



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Corso di laurea in Fisica

Laboratorio di elettromagnetismo e ottica

## **OTTICA – Interferenza e diffrazione**

Scheda di laboratorio – ultima revisione: 12/3/2024

Prof. C. Massimi, Prof. N. Mauri

Gruppo di lavoro: dott. A. Piccioni, dott.ssa Marta Tassarolo

## Obiettivo

Lo scopo della prova è l'osservazione del comportamento ondulatorio della luce, avendo a disposizione una sorgente di luce monocromatica e coerente. Il fascio di luce, incidendo su particolari fenditure, dà origine ai fenomeni di diffrazione e interferenza.

La prova è strutturata in due parti. L'obiettivo comune è la misura delle figure di diffrazione e interferenza, che deve essere effettuata scegliendo i parametri sperimentali di ogni acquisizione in modo opportuno, e il confronto qualitativo della forma di riga con quella attesa. Va posta attenzione alla scelta della posizione iniziale e finale del sensore, il passo della scansione, il guadagno dell'amplificatore del fotodiodo e l'apertura dei collimatori di ingresso del fotodiodo.

Si dovrà misurare il profilo di:

1. diffrazione da fenditura lineare;
2. interferenza da doppia fenditura (esperimento di Young).

Relativamente alla prima misura si chiede di determinare la lunghezza d'onda della sorgente luminosa e di confrontare con il valore nominale; nella seconda invece si hanno a disposizione varie coppie di fenditure, per le quali si chiede di ricavare i valori delle distanze tra le fenditure e confrontarli con quelli nominali. Nel caso della fenditura lineare si chiede di effettuare un fit non lineare del profilo.

## Materiale disponibile

- Banco ottico;
- diodo laser;
- fotodiodo al silicio con collimatore di ingresso variabile;
- fenditura lineare;
- Varie coppie di fenditure con larghezza e distanza variabile;
- metro lineare;
- micro-posizionatore lineare su cui è montato il fotodiodo; il micro-posizionatore ha le seguenti specifiche:
  - passo minimo  $0.124\text{ }\mu\text{m}$ ;
  - spostamento massimo (corsa)  $100\text{ mm}$ ;
  - ripetibilità  $< 4\text{ }\mu\text{m}$ ;
  - accuratezza sullo spostamento massimo  $125\text{ }\mu\text{m}$ ;
- PC e software dedicato LabView per il controllo del micro-posizionatore e la misura dell'intensità luminosa con il fotodiodo;
- Sistema di acquisizione del segnale del fotodiodo basato su un ADC con le seguenti specifiche:
  - 10 bit (1024 step)
  - Ingresso  $0 - 5\text{ Volt}$  (step  $\cong 5\text{ mV}$ )
  - Linearità  $\pm 2\text{ LSB}$  (Least Significant Bit)
  - Gain error =  $\pm 3\text{ LSB}$
  - Offset error =  $\pm 10\text{ mV}$
  - NB: L'incertezza della misura del segnale del fotodiodo è dovuta all'intero circuito e deve essere valutata mediante misure ripetute.

## Laser

Si prega di utilizzare la strumentazione disponibile con estrema cura e di **evitare accuratamente** di guardare direttamente la sorgente luminosa (cioè il fascio laser lungo il suo asse). Inoltre, è bene fare attenzione a non indirizzare direttamente o indirettamente (luce riflessa o rifratta) il raggio laser sugli occhi delle persone presenti.

Dopo l'accensione, verificare l'allineamento del fascio laser con l'asse ottico e la fenditura; se necessario è possibile aggiustare la sua posizione facendo in modo che la figura d'interferenza o diffrazione sia orizzontale e parallela all'asse di scorrimento del fotodiodo.

## 1. Diffrazione da fenditura lineare

Facendo incidere il raggio laser sulla fenditura lineare, si deve fare in modo di produrre una figura di diffrazione nitida e ben centrata sullo schermo del fotodiodo. Per prima cosa è necessario acquisire alcune immagini col fotodiodo, impostando opportunamente:

- Posizione iniziale e finale e passo della scansione (via software);
- collimatore del fotodiodo;
- guadagno del fotodiodo.

Una volta eseguita la scansione della figura di diffrazione, il file di dati corrispondente va salvato per un'analisi più approfondita. In particolare si chiede di eseguire un fit dei dati sperimentali per ricavare la lunghezza d'onda della luce incidente.

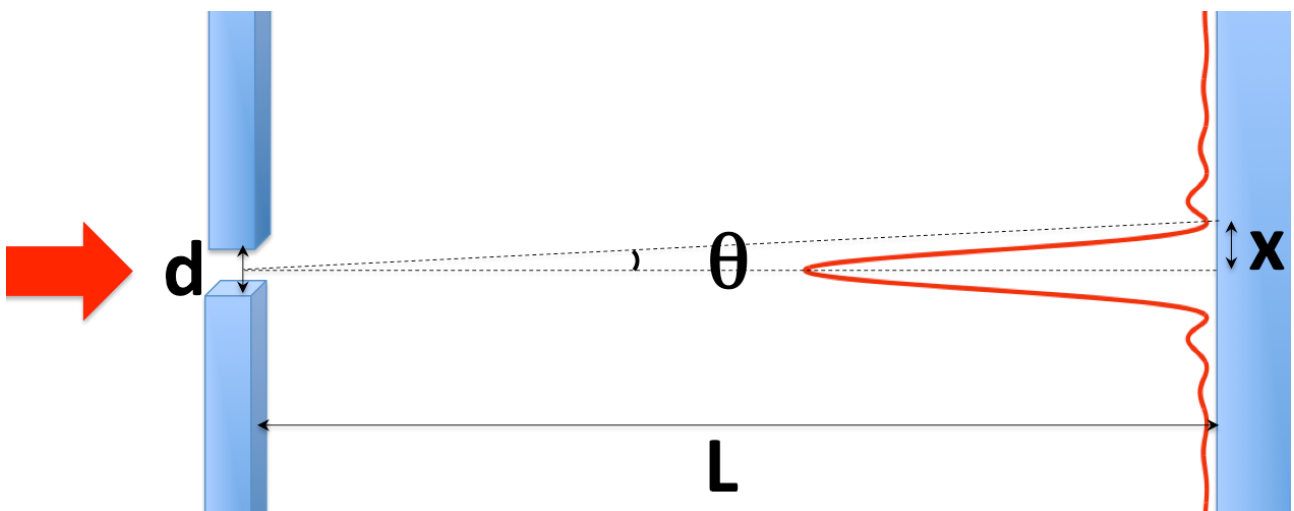
L'andamento dell'intensità luminosa sullo schermo è dato dalla relazione

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

in cui

$$\alpha = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$

$d$  è la larghezza della fenditura,  $I_0$  è l'intensità massima e l'angolo  $\theta$  è mostrato in figura.



La condizione di minimo d'intensità si ha per  $d \sin \theta = n\lambda$  dove  $n$  indica l'ordine del minimo. È molto importante stimare l'ampiezza della fenditura tramite questa

relazione e utilizzare il valore ottenuto per inizializzare la funzione che rappresenta l'intensità  $I(\alpha)$  prima di eseguire il fit. Si ricorda infatti che la convergenza dei fit non lineari dipende fortemente dalla bontà dei parametri iniziali.

## 2. Interferenza

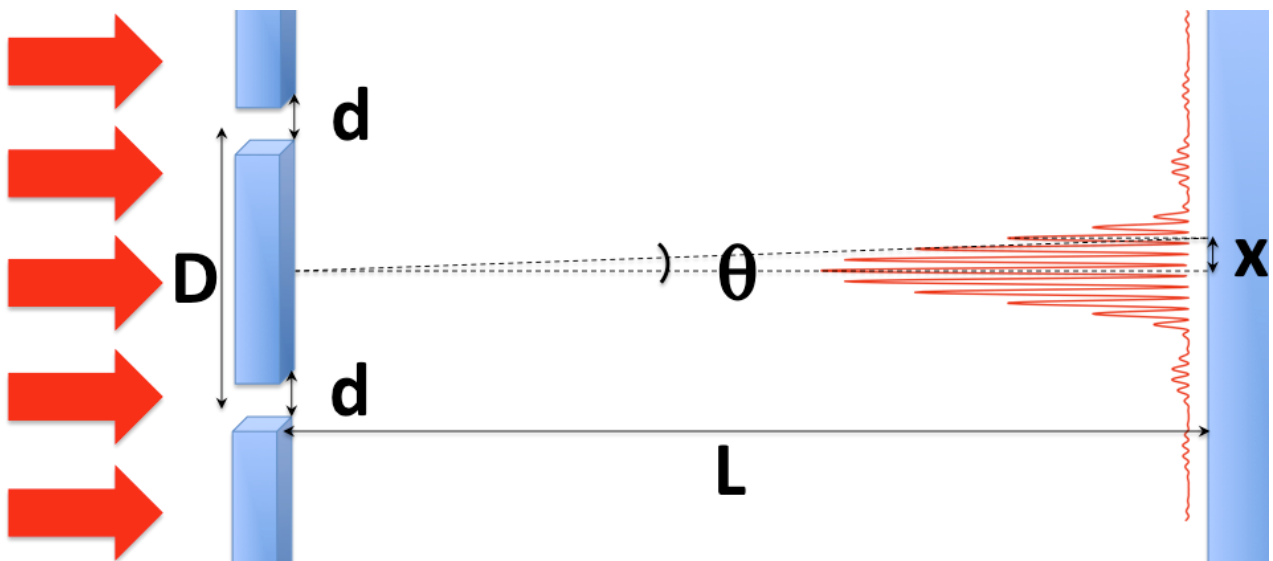
La seconda parte della prova è una ripetizione dell'esperimento di Young, in cui il fascio di luce laser viene inviato su due fenditure ravvicinate, così da dare luogo a due sorgenti coerenti di luce. Sono a disposizione varie lastre opache con diverse coppie di fenditure. Dopo aver allineato con cura il sistema e scelto il collimatore più appropriato, si procede alla scansione delle diverse immagini. Rispetto al caso della diffrazione è anche necessario fare attenzione a ridurre il passo della scansione, poiché le frange d'interferenza possono trovarsi in posizioni molto ravvicinate. L'andamento dell'intensità luminosa sullo schermo è dato dalla relazione:

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

in cui

$$\alpha = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta, \quad \beta = \frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta$$

$d$  è la larghezza delle singole fenditure,  $D$  è la distanza tra i centri delle fenditure, e l'angolo  $\theta$  è mostrato in figura.



La condizione di massimo d'intensità per le frange d'interferenza è  $D \sin \theta = n\lambda$ , in cui  $n$  è l'ordine del massimo secondario. Utilizzare quest'ultima relazione per ricavare la distanza  $D$  tra le fenditure e confrontare i valori così ottenuti con quelli nominali.

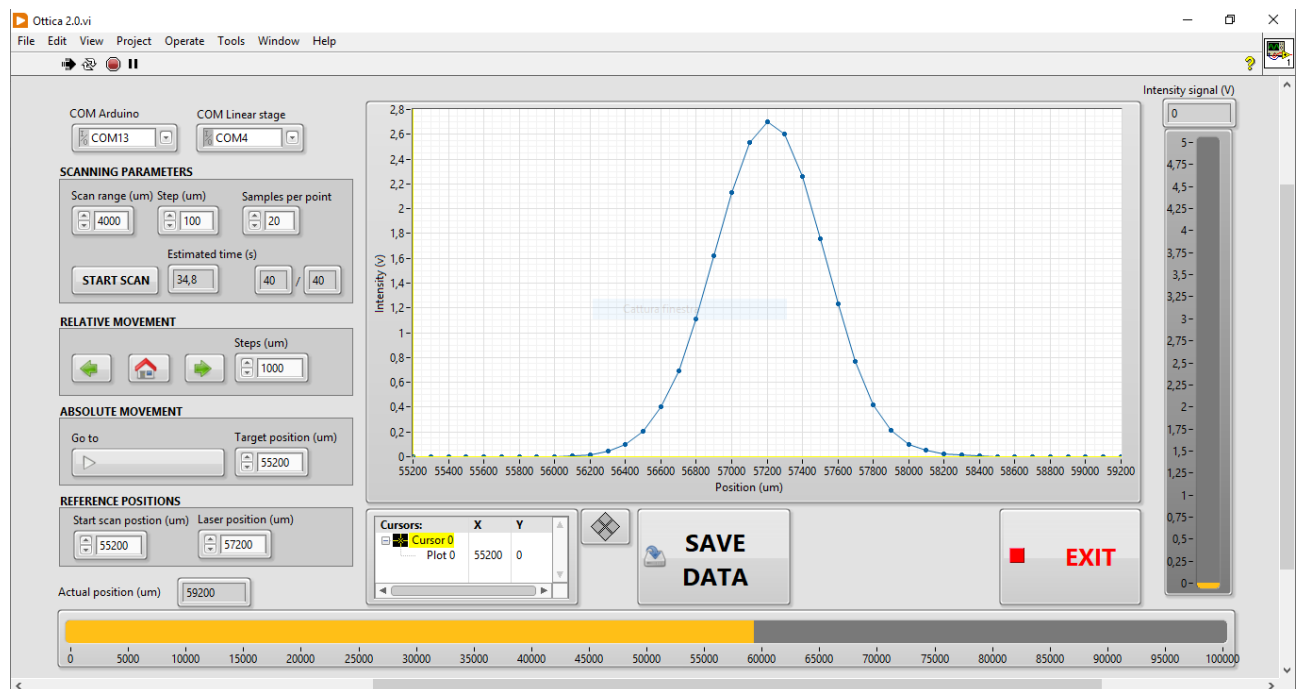
Oltre allo studio qualitativo di alcune figure d'interferenza che permettano di capire come varia il numero di frange d'interferenza all'interno del massimo di diffrazione, si chiede di determinare  $D$  e confrontare il valore ottenuto con quello nominale.

# Appendice

## Sistema di acquisizione dati

Il sistema di acquisizione dati, basato su software LabVIEW, è costituito da un micro-posizionatore, un sensore di luce (fotodiodo) e un PC. Il micro-posizionatore, cioè una guida lineare dotata di vite senza fine su cui scorre un carrello movimentato da un motore *stepper*, è controllato dal PC tramite una porta seriale. Sul carrello è montato il fotodiodo, il cui segnale di tensione in uscita (e proporzionale all'intensità di luce incidente sulla parte sensibile) viene acquisito da un Arduino. Sul fotodiodo è presente uno *switch* che consente di regolare il suo guadagno.

All'apertura del programma si deve svolgere la procedura di *homing*, che serve a impostare la posizione assoluta del carrello sulla guida lineare.



Interfaccia utente

L'interfaccia grafico del sistema di acquisizione (mostrato qui sopra) è diviso in riquadri, dai quali è possibile svolgere varie operazioni.

In alto a sinistra vengono impostate le porte di comunicazione della guida lineare e dell'Arduino (in ogni PC sono già impostate di default, non modificarle).

### SCANNING PARAMETERS

In questo riquadro vengono impostati i parametri della scansione:

- *Scan range* indica la lunghezza totale della scansione (in  $\mu\text{m}$ ).
- *Step* indica la distanza (in  $\mu\text{m}$ ) con cui si muove il carrello da un punto al successivo.
- *Samples per point* indica quanti campioni vengono acquisiti per ogni punto della scansione.

- Con *START SCAN* viene avviata la scansione che parte dal punto in cui si trova il carrello quando viene spinto il tasto. La scansione può essere interrotta prima della fine spingendo nuovamente il tasto.
- *Estimated time* da una stima del tempo di durata della scansione, mentre i due riquadri subito a destra indicano a quale punto della scansione si è arrivati.

## RELATIVE MOVEMENT

In questo pannello sono presenti i tasti necessari per muovere il carrello con movimenti relativi alla posizione corrente:

- Il tasto ← muove il carrello di una distanza indicata nel riquadro *Steps* verso l'home mentre il tasto → muove il carrello verso la fine della guida.
- Il tasto *HOME* effettua un *homing* del carrello

## ABSOLUTE MOVEMENT

In questo pannello è possibile posizionare il carrello nella posizione assoluta indicata in *Target position*.

## REFERENCE POSITION

In questo riquadro sono presenti due controlli in cui è possibile inserire manualmente la posizione assoluta dello spot del laser (*Laser position*) e la posizione assoluta dell'inizio della scansione (*Start scan position*). Tali indicatori possono essere usati come promemoria per facilitare la movimentazione del carrello.

La barra in basso indica la posizione attuale del carrello (*Actual position*) mentre la barra laterale a destra indica l'intensità luminosa (*Signal intensity*) misurata dal fotodiode.

Durante una scansione i dati di intensità luminosa vengono riportati in funzione della posizione nel grafico centrale. Tramite il tasto *SAVE DATA* è quindi possibile salvare i dati visualizzati sul grafico. Il file di output è costituito da tre colonne: posizione assoluta ( $\mu\text{m}$ ), intensità luminosa espressa come la media dei campioni acquisiti in ogni posizione (si veda *Samples per point*) e la deviazione standard.

Infine, con il tasto *EXIT* si esce dal programma.

## CONSIGLI SU COME EFFETTUARE UNA SCANSIONE

1. Ricercare la posizione di massima intensità sfruttando i movimenti relativi del carrello. L'intensità può essere letta anche



nella barra verticale a destra (*Signal intensity*).

2. Riportare la posizione assoluta del massimo dell'intensità in *Laser position*.
3. Muoversi verso sinistra con movimenti relativi fino a che il segnale dell'intensità luminosa va a zero.
4. Riportare questa posizione in *Start scan position*.
5. Impostare i parametri nel riquadro **SCANNING PARAMETERS**; in particolare si scelga uno *Scan range* tale da avere un profilo di intensità simmetrico rispetto a *Laser position*, uno *Step* di 50-100  $\mu\text{m}$  e un *Sample per point* di minimo 10.
6. Avviare la scansione tramite *START SCAN*.
7. Per iniziare u nuova scansione sempre dallo stesso punto conviene riportare in *Start scan position* la posizione assoluta da cui si intende iniziare sempre la scansione.