

Misura dell'apertura numerica di una fibra ottica

Relazione del gruppo G9 - Luca Giacomelli, Donato Romito e Francesca Sartori

Scopi dell'esperienza

Misurare l'apertura numerica di una fibra ottica tramite la misura della variazione dell'intensità luminosa trasmessa da essa al variare dell'angolo d'incidenza di un fascio laser.

Materiale a disposizione

- Fibra ottica
- Piattaforma rotante con goniometro di risoluzione 0.25°
- Sorgente Laser
- Misuratore di intensità luminosa di risoluzione $0.01 \mu W$

Procedura di misura

La strumentazione era composta da una sorgente laser il cui fascio puntava contro un'estremità della fibra ottica fissata su un sostegno rotante munito di goniometro. L'altra estremità era collegata ad un misuratore di intensità luminosa. Il tutto era il più possibile schermato da altre fonti luminose che avrebbero potuto alterare le misure.

Inizialmente abbiamo cercato la posizione della fibra ottica per cui l'intensità luminosa da essa trasmessa risultava massima. L'angolo così trovato è diventato il nostro zero per le successive misure di inclinazione, infatti corrispondeva alla configurazione in cui estremità della fibra ottica e raggio laser erano sulla stessa retta. Successivamente abbiamo cominciato a ruotare in verso antiorario il supporto annotando gli angoli corrispondenti ad alcuni valori di intensità luminosa trasmessa. Conoscendo l'andamento che ci dovevamo aspettare dai dati raccolti abbiamo spaziato opportunamente le misure per descrivere bene anche i tratti più pendenti della curva descritta dagli stessi. Siamo dunque giunti ad un angolo per cui l'intensità trasmessa dalla fibra ottica è nulla. Abbiamo poi ruotato la fibra ottica in senso orario fino a ritrovare la posizione in cui l'intensità luminosa trasmessa era massima. Abbiamo quindi confrontato il valore di intensità e quello di angolo zero così trovati con quelli misurati all'inizio, assicurandoci che non fossero cambiati di molto. Abbiamo poi proceduto, a partire da questa nuova posizione, a ruotare la fibra ottica in senso orario effettuando misure analoghe alle precedenti fino ad arrivare nuovamente ad un angolo per cui l'intensità luminosa trasmessa è nulla. Abbiamo infine nuovamente cercato la configurazione di massima trasmissione e abbiamo confrontato questi ultimi valori di intensità massima e di "angolo zero" con quelli precedenti, assicurandoci che non si discostassero troppo. Durante le misure abbiamo periodicamente schermato la fibra ottica per vedere quale fosse l'intensità di fondo rilevata dal misuratore di intensità.

Premessa all'analisi dati

Quello che dobbiamo calcolare è l'apertura angolare della nostra fibra ottica; tale parametro è definito

$$NA = n \cdot \sin(a_{max})$$

dove n è l'indice di rifrazione del mezzo da cui il raggio incidente proviene (nel nostro caso è l'aria per cui considereremo $n \simeq 1$) e a_{max} è l'angolo di accettazione della fibra ottica, cioè l'angolo massimo rispetto alla normale alla sezione della fibra per cui il raggio viene riflesso completamente dalla superficie del nucleo della fibra stessa. È cioè il massimo angolo di entrata per cui il raggio viene trasmesso, dunque il parametro NA descrive il cosiddetto *cono di accettazione*, cioè l'angolo solido tale da permettere la trasmissione di tutti i raggi in esso contenuti. Nel nostro caso il fascio laser è in realtà ben distante dall'essere un raggio; in effetti esso è di alcuni ordini di grandezza maggiore della sezione della fibra ottica dunque non possiamo semplicemente considerare l'angolo da noi misurato per cui si aveva trasmissione nulla; calcoleremo dunque NA considerando il seno dell'angolo corrispondente ad una trasmissione del 5% dell'intensità massima.

Analisi dati

Prima di tutto abbiamo confrontato i “valori iniziali” di intensità e di inclinazione. Il confronto tra i diversi valori di intensità massima misurata è stato fatto per assicurarsi che le condizioni ambientali in termini di luminosità non fossero cambiate troppo. Infatti un forte scarto tra i diversi valori avrebbe significato un’importante variazioni delle condizioni di fondo nel corso delle misure manifestando l’inattendibilità dei dati raccolti. Nel nostro caso i valori si sono rivelati essere abbastanza simili tra loro ($(14.560 \pm 0.003)\mu W$ all’inizio, $(13.96 \pm 0.003)\mu W$ dopo le prime misure e $(13.733 \pm 0.003)\mu W$ alla fine) e ne abbiamo quindi calcolato la media ottenendo il valore di intensità massima di riferimento

$$I_{max} = (14.073 \pm 0.003)\mu W.$$

Invece gli scarti tra le misure dell’angolo zero, che si sono rivelati essere attorno a 1° , sono dovuti a piccoli spostamenti di componenti durante le operazioni di misura. Abbiamo comunque considerato un angolo assoluto di rotazione della fibra ottica sottraendo il valore dell’angolo zero a tutte le misure ad esso relative.

Abbiamo poi tenuto conto dei valori di intensità luminosa di fondo sottraendoli alle relative misure. Non si sono comunque rivelate correzioni sostanziali. Dai dati così ottenuti abbiamo calcolato i valori di intensità percentuale relativa al valore di intensità luminosa massima. Di seguito riportiamo due grafici dell’intensità percentuale $I_{\%}$ in funzione del seno dell’angolo di inclinazione della fibra ottica $\sin(a)$, uno con assi normali e uno con assi logaritmici. Sono volutamente state omesse le barre d’errore a causa della loro scarsa visibilità. Riportiamo comunque in conclusione una tabella con i dati e i relativi errori.

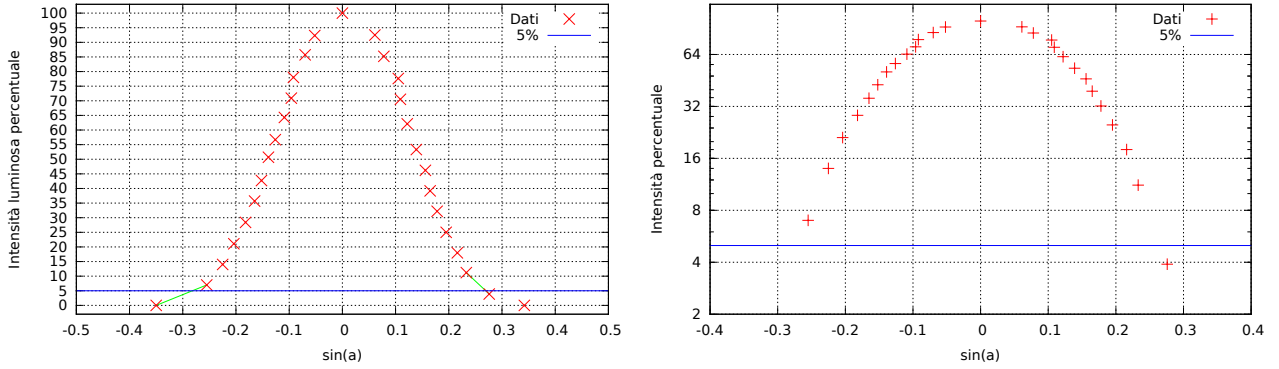


Figura 1: *Intensità luminosa percentuale in funzione del seno dell’angolo di inclinazione. Il secondo grafico è semilogaritmico.*

Per calcolare l’apertura numerica della nostra fibra ottica abbiamo dunque cercato il seno dell’angolo corrispondente a una trasmissione di intensità luminosa del 5%. Per fare ciò abbiamo calcolato le equazioni delle due rette passanti per i due dati immediatamente sopra e immediatamente sotto la retta orizzontale $I_{\%} = 5$, riportata in blu nei grafici. Due segmenti appartenenti a queste rette sono riportati in verde nel primo grafico; esse sono del tipo $I_{\%} = \alpha \sin(a) + \beta$ con α e β parametri che sono risultati valere per le due rette

$$\alpha_- = 70 \pm 10 \qquad \beta_- = 25.7 \pm 0.8$$

per la retta relativa a valori negativi di $\sin(a)$ e

$$\alpha_+ = -170 \pm 40 \qquad \beta_+ = 51 \pm 1$$

per la retta relativa a valori positivi di $\sin(a)$.

Abbiamo dunque calcolato i valori di $\sin(a)$ relativi ai punti di incidenza di queste due rette con la retta $I_{\%} = 5$, valori che abbiamo visto corrispondere con l’apertura numerica della nostra fibra ottica. I risultati sono stati, per le due rette,

$$NA_- = -0.28 \pm 0.05 \qquad NA_+ = 0.26 \pm 0.07$$

I moduli dei due angoli risultano compatibili, suffragando l’ipotesi data dalla simmetria del sistema secondo cui l’intensità trasmessa dalla fibra ottica non dipende dal segno dell’angolo di incidenza del raggio luminoso, ma solo dal suo modulo.

Dati raccolti

Riportiamo di seguito una tabella con i dati da noi raccolti e i rispettivi errori.

$\sin(a) \pm \delta \sin(a)$	$I \pm \delta I \text{ } (\mu W)$	$\sin(a) \pm \delta \sin(a)$	$I \pm \delta I \text{ } (\mu W)$
0 ± 0.006	100 ± 1	-0.052 ± 0.006	92 ± 1
0.061 ± 0.006	92 ± 1	-0.070 ± 0.006	85.7 ± 0.9
0.078 ± 0.006	85.2 ± 0.9	-0.092 ± 0.006	78.0 ± 0.9
0.105 ± 0.006	77.6 ± 0.9	-0.096 ± 0.006	70.9 ± 0.9
0.109 ± 0.006	70.5 ± 0.9	-0.109 ± 0.006	64.3 ± 0.8
0.122 ± 0.006	62.1 ± 0.8	-0.126 ± 0.006	56.7 ± 0.8
0.139 ± 0.006	53.3 ± 0.8	-0.139 ± 0.006	50.7 ± 0.8
0.156 ± 0.006	46.2 ± 0.8	-0.152 ± 0.006	42.7 ± 0.8
0.165 ± 0.006	39.2 ± 0.8	-0.165 ± 0.006	35.7 ± 0.8
0.178 ± 0.006	32.2 ± 0.7	-0.182 ± 0.006	28.4 ± 0.7
0.195 ± 0.006	25.0 ± 0.7	-0.204 ± 0.006	21.1 ± 0.7
0.216 ± 0.006	18.0 ± 0.7	-0.225 ± 0.006	14.0 ± 0.7
0.233 ± 0.006	11.2 ± 0.7	-0.255 ± 0.006	7.0 ± 0.7
0.276 ± 0.006	3.9 ± 0.7	-0.350 ± 0.006	0.0 ± 0.7
0.342 ± 0.006	0.0 ± 0.7		