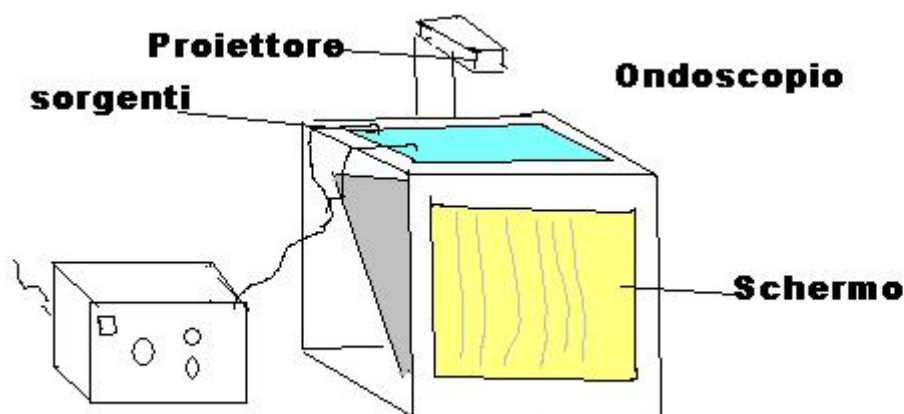


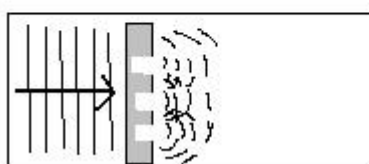
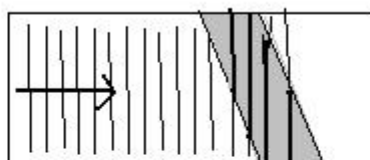
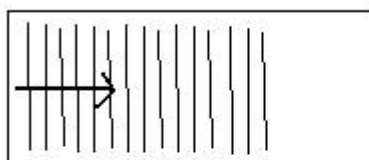
Osservazione di Fenomeni Ondosi mediante Ondoscopio

Introduzione

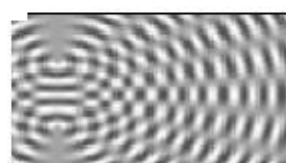
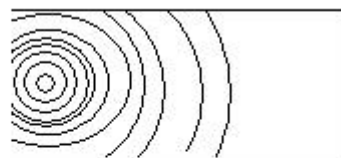
Lo scopo dell'esperienza di laboratorio è quello osservare i diversi tipi di onde e i fenomeni ad esse connessi attraverso un ondoscopio. L'ondoscopio è uno strumento che permette di studiare le onde superficiali nei liquidi prodotte attraverso un generatore di vibrazioni e viene mostrato su uno schermo di proiezione semitrasparente attraverso uno stroboscopio la cui frequenza è sincronizzata con la frequenza dell'eccitatore dell'onda.



Onde Lineari



Onde Circolari



La prova sperimentale riguarda il fenomeno dell'interferenza costruttiva tra due sorgenti a fronte d'onda circolare realizzata mediante l'ondoscopio con lo scopo di rilevare i punti relativi alle zone d'interferenza costruttiva con massimo spostamento dell'acqua e quelli relativi alle zone d'interferenza distruttiva che corrispondono ad acqua calma e di metterli in relazione con la lunghezza d'onda.

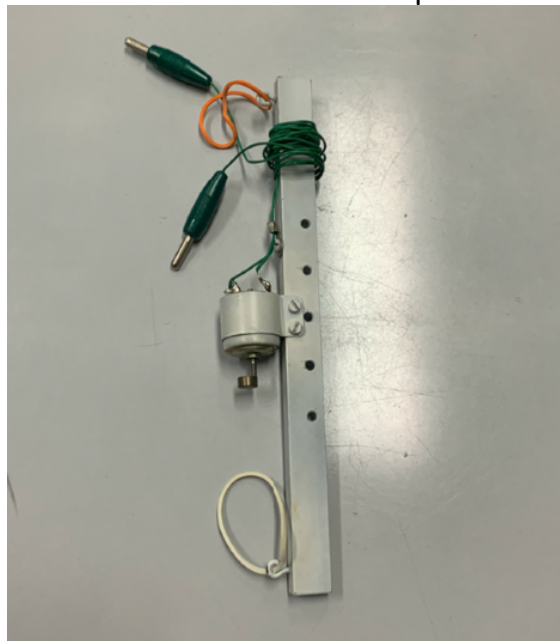
Elenco dei Materiali e degli Strumenti impiegati

L'esercitazione si è svolta in laboratorio. In foto le attrezzature usate:

Ondoscopio



Meccanismo motorizzato dei percussori



Percussori sferici



Regolatore di frequenza per i percussori



Becker vetro con acqua



Introduzione Teorica Generale

Principi di base delle onde

Le onde possiedono delle caratteristiche proprie che si possono capire osservando per esempio una goccia di acqua cadere in un contenitore contenete dell'acqua.

La goccia toccando la superficie del liquido genera un'onda che si muove da punto in cui è generato verso l'esterno. La goccia è quindi la sorgente dell'onda. L'acqua è il mezzo in cui si propaga l'onda.

Osservando un'onda si nota che la superficie dell'acqua si muove in verticale ma non si sposta verso l'esterno: la superficie attraversata dall'onda mantiene la propria posizione orizzontale.

Possiamo quindi enunciare le seguenti definizioni:

- **Onda:** è una perturbazione che si propaga trasportando energia e quantità di moto ma non materia .

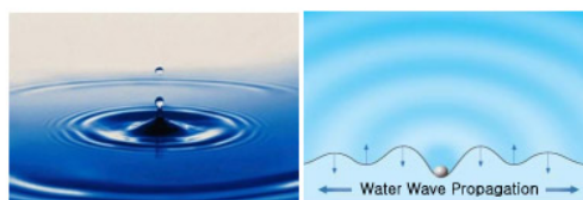
Le onde possono propagarsi in varie direzioni e in base all'origine della perturbazione si possono classificare in:

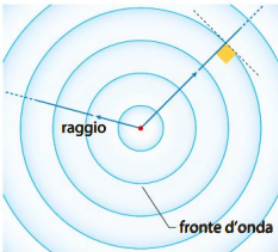
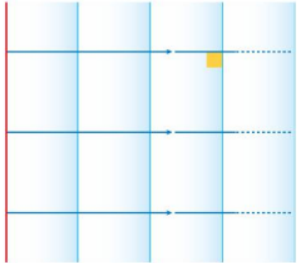
- **onde meccaniche :** si propagano attraverso la materia
- **onde elettromagnetiche :** non necessitano di un mezzo per propagarsi e si propagano anche nel vuoto.

Prima di classificare le onde in base alla propagazione è opportuno introdurre la definizione di fronte d' onda :

- **fronte d'onda** è un insieme di punti in cui le grandezze che variano al passaggio dell'onda hanno lo stesso valore in ogni istante.

Le rette perpendicolari ai fronti d'onda sono dette raggi e indicano, in ogni punto, la direzione lungo cui si propaga l'onda.



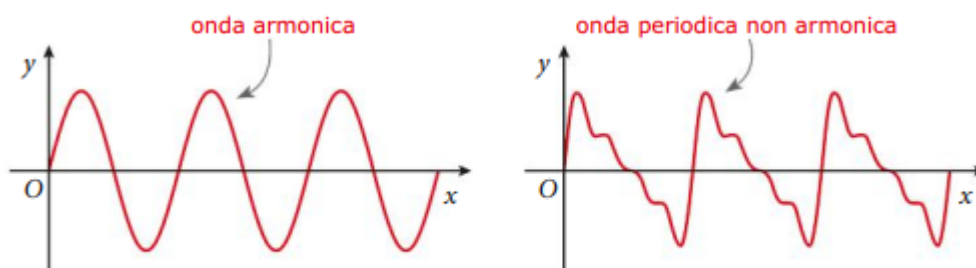
onda sferica	onda piana
• si propaga in tutte le direzioni, • i raggi sono semirette uscenti dalla sorgente.	• viaggia in un'unica direzione, • I raggi sono paralleli tra loro.
	

Le onde si possono classificare anche in base alla propagazione cioè possono viaggiare in una dimensione, due dimensioni o tre dimensioni.

- **onde monodimensionali:** sono onde che si propagano in un'unica direzione.
Esempio: Onde di una corda (o di una molla)
- **onde bidimensionali:** sono onde che si propagano in due dimensioni.
Esempio: Onde dell'acqua
- **onde tridimensionali:** sono onde che si propagano in tre dimensioni.
Esempio: onde elettromagnetiche e onde sonore
- **onde sferiche:** il fronti d'onda sono sfere o cerchi
- **onde piane:** i fronti d'onda sono piani o rette

Un'onda quindi è un flusso o un trasferimento di energia sotto forma di oscillazione attraverso un mezzo nello spazio o in una massa. Essa può essere :

- **Onda periodica:** nel caso particolare la sorgente genera le onde con un moto periodico allora anche l'onda che si genera è periodica. Una semplice illustrazione di un onda periodica è la seguente:



- **Onda armonica:** è il caso particolare in cui l'onda periodica assume forma sinusoidale

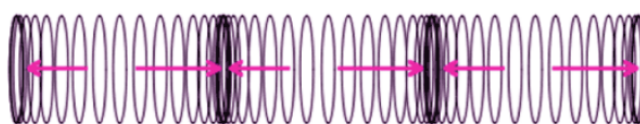
La distanza della propagazione dell'onda dipende dal mezzo di trasmissione.

In natura esistono due tipi di onde :

- **Onde longitudinali**

In questo tipo di onda, il movimento delle particelle è parallelo al movimento dell'energia, cioè lo spostamento del mezzo è nella stessa direzione in cui l'onda si muove.

Esempio : le onde sonore e di pressione alternano di compressioni e rarefazioni del mezzo in cui si propaga.



onde longitudinali

- **Onde trasversali**

Sono le onde che hanno il movimento delle particelle ad angolo retto o perpendicolare al movimento dell'energia. Esempio : la luce è un esempio di onda trasversale.



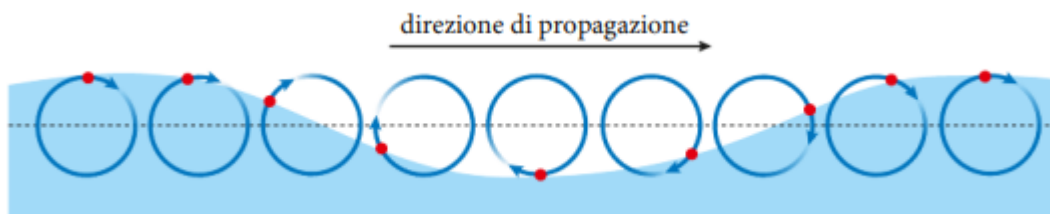
onde trasversali

La tabella seguente mette a confronto le onde trasversali e le onde longitudinali.

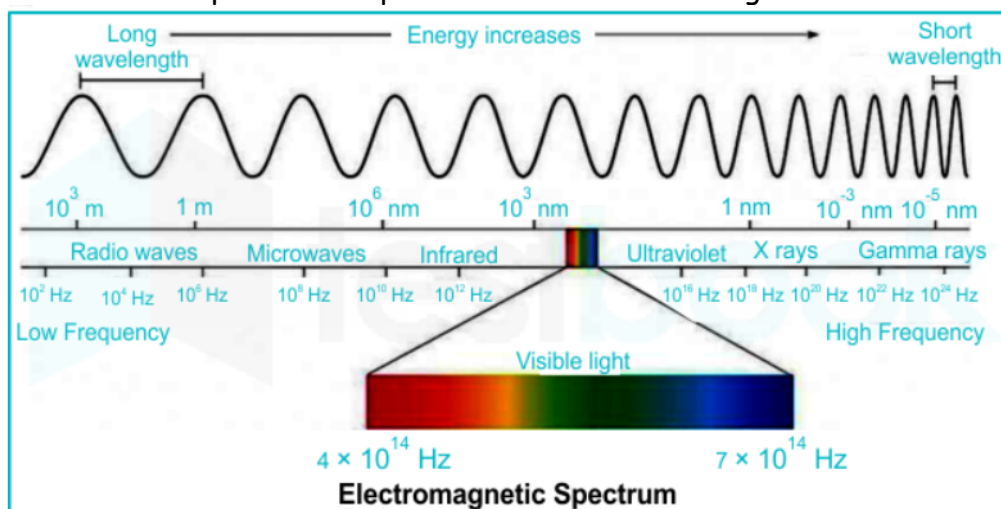
Onde longitudinali	Onde trasversali
Le onde longitudinali hanno una propagazione che si muove nella stessa direzione dell'onda.	Le onde trasversali hanno una propagazione che si muove perpendicolarmente alla direzione dell'onda.
L'onda viaggia per rarefazione e compressione. La dilatazione e la compressione sono paralleli al movimento dell'onda.	Le creste e le depressioni dell'onda sono il movimento su e giù di particelle e sono perpendicolari al moto d'onda.
Le onde longitudinali sono in grado di propagarsi attraverso i gas attraverso la compressione del gas	Le onde trasversali non possono viaggiare attraverso i gas perché non comprimono il gas
Le onde longitudinali agiscono in una dimensione	Le onde trasversali agiscono in entrambe le due o e tre dimensioni.
Esempi in natura onde sonore e onde sismiche	Esempi in natura onde di luce, onde d'acqua

Le onde d'acqua sono un esempio di una combinazione di movimenti longitudinali e trasversali.

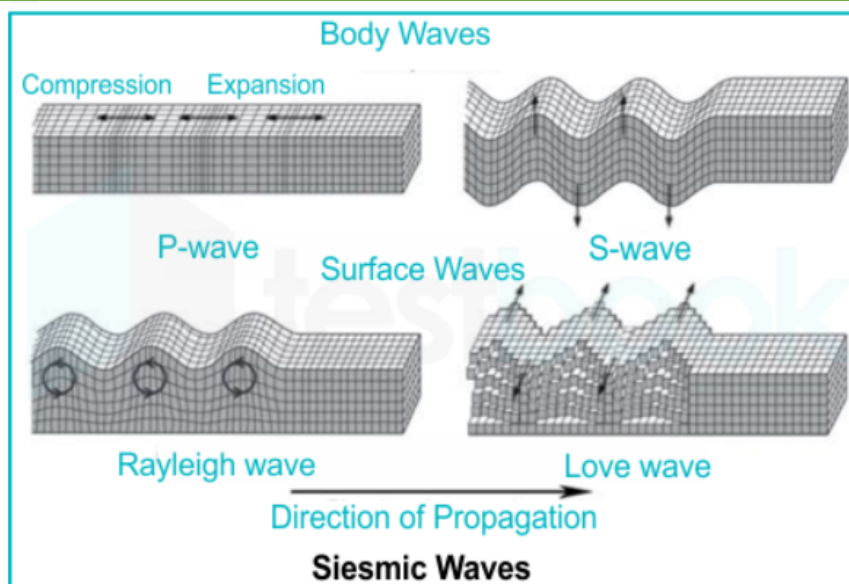
In queste onde ogni volumetto d'acqua descrive una traiettoria circolare: mentre si alza e si abbassa, si sposta anche avanti e indietro.



- **Onde di superficie** In questo tipo, le particelle viaggiano in un movimento circolare. Queste onde di solito si verificano alle interfacce. Le onde nell'oceano e le increspature in una tazza d'acqua sono esempi di tali onde.
- **Onda elettromagnetica** Le onde elettromagnetiche sono delle perturbazioni elettriche e magnetiche. Una proprietà importante propria delle onde elettromagnetiche è che a differenza delle onde meccaniche non hanno bisogno di un mezzo per viaggiare. Le onde elettromagnetiche viaggiano attraverso il vuoto alla velocità pari a circa 300.000 Km/s. Sono onde elettromagnetiche i raggi X e le onde radio. I colori sono una piccolissima parte delle onde elettromagnetiche.

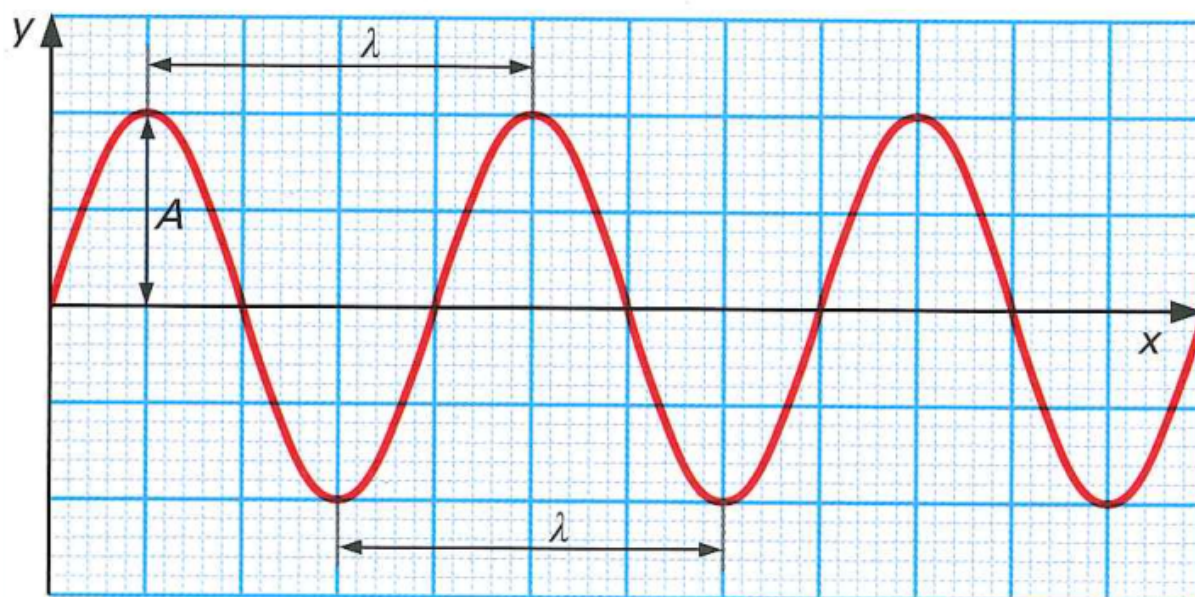


- **Onde sismiche** Le onde sismiche sono onde di energia acustica che fluiscono attraverso la Terra. Le onde possono essere causate da un terremoto, un'eruzione vulcanica, una grande frana o una grande esplosione artificiale. La velocità di propagazione di un'onda sismica è influenzata dalla densità e dall'elasticità del mezzo. La velocità aumenta con la profondità attraverso la crosta terrestre e il mantello, ma si riduce drasticamente dal mantello al nucleo esterno della Terra. I terremoti generano numerosi tipi di onde con velocità variabili. La rifrazione o la riflessione delle onde sismiche viene impiegata in geologia per studiare la struttura interna della Terra.
Le onde sismiche possono essere divise in due tipi.
 - le onde di volume (body waves), che viaggiano attraverso la Terra
 - le onde di superficie (surface waves), che si muovono sulla superficie terrestre.



Caratteristiche delle onde armoniche

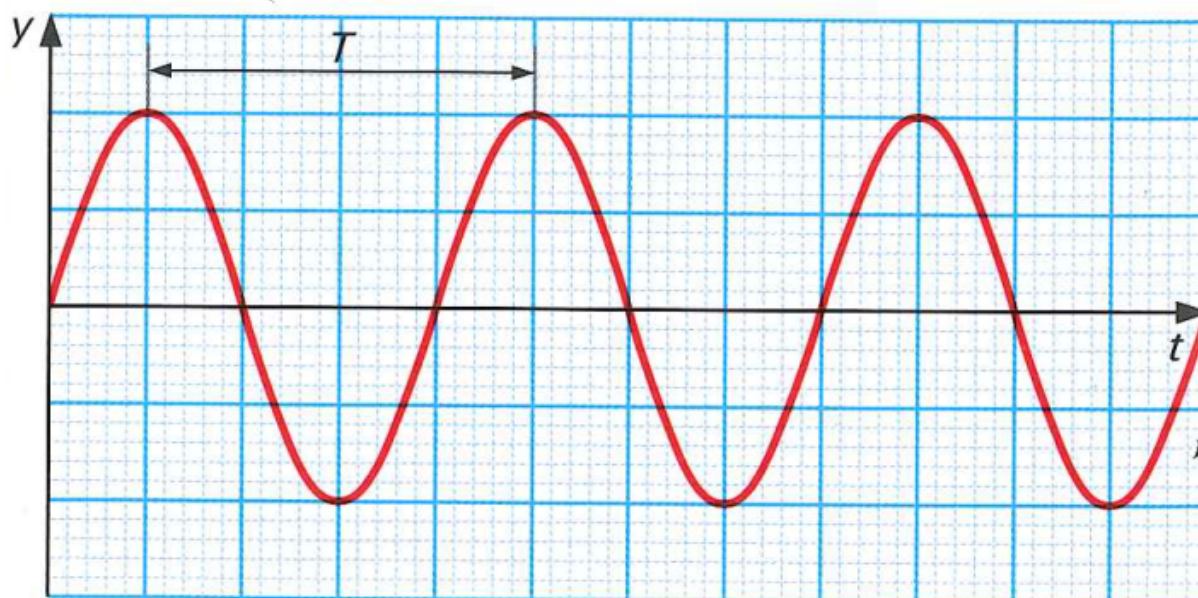
Le onde possono essere rappresentate in due scale. Se rappresentiamo l'onda su grafico x-y dove entrambi gli assi sono distanze allora è possibile ricavare le seguenti parametri



- **ampiezza (A)**, si misura in metri (m) e corrisponde alla distanza tra il punto massimo della cresta dell'onda e l'asse di propagazione;
- **velocità di propagazione**, si misura in metri al secondo (m/s);
- **lunghezza d'onda (λ)**, cioè la distanza tra due creste successive, si misura in metri (m);
- **frequenza (f)**, cioè il numero di oscillazioni dell'onda nell'unità di tempo (secondo), si misura in cicli al secondo o hertz (Hz).

Se rappresentiamo un'onda in un grafico $y-t$ dove t è il tempo si ricava una altra caratteristica che è comunque legata alla frequenza:

- **periodo (T)** durata di un'oscillazione completa di y al variare di t , si misura in secondi (s);



Il periodo e la frequenza sono legati dalla formula

$$T = \frac{1}{f}$$

La velocità di propagazione è data dallo spazio percorso in una unità di tempo:

$$v = \frac{\text{spazio}}{\text{tempo}} = \frac{\text{lunghezza onda}}{\text{periodo}} = \frac{\lambda}{T}$$

che può essere scritta ovviamente anche in funzione della frequenza :

$$v = f \cdot \lambda$$

La rappresentazione di un'onda armonica nel tempo è data dalla formula generale della moto armonico:

$$y(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \Phi_0\right) = A \cos(\omega t + \Phi_0)$$

onda armonica in funzione del tempo

dove :

A ampiezza onda [metri]

T periodo [secondi]

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ pulsazione temporale [radianti/secondo]

$\omega t + \Phi_0$ fase del moto [radianti]

Φ_0 fase iniziale all'istante $t=0$ [radianti]

La rappresentazione di un'onda armonica nello spazio in un istante di tempo fissato è data invece dalla formula:

$$y(x) = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x + \Phi_0\right) = A \cos(kx + \Phi_0)$$

onda armonica in funzione dello spazio

dove :

A	ampiezza [metri]
λ	lunghezza d'onda [metri]
$k = \frac{2\pi}{\lambda}$	pulsazione spaziale [radianti/metro]
Φ_0	fase iniziale nella posizione $x=0$ [radianti]

Poiché l'onda si propaga nel tempo e nello spazio, l'onda si rappresenta con due variabili

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

Le equazioni delle onde si possono scrivere sia con la funzione seno che con la funzione coseno.

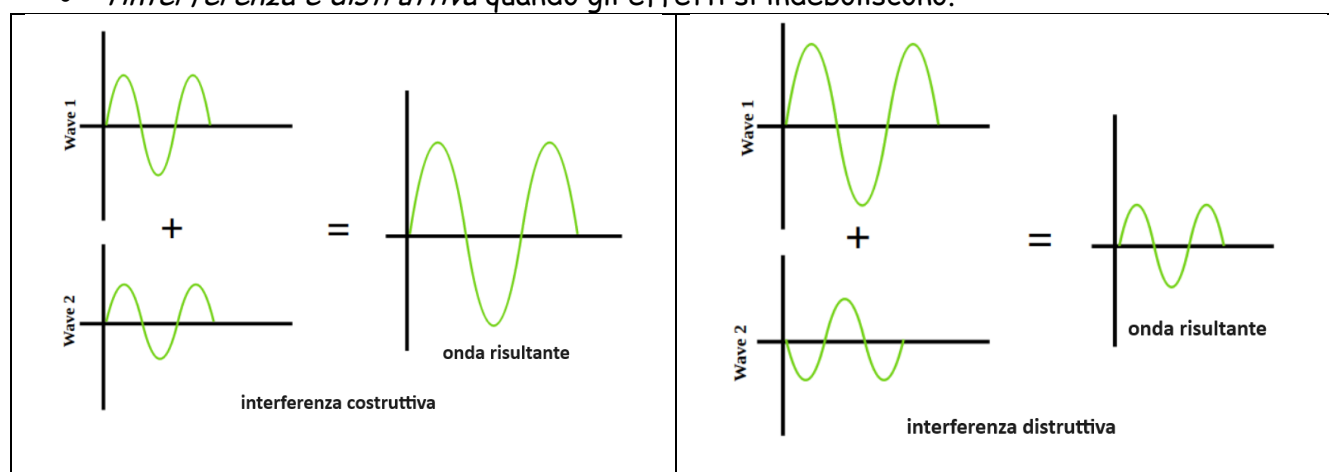
Nel caso di propagazione verso asse x l'onda è chiamata **progressiva**, mentre in caso di propagazione negativa è detta **regressiva**

Onda progressiva	Onda regressiva
$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t)$	$y(x, t) = A \cos(kx + \omega t)$

Il principio di sovrapposizione

Le voci sono onde sonore che rispettano il **principio di sovrapposizione**: due o più onde che si propagano nello stesso mezzo generano una perturbazione uguale alla somma delle perturbazioni che ciascuna onda produrrebbe da sola. La variazione di ampiezza dell'onda risultante è chiamata **interferenza** la quale può essere **costruttiva e distruttiva**:

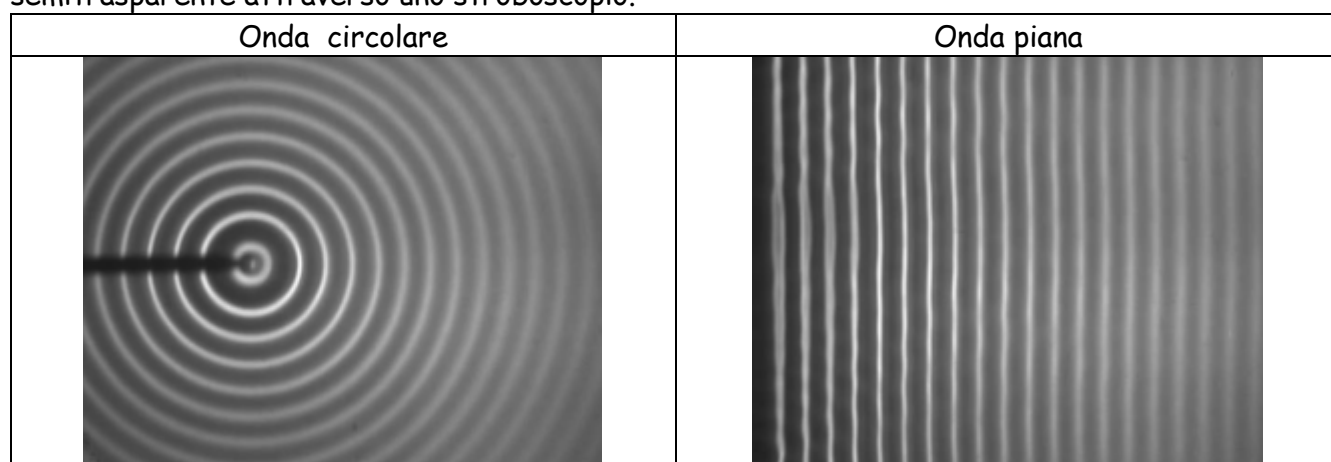
- l'interferenza è **costruttiva** quando gli effetti di due o più onde si rafforzano a vicenda,
- l'interferenza è **distruttiva** quando gli effetti si indeboliscono.



L'ondoscopio è uno strumento di grande utilità per lo studio delle onde e dei fenomeni ad esse collegati. E' costituito da una vaschetta che deve essere riempita con uno spessore d'acqua non superiore ai 2 centimetri, il cui fondo è trasparente; le oscillazioni di una membrana, nell'apparecchio di alimentazione, sono trasferite alla superficie dell'acqua come variazioni di pressione, attraverso diversi eccitatori: la frequenza dell'eccitatore può essere variata da 8 a 80 Hz. La rappresentazione di un'immagine stazionaria si ottiene mediante l'illuminazione di una lampada stroboscopica, la cui frequenza può essere sincronizzata con la frequenza dell'eccitatore. Regolando i lampi di luce prodotti dalla lampada stroboscopica, l'immagine dell'onda sullo schermo può apparire ferma all'occhio dello sperimentatore, in quanto i lampi sono sincronizzati con i colpi esercitati dall'eccitatore sull'acqua, ciascuno dei quali produce un fronte d'onda.

Anche l'ampiezza dell'onda può essere regolata. Per generare un'onda gli eccitatori devono essere posti a pelo d'acqua. La luce del proiettore viene riflessa dal fondo della vaschetta e va a colpire uno schermo verticale. Facendo colpire periodicamente la superficie dell'acqua con un determinato eccitatore a punta, si ottiene un sistema di cerchi concentrici.

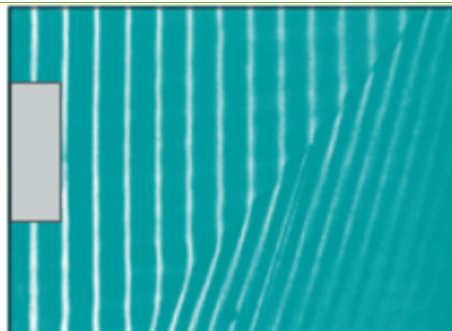
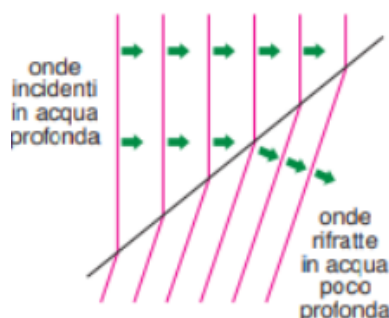
Analogamente, usando come percussore una sbarretta si ottiene l'onda piana. Il fenomeno delle onde generate attraverso un generatore di vibrazioni, viene mostrato su uno schermo di proiezione semitrasparente attraverso uno stroboscopio.



Questa attrezzatura consente di studiare le onde superficiali nei liquidi.

Con questo strumento si possono studiare i fenomeni di rifrazione e riflessione

- **Rifrazione** : fenomeno che si verifica quando l'onda cambia mezzo di propagazione e quindi cambia la velocità . Passando dal primo al secondo mezzo, l'onda cambia la direzione di propagazione. In particolare l'onda si avvicina alla perpendicolare alla superficie di separazione tra i due mezzi quando rallenta e si allontana nel caso opposto. In un ondoscopio per cambiare mezzo si varia la profondità dell'acqua inserendo uno spessore in vaschetta

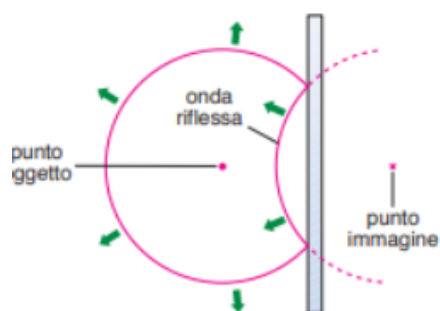


La velocità cambia mentre la frequenza f rimane la stessa perchè dipende solo dal moto della sorgente e quindi deve cambiare la lunghezza d'onda λ che è data da:

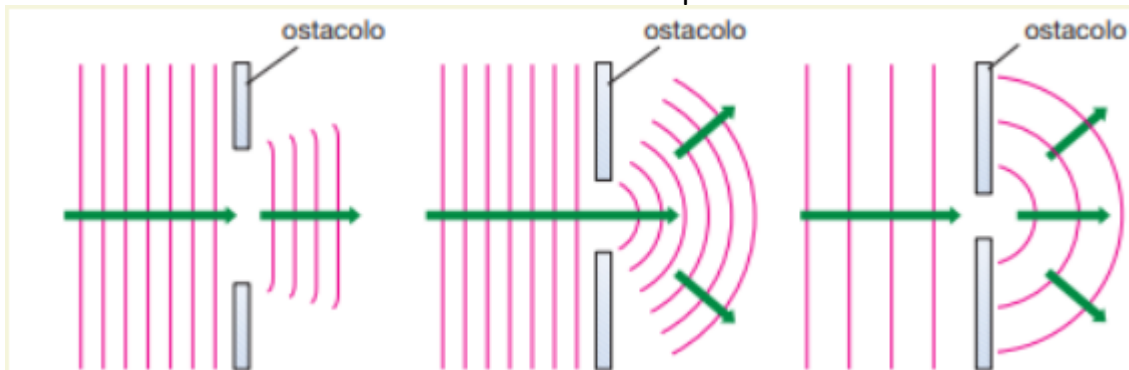
$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Quindi se l'onda rallenta il raggio si avvicina alla normale e i fronti d'onda sono più vicini ovvero con minore lunghezza d'onda.

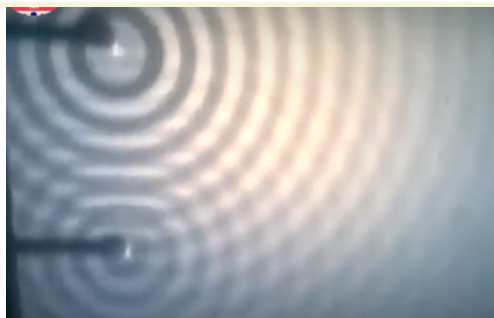
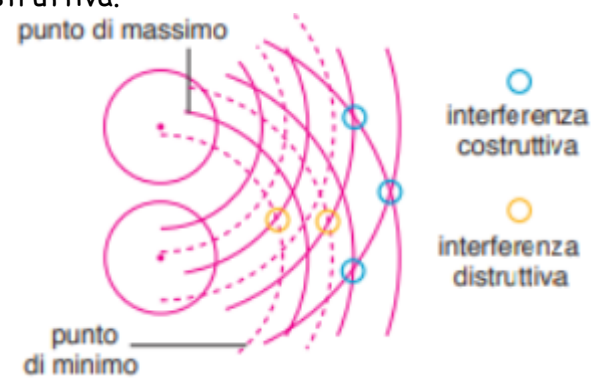
- **Riflessione** Il fenomeno della riflessione si ha quando il fronte d'onda, incontrando un ostacolo che ne impedisce l'ulteriore propagazione e viene rimandato indietro. Il fenomeno avviene indipendentemente dalla forma dell'onda. Le onde circolari generate nell'ondoscopio non possono propagarsi oltre le pareti le quali fungendo da superficie riflettente generano le onde riflesse.



- **Diffrazione** Quando un'onda incontra un piccolo ostacolo o una piccola fenditura ciascun raggio dell'onda viene deflesso in modo da permettere alla perturbazione di propagarsi al di là dell'ostacolo o della fenditura interessando punti che dovrebbero risultare in ombra.



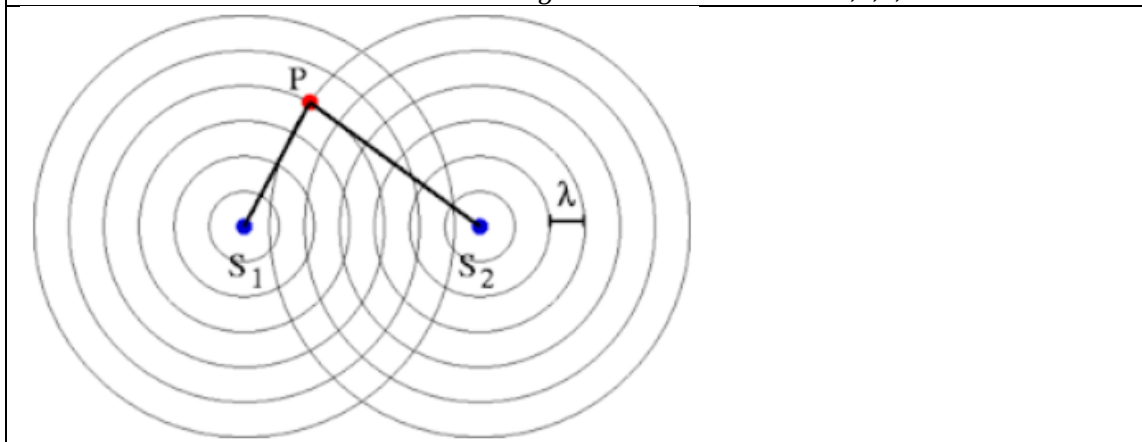
- **Interferenza di onde sferiche generate da due sorgenti in fase** Il fenomeno dell'interferenza si ha quando due onde di uguale frequenza si sovrappongono; si possono verificare due casi estremi e complementari di sovrapposizione: l'interferenza costruttiva e l'interferenza distruttiva.



L'interferenza di due onde a fronte circolare realizzata mediante l'ondoscopio rivela che sono chiaramente visibili i punti relativi alle zone d'interferenza costruttiva (blu) con massimo spostamento dell'acqua e quelli relativi alle zone d'interferenza distruttiva (gialli) che corrispondono ad acqua calma. E' possibile individuare i punti di minimo e massimo

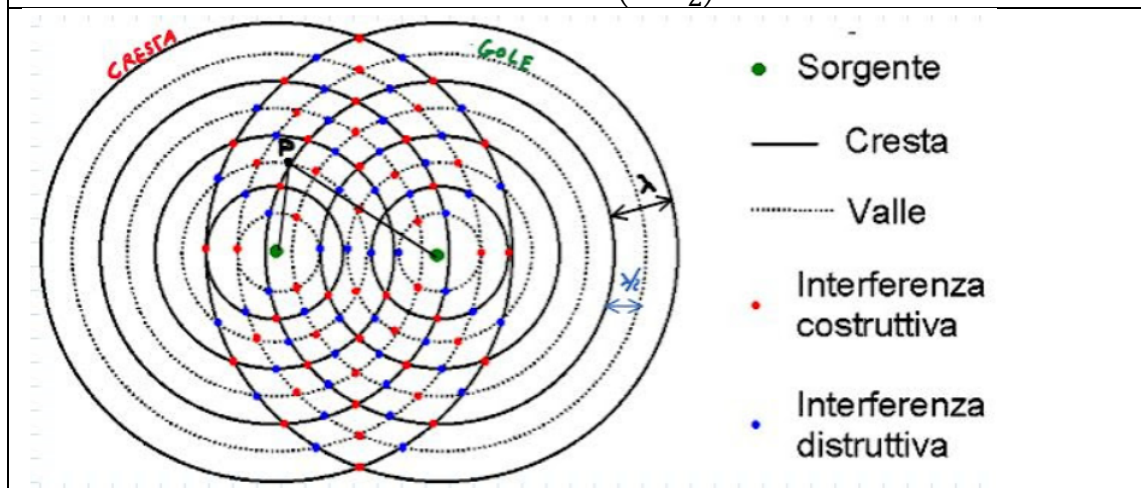
Interferenza costruttiva: punti in cui la differenza di cammino dalle due sorgenti è $0, 2\lambda, 3\lambda \dots$, cioè è un multiplo intero della lunghezza d'onda.

$$\text{distanza di } P \text{ dalle sorgenti} = n\lambda \quad \text{con } n = 1, 2, 3, 4$$

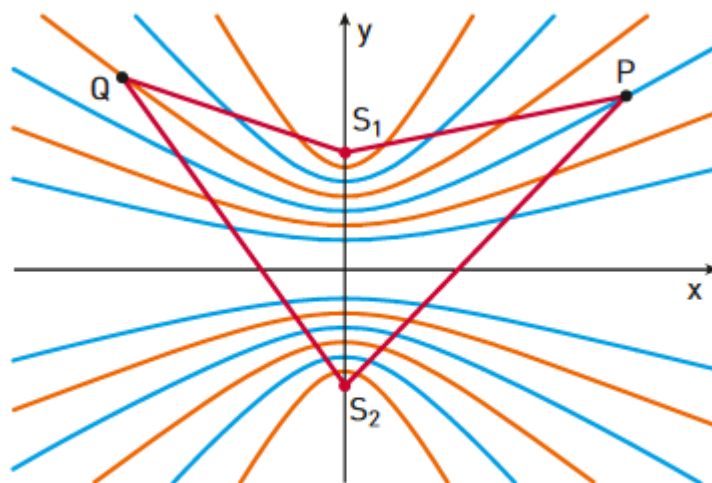


Interferenza distruttiva: punti in cui la differenza di cammino dalle due sorgenti è $0, \lambda/2, 3/2\lambda, 5/2\lambda \dots$ cioè è un multiplo dispari di mezza lunghezza d'onda

$$\text{distanza di } P \text{ dalle sorgenti} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{con } n = 1, 2, 3, 4$$



I punti di interferenza possono essere uniti e le risultanti sono delle iperboli che hanno come fuochi le due sorgenti S1 e S2 delle onde



Esecuzione dell'esperienza e descrizione dei Risultati Ottenuti

Per l'esecuzione di questa esperienza di laboratorio abbiamo utilizzato l'ondoscopio con una luce stroboscopica (che fa sembrare le onde ferme sullo specchio traslucido). Per creare le onde abbiamo usato diversi percussori.

Inoltre è presente anche una console di fianco all'ondoscopio per regolare la frequenza del motore e della luce stroboscopica.

Per ottenere una visualizzazione chiara delle onde, abbiamo regolato la frequenza dello stroboscopio in modo da coincidere con quella del motore. Questa sincronizzazione ci ha permesso di osservare le onde come se fossero ferme, consentendo una visione dettagliata.

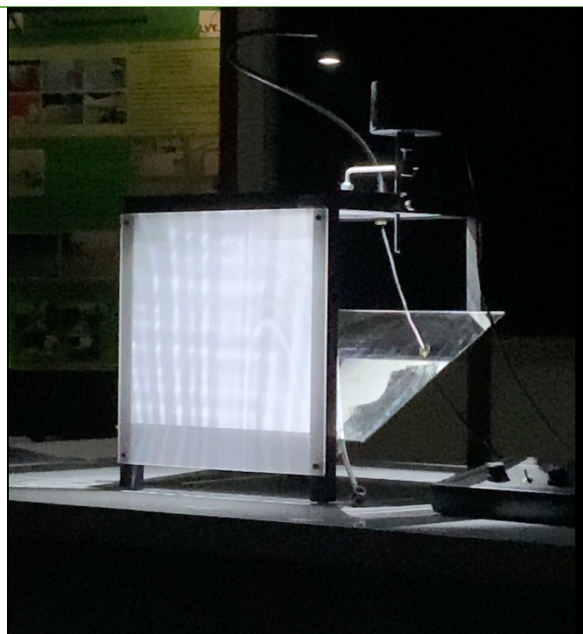
-ONDE PIANE

Come primo esperimento abbiamo utilizzato un percussore ad asta per creare delle onde piane:



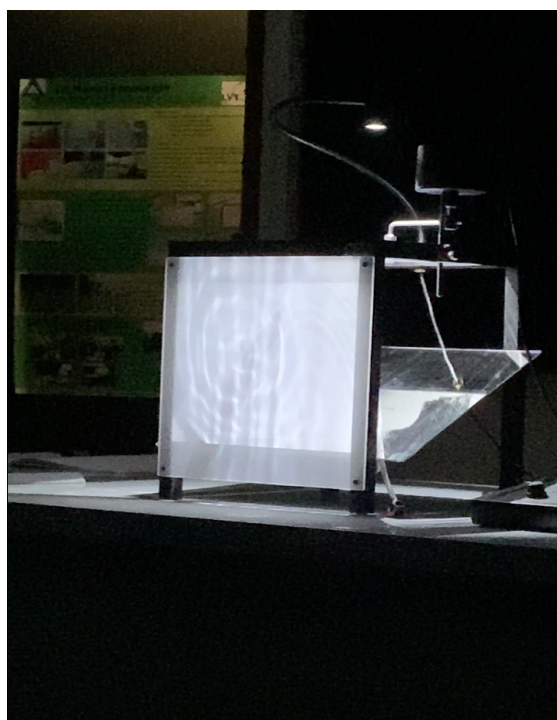
-FENOMENO DELLA RIFLESSIONE CON ONDE PIANE

Grazie all' utilizzo di un righello di metallo con un'incidenza di 45° riusciamo a vedere il fenomeno della riflessione.



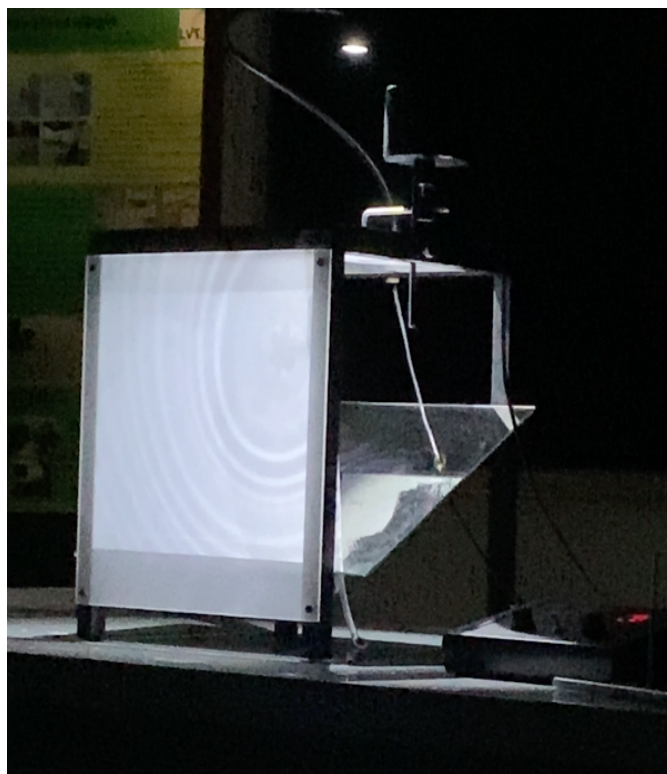
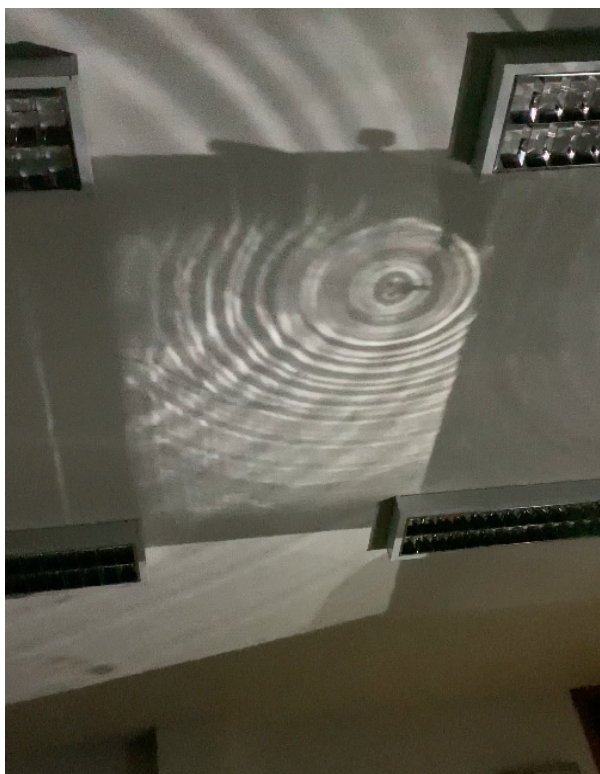
-SPECCHIO PARABOLICO CON ONDE PIANE

Abbiamo anche utilizzato uno specchio parabolico, che è in grado di concentrare tutte le onde piane nel suo punto focale, trasformandole in onde circolari. Questo fenomeno è noto come effetto parabolico ed è comunemente impiegato in applicazioni come i fari delle automobili.



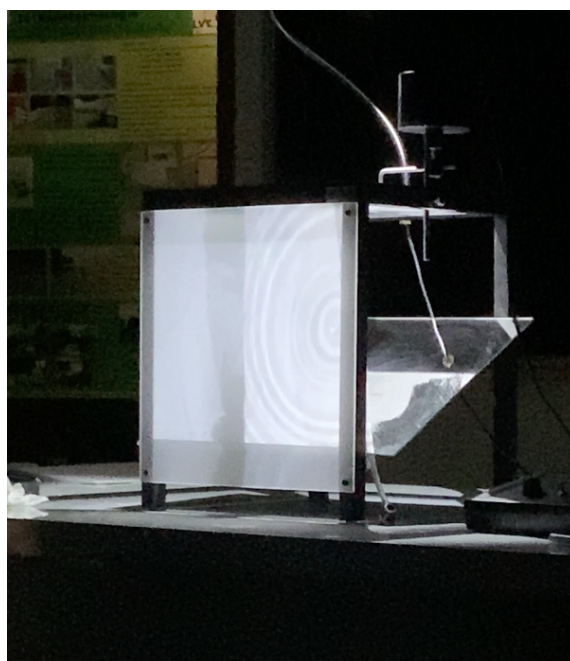
-ONDE SFERICHE

Per osservare differenti tipi di onde siamo passati ad un percussore a punta, che genera onde sferiche.



-FENOMENO DELLA RIFLESSIONE CON ONDE SFERICHE

Come per le onde piane anche con il percussore a pallina abbiamo inserito un righello con un'incidenza di 45° per osservare il fenomeno della riflessione.



-SPECCHIO PARABOLICO CON ONDE SFERICHE

Quando si generano onde sferiche e si utilizza uno specchio parabolico, si verifica il fenomeno

opposto rispetto a quello delle onde piane. Mentre uno specchio parabolico è in grado di concentrare le onde piane nel suo punto focale, quando le onde sono sferiche, esse si riflettono dallo specchio in modo che si propagano come onde piane.

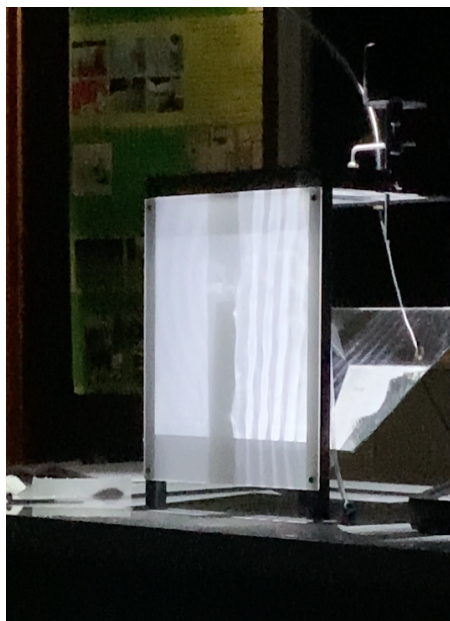
Uno specchio parabolico trasforma le onde sferiche in onde piane parallele.



-FENOMENO DELLA DIFFRAZIONE

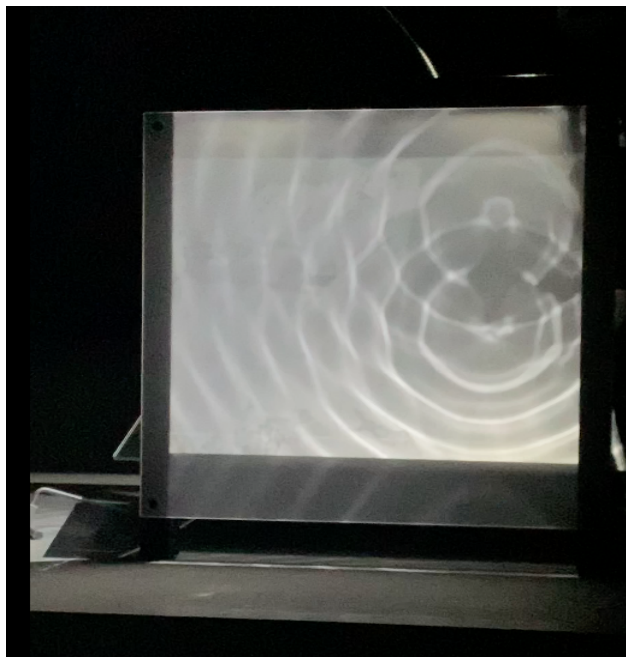
Abbiamo osservato anche il fenomeno della diffrazione dividendo lo specchio con due aste per formare delle fenditure.

Oltre all'osservazione del comportamento delle onde attraverso due aste, abbiamo visto il fenomeno della riflessione tramite l'introduzione di un ostacolo, notando che si ha un fenomeno di diffrazione quando un'onda cerca di aggirare un ostacolo.

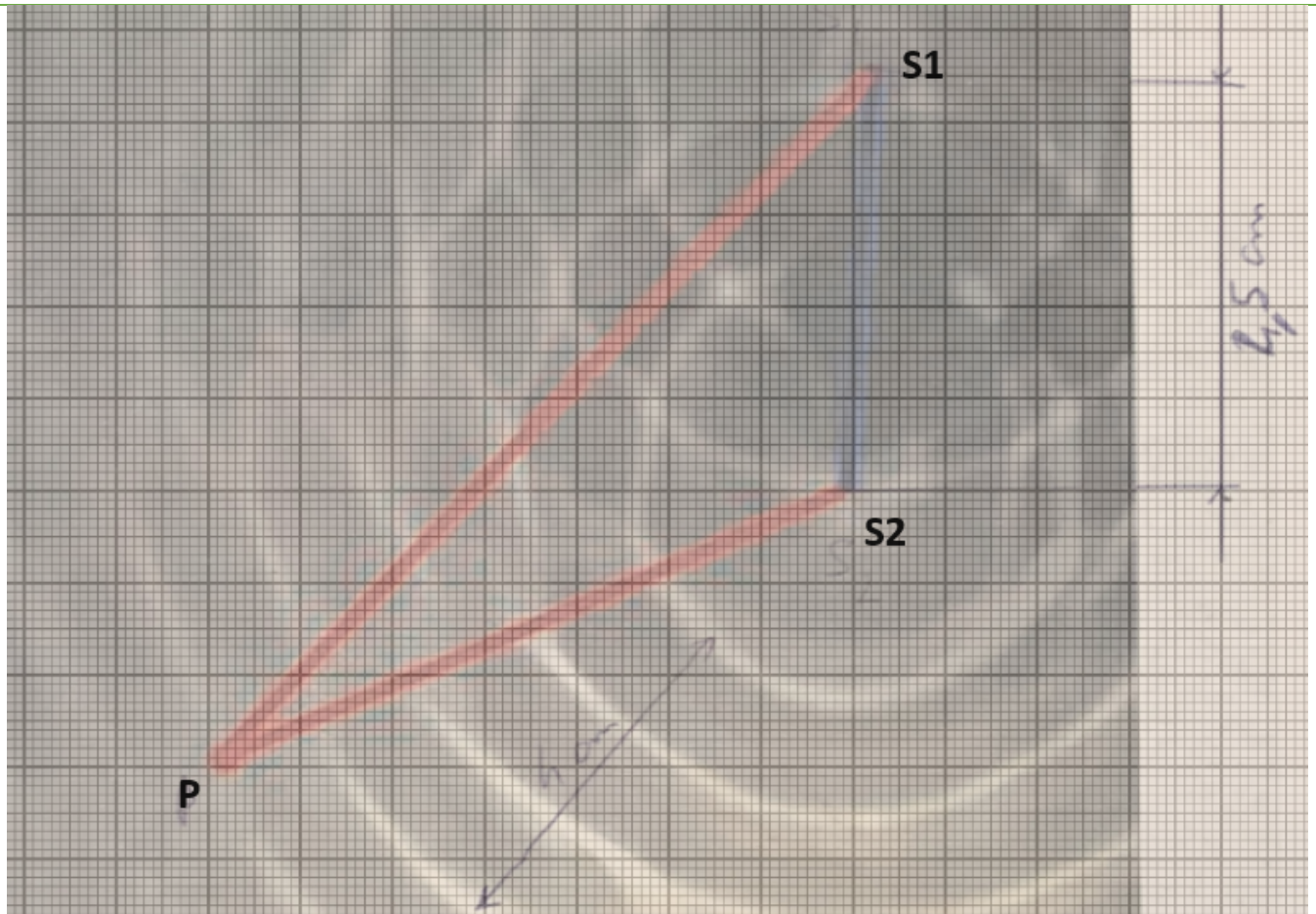


FENOMENO INTERFERENZA

Utilizzando un percussore a doppia sfera, è fattibile generare due onde sferiche tra loro coerenti, caratterizzate da uguale ampiezza, frequenza e fase iniziale. Queste onde danno origine a frange di interferenza, manifestando pattern costruttivi (più scuri) e distruttivi (chiari) che seguono la configurazione di iperboli.



Di questa esperienza è possibile fare un'analisi quantitativa sapendo che la frequenza che nel caso è ($F = 21\text{Hz}$) e la distanza fra i due centri ($2,5\text{cm}$).



La distanza tra le due sorgenti equivale sulla foto a 4,5 cm equivalenti ai 2,5 cm nella realtà (distanza tra le sorgenti nell'endoscopio)

La distanza tra le tre creste misurata dalla foto e' di 4 centimetri per cui la lunghezza d'onda è

$$\lambda = \frac{4}{3} \text{ cm} = 1,3 \text{ cm}$$

Preso un punto P e misurando le distanze tra P e le sorgenti S1 e S2 trovo che :

$$\overline{PS_1} = 10,4 \text{ cm}$$

$$\overline{PS_2} = 7,2 \text{ cm}$$

Per cui la differenza di cammino è di :

$$|\overline{PS_1} - \overline{PS_2}| = 10,4 - 7,2 = 3,2 \text{ cm}$$

Se la divido per la lunghezza d'onda :

$$\frac{|\overline{PS_1} - \overline{PS_2}|}{\lambda} = \frac{3,2}{1,3} = 2,46 \text{ valore quasi equivalente a } \frac{5}{2}$$

Abbiamo quindi trovato che il punto P è un punto di interferenza distruttiva



Conclusioni

Durante questa esperienza, siamo stati in grado di studiare vari fenomeni ondosi. Infatti, sincronizzando la frequenza dello stroboscopio con quella del motore, abbiamo reso le onde presenti sul foglio apparentemente stazionarie sullo specchio traslucido, rendendole più facilmente osservabili. Inoltre, abbiamo confermato che lo specchio parabolico ha la capacità di trasformare le onde sferiche in onde piane e viceversa. Infine l'analisi quantitativa con l'esperimento dell' interferenza è riuscita..

Bibliografia

Appunti alle lezioni di Fisica e alle lezioni di matematica e libri
Fisica :Ugo Amaldi La fisica per i licei scientifici ,
Walker:Modelli teorici e problem solving -biennio