarrow$ Frequenza fondamentale di B

$f_B / f_A = l_1 / l_2 = \frac{135{,}23\ Hz}{130{,}9\ Hz} = \frac{1{,}25m}{x} \rightarrow$

$\rightarrow x = \frac{130{,}9\ Hz \cdot 1{,}25m}{135{,}23\ Hz} = 1{,}21m \rightarrow$ Lunghezza 2.

Conclusione

La frequenza ~~fondamentale~~ fondamentale B sarà uguale a 135,23 Hz, mentre l_2 sarà uguale a 1,21 m.

EXIT

ESERCIZIO SUI BATTIMENTI:

I battimenti nei clarinetti

Due musicisti stanno confrontando i loro clarinetti.
Il primo emette un suono di frequenza 441 Hz.
Quando i due clarinettisti suonano insieme, producono 8 battimenti ogni 2,00 secondi.
Se il secondo clarinetto emette un suono più alto del primo, cioé con frequenza maggiore, qual é la frequenza del secondo clarinetto?

Dati

$f_1 = 441\ Hz$

8 battimenti ogni 2 s

$f_2 > f_1$

Incognite

$f_2 = ?$

- Calcolo la frequenza dei battimenti

$$f_{bat} = \frac{8}{2} = 4\ Hz$$

- Calcolo la frequenza del secondo clarinetto

$$f_{bat} = f_2 - f_1 \Rightarrow f_2 = f_{bat} + f_1 = (4 + 441)\ Hz = 445\ Hz.$$

LAVORO REALIZZATO DA:

BRUNO PIERFRANCESCO

CURTI FRANCESCO

PISANI FRANCESCA

SANTELLA MARTINA