

INTERFERENZA e DIFFRAZIONE

**Esperienza effettuata il giorno 12 maggio 1997 da :
Maurizio Antonelli
Rosa De Matteis
Myra Cardellina**



Some rights reserved: <http://www.maury.it#licenza>

Scopo dell'esperienza

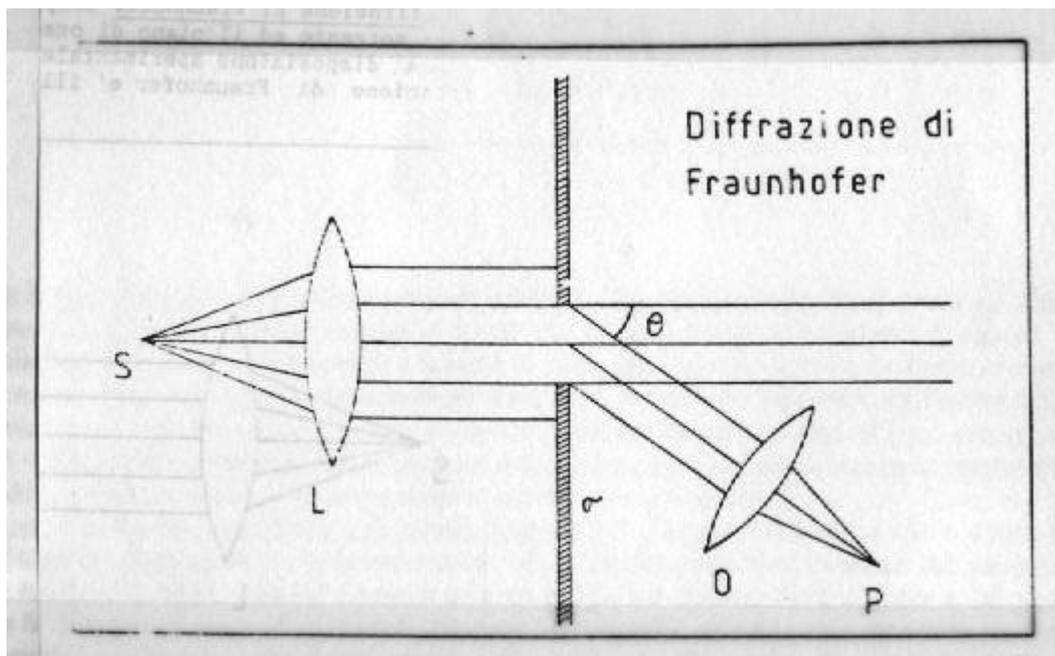
Determinare sperimentalmente le principali caratteristiche del processo di diffrazione (distanza tra le frange e distribuzione dell'intensità luminosa) nel caso di uno schermo a semipiano e di fenditure lineari o circolari.

Analoghe misure per il processo di interferenza nel caso di un sistema di due fenditure lineari (esperienza di Young).

Descrizione dell'esperienza

1) Diffrazione. Il fenomeno di diffrazione si manifesta ogniqualvolta la luce (onda elettromagnetica) si propaga in presenza di schermi che limitano parzialmente il cammino. La luce al di là dei diaframmi si propaga anche in regioni dello spazio nelle quali l'approssimazione dell'ottica geometrica prevede oscurità completa.

I fenomeni di diffrazione vengono normalmente suddivisi in due classi in dipendenza delle condizioni sperimentali con cui vengono prodotte ed osservate le figure di diffrazione. Si chiamano fenomeni di diffrazione di Fresnel quelli in cui la sorgente ed il piano di osservazione sono posti a distanza finita dallo schermo diffrangente. La diffrazione di Fraunhofer comprende invece la classe di fenomeni in cui la sorgente ed il piano di osservazione sono posti all'infinito.



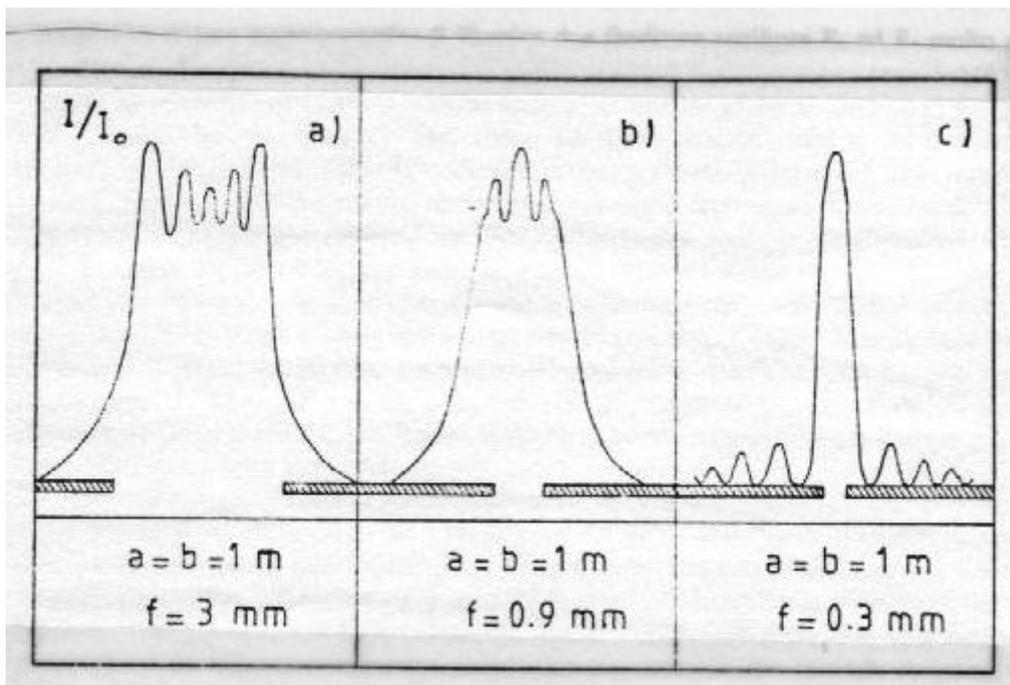
In questa figura è illustrata schematicamente la disposizione sperimentale impiegata per osservare le figure di diffrazione di Fraunhofer: la sorgente monocromatica S è posta nel fuoco di una lente L ed il fascio emergente viene fatto incidere sullo schermo σ in cui è praticata una fenditura. Mediante un oculare O si vanno ad osservare i raggi diffratti all'infinito e che formano un angolo θ molto piccolo con la direzione del fascio di luce incidente sullo schermo.

Le figure di diffrazione di Fresnel e di Fraunhofer non differiscono sostanzialmente tra loro, si può dire che dalle prime si transisce alle seconde quando si fa tendere all'infinito la sorgente ed il piano di osservazione.

a) Diffrazione da uno schermo indefinito con bordo rettilineo. Sia S la sorgente puntiforme posta a distanza a dallo schermo σ in cui l'estremo A rappresenta la traccia del bordo rettilineo nel piano del disegno e sia π il piano di osservazione, distante b dallo schermo σ . Come riferimento per descrivere la figura di diffrazione conviene assumere la linea di demarcazione ottenuta come proiezione di A sul piano di osservazione π (punto P_0). Le caratteristiche essenziali della figura di diffrazione possono essere riassunte in questi punti: 1) l'illuminazione del punto P_0 risulta un quarto di quella che si avrebbe senza lo schermo σ e va decrescendo, quando ci si muove verso la regione d'ombra, in maniera continua ed assai rapida. 2) nella regione di luce si osservano in prossimità di P_0 una serie di frange più o meno intense, parallele al bordo dello schermo σ , che vanno rinserrandosi man mano che ci si allontana da P_0 . 3) la figura di diffrazione non dipende dalla natura del bordo dello schermo σ che può essere quindi riflettente o completamente assorbente.

Queste osservazioni sperimentali permettono di mettere in evidenza alcuni aspetti del fenomeno di diffrazione che si ritroveranno anche nelle successive configurazioni. Innanzitutto la regione interessata dal fenomeno di diffrazione ha una estensione limitata: l'angolo con cui essa è vista dal punto A è molto piccolo (dell'ordine di 0.01 radianti). In secondo luogo le caratteristiche geometriche della figura di diffrazione dipendono dal tipo di radiazione monocromatica impiegata.

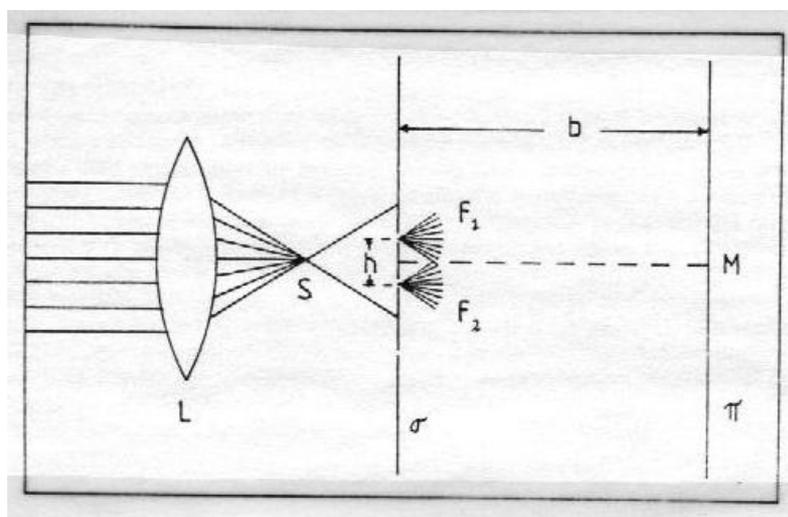
b) Diffrazione da una fenditura indefinita. L'immagine che si ottiene sul piano π è simmetrica rispetto ad M ed ha un aspetto che è fortemente dipendente dalla dimensione f della fenditura. Se si varia l'apertura della fenditura (mantenendo inalterati tutti gli altri parametri geometrici del dispositivo) si ottengono le figure di diffrazione mostrate nella pagina successiva. Nel caso di una fenditura larga (a) si osserva una sequenza di frange che risulta dalla sovrapposizione dei



sistemi di frange ottenuta da due schermi rettilinei indefiniti. Nel caso di una fenditura stretta (c) la figura di diffrazione assume un aspetto particolarmente semplice in cui ad una frangia centrale molto intensa fa seguito una successione di frange luminose ed oscure la cui ampiezza è la metà di quella della frangia centrale. Le frange si susseguono con passo costante e l'interfrangia d_n risulta inversamente proporzionale alla apertura della fenditura f e direttamente proporzionale alla distanza b tra la fenditura e lo schermo π : $d_n = k \cdot b / f$, dove k dipende dal tipo di luce monocromatica impiegata. I fenomeni di diffrazione mostrati in figura possono essere ottenuti con la stessa sequenza, mantenendo fissa l'apertura della fenditura ed allontanando progressivamente lo schermo di osservazione.

c) Diffrazione da una apertura circolare di piccole dimensioni. La figura di diffrazione che si ottiene è costituita da una serie di frange luminose ed oscure di forma circolare che circondano una frangia centrale che può essere rispettivamente oscura o brillante, in dipendenza del diametro del foro e della sua distanza dalla sorgente e dal piano di osservazione. Variando la distanza b si trova che l'intensità luminosa della macchia centrale passa attraverso dei minimi e dei massimi, raggiungendo un valore I_{max} che risulta quattro volte superiore all'intensità che si avrebbe in quel punto senza lo schermo. Come nel caso della fenditura, quanto più piccolo è il diametro $2r$ del foro tanto maggiore è il diametro d_0 della macchia centrale: $d_0 = 1.22k(b/2r)$, dove k ha lo stesso significato attribuitogli nella relazione $d_n = k \cdot b / f$.

2) Interferenza. Il dispositivo sperimentale più semplice per studiare il fenomeno d'interferenza è quello realizzato da Young e schematicamente rappresentato in questa figura.

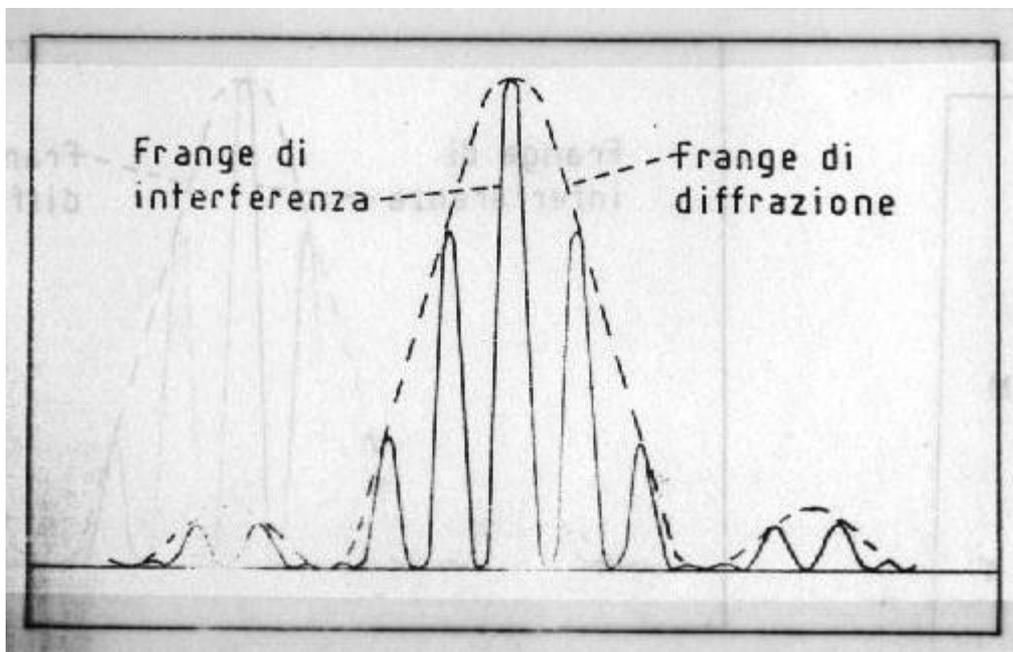


Una sorgente puntiforme di luce monocromatica S illumina due fenditure rettilinee F_1 ed F_2 molto strette (apertura di 0.2-0.3 mm) e separate da una distanza h (in genere dell'ordine di 1mm). Raccogliendo i raggi luminosi provenienti dalle due fenditure su uno schermo diffondente π si osserva nella zona attorno ad M un sistema di frange alternativamente brillanti

ed oscure, parallele alle due fenditure. Per vedere una figura di interferenza in cui la distanza tra due frange oscure successive (interfrangia) sia dell'ordine del millimetro è necessario che la distanza b tra le due fenditure ed il piano π sia sufficientemente grande (dell'ordine del metro) mentre la distanza h deve essere dell'ordine del millimetro.

Dall'esame della figura di interferenza ottenuta per diverse condizioni sperimentali è possibile ricavare le seguenti caratteristiche: 1) la frangia centrale è sempre luminosa e la sua intensità risulta quattro volte maggiore dell'intensità luminosa dovuta ad una sola delle due fenditure, l'intensità luminosa è nulla nelle frange oscure. 2) le frange sono rettilinee ed equidistanti, l'interfrangia dipende in maniera inversamente proporzionale dalla distanza h tra le due fenditure ed in maniera direttamente proporzionale dalla distanza b tra i piani σ e π : $d_i = k(b/h)$, dove k è una costante caratteristica del tipo di luce impiegata. Si trova che essa varia approssimativamente da $4 \cdot 10^{-7}$ m a $8 \cdot 10^{-7}$ m passando dal violetto estremo al rosso estremo. 3) se si utilizza luce bianca la figura di interferenza presenta la frangia centrale in luce bianca mentre le successive frange luminose sono colorate.

Poiché si sa che ciascuna fenditura, presa a sé stante, darebbe un sistema di frange di diffrazione in cui la distanza tra due frange oscure (o luminose) è data dalla relazione $d_n = k \cdot b/f$, ne consegue che la figura di interferenza ora descritta risulta dalla sovrapposizione del processo di interferenza vero e proprio e del processo di diffrazione. I due sistemi di frange si producono contemporaneamente, influenzandosi a vicenda e dato che di norma la distanza h tra le due fenditure è maggiore dell'apertura f delle fenditure le frange di interferenza sono più sottili e più fitte delle frange di diffrazione. La presenza di queste ultime modifica però l'aspetto delle prime sia per quel che riguarda la posizione dei massimi di luminosità sia per quel che riguarda la loro intensità. La distribuzione dell'intensità luminosa ha quindi l'aspetto rappresentato in questa figura.



Procedura sperimentale

Per questa esperienza avevamo a disposizione un banco ottico di circa 2 metri di lunghezza sul quale era disposta la sorgente laser, la lente convergente, i diaframmi con le fenditure e lo schermo di osservazione.

La luce proveniente dalla sorgente laser era focalizzata da una lente a piccola distanza focale ($f=30-50$ mm) prima di incidere sul diaframma contenente le fenditure in esame. Lo schermo di osservazione era installato all'estremità opposta del banco ottico. Poiché non disponevamo di una fotocellula per misurare la distribuzione dell'intensità luminosa nelle frange di diffrazione e di interferenza, abbiamo potuto effettuare soltanto misure sulle dimensioni geometriche delle figure di diffrazione e di interferenza.

Abbiamo iniziato inserendo un reticolo di passo $1.754385 \cdot 10^{-3}$ mm (570 tratti/mm) perpendicolare al fascio. Abbiamo misurato dapprima la lunghezza d'onda λ della sorgente mediante il reticolo di passo noto effettuando la misura di θ_n per diversi massimi principali. La misura dell'angolo θ_n si ottiene semplicemente misurando la distanza D del reticolo dal piano di osservazione e la distanza L_n intercorrente tra i due massimi principali simmetrici di ordine n . Conveniva misurare la distanza tra i due massimi simmetrici anziché la distanza tra il massimo di ordine n ed il massimo centrale ($n=0$) in quanto, così facendo, si riduce l'errore di misura.

Ecco le nostre misure:

- 1) $D=176.5$ cm- $L_1=137$ cm 2) $D=203$ cm- $L_1=157$ cm 3) $D=224.5$ cm- $L_1=174$ cm 4) $D=201$ cm- $L_1=156$ cm

Quindi dalle relazioni $\tan \theta_n = L_n / (2D)$ e $n\lambda = d \sin \theta_n$ abbiamo ricavato il valore di λ :

$$\lambda(1) = 6347 \text{ \AA} \quad \lambda(2) = 6327 \text{ \AA} \quad \lambda(3) = 6241 \text{ \AA} \quad \lambda(4) = 6347 \text{ \AA}$$

da cui il valor medio è $\lambda = 6315 \text{ \AA}$ con deviazione standard della media $\sigma_\lambda = 25 \text{ \AA}$.

Siamo quindi passati a studiare le caratteristiche geometriche della figura di diffrazione da singole fenditure piane: abbiamo misurato con lo spessimetro la prima fenditura che è risultata essere $h = 0.015 \text{ cm}$ e poi abbiamo verificato studiando la figura di diffrazione. La distanza tra 2 massimi principali era $d = 1.6 \text{ cm}$. $\theta = \text{artg}(d/D) = 0.00784$ radianti e $h = (x\lambda) / (\pi \sin \theta) = 0.01616 \text{ cm}$ con deviazione 0.00006 cm , valore molto vicino alla misura che avevamo effettuato con lo spessimetro.

Abbiamo proceduto alla stessa maniera per la seconda fenditura: con spessimetro $h = 0.01 \text{ cm}$; $d = 2.1 \text{ cm}$ e con le formule usate prima si ottiene $h = 0.01232 \text{ cm}$ con deviazione 0.00004 cm , $k = 2$. Anche questa misura molto vicina alla misura manuale.

Abbiamo studiato poi la fenditura circolare il cui raggio misurato è $a = 0.02 \text{ cm}$. L'angolo di rifrazione del 1° massimo è $\theta_1 = 1.22 \lambda / 2a = 0.001933$ radianti con deviazione 0.000008 cm e poi misurando la figura di diffrazione $x = 0.4 \text{ cm}$, $D = 201.5 \text{ cm}$ abbiamo ottenuto $x/D = \text{tg } \theta$, $\theta = 0.001985$ radianti e $a = 1.22 \lambda / 2 * \theta = 0.0194 \text{ cm}$ con deviazione trascurabile.

Per la doppia fenditura abbiamo misurato che la distanza tra le due fenditure di $k = 4$, $d = 0.8 \text{ cm}$ e $D = 204 \text{ cm}$ e abbiamo ottenuto misurando le figure di interferenza e diffrazione che $\theta = \text{artg}(d/D) = 0.00392 \text{ rad}$. e $d = 0.647 \text{ cm}$ con deviazione trascurabile.