

CORSO DI LABORATORIO II

TURNO 2A

GRUPPO 14

Microonde

Autori:

Anno Accademico 2021-2022

Contents

Elenco delle figure	ii
1 Parte prima: onde stazionarie	1
1.1 Obiettivi	1
1.2 Metodo	1
1.3 Dati ed analisi	1
1.4 Conclusioni	1
2 Parte seconda: riflessione	2
2.1 Obiettivi	2
2.2 Metodo	2
2.3 Dati ed analisi	2
2.4 Conclusione	3
3 Parte terza: rifrazione	4
3.1 Obiettivi	4
3.2 Metodo	4
3.3 Dati ed analisi	4
3.4 Conclusione	4
4 Parte quarta: polarizzazione	5
5 Parte quinta: angolo di Brewster	6
5.1 Obiettivi	6
5.2 Metodo	6
5.3 Dati ed analisi	6
5.4 Conclusioni	6
6 Parte sesta: doppia fenditura	7
6.1 Obiettivi	7
6.2 Metodo	7
6.3 Dati ed analisi	7
6.4 Conclusioni	8
7 Parte settima: specchio di Lloyd	9
7.1 Obiettivi	9
7.2 Metodo	9
7.3 Dati ed analisi	9
7.4 Conclusioni	9
8 Parte ottava: diffrazione di Bragg	10
8.1 Obiettivi	10
8.2 Metodo	10
8.3 Dati ed analisi	10
8.4 Conclusioni	11

List of Figures

1	Legge di Cartesio	2
2	Prisma	4
3	Polarizzazione	5
4	Polarizzatore	5
5	Angolo di Brewster	6
6	Schema doppia fenditura	7
7	Grafico doppia fenditura	8
8	Specchio di Lloyd	9
9	Piani cristallini	10
10	Bragg	11

1 Parte prima: onde stazionarie

1.1 Obiettivi

Misurare la lunghezza d'onda di una radiazione microonde con metodo stazionario.

1.2 Metodo

L'apparecchiatura utilizzata per questa esperienza è costituita da un emettitore di microonde polarizzate linearmente e da un ricevitore. Entrambi sono composti da un diodo che risponde solo ad onde polarizzate in una particolare direzione. I due componenti permettono di regolare l'angolazione del diodo tramite una scala graduata. Inoltre, è possibile modificare la distanza tra trasmettitore e ricevitore grazie ad un metro. Un goniometro regola l'angolo tra i due componenti.

L'emettitore è una cavità risonante con diodo di Gunn che emette onde elettromagnetiche polarizzate. Il ricevitore, invece, è composto da un misuratore di intensità di corrente analogico con cui è possibile scegliere diversi tipi di scale (30x, 10x, 3x, 1x). Viene collegato un multimetro per poter misurare il voltaggio.

Si pongono i due componenti a distanza relativa iniziale di almeno 30 cm. Si procede con la ricerca dei massimi di intensità spostando l'emettitore fino ad una distanza relativa finale di 50 cm.

1.3 Dati ed analisi

Le distanze relative tra trasmettitore ed emettitore in corrispondenza di un massimo sono riportate nella tabella seguente. Insieme, sono presenti le distanze tra un massimo ed il successivo.

Dist. relat. x_{rel}/cm	Dist. massimi $\Delta x/\text{cm}$
33.60 ± 0.17	2.6 ± 0.2
34.90 ± 0.17	3.0 ± 0.2
36.40 ± 0.17	2.0 ± 0.2
37.40 ± 0.17	3.0 ± 0.2
38.90 ± 0.17	2.8 ± 0.2
40.30 ± 0.17	3.4 ± 0.2
42.00 ± 0.17	3.0 ± 0.2
43.50 ± 0.17	2.8 ± 0.2
44.90 ± 0.17	3.2 ± 0.2
46.50 ± 0.17	2.8 ± 0.2
47.90 ± 0.17	3.4 ± 0.2
49.60 ± 0.17	2.6 ± 0.2
50.90 ± 0.17	

La distanza media tra un massimo ed il successivo, cioè la lunghezza d'onda, è $\lambda = (2.88 \pm 0.07) \text{ cm}$ che è compatibile al 64% con il valore atteso di 2.85 cm.

1.4 Conclusioni

Durante le misurazioni, i multimetri oscillano notevolmente. I fattori che concorrono a creare queste oscillazioni sono legati ad effetti statistici e ad una sensibilità elevata degli strumenti. A causa di ciò, le misurazioni non sono pienamente riproducibili: le distanze per i massimi oscillano in modo marcato. Ciononostante, il valore ricavato della lunghezza d'onda è molto prossimo a quanto atteso.

2 Parte seconda: riflessione

2.1 Obiettivi

Verificare la legge di Cartesio.

2.2 Metodo

Sul goniometro tra emettitore e ricevitore si pone una lastra metallica rettangolare riflettente. Inizialmente si posiziona il riflettore ad un angolo di 30° rispetto alla direzione di propagazione delle microonde. Si aumenta l'angolo fino a 70° con un passo di 10° .

Per misurare l'angolo di incidenza, θ_i , rispetto alla normale si è misurato il suo complementare, cioè l'angolo segnato sul goniometro, θ_1 , tra il riflettore e la direzione di propagazione delle onde. Grazie al braccio collegato al goniometro, per ogni angolo del riflettore si sposta il ricevitore in modo da rilevare un massimo. L'angolo di riflessione è

$$\theta_r = 180^\circ - \theta_2 - (90^\circ - \theta_1)$$

Dove θ_2 è l'angolo del ricevitore rispetto allo zero del goniometro.

Se emettitore e ricevitore si avvicinano troppo, è possibile che si osservino fenomeni legati alla non idealità della sorgente.

2.3 Dati ed analisi

Le misure dell'angolo incidente e dell'angolo riflesso sono:

θ_i/deg	θ_r/deg
30.0 ± 1.7	29 ± 2
40.0 ± 1.7	42 ± 2
50.0 ± 1.7	50 ± 2
60.0 ± 1.7	57 ± 2
70.0 ± 1.7	62 ± 2

Agli angoli misurati si è attribuito una incertezza maggiore della sensibilità del goniometro per tenere conto del gioco meccanico dell'apparecchiatura e dell'errore umano nella lettura dei dati.

La legge di Cartesio prevede $\theta_r = \theta_i$. Si interpolano i dati secondo la funzione lineare $\theta_r = B \cdot \theta_i$ e si ottiene $B = 0.95 \pm 0.03$ ($\chi^2 = 4.9$, DoF = 4, $p\text{-value} = 29.7\%$).

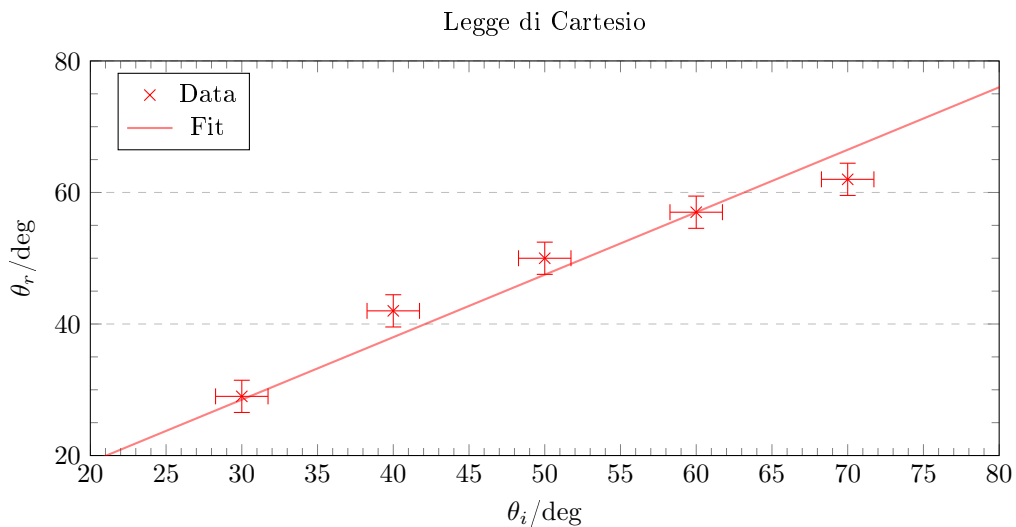


Figure 1: Grafico angolo riflesso-angolo incidente per la verifica della legge di Cartesio.

2.4 Conclusione

Il valore di B è compatibile al 4.9% con l'unità. Questo potrebbe essere indicatore della non idealità del trasmettitore e della presenza di altri fenomeni oltre la riflessione, soprattutto per grandi angoli di incidenza.

3 Parte terza: rifrazione

3.1 Obiettivi

Misurare l'indice di rifrazione dello styrene in un prisma di Ethafoam tramite la legge di Snell.

3.2 Metodo

Si posiziona il prisma a base triangolare in modo che il cateto maggiore sia perpendicolare alla direzione di propagazione delle onde. Si osserva la rifrazione quando l'onda trapassa l'interfaccia tra l'interno del prisma e l'aria all'esterno. Si riempie il prisma di styrene e si sposta il ricevitore fino a rilevare un massimo. L'angolo θ_1

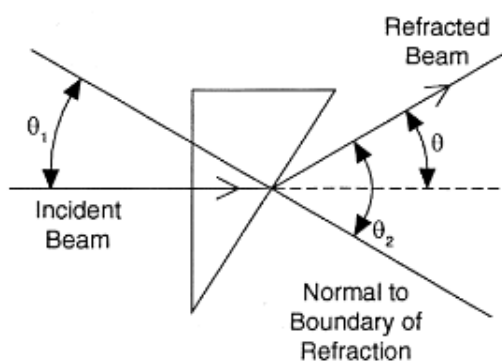


Figure 2: Geometria del prisma.

è pari all'angolo formato dal cateto maggiore e dall'ipotenusa.

Considerato l'indice di rifrazione dell'aria $n_2 = 1$, per la legge di Snell si ricava l'indice di rifrazione dello styrene n_1 come:

$$n_1 \sin \theta_1 = \sin \theta_2 \implies n_1 = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

dove $\theta_2 = \theta + \theta_1$ e $\theta \equiv 180^\circ - \theta_{\text{ricev}}$. Si suppone che l'indice di rifrazione del prisma sia $n = 1$.

3.3 Dati ed analisi

Le misure dell'angolo del ricevitore sono:

$\theta_{\text{ricev}}/\text{deg}$
167
168
167

La loro media è $\theta_{\text{ricev}} = (167.3 \pm 0.3) \text{ deg}$. Inoltre, $\theta_1 = 22^\circ$. Applicando le formule riportate sopra, si ottiene $n_1 = 1.518 \pm 0.013$.

3.4 Conclusione

Quanto misurato risulta essere compatibile con i valori in letteratura.

4 Parte quarta: polarizzazione

I diodi emettono onde linearmente polarizzate: in posizione verticale, cioè a 0° , il campo elettrico oscilla verticalmente.

Per mostrare sperimentalmente la polarizzazione del campo, si pongono i diodi ad una distanza fissa con medesima orientazione. Successivamente si modifica gradualmente l'inclinazione dell'emettitore con passo di 10° fino a 180° . Come si può osservare dai dati, la componente dell'onda trasmessa è massima per angoli

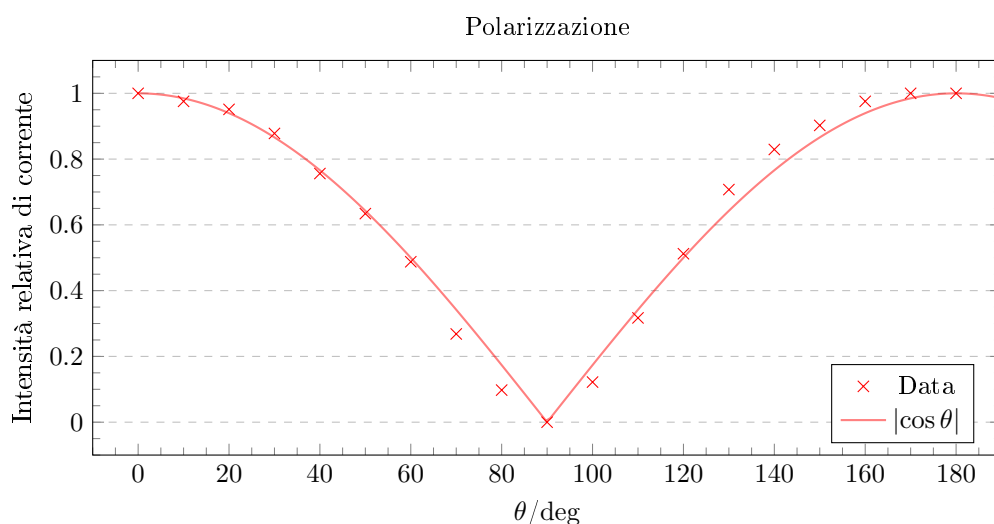


Figure 3: Grafico intensità-angolo relativo. Si nota la somiglianza dei dati alla funzione $|\cos \theta|$.

uguali a meno di 180° . Man mano che il trasmettitore si avvicina all'orientazione orizzontale, l'ampereaggio ed il voltaggio diminuiscono fino a diventare approssimativamente nulli.

Un interessante metodo per osservare la polarizzazione consiste nell'utilizzare una griglia conduttrice che agisce come polarizzatore. Si dispongono l'emettitore ed il ricevitore con orientazione verticale mentre si pone

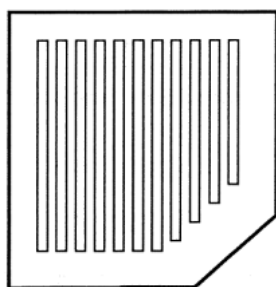


Figure 4: Schema della griglia utilizzata per studiare la polarizzazione.

la griglia orizzontalmente: il segnale passa completamente. Mettendo la griglia verticalmente, il segnale è quasi nullo. Infatti, gli elettroni del polarizzatore sono messi in moto dal campo affinché lo possano bilanciare: il sistema si evolve in modo da mantenere nullo il campo elettrico all'interno di, e oltre, il conduttore. D'altra parte, nella prima configurazione, le cariche non hanno abbastanza spazio per muoversi. Esse non riescono a bilanciare il segnale con cui vengono colpite.

Infine, un altro interessante effetto lo si può osservare ponendo trasmettitore e ricevitore sfasati di 90° . Senza griglia tra i due non si ha segnale. Ponendo ed orientando, invece, il polarizzatore ad angolo di 45° si nota che il campo elettrico è rilevabile. Infatti, il polarizzatore estrae una componente dal campo iniziale e tale componente non è più perpendicolare al ricevitore: l'intensità misurata dal ricevitore non è nulla.

5 Parte quinta: angolo di Brewster

5.1 Obiettivi

Misurare l'angolo di Brewster.

5.2 Metodo

L'angolo di Brewster corrisponde all'angolo per cui un'onda polarizzata nel piano di incidenza non viene riflessa, ma solamente trasmessa. Si orientano il trasmettitore ed il ricevitore orizzontalmente. Si posiziona una lastra di polietilene sul goniometro tra i due componenti.

Si inizia da un angolo di incidenza di 20° fino a 60° con un passo di 5° . Per ogni angolo, si cerca il segnale massimo riflesso con il ricevitore. Si ripete per la polarizzazione verticale.

5.3 Dati ed analisi

Per ricavare l'angolo di Brewster si osservano in un grafico i dati raccolti per polarizzazione orizzontale e verticale. Si cerca l'angolo per cui l'onda polarizzata orizzontalmente non viene riflessa: $\theta_B = 45^\circ$.

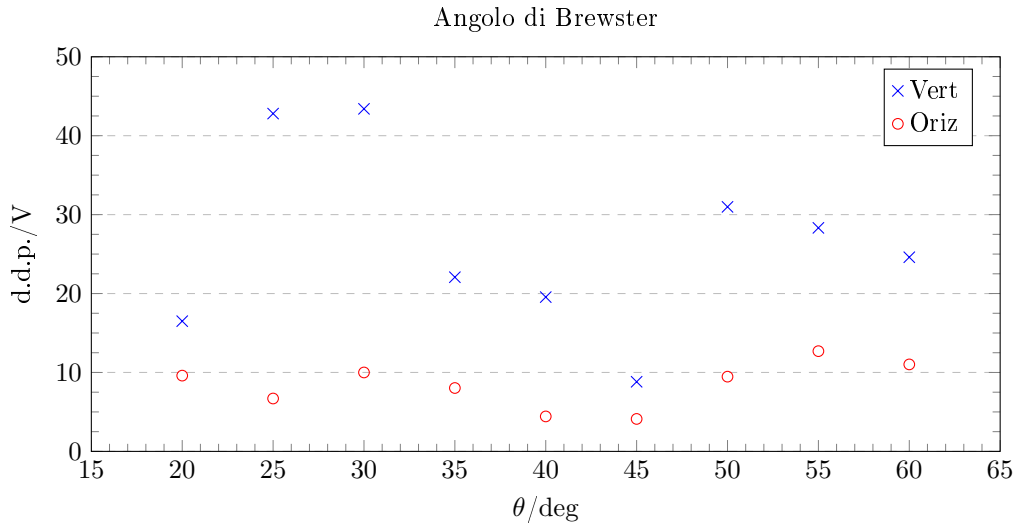


Figure 5: Grafico tensione-angolo.

5.4 Conclusioni

Da una analisi qualitativa, l'angolo di Brewster ottenuto non è coerente con quanto riportato in letteratura $\theta_B = 56^\circ$. Non si può sperare di misurare efficacemente tale angolo a causa della presenza di un fenomeno di interferenza delle microonde tra la superficie frontale e posteriore della lastra di polietilene.

6 Parte sesta: doppia fenditura

6.1 Obiettivi

Studiare il fenomeno dell'interferenza per la doppia fenditura.

6.2 Metodo

Si posizionano, tra l'emettitore ed il ricevitore, delle lastre metalliche di differenti larghezze come in figura. Tali lastre distano $W = 1.5\text{ cm}$ tra loro, mentre la spaziatura tra due le fenditure è di $S = 7.6\text{ cm}$. Si utilizza

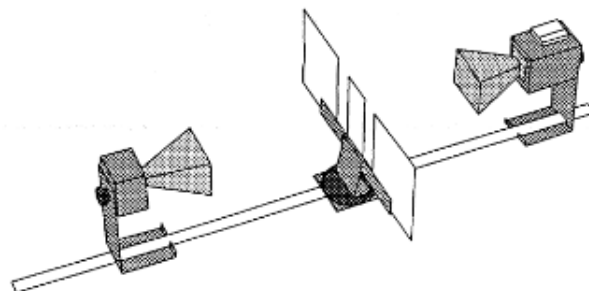


Figure 6: Disposizione per l'interferenza a doppia fenditura.

la polarizzazione verticale. Si cercano i massimi partendo da una posizione frontale. Si misura l'angolo θ del ricevitore rispetto l'orizzontale.

I massimi di diffrazione seguono la legge:

$$S \sin \theta = n\lambda$$

dove n è un numero intero associato all'ordine del massimo.

6.3 Dati ed analisi

Gli angoli misurati sono:

$\theta_{\text{ricevitore}}/\text{deg}$	I/mA
5.0 ± 1.2	5.00 ± 0.12
7.0 ± 1.2	3.60 ± 0.12
10.0 ± 1.2	1.80 ± 0.12
15.0 ± 1.2	1.00 ± 0.12
17.0 ± 1.2	2.40 ± 0.12
20.0 ± 1.2	4.80 ± 0.12
22.0 ± 1.2	5.20 ± 0.12
25.0 ± 1.2	4.80 ± 0.12
30.0 ± 1.2	2.80 ± 0.12
32.0 ± 1.2	1.20 ± 0.03
35.0 ± 1.2	0.110 ± 0.012
37.0 ± 1.2	0.24 ± 0.03
40.0 ± 1.2	1.26 ± 0.03
45.0 ± 1.2	2.58 ± 0.03
48.0 ± 1.2	3.20 ± 0.12
50.0 ± 1.2	2.94 ± 0.03
55.0 ± 1.2	2.40 ± 0.03
60.0 ± 1.2	1.50 ± 0.03

Dai dati risulta evidente che è presente un massimo a 22° ($n = 1$) ed un altro a 48° ($n = 2$). Dalla relazione sopra riportata si ottengono due lunghezze d'onda

$$\lambda_1 = (2.85 \pm 0.07) \text{ cm}, \quad \lambda_2 = (2.82 \pm 0.03) \text{ cm}$$

compatibili con il valore atteso al 97% ed al 31% rispettivamente.

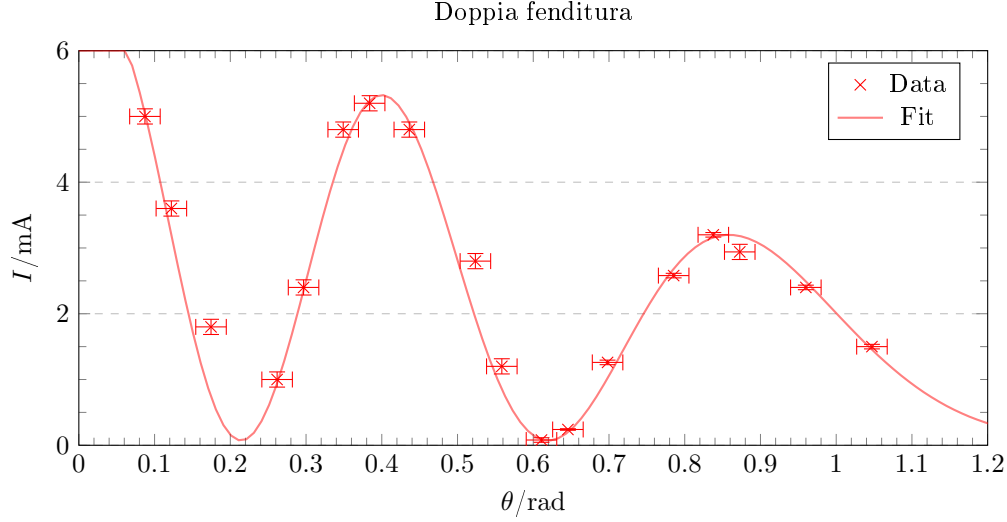


Figure 7: Grafico corrente-angolo.

Si interpolano i dati con l'equazione per la diffrazione di Fraunhofer:

$$I(\theta) = A \cos^2 \left[\frac{\pi S \sin(C\theta + D)}{\lambda} + E \right] \cdot \text{sinc}^2 \left[\frac{\pi W \sin(C\theta + D)}{\lambda} + F \right] + B$$

dove $\text{sinc } x \equiv \frac{\sin x}{x}$. Si ottiene ($\chi^2 = 6.2$, DoF = 11, p -value = 86%):

Parametro	Valore	Unità
λ	3.1 ± 0.3	cm
A	6.7 ± 0.6	mA
B	0.07 ± 0.05	mA
C	1.12 ± 0.08	
D	-0.06 ± 0.07	
E	0.2 ± 0.6	
F	0.26 ± 0.13	

Il valore di lunghezza d'onda è compatibile al 29% con quanto atteso. Come ci si aspetta dalla teoria, si nota che i parametri additivi (i.e. B , D , E , F) sono compatibili con zero ed il parametro moltiplicativo C è compatibile con l'unità.

6.4 Conclusioni

Le tre misure sono compatibili tra loro e, pertanto, ne si può fare la media pesata. Si ottiene $\lambda = (2.83 \pm 0.02) \text{ cm}$ compatibile al 38% con il valore atteso di 2.85 cm.

7 Parte settima: specchio di Lloyd

7.1 Obiettivi

Misurare la lunghezza d'onda del microonde.

7.2 Metodo

Con riferimento alla figura, si posizionano trasmettitore (A) e ricevitore (C) uno davanti all'altro equidistanti dal goniometro. Si pone lo specchio in B , sulla perpendicolare al segmento \overline{AC} . Si posiziona lo specchio alla

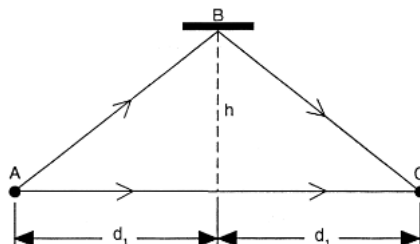


Figure 8: Disposizione dello specchio di Lloyd.

distanza h_1 più piccola per cui si rileva un minimo di interferenza. Lo specchio viene allontanato fino a trovare un altro minimo ad h_2 . La differenza di cammino ottico $\overline{AB} + \overline{BC}$ nei due casi corrisponde alla lunghezza d'onda.

7.3 Dati ed analisi

Si ripetono le misure della distanza per il primo minimo h_1 e per il secondo minimo h_2 . Di seguito sono riportate le posizioni verticali assolute dello specchio e non le distanze relative h :

y_1/cm	y_2/cm
78.3	82
77.7	82.5
78.1	82.2
78.2	82.2
78	81.8

Le cui medie sono $y_1 = (78.06 \pm 0.10) \text{ cm}$ e $y_2 = (82.14 \pm 0.12) \text{ cm}$. La posizione orizzontale dello specchio è $x = (63.960 \pm 0.006) \text{ cm}$.

La posizione orizzontale del trasmettitore è $x_t = (12.00 \pm 0.06) \text{ cm}$ e del ricevitore è $x_r = (144.21 \pm 0.10) \text{ cm}$.

La posizione verticale di entrambi è $y = (61.74 \pm 0.06) \text{ cm}$.

Tramite Pitagora si ottengono i percorsi ottici nei due casi:

$$(\overline{AB} + \overline{BC})_1 = (107.29 \pm 0.10) \text{ cm}, \quad (\overline{AB} + \overline{BC})_2 = (110.05 \pm 0.12) \text{ cm}$$

La loro differenza fornisce la lunghezza d'onda:

$$\lambda = (2.76 \pm 0.15) \text{ cm}$$

7.4 Conclusioni

Il risultato ottenuto è compatibile al 54% con il valore atteso.

8 Parte ottava: diffrazione di Bragg

8.1 Obiettivi

Studiare la diffrazione di Bragg.

8.2 Metodo

Si usa un cubo che simula un reticolo cristallino. Il cubo è composto da Ethafoam e da sfere metalliche. Esso viene posizionato al centro del goniometro con una faccia perpendicolare alle onde. Viene girato fino ad un angolo di incidenza θ di 50° rispetto la coppia di piani (100). Per ogni grado per cui si sposta il cubo, ne si gira il ricevitore di due e si misura l'ampereaggio e il voltaggio. Trovati i massimi, si utilizza la legge di Bragg

$$2d \sin \theta = n\lambda \implies d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

da cui si ricava la distanza d tra i piani.

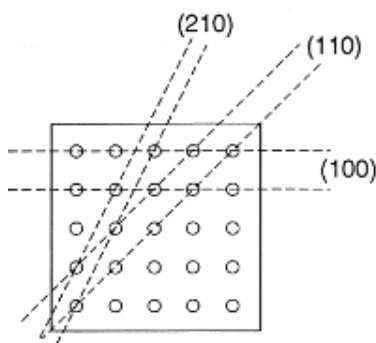


Figure 9: Lo schema mostra varie coppie di piani cristallini.

8.3 Dati ed analisi

Gli angoli e le intensità di corrente misurati sono:

θ/deg	I/mA	θ/deg	I/mA	θ/deg	I/mA
0	7.4	14	2.04	28	1.8
1	7.4	15	2.64	29	2.0
2	7.0	16	2.58	30	1.8
3	6.0	17	1.86	40	0.84
4	5.4	18	1.14	41	1.32
5	5.2	19	1.08	42	1.98
6	5.0	20	1.8	43	2.1
7	4.6	21	2.58	44	2.22
8	4.2	22	3.4	45	2.34
9	3.8	23	3.2	46	2.52
10	2.4	24	2.6	47	2.52
11	1.0	25	2.0	48	2.4
12	0.54	26	1.6	49	2.28
13	1.14	27	1.6	50	2.16

Si notano i massimi ad angoli $\theta = (22.0 \pm 0.6) \text{ deg}$, $n = 1$, e $\theta = (47.0 \pm 0.6) \text{ deg}$, $n = 2$. Da essi si calcolano le distanze

$$d_1 = (3.80 \pm 0.09) \text{ cm}, \quad d_2 = (3.90 \pm 0.04) \text{ cm}$$

La cui media ponderata è $d = (3.88 \pm 0.03) \text{ cm}$.

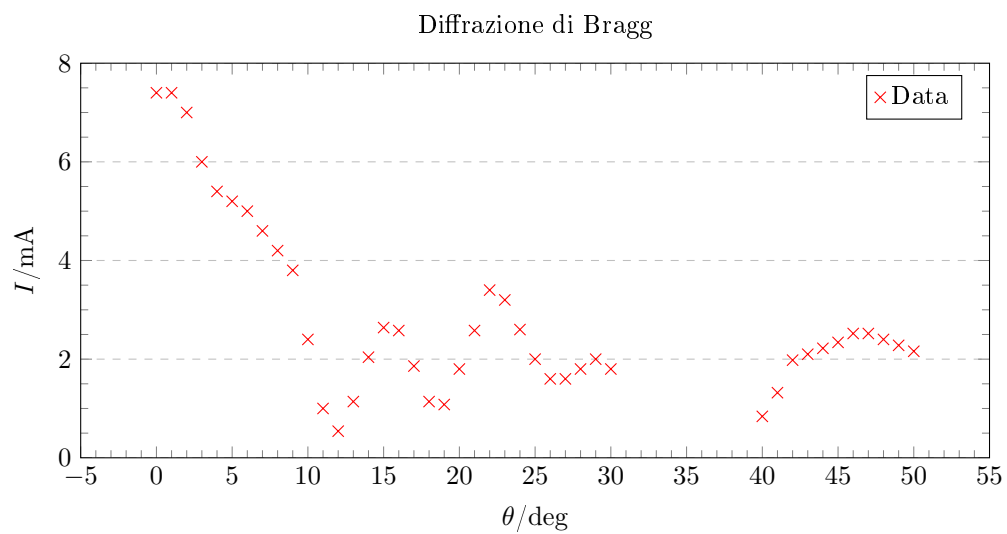


Figure 10: Grafico corrente-angolo cubo.

8.4 Conclusioni

Il valore ottenuto è compatibile al 93% con il valore misurato direttamente (3.80 ± 0.06) cm.

Si ipotizza che i picchi a $\theta = 15^\circ$ e $\theta = 29^\circ$ siano causati dalla diffrazione di coppie di piani diverse da quella in esame.