

I fenomeni ondosi

Peruzzotti Mattia, 4^a LSA

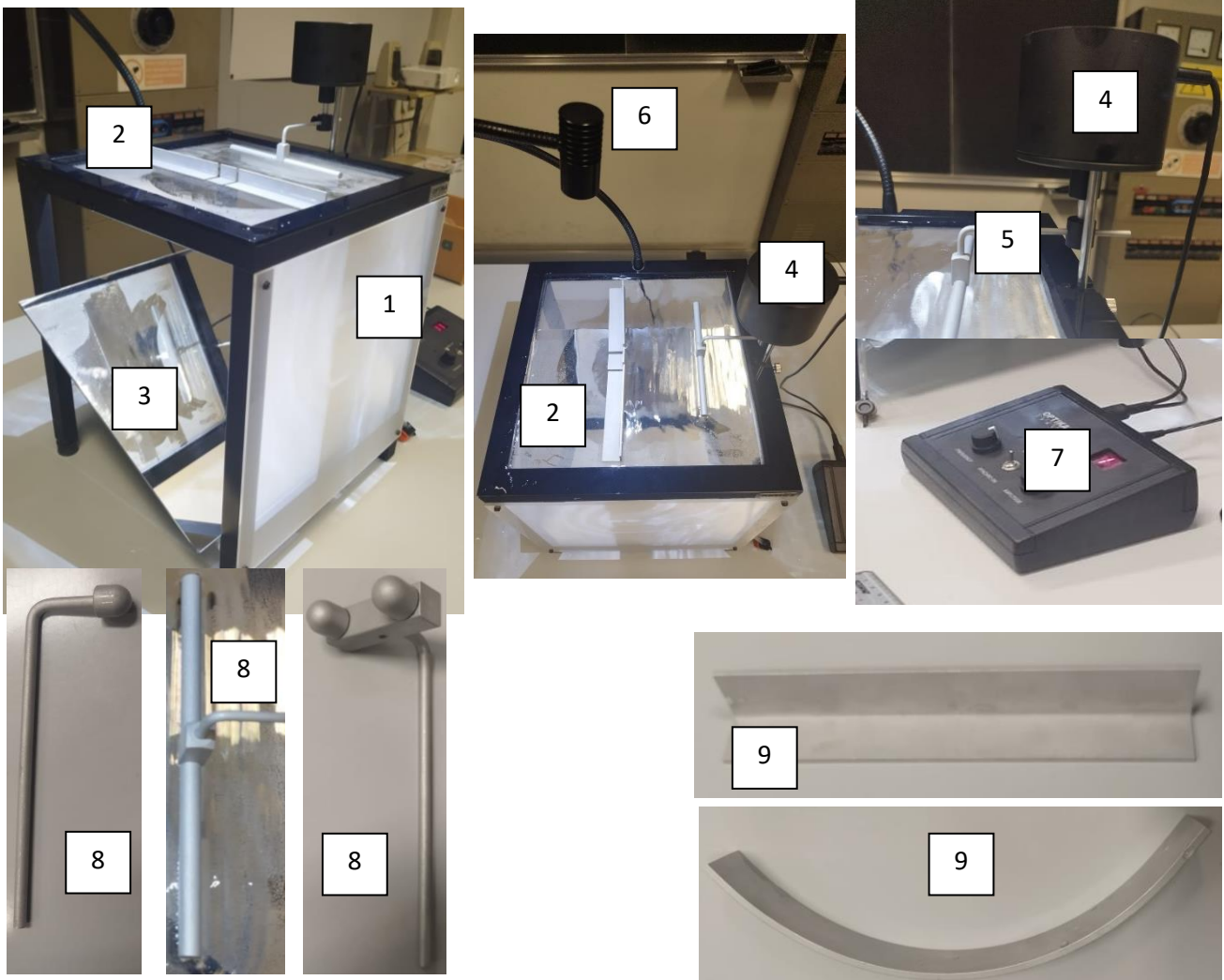
29 settembre 2023

Laboratorio di fisica n°1 del liceo Viale dei Tigli "Leonardo Da Vinci" di Gallarate

Scopo: **Osservazione dei fenomeni ondosi tramite l'ondoscopio.**

Materiale utilizzato

- Ondoscopio, dispositivo atto a visualizzare le onde. Composto da:
 - Vetro traslucido sul quale vengono proiettate le onde (1)
 - Vaschetta contenente acqua con vetro trasparente (2)
 - Specchio inclinato che permette di riflettere le onde sul vetro traslucido (3)
 - Motorino che produce le onde mettendo in vibrazione un'asticella con percussore che genera un treno di onde sulla vaschetta d'acqua (4)(5)
 - Stroboscopio che emette fascio di luce intermittente (che permette la visione delle onde solamente quando emette luce) (6)
 - Console con uno switch e due manopole utilizzato come reostato (in grado di variare la corrente, cambiando la frequenza dello stroboscopio e la frequenza con cui il percussore oscilla) (7).
- Diversi percussori che producono onde diverse (8)
- Specchio e ostacoli di diverse forme e dimensioni (9)

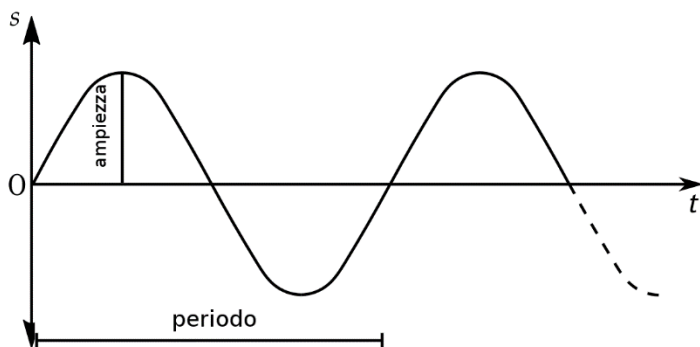


Premessa teorica

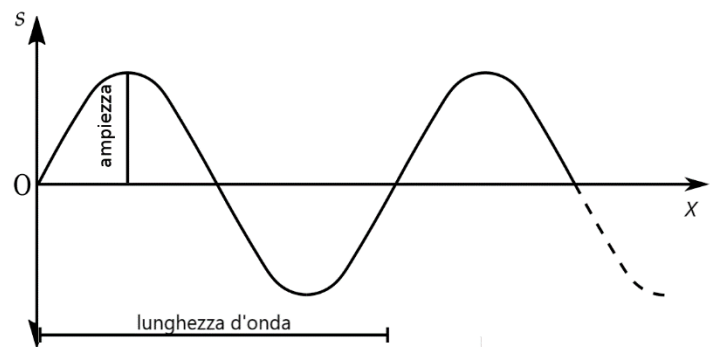
L'esperienza da noi eseguita aveva come scopo osservare i principali fenomeni ondosi tramite un ondoscopio, è quindi importante introdurre il concetto di onda.

Si definisce onda qualsiasi fenomeno periodico (perturbazione) che si propaga nello spazio e nel tempo. Nell'esperienza da noi eseguita visioneremo onde armoniche, particolari onde periodiche con andamento sinusoidale, matematicamente descritta dalla funzione seno.

Un'onda sinusoidale si propaga lungo l'asse x , oscilla lungo l'asse y e si propaga nel tempo, possiamo quindi dedurre che una qualsiasi onda sinusoidale è descritta da tre diverse variabili, della quali solamente due sono rappresentabili in un grafico cartesiano.



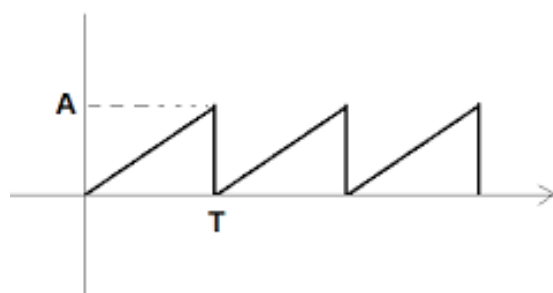
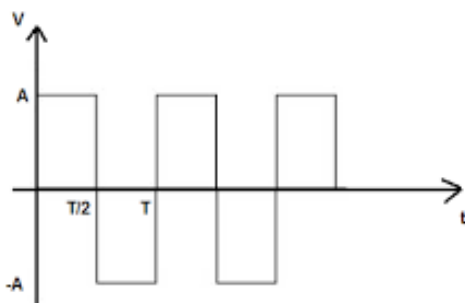
Nel grafico riportato sopra, possiamo notare rappresentate l'ampiezza dell'onda (sull'asse y) e il periodo dell'onda (sull'asse t), ovvero la propagazione nel tempo. Fissando la variabile x , otteniamo quindi un digramma orario



Nel grafico riportato sopra, possiamo notare rappresentate l'ampiezza dell'onda (sull'asse y) e la lunghezza d'onda (sull'asse x), ovvero il susseguirsi di due nodi. Fissando la variabile del tempo, otteniamo quindi la traiettoria dell'onda.

Nell'esperienza da noi eseguita osserveremo onde armoniche ma esistono diversi tipi di onde descritte da funzioni diverse.

- Onde trasversali hanno l'oscillazione perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda.
- Onde longitudinali hanno l'oscillazione parallela alla direzione di propagazione dell'onda.
- Onde monodimensionali, bidimensionali, tridimensionali si propagano in una, due, tre direzioni.
- Onde quadre sono segnali composti da un'alternanza regolare di due valori che sono equivalenti al segnale elettrico utilizzato nei circuiti digitali. Hanno intensità costante e polarità inversa.
- Onde a denti di sega è un tipo di onda non sinusoidale e così chiamata per la sua somiglianza con i denti posti sulla lama di una sega. Anch'esse utilizzate in elettronica

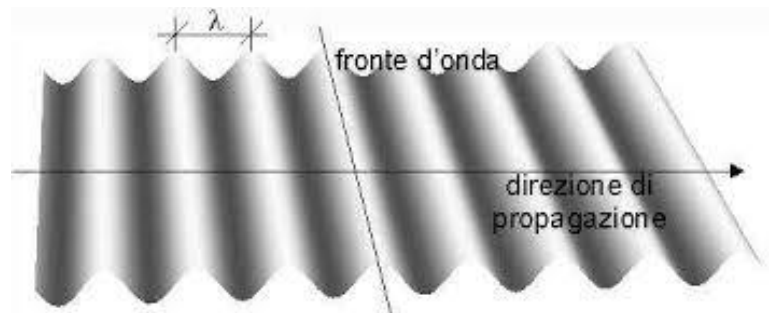
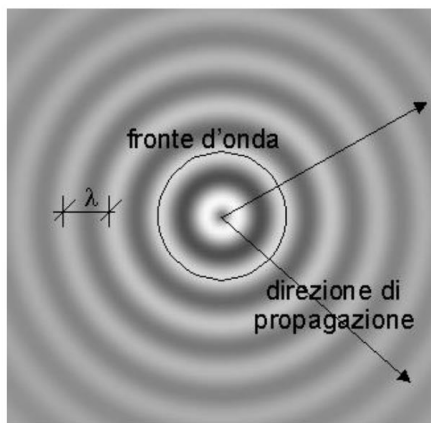


Un'onda armonica è descritta da diverse variabili delle quali conosciamo le formule.

La velocità di un'onda si calcola come: $V = \frac{\lambda}{T}$, rapporto tra lunghezza d'onda e periodo.

Il periodo di un'onda armonica si definisce come le oscillazioni di quell'onda al secondo, possiamo quindi introdurre una nuova grandezza: la frequenza. $f = \frac{1}{T} \left[\frac{\text{oscillazioni}}{\text{secondo}} \right] [Hz]$. Possiamo quindi riscrivere la velocità dell'onda come: $V = \lambda f$, ovvero l'equazione principale delle onde.

Durante l'esperimento da noi effettuato, non osserveremo direttamente le onde, ma, i fronti d'onda. Ogni onda è caratterizzata da fronti d'onda, ovvero l'insieme dei punti che nello stesso istante oscillano nello stesso modo.



Le frecce riportate nelle foto, rappresentano invece i raggi d'onda, le direzione in cui l'onda si propaga. È importante osservare come i raggi d'onda siano sempre perpendicolari ai fronti d'onda.

Ogni onda riportata su un piano cartesiano può essere descritta da una equazione. L'equazione dell'onda sinusoidale è:

$$y = A \sin(\omega t - kx + \varphi)$$

Dove:

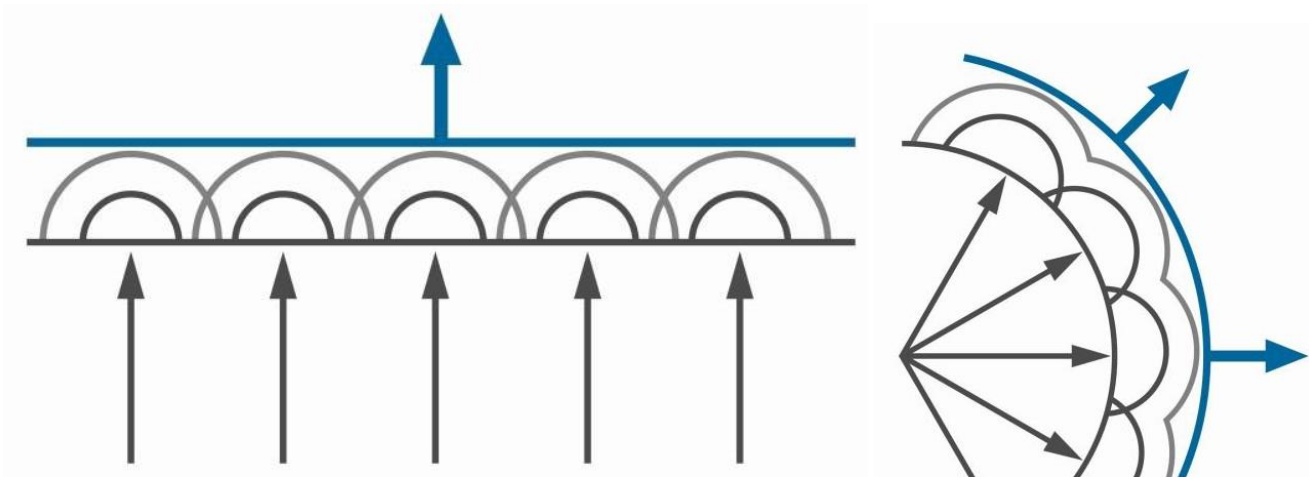
- A rappresenta la semi-ampiezza dell'onda.
- ω è la pulsazione temporale del moto armonico, calcolata come $\omega = 2\pi f$.
- K è la pulsazione spaziale (chiamata anche numero d'onda o vettore d'onda), si calcola come $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.
- φ è la fase iniziale, rappresenta il punto di partenza dell'onda su un piano cartesiano. (Se φ è 0, l'onda avrà inizio nell'origine).

Il principio di Huygens-Fresnel afferma che ogni punto colpito da un'onda si trasforma a sua volta in sorgente di onde sferiche, particolari onde con sfere come fronti d'onda. Perché ciò avvenga, è necessario che il mezzo sia omogeneo, cioè che la sua densità sia costante in ogni suo punto, e isotropo, cioè che sia uguale in ogni direzione.

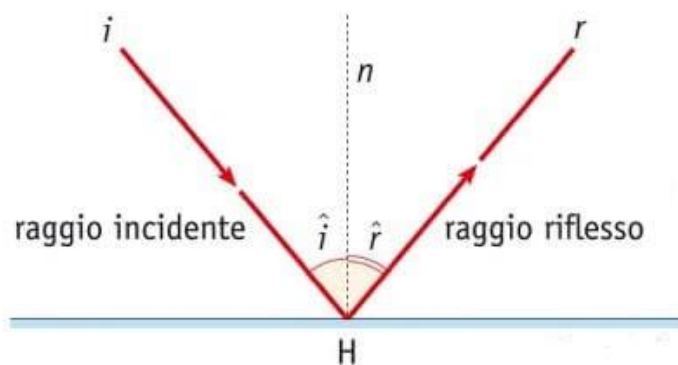
Sorge spontaneo chiedersi quindi perché, se generando onde piane, continueranno a propagarsi onde piane e non sferiche. La risposta a questo quesito è l'involuppo. Quando una sbarra urta l'acqua generando un'onda piana, tutti i punti colpiti da quest'onda diventeranno sorgente di onde sferiche. Il mezzo preso in considerazione è isotropo, quindi le onde sferiche si propagheranno con la stessa

velocità in tutte le direzioni. Dopo un certo tempo t , si otterrà quindi che il fronte d'onda sferico sarà alla stessa distanza. Si genererà quindi un'altra onda piana per inviluppo delle onde sferiche, con inviluppo si intende la curva tangente ad una serie di curve.

L'inviluppo delle onde sferiche sarà quindi valido non solo per le onde piane, ma anche per onde generate sfericamente.



Uno dei principali fenomeni riguardanti le onde è la riflessione. La parola riflessione deriva dalla parola latina reflecto, ovvero mi piego indietro. La riflessione, infatti, è il fenomeno per cui un'onda che arriva sulla superficie di separazione tra due mezzi ritorna nel primo mezzo.



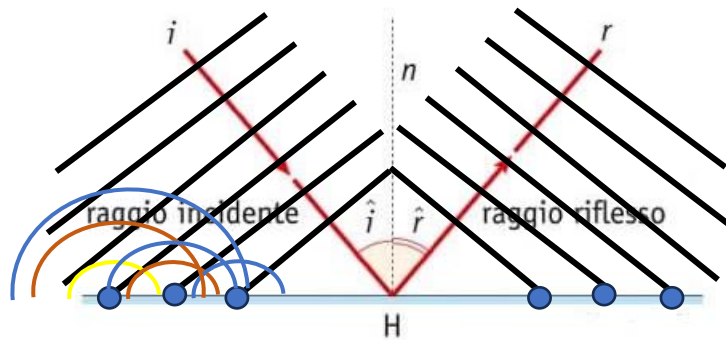
Nell'immagine a lato i corrisponde al raggio incidente, ovvero l'onda proveniente dalla sorgente, r è l'onda riflessa, ovvero l'onda che, quando incontra la superficie di separazione e in particolare il punto di incidenza (H), viene riflesso nel proprio mezzo.

La riflessione gode di due proprietà, descritte nelle leggi della riflessione per specchi piani.

La prima legge della riflessione riporta che il raggio incidente, la normale e il raggio riflesso sono complanari (giacciono nello stesso piano). Nella foto sovrastante la normale (che può prendere anche il nome di perpendicolare) è indicata con la lettera n , corrisponde alla linea perpendicolare alla superficie di separazione.

La seconda legge della riflessione, invece, riporta che l'angolo di incidenza è sempre congruente all'angolo di riflessione. Nella foto sovrastante, l'angolo di incidenza (\hat{i}) è l'angolo formato tra il raggio incidente e la normale; l'angolo di riflessione (\hat{r}) è l'angolo formato tra la normale e il raggio riflesso.

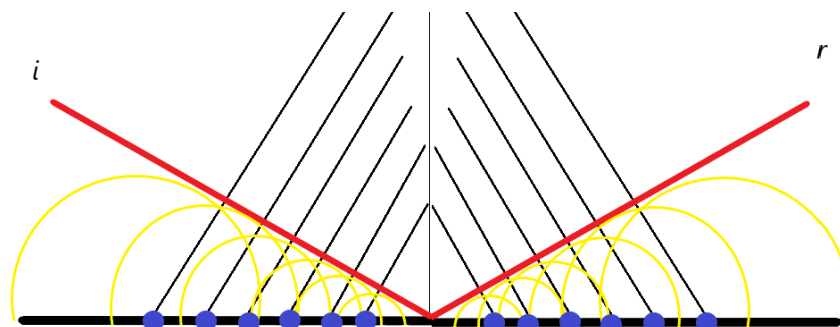
Parlando di onde, i due raggi rappresentati, possono prendere le forme di un treno di onde, come rappresentato in figura.



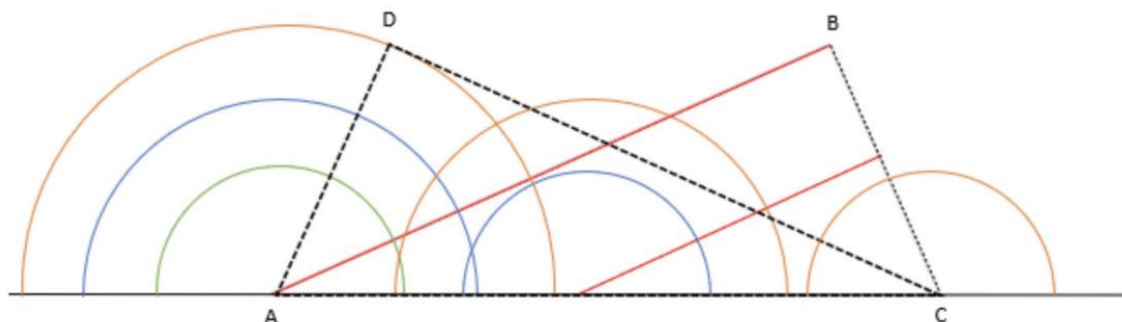
Nei punti contraddistinti dal pallino blu, le onde toccano la superficie di separazione e, come conseguenza del principio di Huygens-Fresnel, si genereranno onde sferiche. Dopo un certo tempo t , le onde sferiche generate saranno quelle colorate di giallo, dopo un tempo $2t$ quelle arancioni, mentre dopo un tempo $3t$, quelle azzurre. Questo perché, dopo un tempo t , il fronte d'onda si sarà spostato di una distanza pari al raggio dell'onda sferica generato nello stesso tempo, come conseguenza del mezzo isotropo utilizzato, dove la velocità delle onde è pari in ogni direzione.

Procedendo con la generazione di onde sferiche, si arriverà ad un certo punto ad ottenere un involuppo di onde sferiche generate come conseguenza del principio di Huygens-Fresnel che darà origine al raggio i . Lo stesso fenomeno accadrà anche con il raggio riflesso r .

Otterremo quindi una situazione come nella foto sottostante.



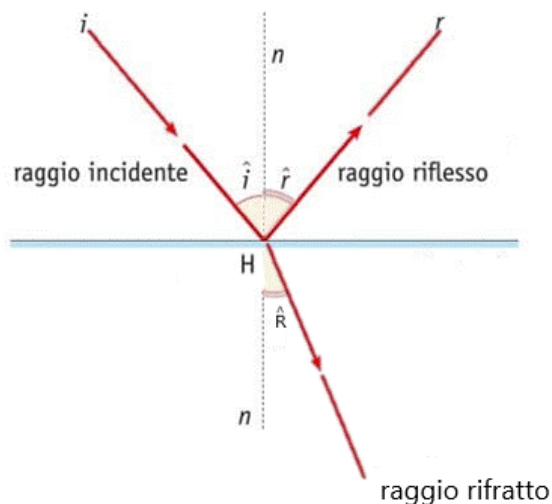
Analizzando solamente uno dei casi, possiamo ottenere che:



La riflessione delle onde dimostra che l'angolo di incidenza è pari a quello di riflessione: infatti, quando un fronte d'onda piano AB incide su una superficie riflettente, il punto A di incidenza diventa sorgente di onde sferiche che si propagano nello stesso mezzo e con la stessa velocità (il raggio

dell'onda è uguale alla distanza tra due fronti d'onda); il punto B per giungere il punto C impiega lo stesso tempo del fronte d'onda a raggiungere il punto D tale che risulta essere $AD = BC$. I due triangoli originati sono dunque congruenti (sono rettangoli, hanno in comune AC e $AD = BC$) e perciò ne consegue che $\hat{i} = \hat{r}$ dove $\hat{i} = \widehat{BAC}$ e $\hat{r} = \widehat{DCA}$.

Un altro fenomeno importante delle onde è la rifrazione. La parola rifrazione deriva dal latino refrango, rompo, passo attraverso. La rifrazione, infatti, è il fenomeno per cui un'onda che arriva sulla superficie di separazione subisce una deviazione passando da un mezzo ad un altro.

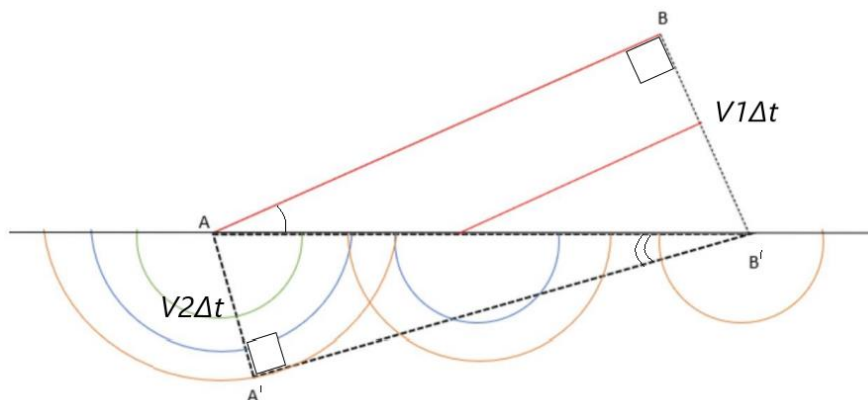


Nell'immagine a lato i corrisponde al raggio incidente, ovvero il raggio di luce proveniente dalla sorgente, r è il raggio riflesso, ovvero il raggio che, quando incontra la superficie di separazione e in particolare il punto di incidenza (H), viene riflesso nel proprio mezzo. R corrisponde al raggio rifratto, ovvero il raggio incidente che, incontrando la superficie di separazione, subisce una deviazione nel secondo mezzo.

Come accade per la riflessione, anche la rifrazione ha due proprietà, descritte nelle leggi della rifrazione.

La prima legge riporta che il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale sono complanari (giacciono nello stesso piano).

La seconda legge, che prende il nome di legge di Cartesio-Snell, riporta che il risultato del rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è una costante che prende il nome di indice di rifrazione ed è adimensionale. Ovvero, $\frac{\text{seno angolo di incidenza}}{\text{seno angolo di rifrazione}} = \text{costante}$, in simboli, $\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$. Analizzando come fatto precedentemente la legge secondo il principio di Huygens-Fresnel, possiamo ottenere che:



$$\frac{BB^1}{AA^1} = \frac{V_1 \Delta t}{V_2 \Delta t} = \frac{AB \sin \hat{i}}{AB \sin \hat{r}} = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}}$$

La diffrazione invece avviene quando un'onda piana incide su una fenditura di dimensioni uguali o minori della lunghezza d'onda. In questo modo quest'ultima diventa sorgente di nuove onde sferiche perché la fenditura viene considerata come un punto, sorgente di onde sferiche come da principio di Huygens-Fresnel. Se la fenditura ha dimensioni troppo elevate, allora le onde piane che la incontrerebbero rimarrebbero onde piane.



Ultimo fenomeno che analizzeremo è l'interferenza. L'interferenza si ottiene quando due onde generate da sorgenti coerenti (che emettono onde con stessa ampiezza, stessa lunghezza d'onda, stessa fase iniziale) arrivano ad un punto P. Se la condizione di sorgenti coerenti è verificata e se le onde arrivano a destinazione entrambe al massimo, allora l'effetto delle due onde sarà sommato. Parliamo quindi di interferenza costruttiva.

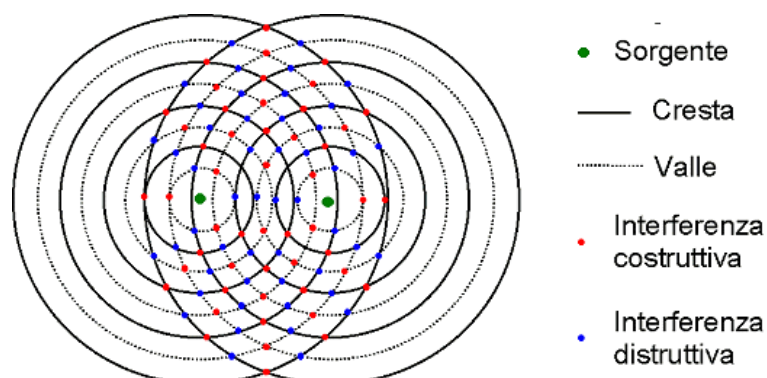
Chiamati PS_2 e PS_1 i rispettivi cammini ottici, la condizione per ottenere un'interferenza costruttiva è quindi che la differenza tra questi ultimi deve essere un numero intero pari. Così si viene a creare un'interferenza costruttiva:

$$|\overline{PS_1} - \overline{PS_2}| = n\lambda$$

Se, al contrario, un'onda arriva con il massimo e un'altra con il minimo, allora l'effetto non verrà sommato, ma bensì si annullerà: il risultato dell'interferenza sarà 0.

La condizione per cui si verifica un'interferenza distruttiva è quindi la seguente, il risultato deve essere un numero dispari di mezze lunghezze d'onda.

$$|\overline{PS_1} - \overline{PS_2}| = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$



Quando analizziamo un'interferenza, possiamo notare che è costante la differenza delle lunghezze di due segmenti $\overline{PS_1} - \overline{PS_2}$. Matematicamente sappiamo che l'iperbole è il luogo geometrico dei punti del piano per cui è costante la differenza delle distanze fra due punti fissi. Quando osserveremo un'interferenza, sarà quindi possibile notare la forma di un'iperbole tra le frange dell'onda.

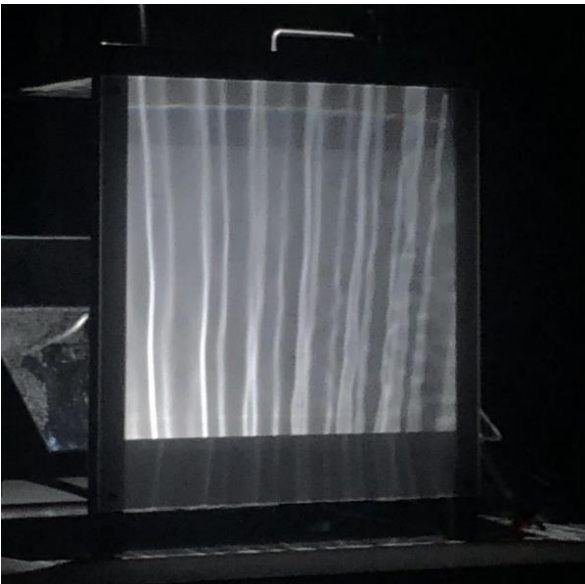
Esecuzione dell'esperienza

Il giorno 29 settembre 2023 ci siamo recati in laboratorio e, grazie all'aiuto del prof.re Franco Maria Boschetto, abbiamo vissuto l'esperienza all'ondoscopio, che ci avrebbe permesso di osservare i fenomeni ondosi.

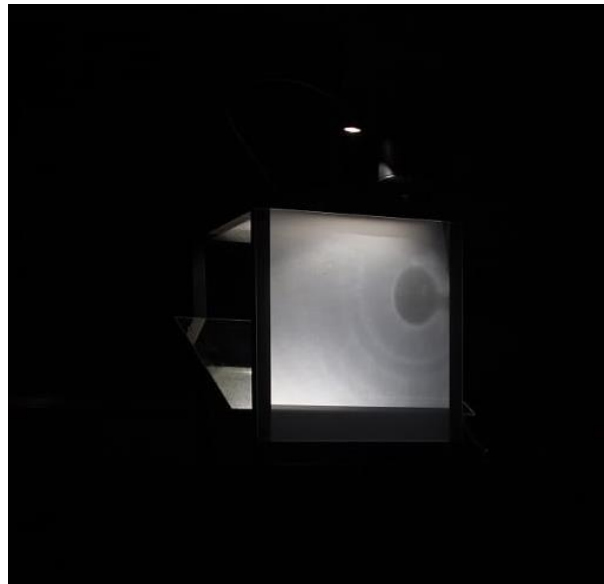
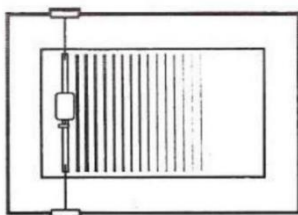
1. Dopo una breve introduzione sul funzionamento dell'ondoscopio, sui fenomeni che avremmo osservato e sul materiale utilizzato, abbiamo iniziato l'esperienza vera e propria.
2. Abbiamo intervallato osservazioni di onde prodotte da percussori:
 - A. Percussore piano;
 - B. Percussore a pallina;
 - C. Percussore a doppia pallina.
3. Successivamente abbiamo eseguito delle osservazioni riguardo i fenomeni studiati, facendo uso di diversi specchi e/o ostacoli, tra i quali:
 - A. Ostacolo piano (che funge da specchio);
 - B. Specchio parabolico
 - C. Specchio piano inclinato di 45°
 - D. Specchio piano diviso a metà (presenza di fenditura)
 - E. Specchio piano diviso in tre parti (presenza di due fenditure).
4. Abbiamo analizzato i fenomeni prodotti dapprima qualitativamente, successivamente quantitativamente.

Analisi qualitativa

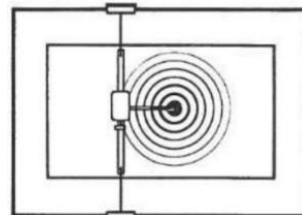
Viene riportata una foto per ogni osservazione effettuata.



Percussore piano che genera un treno di onde piane

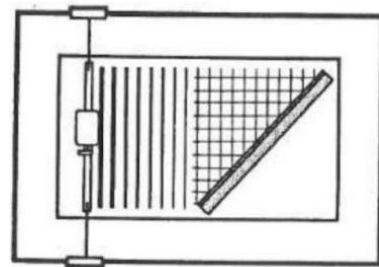
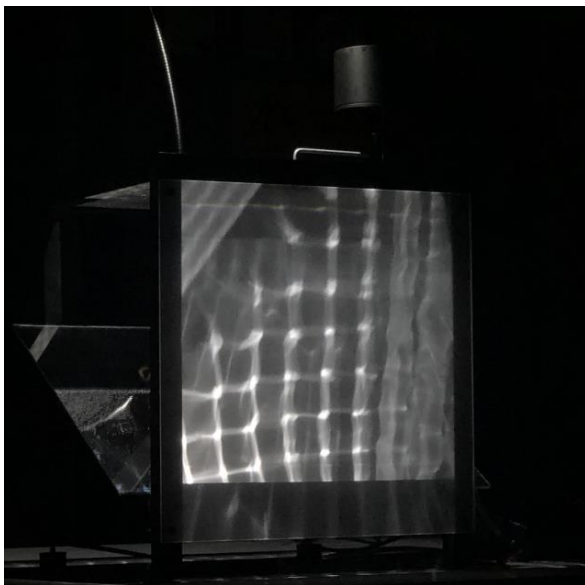


Percussore a pallina che genera onde sferiche

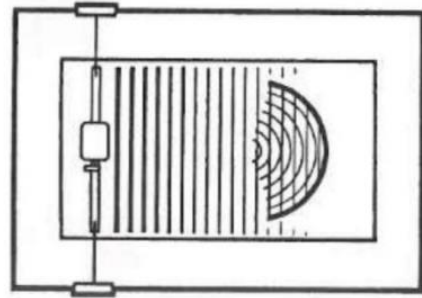
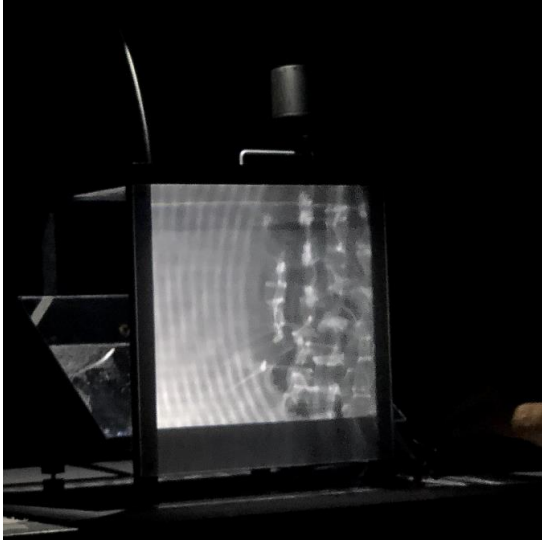




Percussore a pallina che genera onde sferiche con un ostacolo piano

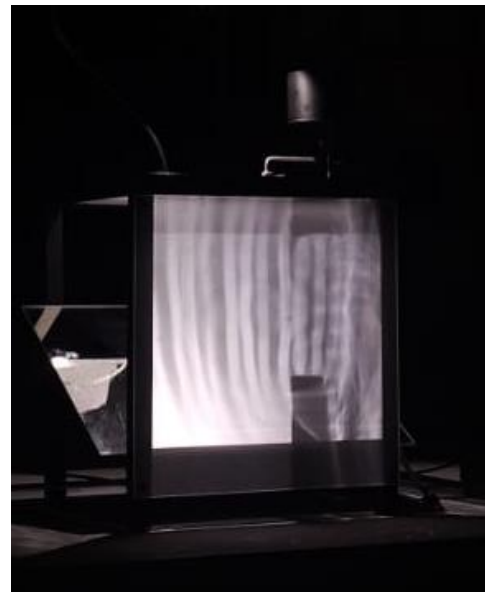


Riflessione di onde piane tramite uno specchio posto a 45° .
Mettiamo un'asta specchio a 45° al livello dell'acqua che inizierà a produrre onde piane. È Possibile rappresentare un raggio diretto e uno riflesso causando la riflessione.



Riflessione di onde piane tramite uno specchio parabolico.

Mettiamo uno specchio parabolico al livello dell'acqua che inizierà a riflettere le onde piane in onde sferiche che si concentrano in un punto questo perché lo specchio parabolico trasforma un'onda piana in una sferica che si concentra nel fuoco.

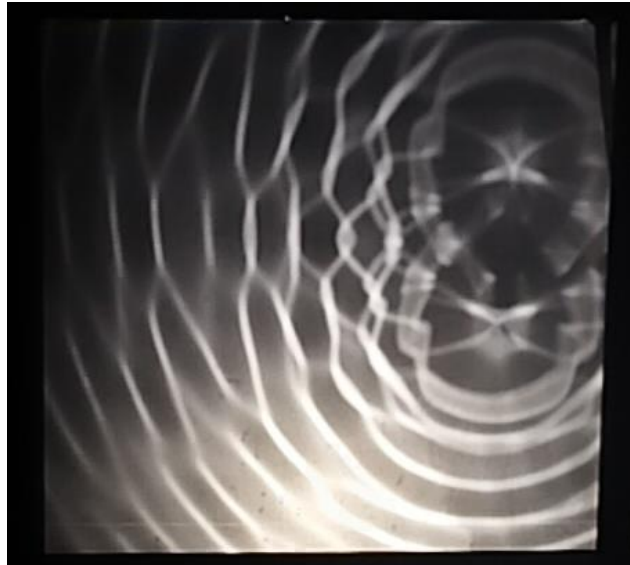


Diffrazione di onde piane.

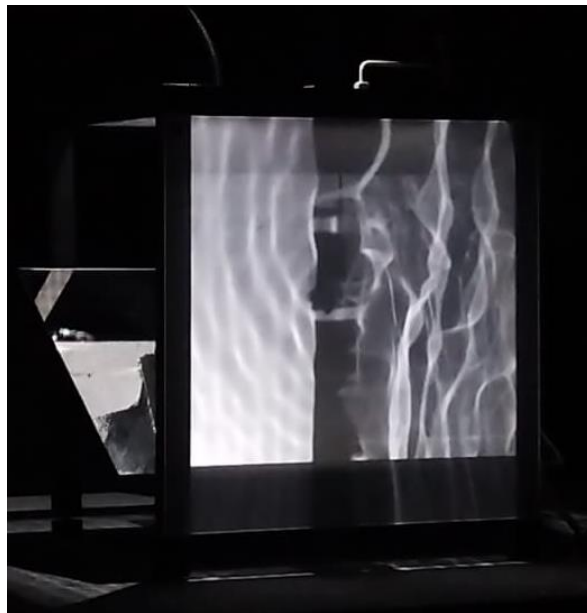
Nella prima immagine si può notare la diffrazione di onde piane avvenuta con una fenditura di grandezza minore o uguale rispetto alla lunghezza d'onda, le onde generate oltre la fenditura diventano infatti onde sferiche, secondo il principio di H.F.

Nella seconda immagine, si può notare il fenomeno della diffrazione non avvenuto, questo perché la dimensione della fenditura era troppo elevata rispetto alla lunghezza d'onda.

[Si può osservare solamente un leggero fenomeno di bordo nella seconda immagine]



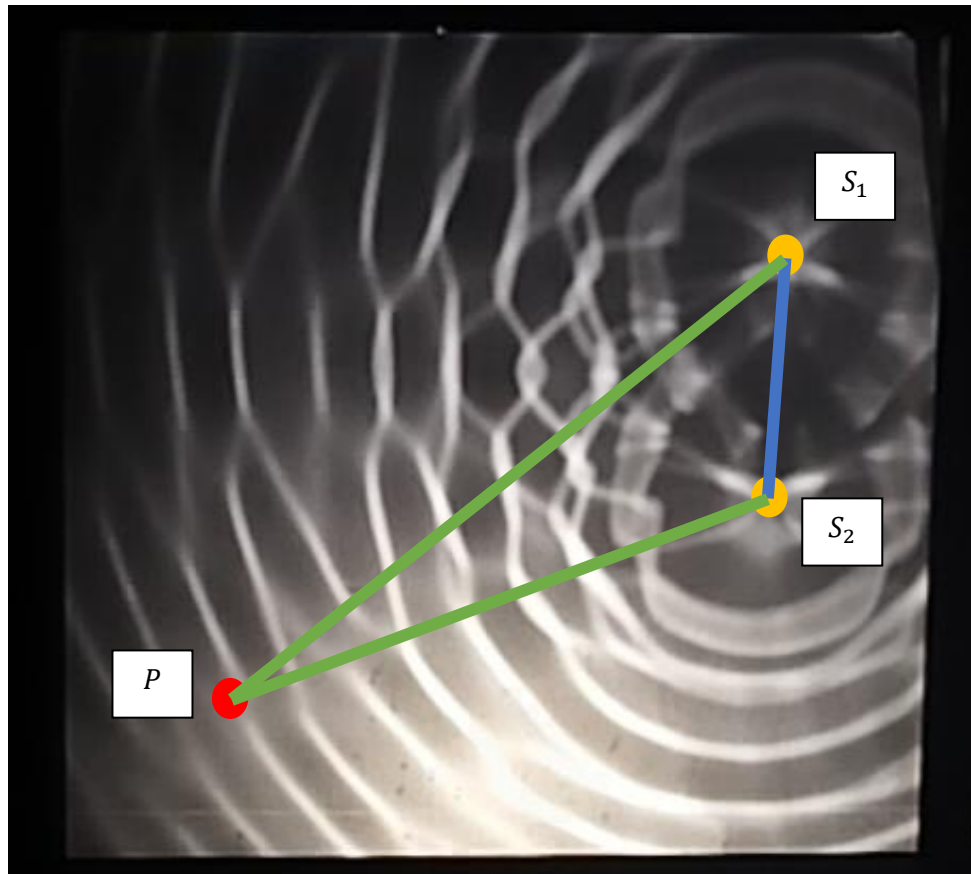
Percussore a doppia pallina che genera onde coerenti.
Utilizzando un percussore a pallina doppia è possibile ottenere due onde sferiche tra loro coerenti, queste hanno stessa ampiezza, stessa frequenza e stessa fase iniziale, formano delle frange di interferenza costruttiva (più scura) e distruttiva (più chiara) che hanno la forma di iperboli.



Percussore piano e tre ostacoli piani, in modo tale da generare due fenditure.
Abbiamo posto degli ostacoli in modo da creare due fenditure più strette della lunghezza d'onda, le onde da piane diventavano sferiche in due punti, generando le frange di interferenza di forma iperbolica.

Analisi quantitativa

Dopo aver eseguito delle osservazioni puramente qualitative, abbiamo analizzato l'immagine ricavata dal percussore a doppia pallina che generava onde con interferenza costruttiva e distruttiva, in modo da analizzare quantitativamente il fenomeno.



Dall'immagine possiamo notare le frange di interferenza. Prendendo un punto da una delle frange di interferenza distruttiva (più chiare) P, la linea azzurra congiunge le due sorgenti coerenti, le linee verdi congiungono le sorgenti con il punto P dell'interferenza distruttiva.

Nella realtà: $\overline{S_1S_2} = 2,5 \text{ cm}$

Nelle misurazioni effettuate sul disegno: $\overline{S_1S_2} = 4,5 \text{ cm}$

Nelle misurazioni effettuate sul disegno: $\overline{PS_2} = 14,0 \text{ cm}$

Nelle misurazioni effettuate sul disegno: $\overline{PS_1} = 11,0 \text{ cm}$

Nelle misurazioni effettuate sul disegno: $\lambda = 1,2 \text{ cm}$

Sapendo che la condizione per cui si genera un'interferenza costruttiva è: $|\overline{PS_1} - \overline{PS_2}| = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$

$$|\overline{PS_1} - \overline{PS_2}| = |11 - 14| = 3,0 \text{ cm}$$

Sapendo che $\lambda = 1,2 \text{ cm}$, possiamo riscrivere il risultato precedente come: $\frac{3,0}{1,2} = 2,5\lambda$, ottenendo

quindi: $|\overline{PS_1} - \overline{PS_2}| = 2,5\lambda = \frac{5}{2}\lambda = (2 * 2 + 1) \frac{\lambda}{2}$

Ovvero un numero dispari di mezze lunghezze d'onda.

Conclusione

Grazie all'esperienza da noi vissuta siamo stati di verificare e osservare sia qualitativamente, sia quantitativamente alcuni fenomeni ondosi.

Grazie all'ondoscopio e alla possibilità di far coincidere la frequenza dello stroboscopio con quella del motore (che permetteva di vedere ferme le onde sul vetro opaco) siamo riusciti a studiare la riflessione e la diffrazione delle onde generate da diversi percussori. Abbiamo potuto verificare diversi concetti teorici legati al principio di Huygens-Fresnel e, di conseguenza i fenomeni della riflessione (che dava origine ad un angolo di incidenza e un angolo di riflessione congruenti), i fenomeni della diffrazione (con fenditure di diverse dimensioni), i fenomeni dell'interferenza costruttiva e distruttiva delle onde.