Esercitazioni di Laboratorio II
Il LASER

Salvatore di Maggio
Chiara Santoro
Aprile 2005

23 aprile 2005

Indice

1 Considerazioni preliminari

Dovendo utilizzare il banco ottico per le nostre prove, si è proceduto con un preliminare allineamento della strumentazione. Facendo riferimento alla figura 1, si pone nell'apposito supporto la fenditura in dotazione e si posiziona la strumentazione in modo che il fascio di luce passi attraverso la fenditura per giungere all'estremo del banco in cui è presente della carta millimetrata.

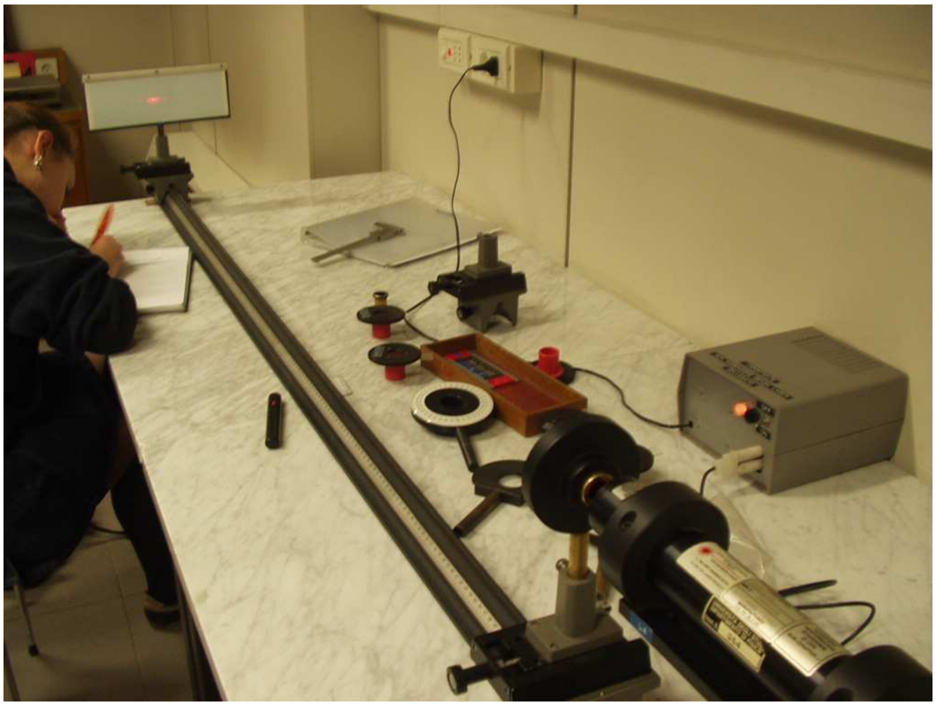

Figura 1: Posizionamento iniziale della slitta, a ridosso del cannone LASER per l'allineamento del banco ottico.

Si trasla poi la slitta lungo il binario per posizionarla all'estremo opposto rispetto al LASER (vd. figura 2).

In questa posizione si sposta il supporto della fenditura o il cannone LASER in modo che, traslando lungo il binario il supporto con la fenditura, non sia necessario spostare o ruotare più nulla per ottenere la figura di diffrazione.

Si passa ora allo svolgimento delle prove come sotto descritto.

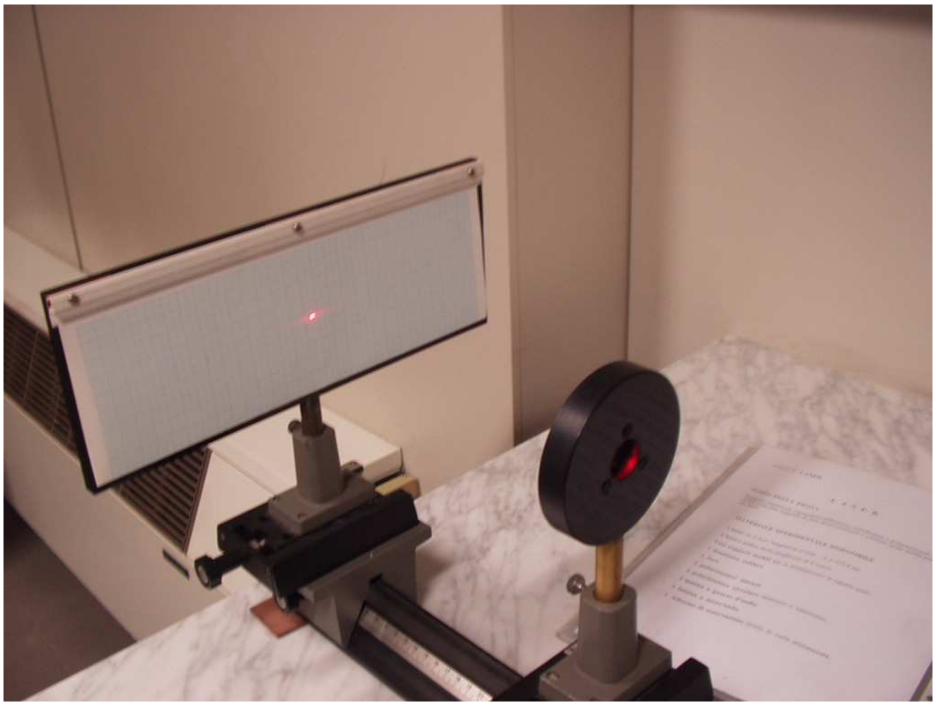

Figura 2: Posizionamento della slitta a ridosso dello schermo per completare l'allineamento del banco ottico.

2 Svolgimento delle prove

2.1 Diffrazione di Fraunhofer per una fenditura rettilinea

La prova consiste nel valutare la larghezza di una data fenditura attraverso la figura di diffrazione che essa genera. La formula da applicare nei calcoli è:

$$a \sin\theta = n\,\lambda \;;\; n \in \mathbb{N}\;, \tag{1}$$

dove a è l'ampiezza della fenditura, n l'ordine dei minimi, e $\lambda = 632.8 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{m}$ è la lunghezza d'onda della luce LASER. Della figura che si viene a formare sullo schermo, vengono valutate le distanze dei minimi dal massimo centrale. Facendo riferimento alla figura 3 le varie grandezze misurate sono riportate nella tabella 1, tenendo conto che d_i è la distanza dell'i-esimo minimo dal massimo centrale della figura di diffrazione e a_i è l'ampiezza della fenditura calcolata per l'i-esimo minimo.

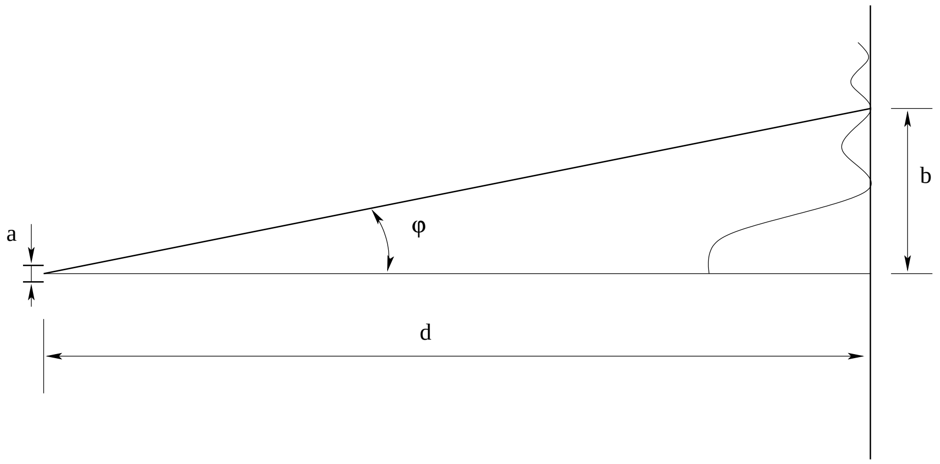

Figura 3: Principali grandezze nelle misure della diffrazione di Fraunhofer.

Il calcolo dell'errore su a viene effettuato mediante la formula

$$\delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial \lambda}\,\delta\lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial b}\,\delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial d}\,\delta d\right)^2}$$

che esplicitata fornisce

$$\begin{aligned}
\delta a^2 &= \left(\frac{n}{\sin\left(\arctan\left(\frac{b}{d}\right)\right)}\,\delta\lambda\right)^2 \\
&+ \left(\frac{n\,\lambda\,\cos\left(\arctan\left(\frac{b}{d}\right)\right)}{\sin^2\left(\arctan\left(\frac{b}{d}\right)\right)\,d\left(1+\left(\frac{b}{d}\right)^2\right)}\,\delta b\right)^2 \\
&+ \left(\frac{n\,\lambda\,\cos\left(\arctan\left(\frac{b}{d}\right)\right)\,b}{\sin^2\left(\arctan\left(\frac{b}{d}\right)\right)\,d^2\left(1+\left(\frac{b}{d}\right)^2\right)}\,\delta d\right)^2 .
\end{aligned}$$

Gli errori che si commettono nelle misure di λ e d sono infinitesimi di ordine superiore rispetto agli errori sulla misura di b (dalla tabella 1 si nota che l'errore su d è dell'ordine di 1 su 10^3), per cui nel calcolo dell'errore su a vengono considerati solo quelli commessi nella misura di b.

Limitando i calcoli solo al primo minimo per cui $n = 1$ (per gli altri minimi il procedimento è analogo, cambiano solo i numeri), i risultati sono:

d $[10^{-3}\text{m}]$	1756 ± 1	1256 ± 1	1000 ± 1	690 ± 1
b $[10^{-3}\text{m}]$	17.5 ± 1	12.5 ± 1	10 ± 1	7 ± 1
a $[10^{-6}\text{m}]$	63 ± 3	64 ± 5	63 ± 6	62 ± 8
ε	4.7	7.8	9.5	12.9

Tabella 1: Fenditura rettilinea: misure delle varie grandezze in diverse sessioni di rilevazione e relativo calcolo di a in due diversi ordini di minimi.

2.2 Diffrazione di Fraunhofer per una fenditura circolare

Sempre facendo riferimento alla figura 3 per le convenzioni usate, ora la formula da applicare nei calcoli è:

$$a \sin\theta = 1.22\,\lambda\ , \tag{2}$$

dove a è il diametro della fenditura, 1.22 è il coefficiente relativo al primo minimo, e $\lambda = 632.8 \cdot 10^{-9}$ m è sempre la lunghezza d'onda della luce LASER. Questa volta, a differenza del caso di fenditura rettilinea, vengono valutati i raggi della circonferenza del primo minimo. Sempre con riferimento alla figura 3, le varie grandezze misurate sono riportate nella tabella 2, tenendo conto che d_1 è il raggio del primo minimo della figura di diffrazione.

d $[10^{-3}\text{m}]$	946 ± 1	1280 ± 1	1515 ± 1	1731 ± 1
b $[10^{-3}\text{m}]$	3.5 ± 1	4.5 ± 1	6 ± 1	7 ± 1
a $[10^{-3}\text{m}]$	0.21 ± 0.06	0.21 ± 0.05	0.19 ± 0.03	0.19 ± 0.03
ε	28.6	23.8	15.8	15.8

Tabella 2: Fenditura circolare: misure delle varie grandezze in diverse sessioni di rilevazione e relativo calcolo di a.

2.3 Identificazione degli elementi ottici

2.3.1 Il polarizzatore circolare

Il primo elemento da individuare è il polarizzatore circolare. Per effettuare questa prova si sono posti i vari elementi ottici su uno specchio. Osservando le immagini riflesse si risale al polarizzatore cercato. In particolare esso è l'unico a non trasmettere l'immagine riflessa se la sua lamina quarto d'onda è posta fra il suo polarizzatore lineare e lo specchio. Questo perché, ponendo la lamina quarto d'onda fra lo specchio e il polarizzatore lineare, il fascio che ne fuoriesce, nel suo cammino *verso* lo specchio, è polarizzato circolarmente. Ora, dopo la riflessione sullo specchio, il fascio è ancora polarizzato circolarmente, ma in senso opposto al raggio incidente, e la lamina quarto d'onda non lo trasmette (figura 4).

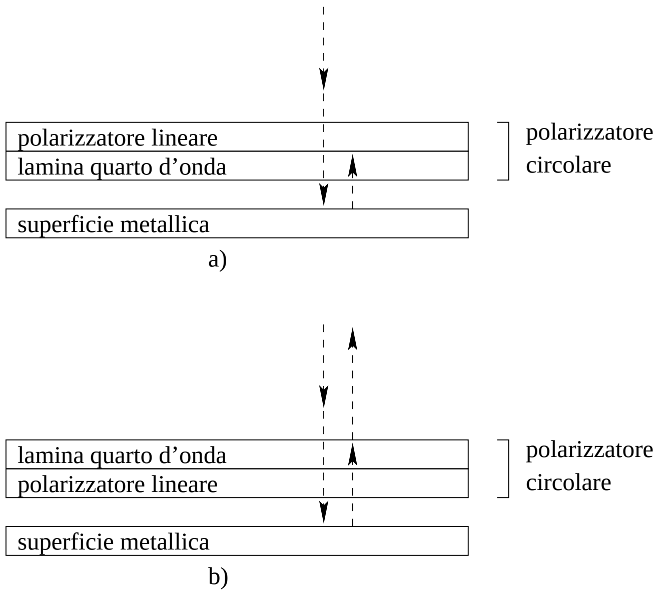

Figura 4: Differenza di comportamento ponendo il polarizzatore circolare in un verso o nell'altro rispetto alla superficie metallica.

Figura 5: **In alto:** la luce riflessa dallo specchio dietro al polarizzatore circolare passa indisturbata se viene messo il polarizzatore lineare verso lo specchio. **In basso:** la luce riflessa dallo specchio dietro al polarizzatore circolare non passa se viene messa la lamina quarto d'onda del polarizzatore dalla parte dello specchio.

Le prove di individuazione vanno effettuate ponendo affacciato allo specchio ora un lato ora l'altro di ogni elemento ottico, perché qualora avessimo il polarizzatore circolare utilizzato al contrario, non ci sarebbe nessun effetto di distinzione: ponendo il suo polarizzatore lineare fra lo specchio e la lamina quarto d'onda non si distinguerebbe dagli altri elementi. Quanto detto si vede bene nella figura 5 dove in alto viene mostrato cosa succede se si pone il polarizzatore circolare in modo che il suo polarizzatore lineare sia fra lo specchio e la lamina quarto d'onda. Al contrario, quando viene messa la lamina quarto d'onda fra lo specchio e il polarizzatore lineare, la luce subisce una notevole attenuazione. Nel nostro caso l'elemento 1C è risultato essere il polarizzatore circolare.

2.3.2 I polarizzatori lineari

Per individuare i polarizzatori lineari si pongono i rimanenti elementi ottici a coppie in asse fra loro e si osserva la luce naturale attraverso essi. L'unico caso in cui, ruotando attorno al proprio asse uno dei due elementi ottici, si nota una evidente attenuazione di luce (vd. figura 6) è quello per il quale si hanno due polarizzatori lineari.

Gli elementi 1A e 1B sono risultati polarizzatori lineari.

Resta ora da individuare quale dei due elementi ottici rimanenti 1D e 1E è la lamina quarto d'onda e quale la lamina mezz'onda.

2.3.3 La lamina quarto d'onda e la lamina mezz'onda

Prendiamo una fonte di luce polarizzata linearmente. Se facciamo passare questa luce attraverso una lamina quarto d'onda otteniamo un fascio polarizzato circolarmente; se la facciamo passare attraverso un ulteriore polarizzatore lineare, ruotando quest'ultimo attorno all'asse ottico non si notano delle attenuazioni rilevanti dell'intensità luminosa. Se mettiamo ora una lamina a mezz'onda al posto della lamina quarto d'onda, il fascio emergente è polarizzato linearmente, e ponendo un polarizzatore lineare a valle della lamina, a seconda del suo orientamento si può notare un'attenuazione dell'intensità luminosa.

Con questo metodo l'elemento 1E è risultato una lamina quarto d'onda, e l'elemento 1D è risultato di conseguenza una lamina mezz'onda.

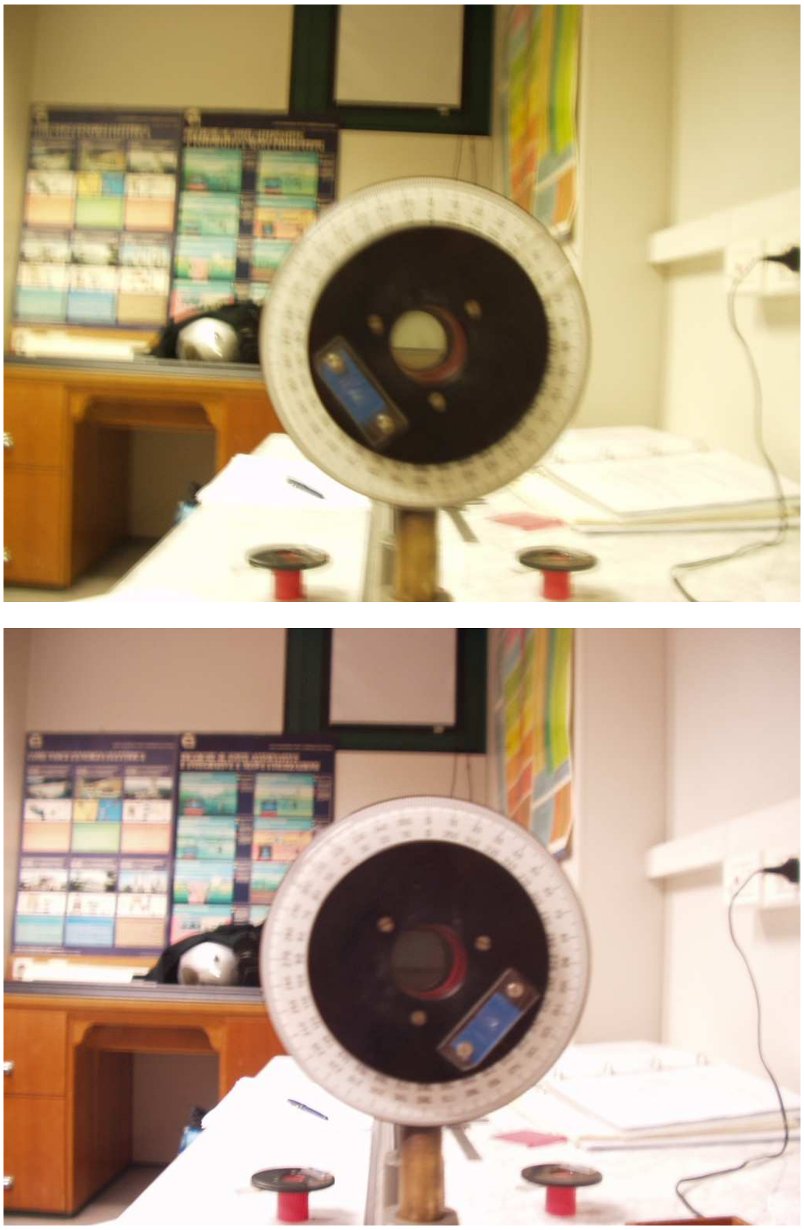

Figura 6: **In alto:** due polarizzatori lineari con gli assi di polarizzazione paralleli. Si vede che la luce passa praticamente senza attenuazione attraverso i fori. **In basso:** due polarizzatori lineari con gli assi di polarizzazione ortogonali fra loro: rispetto al caso di assi paralleli, qui la luce quasi non passa attraverso i fori.

2.4 Polarizzazione del fascio LASER

Il fascio che fuoriesce dal cannone LASER è polarizzato linearmente. Lo si è visto perché abbiamo inserito il polarizzatore lineare 1B sul cammino ottico del fascio di luce e sullo schermo si sono rilevati due minimi di intensità quando il polarizzatore veniva posto a 168° e a 348° rispetto allo 0 del goniometro.

3 Risultati e conclusioni

Dalle tabelle sopra esposte si evince che nel caso di fenditura rettilinea i fenomeni di diffrazione permettono di stimare la larghezza della fenditura intorno ai 63 μm con un errore compreso fra il 5% e il 13%.

Nel caso di fenditura circolare il diametro stimato è intorno ai 0.20mm con un errore compreso fra il 16% e il 28%. Quindi, benché siano stati utilizzati metodi analoghi e la stessa strumentazione, il caso di fenditura circolare risulta affetto da incertezze maggiori.

Rispetto al caso della fenditura rettilinea, questo è dovuto al fatto che, avendo una fenditura di dimensioni maggiori, la luce viene deviata secondo angoli minori e quindi si effettuano misure su figure di diffrazione già piccole in partenza.

Avendo la possibilità di aumentare la distanza della fenditura dallo schermo sul banco ottico si dovrebbe poter diminuire l'errore sulla stima delle dimensioni del foro.