Esperienza di ottica

Diffrazione

Arianna Genuardi, Matteo Romano, Vittorio Strano, Florinda Tesi

Indice

1	Introduzione	1				
2	Strumentazione 2.1 Software	2				
3	Procedimento	2				
4	Risultati					
	4.1 Fenditura da 0.02 mm					
	4.2 Fenditura $a = 0.04 \mathrm{mm}$					
	4.3 Fenditura $a=0.08\mathrm{mm}$	6				
5	Conclusioni	6				

1 Introduzione

Questo esperimento vuole rilevare il carattere ondulatorio della luce tramite il fenomeno della **diffrazione**, causata dal passaggio del fascio di luce per una fenditura di dimensioni a comparabili alla sua lunghezza d'onda λ . Per far ciò verrà analizzata la figura d'interferenza formata su uno schermo a distanza L dalla fenditura (Figura 1).

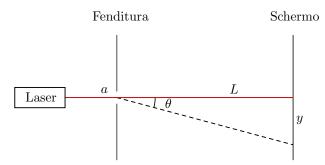


Figura 1: Illustrazione dell'apparato strumentale

La legge che descrive l'intensità della luce su un punto dello schermo a distanza y dal centro è l'Equazione 1 come ricavato in $\ref{eq:continuous}$.

$$I(y) = I_0 \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \frac{y}{L}\right) \tag{1}$$

Per trovare i punti di minimo basta porre $\frac{ay}{\lambda L} \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$ ovvero

$$y \in \left\{ m \frac{\lambda L}{a} : m \in \mathbb{Z} \setminus \{0\} \right\}$$
 (2)

2 Strumentazione

- Laser con lunghezza d'onda $\lambda = 650 \, \mathrm{nm}$
- Fenditura di larghezza variabile da 0.02, 0.04 e 0.08 mm con errore di ± 0.005 mm
- Guida con riga di lunghezza pari a 1.2 m e risoluzione 1 mm, su cui montare i vari strumenti
- Schermo utile per centrare il laser orizzontalmente
- *Light sensor* in grado di campionare l'intensità luminosa con tre diverse scale e dotato di fenditura variabile 0.5, 1 e 1.5 mm
- Rotary motion sensor capace di misurare la rotazione relativa al punto di avvio della misurazione con una risoluzione di 0.09°. Il fattore di conversione lineare utilizzando la guida dentata, indicato nel manuale, è circa 0.0126 m/rad
- Guida dentata lunga 21 cm su cui è montato il sensore di rotazione
- Interfaccia per collegare il sensore ad un computer

2.1 Software

• Pasco Capstone per controllare l'interfaccia

3 Procedimento

Il laser è stato collocato allo zero del supporto ottico. All'altra estremità, in posizione (102.50 ± 0.05) cm, sono presenti i due sensori di luminosità e movimento solidali tra loro e collegati ad un computer tramite l'interfaccia, che servirà a registrare i dati.

Sono state spente le luci della stanza e tramite le manopole poste dietro al laser il puntatore è stato allineato orizzontalmente al centro dello schermo posto di fronte ad esso. Una volta rimosso lo schermo, il laser è stato allineato verticalmente al centro dell'apertura del detector per evitare l'interazione con il bordo di quest'ultima.

Successivamente è stata inserita la fenditura, regolata a $0.02\,\mathrm{mm}$, in posizione $(4.00\pm0.05)\,\mathrm{cm}$ ottenendo così una distanza fenditura-detector pari a $L=(98.5\pm0.1)\,\mathrm{cm}$

Dopo aver selezionato l'apertura del detector di 1.5 mm e aver impostato la giusta sensibilità, dal computer sono state avviate le misurazioni; successivamente i sensori sono stati spostati da un estremo all'altro della guida dentata in modo da registrare l'intensità luminosa nei vari punti.

Con l'apertura del detector a 1.5 mm sono stati effettuati più set per ciascuna fenditura in modo da verificare la ripetibilità dei dati raccolti. Successivamente è stato raccolto un set di dati per ogni combinazione di fenditura e apertura del detector per analizzare l'effetto delle variabili al contorno.

4 Risultati

Avendo preso le misure a partire da un'estremità della guida dentata la curva non ha il picco centrato in y = 0, quindi si è proceduto con il traslare le misure. L'errore attribuito a questa operazione è di 1 mm.

A partire dai dati raccolti con apertura del sensore pari a 1.5 mm è stata stimata la dimensione della fenditura utilizzando due metodi

- 1. La posizione dei minimi ricavata graficamente che permette di ottenere la dimensione della fenditura utilizzando l'Equazione 2
- 2. Il fit tramite l'Equazione 3, in cui è stato inserito un parametro c che permette di traslare la curva verticalmente in modo da tenere in considerazione la presenza di rumore.

$$I(I_0, a, c) = I_0 \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \frac{y}{L}\right) + c \tag{3}$$

4.1 Fenditura da 0.02 mm

Per la fenditura da $0.02\,\mathrm{mm}$ ed apertura del sensore pari a $1.5\,\mathrm{mm}$ sono stati raccolti 4 set di dati che sono riportati in

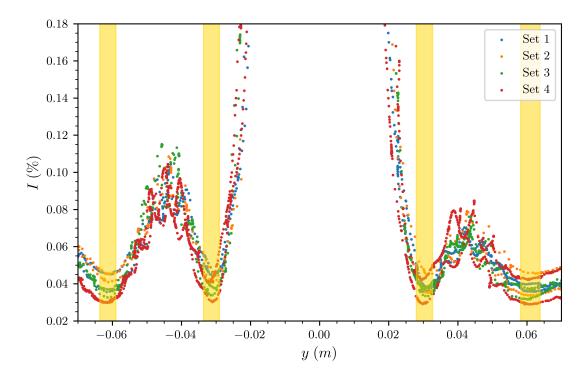


Figura 2: Intensità luminosa I in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a $0.02\,\mathrm{mm}$. In figura sono segnati i minimi ricavati graficamente con i relativi errori. È possibile notare un segnale a frequenza costante che si sovrappone alla figura di diffrazione.

Le posizioni dei minimi ottenute dalla Figura 2 sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1: Posizione dei minimi, ottenuta graficamente dalla Figura 2, riportata di fianco al proprio indice m ed al valore $\frac{\lambda L}{a}$ (m) stimati seguendo l'Equazione 2. Il valore di a derivato da ciascun minimo è stato ricavato con la formula inversa dopo aver posto $\lambda = 650\,\mathrm{nm}$ ed $L = (98.5 \pm 0.1)\,\mathrm{cm}$ sommando in quadratura i contributi all'errore di δy e δL .

\overline{m}	y (m)	$\frac{\lambda L}{a}$ (m)	a (mm)
-2	-0.0613 ± 0.0023	0.0307 ± 0.0012	0.0209 ± 0.0008
-1	-0.0313 ± 0.0023	0.0313 ± 0.0023	0.0205 ± 0.0015
1	0.0304 ± 0.0024	0.0304 ± 0.0024	0.0211 ± 0.0016
2	0.0610 ± 0.0028	0.0305 ± 0.0014	0.0210 ± 0.0010

Intersecando i valori di a così ricavati si ottiene $a = (0.0209 \pm 0.0008)$ mm.

Sia il valore ottenuto col fit che il valore ottenuto dal grafico risultano compatibili con il valore teorico di a.

Per confrontare le misure ottenute con diverse aperture del sensore si è scelto di utilizzare il set 1 delle misure con apertura 1.5 mm, in quanto è quello che meno presenta deformazioni lungo il picco centrale e ci permette di confrontare l'ampiezza di quest'ultimo.

Si può notare che anche nei grafici 2 e 4 persiste il segnale di frequenza costante: questo potrebbe essere dato da un difetto della fenditura stessa, che causa un'interferenza la quale si sovrappone alla figura di diffrazione.

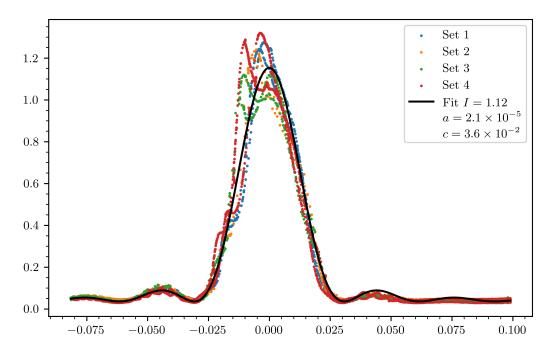


Figura 3: Intensità luminosa I_0 in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a $0.02\,\mathrm{mm}$. In figura è riportato il fit fatto utilizzando l'Equazione 3. I valori dei parametri ottenuti sono $I_0 = 1.12 \pm 0.15, \ a = (0.021 \pm 0.002)\,\mathrm{mm}$ e $c = (3.6 \pm 0.8) \times 10^{-2}$.

4.2 Fenditura $a = 0.04 \, \text{mm}$

Le posizioni dei minimi ottenute sono le seguenti:

Tabella 2

m	y (m)	$\frac{\lambda L}{a}$ (m)	a (mm)
-2	0.0305 ± 0.0014	0.0153 ± 0.0007	0.0418 ± 0.0019
-1	0.0154 ± 0.0011	0.0154 ± 0.0011	0.042 ± 0.003
1	0.0149 ± 0.0010	0.0149 ± 0.0010	0.043 ± 0.003
2	0.0298 ± 0.0015	0.0149 ± 0.0008	0.043 ± 0.002

Intersecando le barre d'errore dei valori ottenuti si ha $a=(0.0424\pm0.0014)\,\mathrm{mm}$.

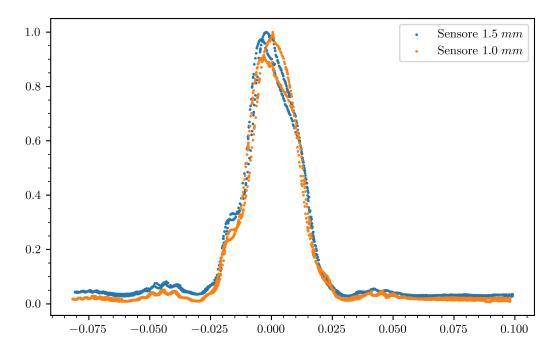


Figura 4: Grafico dell'intensità luminosa relativa I in funzione della posizione y (in metri) per ciascuna delle due aperture del sensore. Riducendo l'apertura del sensore l'intensità misurata diminuisce permettendo di passare al fondo-scala più piccolo (candela) per l'apertura da 1.0 mm. I valori delle intensità sono stati scalati in modo che l'altezza del picco centrale fosse pari a 1, questo permette di confrontare i picchi con più semplicità. In effetti è possibile notare come la curva tracciata dalle misure con un'apertura più stretta abbia un picco centrale leggermente più schiacciato. Inoltre nelle code delle curve è evidente come il rumore di fondo diminuisca notevolmente, in particolar modo nel set di dati con il sensore a 1.0 mm. Questo potrebbe essere dovuto alla riduzione della luce che entra nel sensore o al cambio di fondo-scala, che porta ad una corrente di buio notevolmente inferiore. Come sarà possibile vedere in seguito la seconda ipotesi è quella che più si adatta ai dati raccolti.

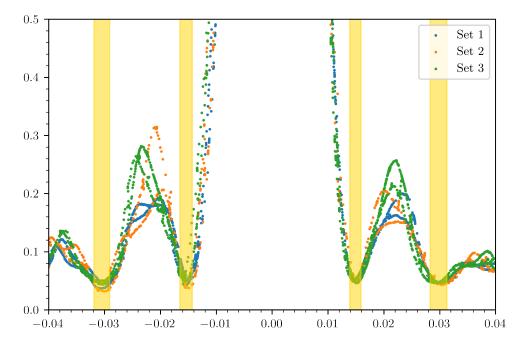


Figura 5: Intensità luminosa I in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a $0.04\,\mathrm{mm}$. In figura sono segnati i minimi ricavati graficamente con i relativi errori.

4.3 Fenditura $a = 0.08 \,\mathrm{mm}$

Tabella 3

\overline{m}	y (m)	$\frac{\lambda L}{a}$ (m)	a (mm)
-2	0.0155 ± 0.0006	0.0073 ± 0.0003	0.088 ± 0.004
-1	0.0076 ± 0.0005	0.0076 ± 0.0005	0.084 ± 0.006
1	0.0077 ± 0.0003	0.0077 ± 0.0003	0.083 ± 0.003
2	0.0152 ± 0.0004	0.0076 ± 0.0002	0.084 ± 0.002

5 Conclusioni