

Diffrazione generata da una struttura elicoidale

(Punteggio totale: 10)

Introduzione

La figura di diffrazione del DNA (Fig. 1), ottenuta con i raggi X nel laboratorio di Rosalind Franklin, comunemente nota come “Foto 51”, è stata alla base della scoperta della struttura a doppia elica del DNA da parte di Watson e Crick nel 1952. Questo esperimento ti consentirà di comprendere le figure di diffrazione prodotte da una struttura elicoidale, usando luce visibile.

Obiettivo

Determinare le caratteristiche geometriche di strutture elicoidali usando la diffrazione.

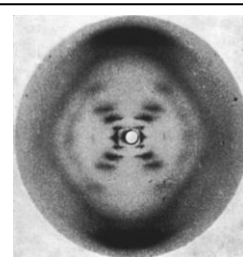


Figura 1: Foto 51

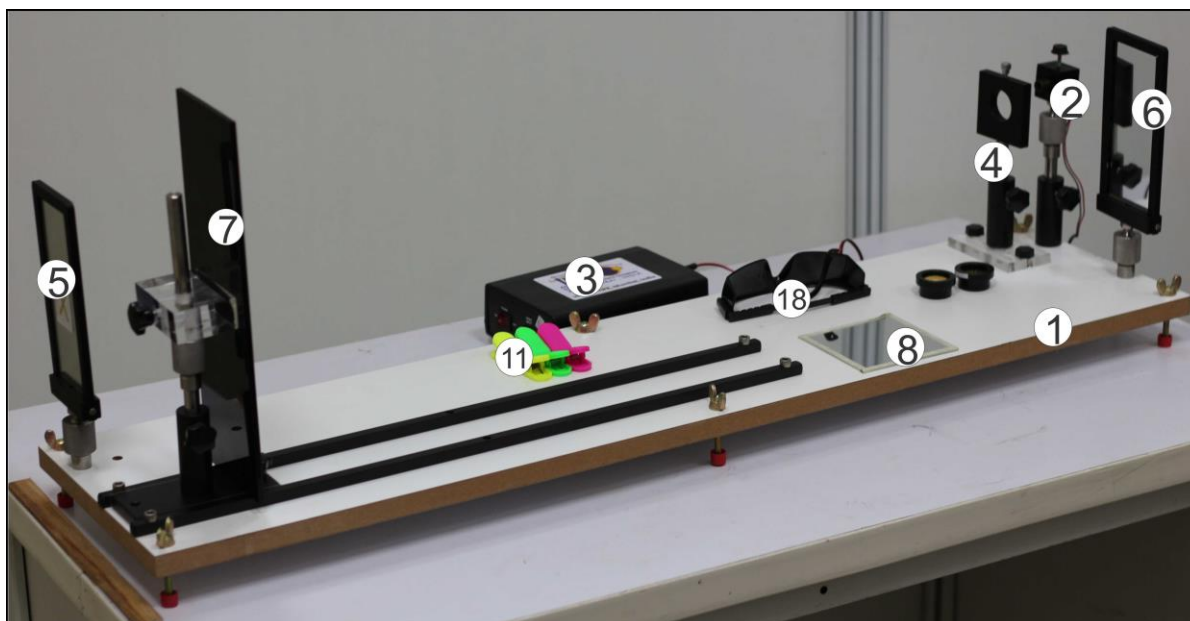


Figura 2: Apparato per E-I

Lista della strumentazione

[1]	Tavola di legno	[11]	Mollette di plastica
[2]	Sorgente laser con supporto e base	[12]	Adesivi circolari neri
[3]	Alimentatore in corrente continua per la sorgente laser	[13]	Matita a mina cadente
[4]	Portacampioni con base	[14]	Calibro digitale con supporto
[5]	Specchio di sinistra (con metallizzazione anteriore)	[15]	Righello metrico (30 cm)
[6]	Specchio di destra (con metallizzazione anteriore)	[16]	Metro a nastro(1.5 m)
[7]	Schermo (10 cm x 30 cm) con relativo supporto e base	[17]	Fogli di rilevamento delle figure di diffrazione
[8]	Specchio piano (10 cm x 10 cm)	[18]	Occhiali di sicurezza per il laser
[9]	Campione I (molla elicoidale)	[19]	Lampada a torcia alimentata a pile
[10]	Campione II (struttura equivalente a una doppia elica, stampata su una lastrina di vetro)		

Nota: Gli oggetti [1], [3], [14], [15], [16] e [18] sono utilizzati anche nell'esperimento E-II.

Descrizione dell'apparato

Tavola di legno [1]: Su di essa sono fissati rigidamente una coppia di guide lineari, un laser, gli specchi, lo schermo e il portacampione.

Sorgente laser con supporto e base [2]: La sorgente laser di lunghezza d'onda $\lambda = 635 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) è fissata in un supporto metallico agganciato alla base tramite uno snodo a sfera ([20] nella Fig. 3) che consente regolazioni nelle tre direzioni X, Y e Z. Il corpo del laser può essere ruotato e può essere fissato con la vite di bloccaggio posta sopra. Si può regolare la messa a fuoco del raggio laser ruotando il cappuccio con la lente frontale (freccia rossa nella Fig. 3) in modo da ottenere una figura di diffrazione nitida e ben definita.

Alimentatore in corrente continua [3]: Il pannello frontale presenta un commutatore di intensità alto/ basso (high/low), una presa per il connettore della sorgente laser e tre prese USB. Il pannello

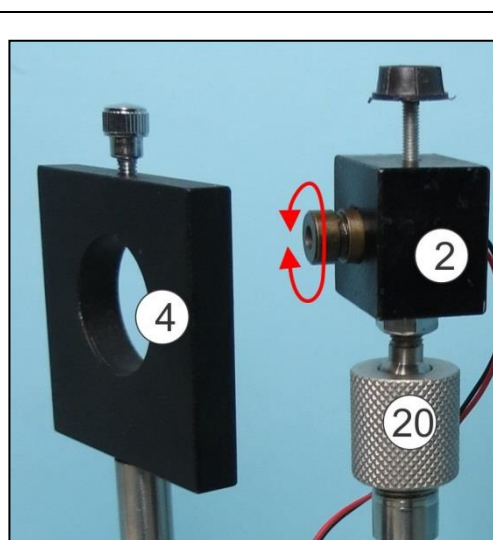


Figura 3: Sorgente laser e portacampioni.
[20] Snodo a sfera.



Figura 4: Alimentatore in corrente continua

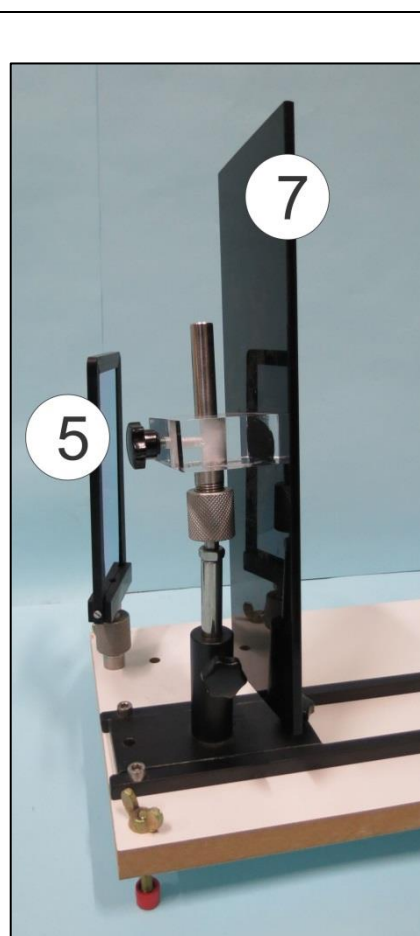


Figura 5: Specchio di sinistra e schermo

posteriore ha un interruttore di alimentazione e una presa per la rete elettrica (riquadro di Fig. 4).

Portacampioni con base [4]: Usate la vite superiore per inserire e fissare i campioni (Fig. 3). Il portacampioni può essere regolato orizzontalmente, verticalmente e può essere ruotato.

Specchio di sinistra [5]: Questo specchio è fissato alla tavola di legno (Fig. 5). Non usare il lato contrassegnato con X.

Specchio di destra [6]: Questo specchio è fissato alla tavola di legno ed è rimuovibile (Sarà tolto per l'esperimento E-II). Non usare il lato contrassegnato con X.

Schermo e relativo supporto [7]: Lo schermo è montato su uno snodo a sfera con base, che consente di ruotarlo per regolazione in tutte le direzioni (Fig 5). Lo schermo può essere fissato come nella Fig. 2 o, in alternativa, come nella Fig. 6.

Campione I [9]: Molla elicoidale fissata a un supporto circolare con lastrine di plastica bianca.

Campione II [10]: Struttura equivalente a una doppia elica, stampata su una lastrina di vetro a sua volta fissata a un supporto circolare.

Calibro digitale con supporto [14]: Il calibro digitale è fissato a un supporto (il supporto è necessario per l'esperimento E-II). Dispone di un interruttore di accensione (On/Off), di un comando per rimettere a zero la lettura, di un selettore millimetri/pollici (mm/inch; da lasciare su mm), di una vite di bloccaggio e di un nottolino per muovere la ganaschia destra. Il calibro digitale può essere utilizzato per effettuare le misure sui fogli di rilevamento delle figure di diffrazione.

Fogli di rilevamento delle figure di diffrazione [17]: I fogli forniti possono essere piegati in due e fissati sullo schermo mediante le mollette di plastica. Assicurati di segnare la figura di diffrazione all'interno del riquadro rettangolare.

Teoria

Un fascio laser di lunghezza d'onda λ , che incida normalmente su di un filo cilindrico di diametro a , è diffratto in direzione perpendicolare al filo. La Fig. 7 mostra la distribuzione dell'intensità luminosa che si può osservare su di uno schermo.

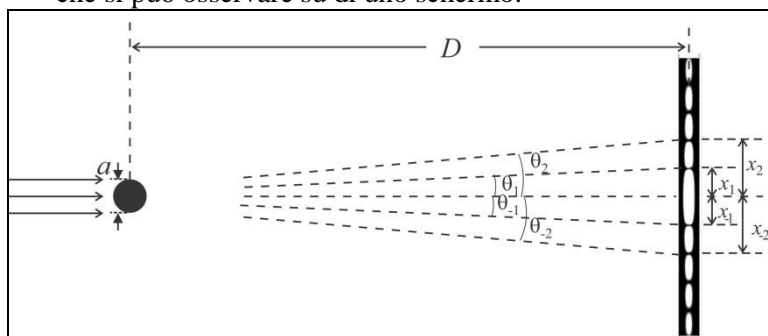


Figura 7: Schema della figura di diffrazione prodotta da un singolo filo cilindrico di diametro a .

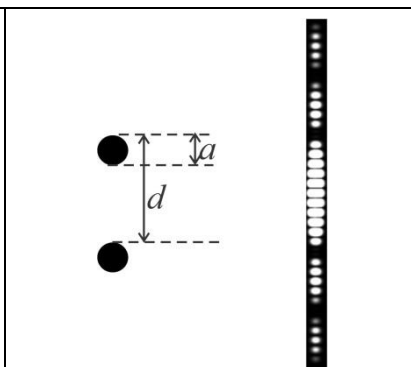


Figura 8: Schema della figura di diffrazione prodotta da due fili cilindrici

L'intensità luminosa in funzione dell'angolo θ formato con la direzione di incidenza è data da

$$I(\theta) = I(0) \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2 \quad \text{dove } \beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$$

La macchia centrale è luminosa e l'intensità si annulla in corrispondenza agli angoli per i quali $\sin \beta$ ($\beta \neq 0$) vale zero. Perciò l'intensità presenta il suo n -esimo minimo in corrispondenza dell'angolo θ_n dato da

$$\sin \theta_n = \pm n \frac{\lambda}{a} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$$

Qui \pm indica i due lati rispetto alla macchia centrale ($\theta = 0$).

La figura di diffrazione prodotta da due fili paralleli identici, posti a distanza d uno dall'altro (Fig. 8), è una combinazione delle due figure (diffrazione prodotta da un singolo filo e interferenza prodotta dai due fili). L'intensità luminosa risultante è data da

$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \delta \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2$$

$$\text{dove } \delta = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \text{ e } \beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}.$$

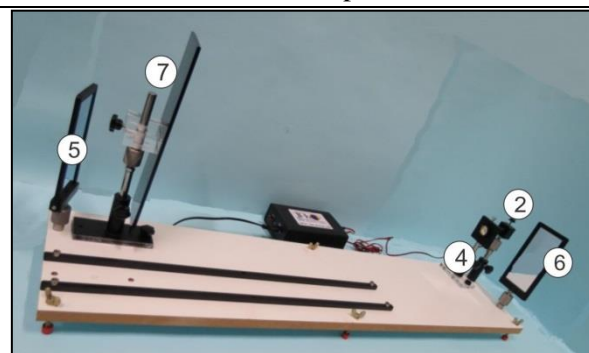


Figura 6: Disposizione dello schermo alternativa a quella mostrata in Fig. 2

Per uno schermo posto a grande distanza D dal filo, si osservano in $x_{\pm n} = \pm n \frac{\lambda D}{a}$ le posizioni dei minimi prodotti dalla diffrazione e quelli prodotti dall'interferenza in $x_{\pm m} = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{d}$ (dove $m, n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$). Analogamente, per un insieme di quattro fili identici (Fig. 9), l'intensità totale è una combinazione della diffrazione prodotta da ciascun filo e dell'interferenza dovuta alle coppie di fili e, perciò, dipende da a , d ed s . In altre parole, si osserva la combinazione di tre diverse distribuzioni di intensità..

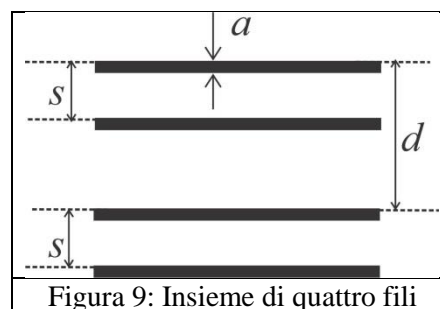


Figura 9: Insieme di quattro fili

Regolazioni iniziali

1. Accendi la sorgente laser e regola entrambi gli specchi in modo che il punto luminoso del laser cada sullo schermo.
2. Usa il righello graduato e regola il supporto del laser e gli specchi in modo che il fascio laser risulti parallelo alla tavola di legno.
3. Assicurati che il punto luminoso del laser cada vicino al centro dello schermo..
4. Spegni la sorgente laser. Fissa sullo schermo, con le mollette, un foglio di rilevamento delle figure di diffrazione.
5. Fissa sullo schermo lo specchio piano in dotazione usando le mollette di plastica e accendi nuovamente il laser.
6. Regola lo schermo in modo che il raggio laser ripercorra all'indietro il suo cammino ritornando alla sorgente. Quando l'allineamento è completo, toglì lo specchio.
7. Puoi accendere o spegnere la luce nella cabina come ti è più comodo.

Esperimento

Parte A: Determinazione delle caratteristiche geometriche di una molla elicoidale

Il campione I è una molla elicoidale di raggio R e passo P , costruita con un filo di spessore uniforme a_1 come mostrato in Fig. 10(a). La sua proiezione, osservata in direzione ortogonale, è equivalente a due insiemi di fili paralleli, dello stesso spessore, separati da una distanza d_1 e con un angolo $2\alpha_1$ tra di loro (Fig. 10(b)).

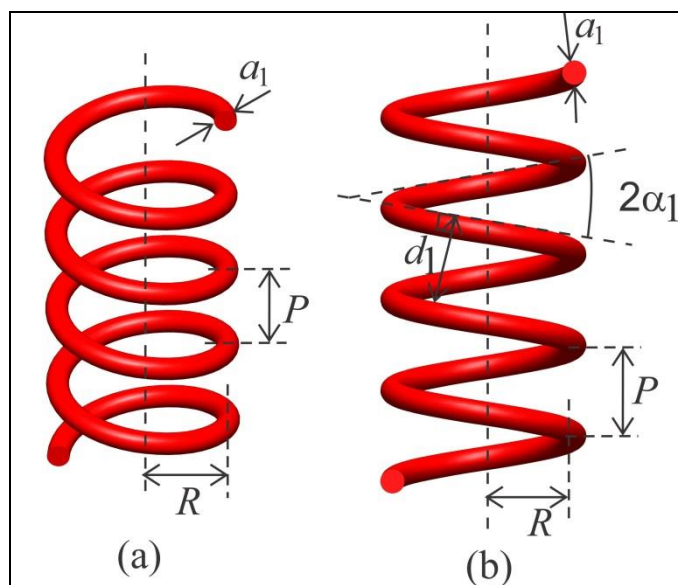


Figura 10: (a) Vista usuale di una molla elicoidale; (b) Diagramma schematico della vista a incidenza normale

- Monta il campione I nel portacampioni, assicurandoti che la molla risulti verticale.
- Devi ottenere una figura di diffrazione a forma di X, chiara e ben definita, sul foglio di rilevamento.

- A questo scopo, puoi regolare
 - la messa a fuoco del fascio laser (ruota il cappuccio con la lente)
 - l'orientamento del fascio (ruota il corpo del laser in modo che siano illuminate soltanto due spire della molla)
 - l'intensità del laser (commutatore high/low dell'alimentatore)
 - la luce ambiente (accendi/spegni la luce nella cabina)

Se il massimo centrale è troppo luminoso, puoi appiccicare sul foglio di rilevamento gli adesivi neri rotondi, in modo da ridurre la diffusione.

Compito	Descrizione	Punti
A1	Segna sul foglio di rilevamento (usando la matita in dotazione [13]) le posizioni opportune dei minimi di intensità per poter determinare a_1 e d_1 , da entrambi i lati della macchia centrale. Contrassegna i fogli di rilevamento con P-1, P-2 ecc.	0.7
A2	Con il calibro digitale, misura le distanze opportune per determinare a_1 e riportale nella Tabella A1.	0.5
A3	Disegna un grafico opportuno, contrassegnalo come Grafico A1 e determina a_1 dalla sua pendenza.	0.7
A4	Misura le distanze appropriate per determinare d_1 e riportale nella Tabella A2.	0.8
A5	Disegna un grafico opportuno, contrassegnalo come Grafico A2 e determina d_1 dalla sua pendenza.	0.6
A6	Determina l'angolo α_1 dalla figura a forma di X	0.2
A7	Esprimi P in termini di d_1 e α_1 e calcola il valore di P .	0.2
A8	Esprimi R in termini di P e α_1 e calcola il valore di R (trascura a_1).	0.2

Parte B: Determinazione delle caratteristiche geometriche di una figura equivalente a una doppia elica

La Figura 11(a) mostra due spire di una doppia elica. La Fig. 11(b) è una proiezione bidimensionale di questa doppia elica vista sotto un angolo normale. Ciascuna elica di spessore a_2 ha le spire che formano un angolo $2\alpha_2$; la distanza tra le spire in direzione perpendicolare è d_2 . La separazione tra le due eliche è s . Il Campione II è uno schema equivalente a una doppia elica stampato su una lastrina di vetro (Fig. 12); la sua figura di diffrazione è simile a quella di una doppia elica. In questa parte dovrai determinare le caratteristiche geometriche del Campione II.

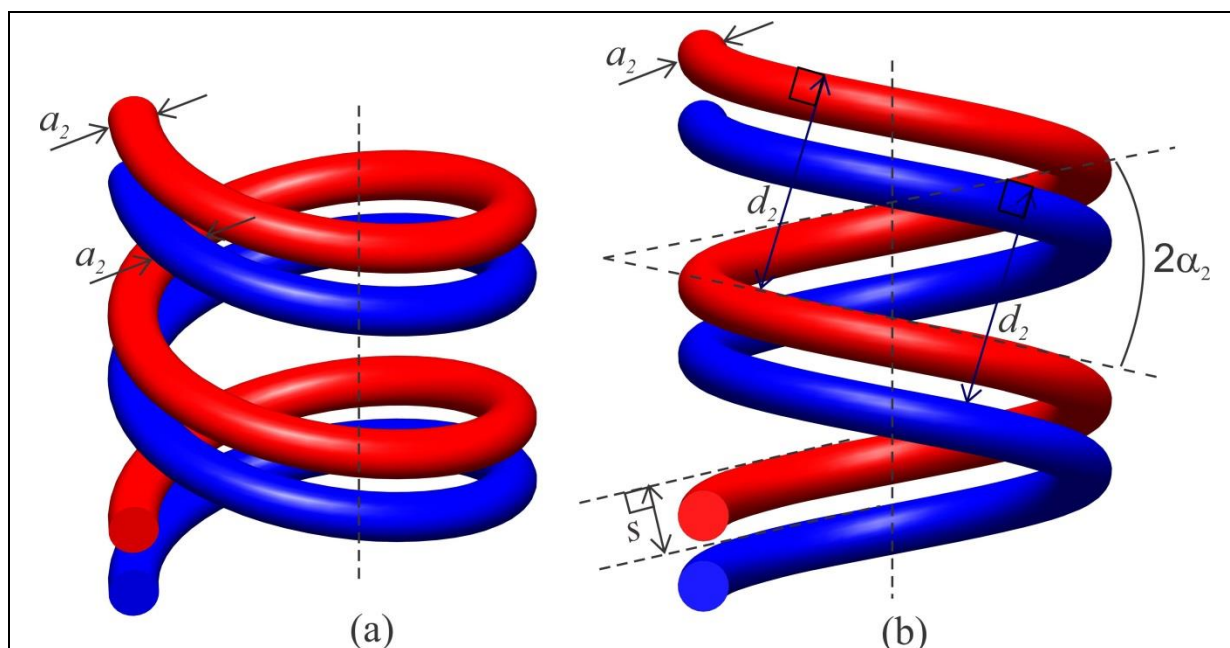


Figura 11: (a) Vista usuale di una molla a doppia elica (b) Diagramma schematico della stessa, vista con incidenza normale.

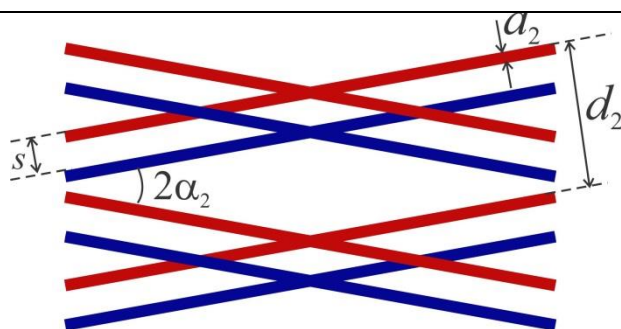


Figura 12: Schema del Campione II, equivalente alla doppia elica

- Monta il Campione II nel portacampioni.
- Fissa sullo schermo un altro foglio di rilevamento.
- Fai in modo di avere sullo schermo una figura di diffrazione a forma di X, chiara e nitida.

Compiti	Descrizione	Punti
B1	Segna le posizioni opportune dei minimi su ciascun lato della macchia centrale per determinare a_2 , s e d_2 . Puoi usare più di un foglio di rilevamento.	1.1
B2	Misura le distanze opportune per determinare a_2 e riportale nella Tabella B1.	0.5
B3	Disegna un grafico opportuno, contrassegnalo come Grafico B1 e determina a_2 dalla sua pendenza.	0.5
B4	Misura le distanze opportune per determinare s e riportale nella Tabella B2.	1.2
B5	Disegna un grafico opportuno, contrassegnalo come Grafico B2 e determina s dalla sua pendenza.	0.5
B6	Misura le distanze opportune per determinare d_2 e riportale nella Tabella B3.	1.6
B7	Disegna un grafico opportuno, contrassegnalo come Grafico B3 e determina d_2 dalla sua pendenza.	0.5
B8	Determina l'angolo α_2 dalla figura a forma di X.	0.2