

Esperienza di ottica

Diffrazione

Arianna Genuardi, Matteo Romano, Vittorio Strano, Florinda Tesi

Indice

1	Introduzione	1
2	Strumentazione	2
2.1	Software	2
3	Procedimento	2
4	Risultati	2
4.1	Fenditura da 0.02 mm	3
4.2	Fenditura $a = 0.04$ mm	8
4.3	Fenditura $a = 0.08$ mm	11
5	Conclusioni	14
A	Approssimazione angolo θ	14

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).

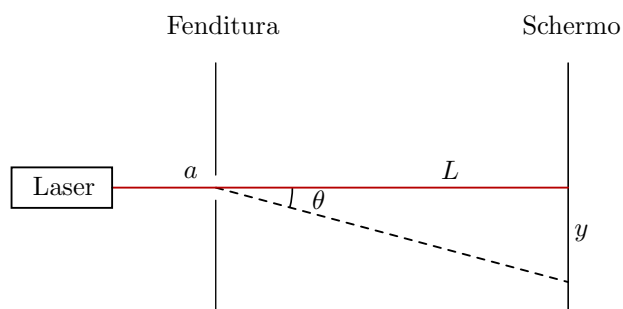


Figura 1: Illustrazione dell'apparato strumentale

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 Appendice A.

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

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

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

2 Strumentazione

- **Laser** con lunghezza d'onda $\lambda = 650 \text{ nm}$
- **Fenditura** di larghezza variabile da 0.02, 0.04 e 0.08 mm con errore di $\pm 0.005 \text{ mm}$
- **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 $(102.50 \pm 0.05) \text{ cm}$, 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 mm, in posizione $(4.00 \pm 0.05) \text{ cm}$ ottenendo così una distanza fenditura-detector pari a $L = (98.5 \pm 0.1) \text{ cm}$

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.

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.

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

4.1 Fenditura da 0.02 mm

Per la fenditura da 0.02 mm ed apertura del sensore pari a 1.5 mm sono stati raccolti 4 set di dati che sono riportati in

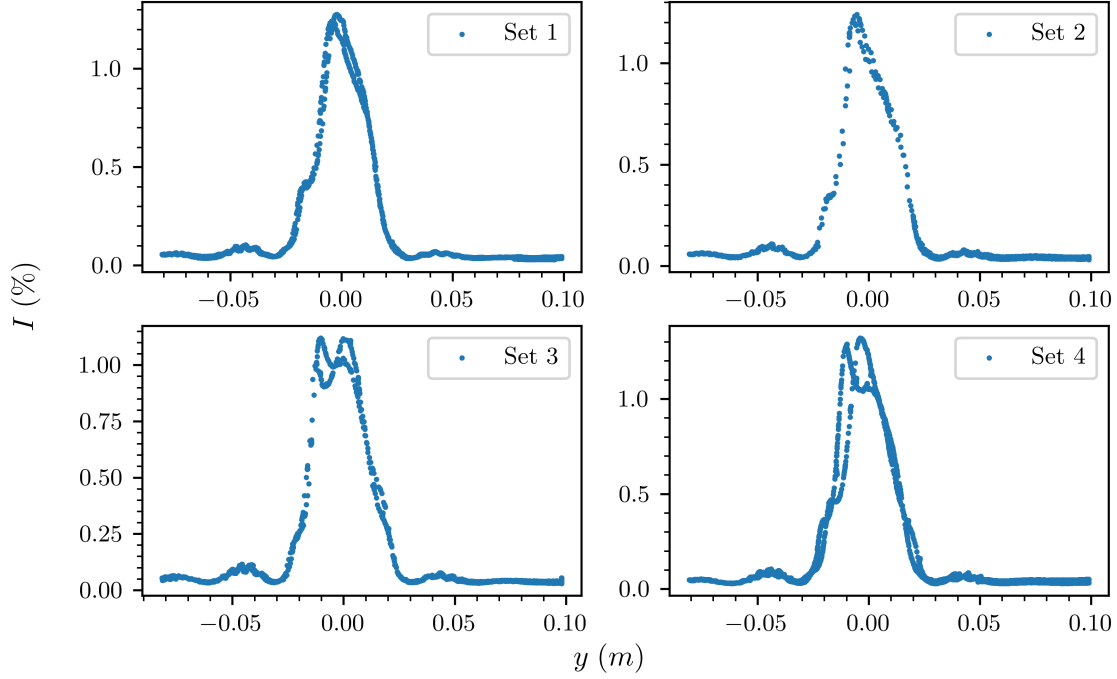


Figura 2: Misure dell'intensità luminosa I in funzione della posizione y (in metri) del sensore. In tutti i set è possibile notare una deformazione del picco centrale che tende verso sinistra, a partire dal Set 3 è possibile ipotizzare la presenza di un segnale a frequenza costante che si sovrappone alla figura di diffrazione causando una biforcazione del picco centrale. La presenza di un segnale "parassita" è visibile anche nelle code della curva, il fenomeno è maggiormente visibile in Figura 3. Infine è presente una asimmetria nelle code per cui l'intensità luminosa risulta essere maggiore a sinistra.

Le posizioni dei minimi ottenute dalla Figura 3 sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1: Posizione dei minimi, ottenuta graficamente dalla Figura 3, 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 $\lambda = 650$ nm ed $L = (98.5 \pm 0.1)$ cm sommando in quadratura i contributi all'errore di δy e δL .

m	y (m)	a (mm)
-2	-0.061 ± 0.007	0.021 ± 0.002
-1	-0.032 ± 0.004	0.020 ± 0.003
1	0.031 ± 0.005	0.021 ± 0.003
2	0.061 ± 0.006	0.0210 ± 0.0020

Intersecando i valori di a così ricavati si ottiene $a = (0.021 \pm 0.002)$ 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.

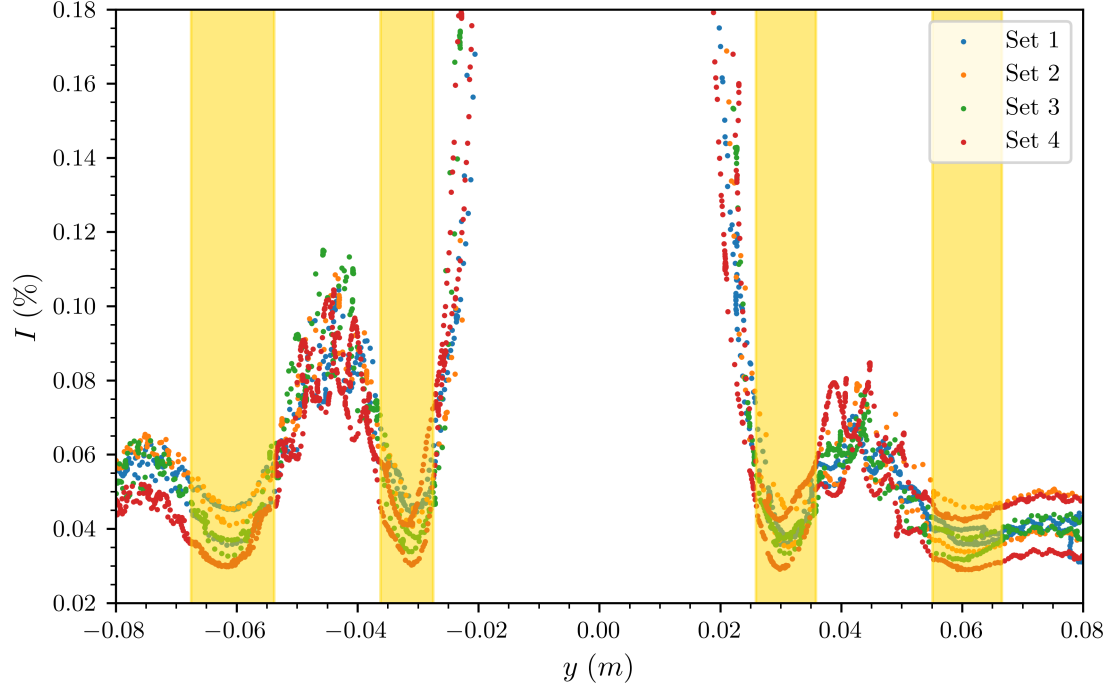


Figura 3: Intensità luminosa I in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a 0.02 mm. Si può notare un'asimmetria dei picchi rispetto al centro. In figura sono segnati i minimi ricavati graficamente con i relativi errori. Su ciascun minimo si considera un errore di posizione di 1.0 mm, che contribuisce all'ampiezza di ciascuno degli intervalli evidenziati. È possibile notare un segnale a frequenza costante che si sovrappone alla figura di diffrazione.

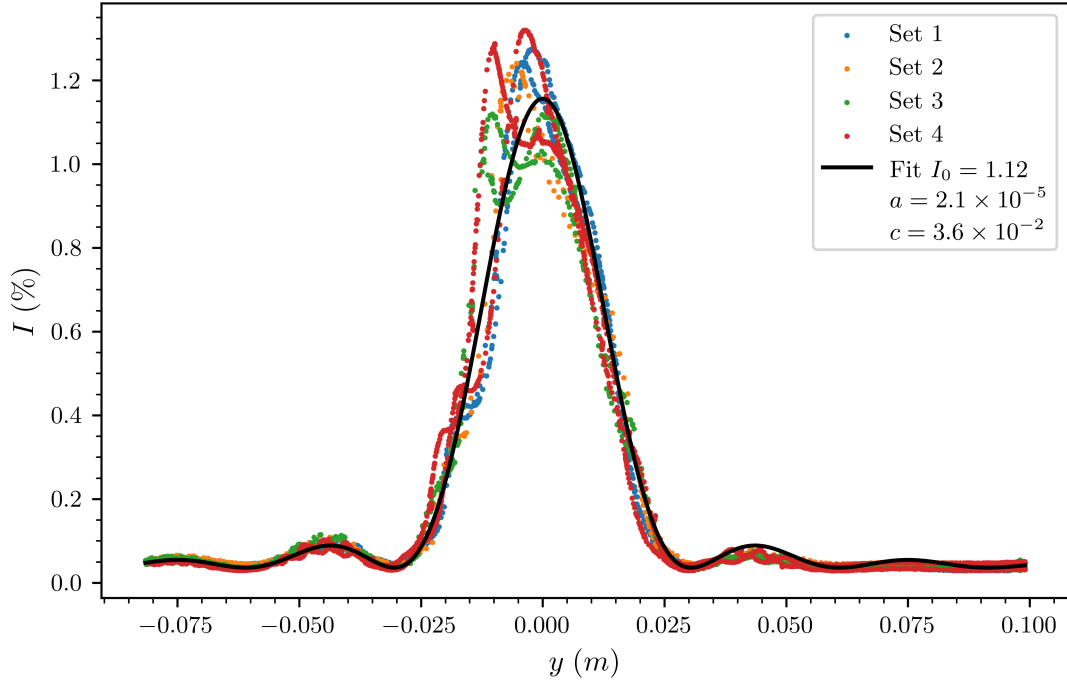


Figura 4: Intensità luminosa I_0 in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a 0.02 mm. In figura è riportato il fit fatto utilizzando l'Equazione 3. I valori dei parametri ottenuti sono $I_0 = 1.12 \pm 0.15$, $a = (0.021 \pm 0.002)$ mm e $c = (3.6 \pm 0.8) \times 10^{-2}$.

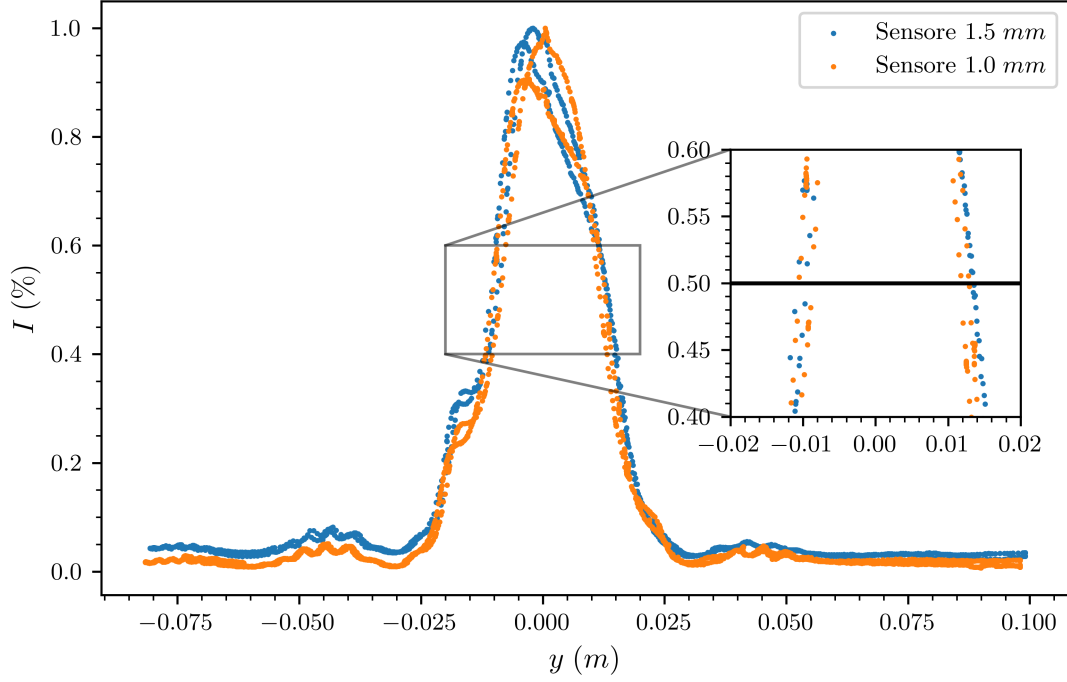


Figura 5: Grafico dell'intensità luminosa relativa I in funzione della posizione y (in metri) per ciascuna delle due aperture del sensore. Riducendo l'apertura del sensore l'intensità misurata diminuisce permettendo di passare al fondo-scala più piccolo (*candela*) per l'apertura da 1.0 mm. I valori 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.

Si può notare che anche nei grafici 3 e 5 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.

4.2 Fenditura $a = 0.04$ mm

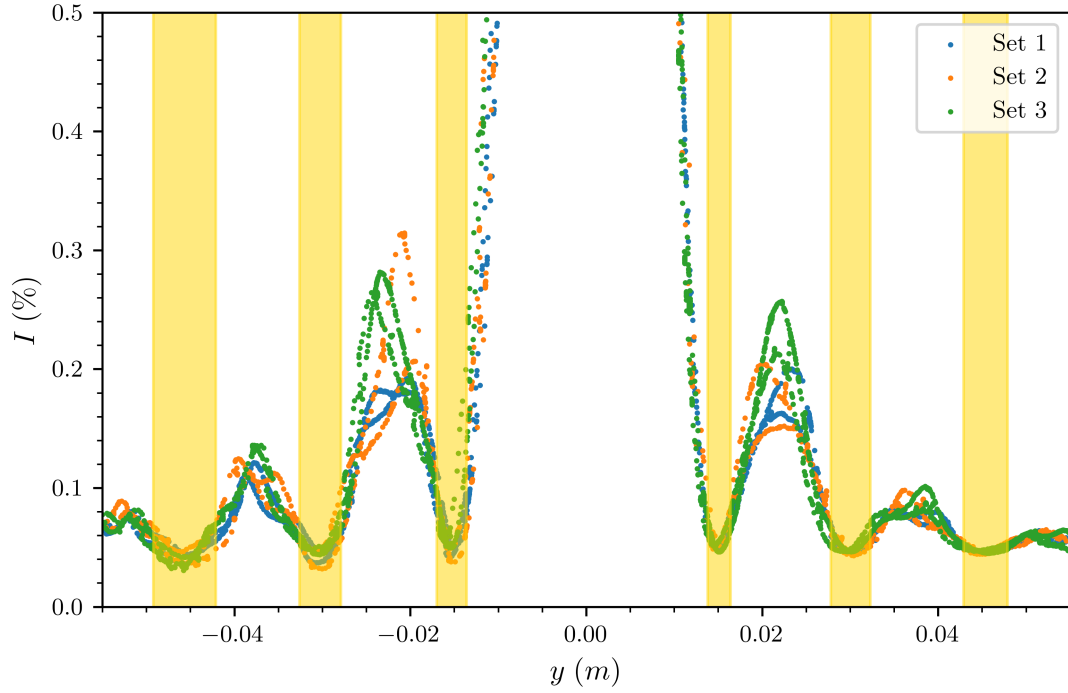


Figura 6: Intensità luminosa I in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a 0.04 mm. I dati dei set 1 e 3 risultano quasi simmetrici, mentre il set 2 è visibilmente asimmetrico. In figura sono segnati i minimi ricavati graficamente con i relativi errori. Qui si considera un errore di posizione di 0.5 mm.

Le posizioni dei minimi ottenute sono le seguenti:

Tabella 2

m	y (m)	a (mm)
-3	-0.046 ± 0.004	0.042 ± 0.003
-2	-0.030 ± 0.002	0.042 ± 0.003
-1	-0.0153 ± 0.0017	0.042 ± 0.005
1	0.0151 ± 0.0013	0.042 ± 0.004
2	0.030 ± 0.002	0.043 ± 0.003
3	0.045 ± 0.002	0.042 ± 0.002

Intersecando le barre d'errore dei valori ottenuti si ha $a = (0.043 \pm 0.003)$ mm.

I valori di a ottenuti dal grafico e dal fit risultano compatibili con il valore teorico.

Nel grafico seguente si confrontano i set ottenuti con le diverse aperture del sensore:

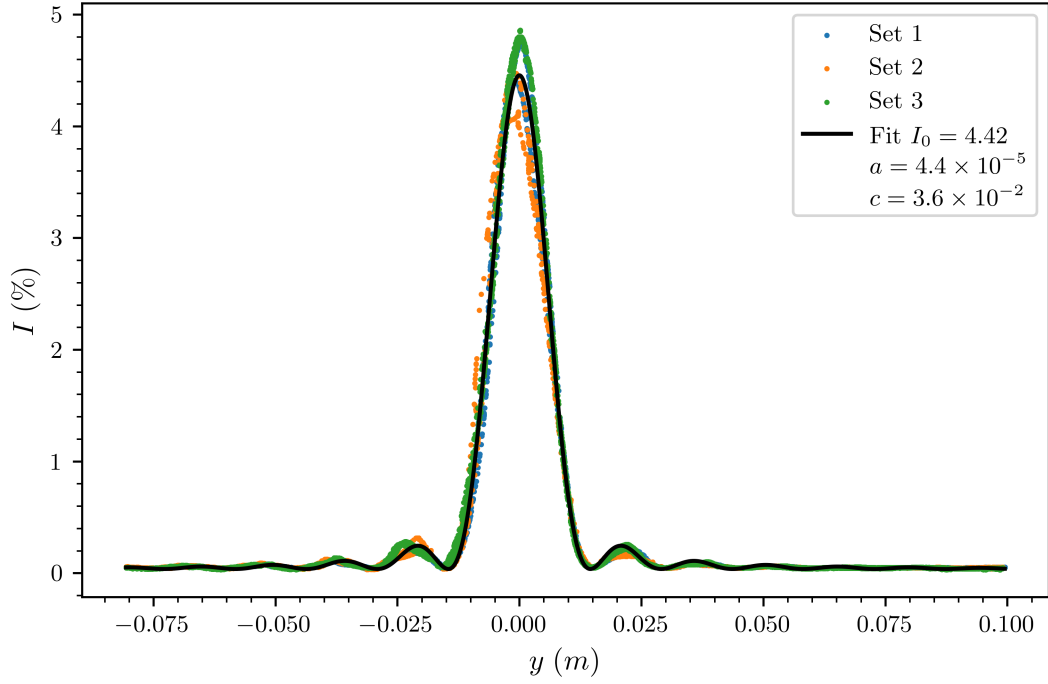


Figura 7: Intensità luminosa I_0 in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a 0.04 mm. In figura è riportato il fit fatto utilizzando l'Equazione 3. I valori dei parametri ottenuti sono $I_0 = 4.42 \pm 0.40$, $a = (4.4 \pm 0.5) \times 10^{-5}$ mm e $c = 3.60 \pm 0.01$.

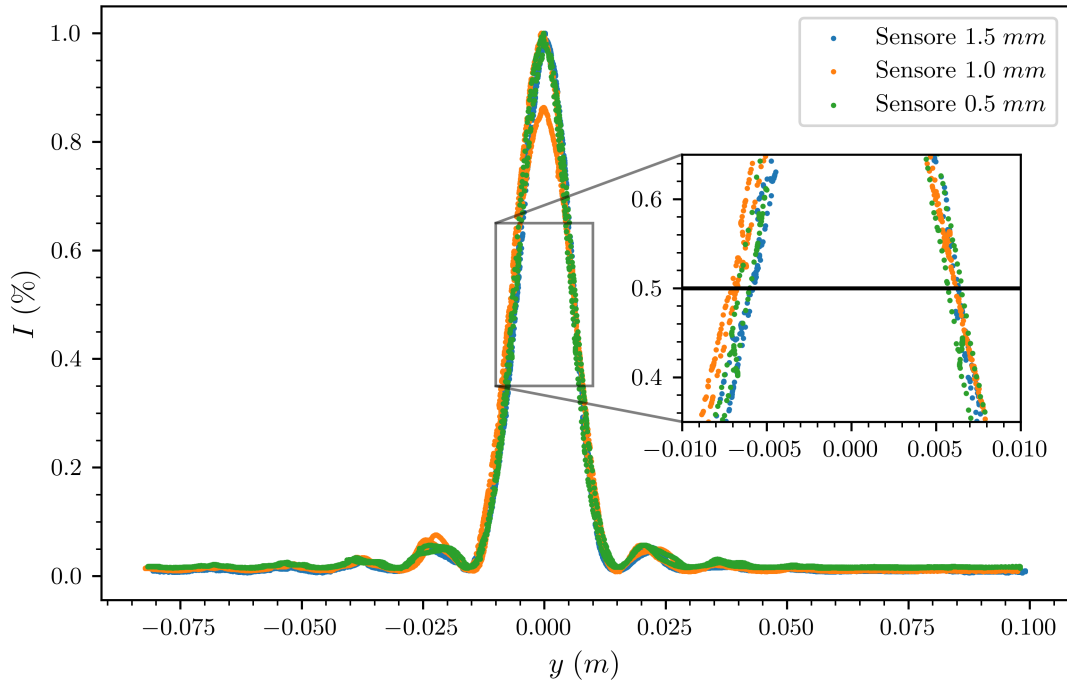


Figura 8

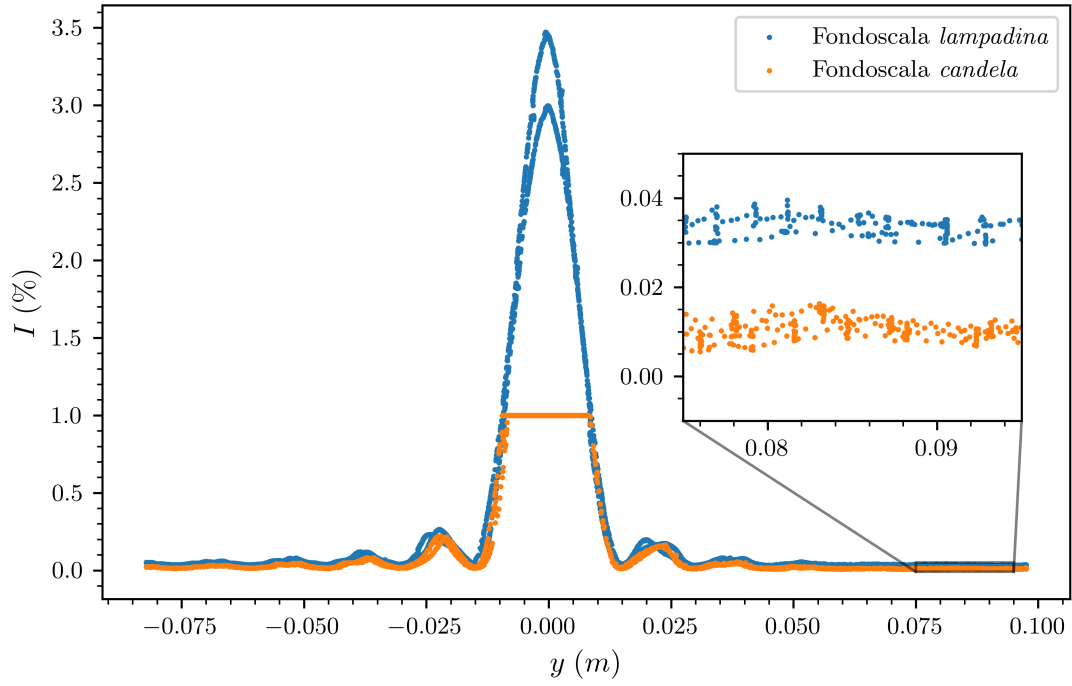


Figura 9: Grafico dell'intensità in funzione della posizione dove si confrontano i due fondoscala, con uno zoom sulla coda del grafico per evidenziare la diminuzione di rumore data dal fondoscala più piccolo.

4.3 Fenditura $a = 0.08$ mm

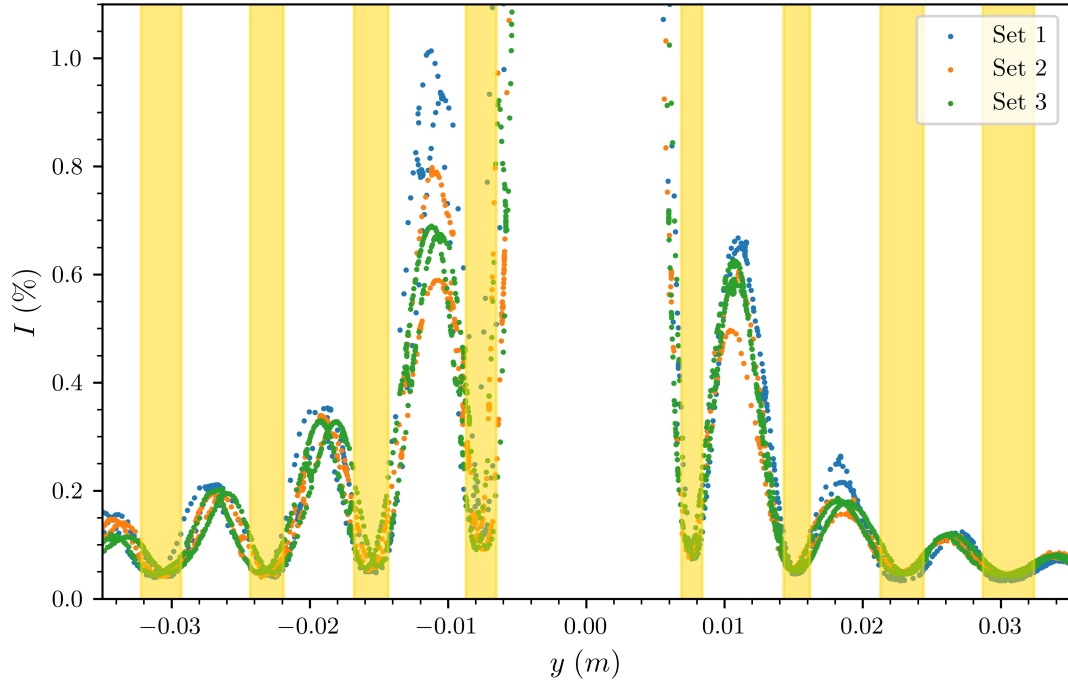


Figura 10: Intensità luminosa I in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a 0.08 mm. I dati sono notevolmente asimmetrici, eccetto il set 3. In figura sono segnati i minimi ricavati graficamente con i relativi errori. Qui si considera un errore di posizione di 0.25 mm.

Tabella 3

m	y (m)	a (mm)
-4	-0.0307 ± 0.0014	0.083 ± 0.004
-3	-0.0231 ± 0.0012	0.083 ± 0.004
-2	-0.0155 ± 0.0012	0.082 ± 0.007
-1	-0.0076 ± 0.0011	0.084 ± 0.012
1	0.0076 ± 0.0007	0.084 ± 0.008
2	0.0152 ± 0.0009	0.084 ± 0.005
3	0.0229 ± 0.0016	0.084 ± 0.006
4	0.0306 ± 0.0018	0.084 ± 0.005

Intersecando i valori, si ottiene $a = 0.084 \pm 0.005$.

I valori di a ottenuti dal grafico e dal fit risultano compatibili con il valore teorico.

Anche qui si confrontano i dati ottenuti con ciascuna delle due aperture:

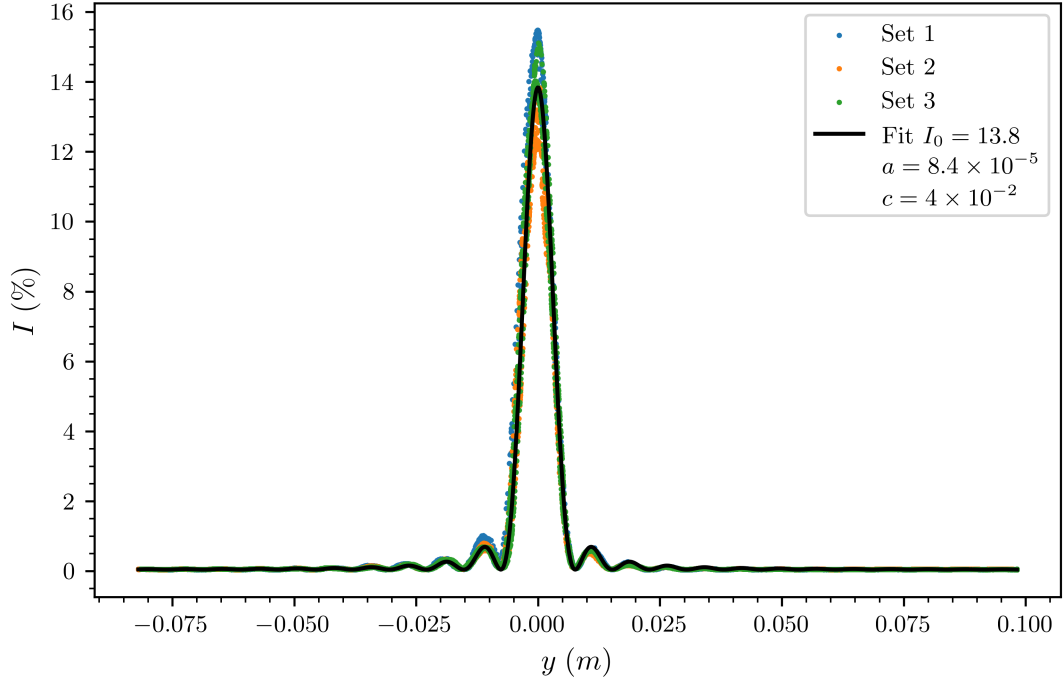


Figura 11: Intensità luminosa I_0 in funzione della posizione y del sensore (in metri) per la fenditura a 0.08 mm. In figura è riportato il fit fatto utilizzando l'Equazione 3. I valori dei parametri ottenuti sono $I_0 = 13.8 \pm 1.6$, $a = (8.4 \pm 0.4) \times 10^{-5}$ mm e $c = (4.0 \pm 1.2) \times 10^{-2}$.

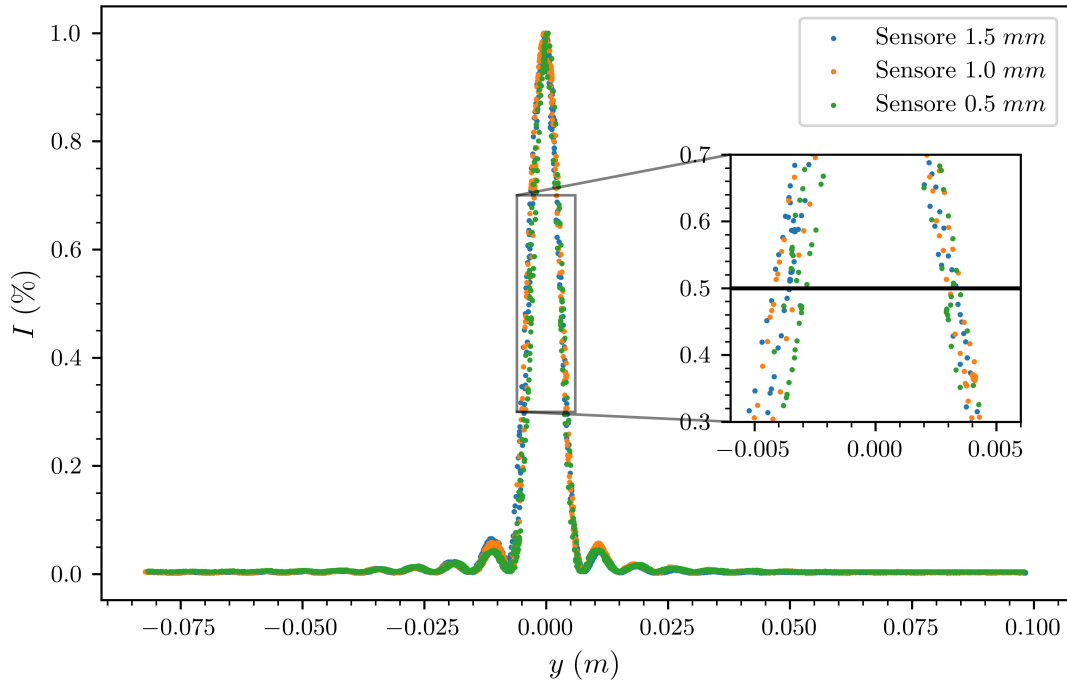


Figura 12

5 Conclusioni

A Approssimazione angolo θ

La legge che descrive l'intensità della luce su un punto dello schermo a distanza y dal centro è l'Equazione 4.

$$I(\theta) = I_0 \operatorname{sinc}^2 \left(\frac{\pi a}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \right) \quad (4)$$

in cui θ è l'angolo formato in corrispondenza della fenditura tra la retta perpendicolare allo schermo, passante per il suo centro, e quella passante per il punto dello schermo preso in analisi.

Dato che la distanza tra la fenditura e lo schermo $L \gg y$ è possibile applicare l'approssimazione in Equazione 5.

$$\sin(\theta) \approx \theta = \arctan \left(\frac{y}{L} \right) \approx \frac{y}{L} \quad (5)$$

Si giunge quindi all'Equazione 1 utilizzata per il fit.