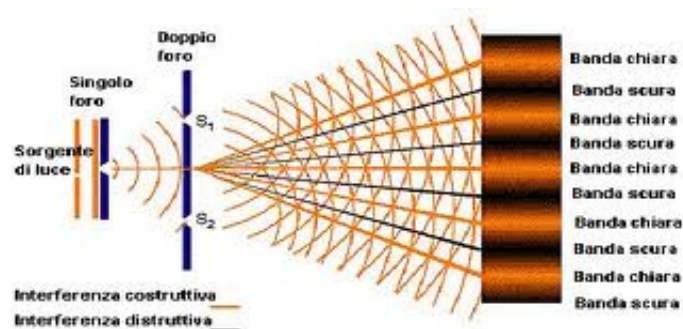


# Interferenza della luce



**Attenzione!** Nel corso della presente esperienza è previsto l'utilizzo di laser di classe II: laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm. Un'esposizione oculare momentanea non è considerata come pericolosa, tuttavia il fascio laser non deve essere diretto deliberatamente sulle persone. Pertanto si consiglia di non guardare direttamente il raggio laser e prestare attenzione che il fascio passi sopra o sotto l'altezza degli occhi.

## 1 Introduzione



*Ogni punto di un fronte d'onda si comporta a sua volta come una sorgente secondaria di onde sferiche con la stessa frequenza della primaria: la forma con cui evolve il fronte d'onda originario è data dalla sovrapposizione dei singoli fronti d'onda secondari, compatibilmente con gli eventuali ostacoli presenti.*

(principio di Huygens-Fresnel)

### 1.1 Estratto

Lo scopo di questo esperimento è osservare la natura ondulatoria della luce, nel fenomeno dell'interferenza propria delle onde. In particolare, si osserverà il comportamento di un fascio di luce dalle caratteristiche note, prodotto da un diodo laser (o da una lampada), quando interferisce dopo essere passato attraverso due fenditure.

## 1.2 Prerequisiti richiesti

- Matematica: nozioni base di trigonometria
- Fisica: elementi di ottica ondulatoria

## 2 Teoria

La trattazione sull'interferenza che verrà in seguito presentata si baserà sulle due condizioni di Fraunhofer, che implicano la possibilità di considerare l'onda incidente sulla fenditura e sullo schermo di osservazione come un'onda piana. La prima consiste, nel caso di singola fenditura, nella relazione:

$$R > \frac{a^2}{\lambda} \quad (1)$$

dove:

- $a$  : spessore della fenditura
- $R$  : distanza tra la sorgente puntiforme di luce e la fenditura
- $\lambda$  : lunghezza d'onda della luce.

Mentre la seconda richiede che la distanza  $D$  tra la fenditura e lo schermo di osservazione sia

$$D > \frac{a^2}{\lambda} \quad (2)$$

Queste sono le condizioni per cui sia sulla fenditura, sia sullo schermo di osservazione l'onda incidente può essere considerata un'onda piana.

### 2.1 Interferenza

Il fenomeno dell'interferenza è dovuto alla sovrapposizione, in un punto dello spazio, di due o più onde. Quello che si osserva è che l'intensità dell'onda risultante in quel punto può essere diversa rispetto alla somma delle intensità associate ad ogni singola onda di partenza; in particolare, essa può variare tra un minimo, in corrispondenza del quale non si osserva alcun fenomeno ondulatorio, ed un massimo superiore alla somma delle intensità. In generale, si dice che l'interferenza è *costruttiva* quando l'intensità risultante è maggiore rispetto alla somma di ogni singola intensità originaria, è *distruttiva* in caso contrario. Il termine viene usualmente utilizzato per parlare di interferenza tra due onde *coerenti*, di norma provenienti dalla stessa sorgente. I fenomeni d'interferenza che si osservano quotidianamente possono essere ad esempio quelli che riguardano le increspature che si formano su uno specchio d'acqua, oppure i battimenti tra onde sonore.

## 2.1.1 Interferenza da doppia fenditura

Consideriamo un'onda incidente su una parete in cui sono presenti due fenditure, A e B, vogliamo studiare il profilo di interferenza sullo schermo posto a grande distanza  $D$  dalla parete. A tal fine consideriamo l'intensità luminosa che si osserva nel punto  $P$ . In accordo col principio di Fresnel, i punti  $A$  e  $B$  possono essere considerati come

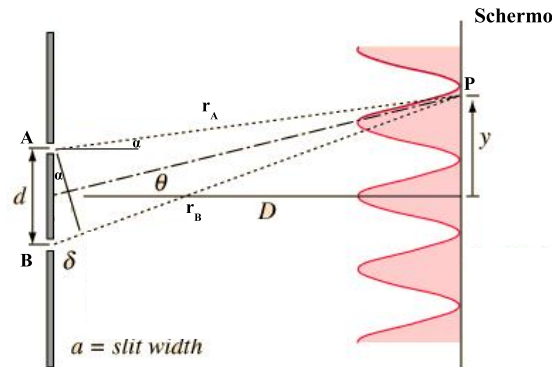


Figure 1: Profilo d'interferenza di un'onda che oltrepassa una doppia fenditura.

le sorgenti dei due campi  $E_A = E_0 \cos(kr_A + \omega t)$  ed  $E_B = E_0 \cos(kr_B + \omega t)$ . Nel punto  $P$  il campo totale sarà:

$$E = E_A + E_B = 2E_0 \cos \frac{k(r_A + r_B)}{2} \cos \frac{k(r_A - r_B)}{2} \quad (3)$$

se si considera l'approssimazione  $r_A + r_B \approx 2r_A$ , e, si osserva (dalla figura 1) che  $\delta = r_A - r_B = d \sin \alpha$  si ha:

$$E = 2E_A \cos \frac{kd \sin \alpha}{2}. \quad (4)$$

Quello che si osserva sullo schermo nel punto  $P$  non è però il campo bensì la sua intensità ovvero:

$$I = E^2 = 4 |E_A|^2 \cos^2 \frac{kd \sin \alpha}{2}. \quad (5)$$

Sullo schermo si osserverà quindi un profilo oscillante di intensità, i cui massimi coincidono col caso in cui la differenza tra i cammini ottici è pari a multipli interi della lunghezza d'onda  $\lambda$  della radiazione, viceversa si osservano dei minimi:

$$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{d} \rightarrow \text{massimi per } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6)$$

$$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{2d} \rightarrow \text{minimi per } n = \pm 1, \pm 3, \dots \quad (7)$$

## 2.2 Contributo della diffrazione

È importante notare che il fenomeno dell'interferenza legato al passaggio delle luce attraverso due o più fenditure non può essere separato dal contributo della diffrazione. Avviene infatti che, passando attraverso ciascuna fenditura la luce subisce la diffrazione, inoltre, la luce diffratta da una delle due (o più) fenditure si sovrappone a quella diffratta dall'altra. Nella regione di sovrapposizione le onde luminose interferiscono costruttivamente (luce intensa) nei punti in cui esse giungono in fase mentre interferiranno distruttivamente (buio) là dove giungono sfasate di mezza lunghezza d'onda.

A differenza della figura di diffrazione da una singola fenditura, nella figura di interferenza le frange luminose hanno tutte la stessa intensità essendo descritte dalla funzione in equazione (5).

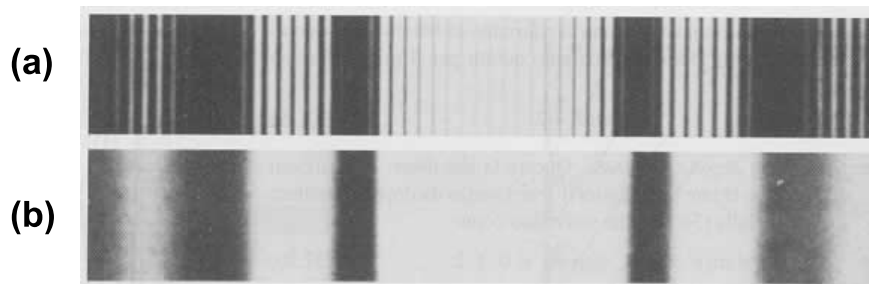


Figure 2: (a) Figura relativa alla diffrazione e all'interferenza da fenditura doppia. (b) Figura relativa alla diffrazione da fenditura singola.

Il legame tra interferenza e diffrazione emerge chiaramente andando a determinare il profilo d'intensità del campo generato dal passaggio della luce per una doppia fenditura lineare. Ricorrendo al calcolo dell'integrale di Fresnel-Kirchhoff, che qui ometteremo, si dimostra che l'intensità del campo è pari a:

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \cos^2 \gamma \quad (8)$$

dove  $\gamma = \pi h \sin \theta$ , con  $h$  distanza tra le due fenditure. Dall'osservazione dell'eq.8 emerge come il pattern d'interferenza determinato dall'oscillazione del coseno al quadrato determina frange di uguale intensità la cui presenza dipende dalla distanza tra le fenditure. Tale profilo d'interferenza viene modulato dal profilo di diffrazione, caratterizzato dalla funzione  $\left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$ .

### 2.2.1 Osservazione 1

Se l'interferenza è prodotta da due fenditure la cui larghezza sia notevolmente più piccola rispetto alla distanza che le separa si avrà la tipica alternanza di zone di luce e buio propria dell'interferenza, ma l'intensità delle zone di luce risulterà modulata

dall'effetto concomitante della diffrazione. Da notare che l'effetto modulate della diffrazione è unico poichè le due fenditure si trovano vicinissime e pertanto il profilo delle due figure di diffrazione risulta praticamente sovrapposto.

### 2.2.2 Osservazione 2

Un reticolo di diffrazione viene ottenuto incidendo con un diamante su un vetro una serie di righe molto sottili. Le microscopiche striscioline trasparenti di vetro intatto che rimangono tra un'incisione e l'altra si comportano da fenditure. Vengono prodotti reticoli che hanno anche 10000 righe per cm, il che significa che la distanza tra una riga e l'altra (passo del reticolo) è  $10^{-6}m$ . Il meccanismo di formazione della figura di interferenza da parte di un reticolo è la stessa di quella della doppia fenditura (in questo caso  $d$  è la distanza tra due righe successive del reticolo): le frange luminose occupano la stessa posizione ma sono ora più strette e quindi le frange scure sono più ampie.

## 3 Esperimenti proposti

Le esperienze di seguito proposte consistono sia in una parte puramente di osservazione per una maggiore comprensione del fenomeno, sia di una parte di presa dati per fissare i concetti trattati.

### 3.1 Esperimento di Young

Consideriamo una sorgente di luce monocromatica (diodo laser) diretta verso uno schermo bianco o un osservatore. Se anteposiamo allo schermo una doppia fenditura, otteniamo una sorgente di onde due sferiche in fase tra loro. Al di là della fenditura si forma una figura di interferenza dovuta alla sovrapposizione delle due onde, che può essere osservata sullo schermo. Tenendo fissa le distanze tra la sorgente di luce e la fenditura, e la fenditura e lo schermo di osservazione ( $D$ ), si registrano: le posizioni dei massimi di interferenza rispetto al massimo principale. Chiamiamo la distanza tra i punti di massimo  $\Delta y$ , si ha allora che la lunghezza d'onda della luce incidente sulla fenditura può essere valutata come

$$\lambda = \frac{\Delta y D}{d}. \quad (9)$$

### 3.2 Reticolo di diffrazione (N fenditure)

Il reticolo di diffrazione consiste di uno schermo opaco nel quale è praticato un numero molto elevato  $N$  di fenditure (1000-10000) molto sottili poste a distanza

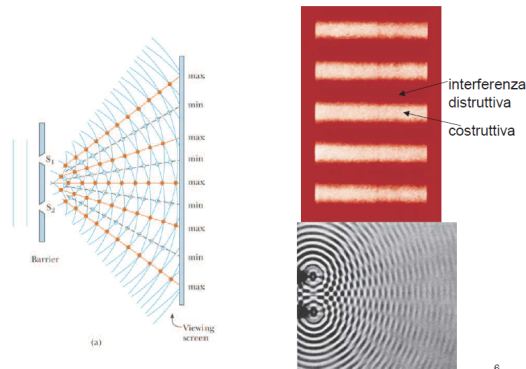


Figure 3: Rappresentazione dell'esperimento d'interferenza da doppia fenditura

$r$  (passo del reticolo) . L'immagine di diffrazione realizzata dal passaggio della luce attraverso il reticolo può essere compresa, almeno qualitativamente, facendo le seguenti considerazioni: ogni singola fenditura produrrebbe sullo schermo una figura di diffrazione il cui massimo principale ha larghezza angolare  $\sin \theta = \lambda/a$ .

D'altra parte le onde uscenti dalle  $N$  fenditure poste a distanza  $r$  interferiscono dando origine a delle frange d'interferenza con dei massimi nelle posizioni angolari  $\sin \theta = n\lambda/r$  con  $n = 0, 1, 2, \dots$  che si posizionano internamente alla figura di diffrazione in modo tale che questa appare solcata da frange luminose (massimi di interferenza) e da zone buie.

Osservare la figura relativa alla diffrazione della luce da reticolo, distinguendo il contributo della diffrazione da quello dell'interferenza.

## 4 Strumentazione adottata

Per l'implementazione degli esperimenti proposti sull'interferenza di un fascio luminoso, sono necessari i seguenti elementi:

- Diodo laser
- Lavagna
- Fenditure di larghezza variabile (circa 3 misure diverse)

In alternativa alla lavagna bianca, l'utilizzo di un foglio dotato di scala al decimo di millimetro permette di misurare la distanza tra le frange.

### 4.1 Preparazione del tavolo ottico

Assemblare il banco ottico come illustrato in figura 6, allineando sul binario i seguenti elementi ottici:

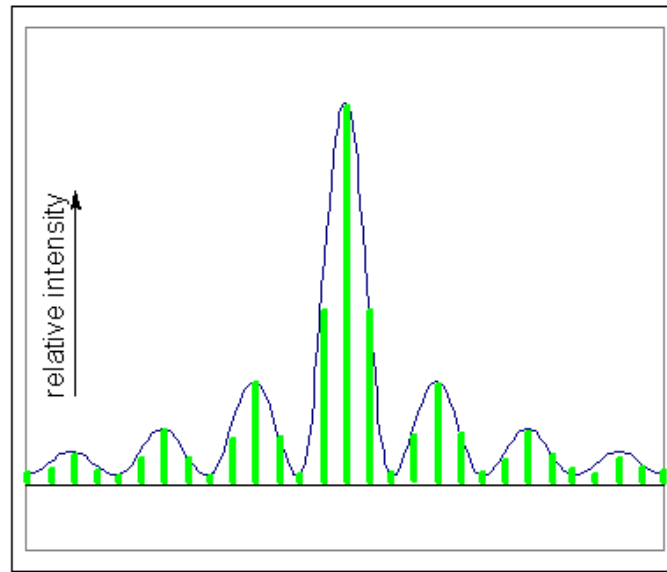


Figure 4: Profilo di diffrazione relativo al reticolo di diffrazione.

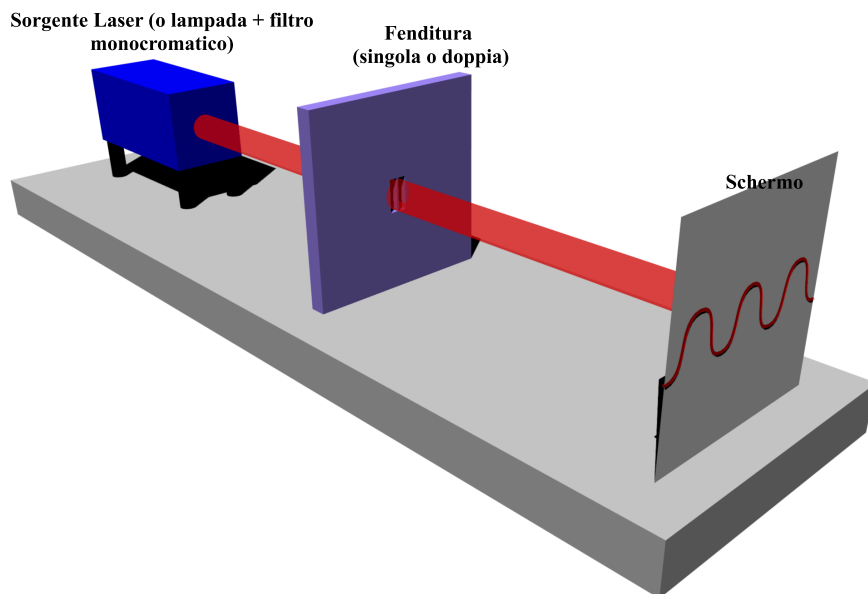


Figure 5: Schema sperimentale

- diodo laser
- supporto fenditure
- schermo bianco



Figure 6: Preparazione del setup per gli esperimenti.

#### 4.1.1 Strumentazione PASCO

- Allineare il fascio laser lungo il binario, utilizzando opportunamente le manopole per il tiltaggio del diodo laser.
- Agganciare quindi il disco PASCO sull'apposito supporto (vedi figura 7), ed allineare la fenditura scelta con il fascio laser incidente.
- Ruotando il disco è possibile selezionare fenditure di diverse forme e grandezze, la



Figure 7: Allineamento del disco PASCO sull'apposito supporto.

cui figura di interferenza può essere osservata sulla lavagna.

È importante notare che, poichè per osservare la figura di interferenza è richiesto di distinguere le frange all'interno della figura di diffrazione, il fenomeno si osserva con maggior facilità se la lavagna è posta a grande distanza dal supporto delle



fenditure.

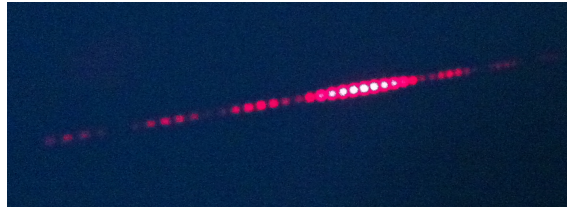


Figure 8: Figura di interferenza relativa all'utilizzo di due fenditure.

## 5 Procedimento di misura

1. Coprendo una delle due fenditure, osservare come cambia la figura sulla lavagna, che mostra il solo contributo diffrattivo. Scompaiono infatti le modulazione interne al profilo di diffrazione.
2. Osservare che, mentre nel caso della diffrazione, l'intensità luminosa sullo schermo varia tra massimi differenti, nel caso dell'interferenza non si ha una variazione nell'intensità tra massimi adiacenti.
3. Osservare la variazione delle frange d'interferenza al variare della distanza tra le fenditure. Variando la distanza tra le fenditure si modifica infatti la struttura delle frange di interferenza che divengono via via più spaziate all'aumentare della distanza tra le fenditure stesse. Al limite la figura di interferenza sparisce.
4. Osservare cosa avviene invece se si cambia la dimensione delle fenditure. In questo caso è il contributo di diffrazione a cambiare forma e non più la sua modulazione interna legata all'interferenza.
5. Osservare infine la figura relativa al reticolo di diffrazione, cercando di individuare i contributi relativi alla diffrazione e all'interferenza tra fenditure differenti.

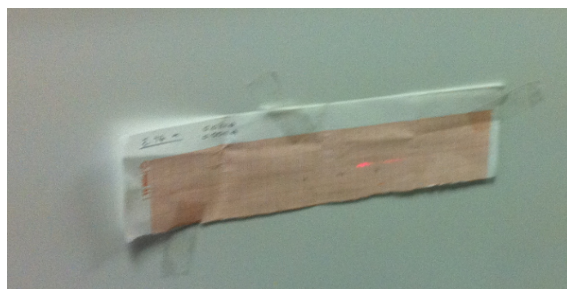


Figure 9: Presa dati alla lavagna.

6. Attaccare sulla lavagna bianca un foglio di carta millimetrata, facendo attenzione a disporlo in modo esattamente orizzontale ortogonalmente alla direzione di incidenza del fascio.
7. Allineare il disco fissando una determinata coppia di fenditure lungo il percorso del fascio laser.
8. Segnare sulla carta millimetrata (come mostrato in figura 9) dei puntini in corrispondenza di due massimi di intensità nel profilo di interferenza, all'interno del massimo principale relativo alla figura di diffrazione, individuando in questo modo le posizioni di  $y_1$  ed  $y_2$  la cui differenza dà  $\Delta y$  in equazione 9.
9. Ripetere l'operazione per diversi valori della spaziatura  $d$  delle dimensioni della fenditura, mantenendo fissa la distanza  $D$  della lavagna dalle fenditure.

## 6 Analisi

1. Riportare in una tabella i valori di  $\Delta y$  osservati per diversi valori di  $d$ .
2. Riportare su un grafico l'andamento di  $\Delta y$  in funzione di  $1/d$ .
3. Utilizzando il valore di  $\lambda$  trovato nell'esperienza della diffrazione, calcolare il valore di  $d$  relativo alle diverse fenditure usate seguendo l'espressione 9.