

Misure con fibre ottiche

Scopo dell'esperienza è la misura dell'attenuazione e dell'apertura numerica di fibre ottiche di tipo F-MLD-500

1. Teoria dell'esperienza

La fisica sulla cui base è costruita l'esperienza in esame è quella dell'ottica geometrica. In particolare si ricordino i fenomeni di rifrazione e riflessione parziale e totale subiti da un raggio luminoso che attraversa la superficie di separazione tra un mezzo caratterizzato da indice di rifrazione n_1 e un secondo mezzo avente indice n_2 . La legge di Snell afferma allora che, detti θ_i , θ_r e θ_t rispettivamente gli angoli di incidenza, di riflessione e di rifrazione (trasmissione) si ha:

$$\theta_i = \theta_r$$

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

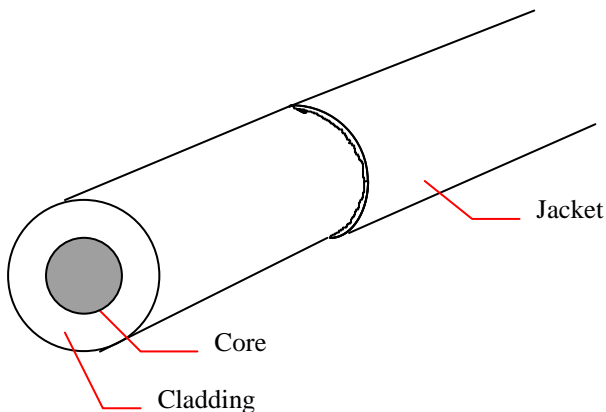
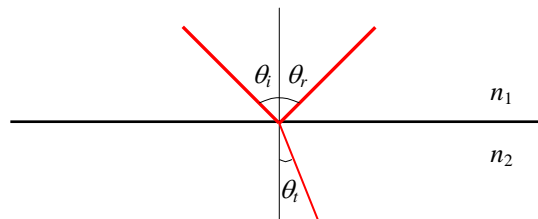


Figura 1.a. Struttura di una fibra ottica

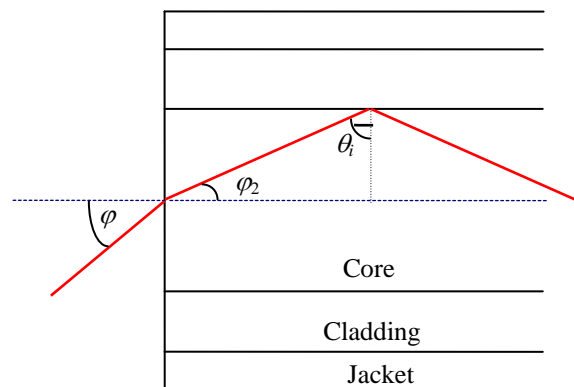


Figura 1.b. Percorso di un raggio in una fibra

Il fenomeno della *riflessione totale* trova un'applicazione pratica nella realizzazione delle guide di luce e delle fibre ottiche, con distinzione tra le due basata sulle dimensioni della sezione.

Il funzionamento della guida è sostanzialmente indipendente dalle sue dimensioni trasversali, almeno fino a che queste si mantengono grandi rispetto alla lunghezza d'onda della radiazione utilizzata. In particolare può trattarsi di una guida capillare, con sezione di dimensione lineare dell'ordine delle decine di micron: in questo caso si parla più propriamente di *fibra ottica*.

Le fibre ottiche sono strutturate in due parti coassiali, un nucleo (*core*) e un mantello (*cladding*), con indice di rifrazione maggiore nel nucleo (qualche percento), in modo da garantire un maggior

confinamento della radiazione che penetra al loro interno; attorno alla fibra è poi presente un rivestimento protettivo (*jacket*). Si osservi al proposito la figura 1.a.

Per quanto riguarda le nozioni teoriche più specifiche all'esperienza in esame, si enuncia la legge generale che rende conto della diminuzione di intensità di una radiazione per interazione con la materia:

$$I(x) = I(0) \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

dove x è lo spessore attraversato e μ è il coefficiente di assorbimento.

Nel caso specifico delle fibre ottiche, l'esperienza porta alla conoscenza di $I(0)$ e di $I(x)$, con x uguale ad alcune centinaia di metri, da cui è possibile senza far ricorso alla (1) determinare l'*attenuazione*. Per essere precisi durante l'esperienza si effettuano misure di potenza e non di intensità, ma ciò è influente in quanto il dato finale è un rapporto.

In particolare, se si adotta l'espressione in decibel l'attenuazione per unità di lunghezza può scriversi come:

$$A = \frac{1}{x} \left[-10 \cdot \log \left(\frac{P(x)}{P(0)} \right) \right] \quad (2)$$

Si definisce *angolo di accettazione* φ_a il più grande angolo compreso tra l'asse della fibra e la direzione della radiazione incidente per cui si abbia ancora il fenomeno della riflessione totale all'interno della fibra. Partendo dalla legge di Snell si può dimostrare che vale la seguente relazione:

$$n_0 \sin \varphi_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3)$$

in cui si ponga $n_0 = n_{aria}$, $n_1 \equiv n_{core}$, $n_2 \equiv n_{cladding}$.

La quantità $n_0 \sin \varphi_a$ viene chiamata *apertura numerica* e viene denotata usualmente con la sigla *N.A.*; come mostra la (3) essa può essere dedotta sia dalla conoscenza degli indici di rifrazione del core e del cladding, sia sperimentalmente operando la rilevazione dell'angolo di accettazione, supposto noto l'indice di rifrazione del mezzo in cui è immersa la fibra (solitamente aria, per cui $n_0 \equiv 1$).

Tale misura consiste nel variare la direzione del fascio di luce incidente la fibra fino ad ottenere in uscita dalla stessa un'intensità trascurabile (convenzionalmente fissata al 5% del valore massimo), per il fatto che, in larga misura, la radiazione si trasmette, per rifrazioni successive, al cladding, da questo al *jacket*, fino a disperdersi nel mezzo esterno.

Per completezza, si osserva che sovente l'apertura numerica viene anche espressa tramite l'equazione (per gli indici di rifrazione si è impiegata la stessa notazione già utilizzata in precedenza):

$$N.A. = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (4)$$

dove il parametro Δ è dato da:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \cong \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (5)$$

Si precisa che l'ultima eguaglianza (*approssimazione debolmente guidata*) sussiste solo nel caso in cui $\Delta \ll 1$.

2. Materiale a disposizione

- 1 rotolo di fibra ottica F-MLD-500, caratterizzata dalle seguenti specifiche fornite dal costruttore:
 - attenuazione di: $3,4 \text{ dB/Km}$ per una radiazione di lunghezza d'onda di 850 nm
 - $1,0 \text{ dB/Km}$ per una radiazione di lunghezza d'onda di 1300 nm
 - diametro core: $96,5 \mu\text{m}$
 - diametro cladding: $140 \mu\text{m}$
 - apertura numerica N.A.: $0,282$
- 1 laser He-Ne con supporto per banco ottico con:
 - potenza di: 4 mW
 - lunghezza d'onda predominante di emissione: $\lambda = 633 \text{ nm}$
- 1 ampolla contenente una soluzione di diclorometano (CH_2Cl_2)
- 1 microscopio
- 1 fotodiodo
- 1 digital power meter (rilevatore di intensità luminosa con indicatore digitale) con supporto per banco ottico
- 3 supporti per banco ottico atti al bloccaggio della fibra, di cui uno dotato di piattaforma girevole con goniometro ed uno di collimatore di radiazione luminosa
- 1 fiber cleaver (accessorio in plastica con funzione di tagliafibra)
- alcuni fiber holders (portafibra in rame con lamina di protezione)
- alcune viti in plastica per il fissaggio dei fiber holders

3. Traccia per l'esecuzione dell'esperienza

La prima parte dell'esperienza riguarda la misura dell'attenuazione della fibra ottica da esaminare. A tale scopo si rileva la potenza luminosa in uscita da un lungo tratto di fibra.

Per poter compiere tale misura si devono compiere le seguenti operazioni preliminari sulle due estremità della bobina di fibra a disposizione, la cui lunghezza è annotata sul supporto della bobina stessa:

- si immerge una porzione di fibra lunga una decina di *cm* nell'ampolla contenente diclorometano, facendo attenzione a non toccare il liquido con le dita;
- dopo pochi minuti si preleva la fibra e si sfilava il jacket con estrema semplicità, grazie all'azione del solvente;
- si infilano attraverso il capo della fibra le viti di fissaggio in plastica: questo accorgimento deve essere compiuto prima del taglio della fibra in modo da non danneggiarne la sezione che si ottiene;
- si opera il taglio della fibra adagiandola su un'apposita scanalatura disposta sulla linguetta flessibile del fiber cleaver, fissandola tramite una piccola lama dello stesso strumento precedentemente sollevata per il posizionamento della fibra stessa, infine effettuando un brusco movimento verso il basso sulla linguetta. Tale tecnica prende il nome di *scribe and break* (incidi e spezza);
- si controlla la qualità del taglio tramite il microscopio a disposizione: la sezione deve assolutamente risultare il più possibile ortogonale all'asse della fibra e non deve presentare irregolarità rilevanti. L'essenzialità di tali caratteristiche per il buon esito dell'esperienza può richiedere diverse ripetizioni delle operazioni fin qui descritte finché non si ottiene un taglio

ottimale. Da questo punto in poi è necessario agire con la massima cautela per non danneggiare la parte di cladding privata del rivestimento;

- si posiziona il capo della fibra nell'apposita fessura di un fiber holder e lo si fissa tramite la lamina di protezione, quindi si avvita l'estremo dotato di filettatura di tale portafibra con le viti in plastica, fino ad ottenerne il bloccaggio.

A questo punto si provvede alla collocazione delle due estremità della fibra sugli appositi supporti; quindi all'attivazione del laser e all'accensione del digital power meter. Il primo funge da sorgente di radiazione per il capo della fibra posto sul supporto provvisto di collimatore e ivi fissato serrando delle viti connesse ad un mandrino, il secondo da rilevatore dell'intensità luminosa emergente dall'altra estremità della fibra, sistemata con analoga procedura sul secondo supporto per fibre. Tutto l'apparato può essere osservato nella schematizzazione di figura 2.

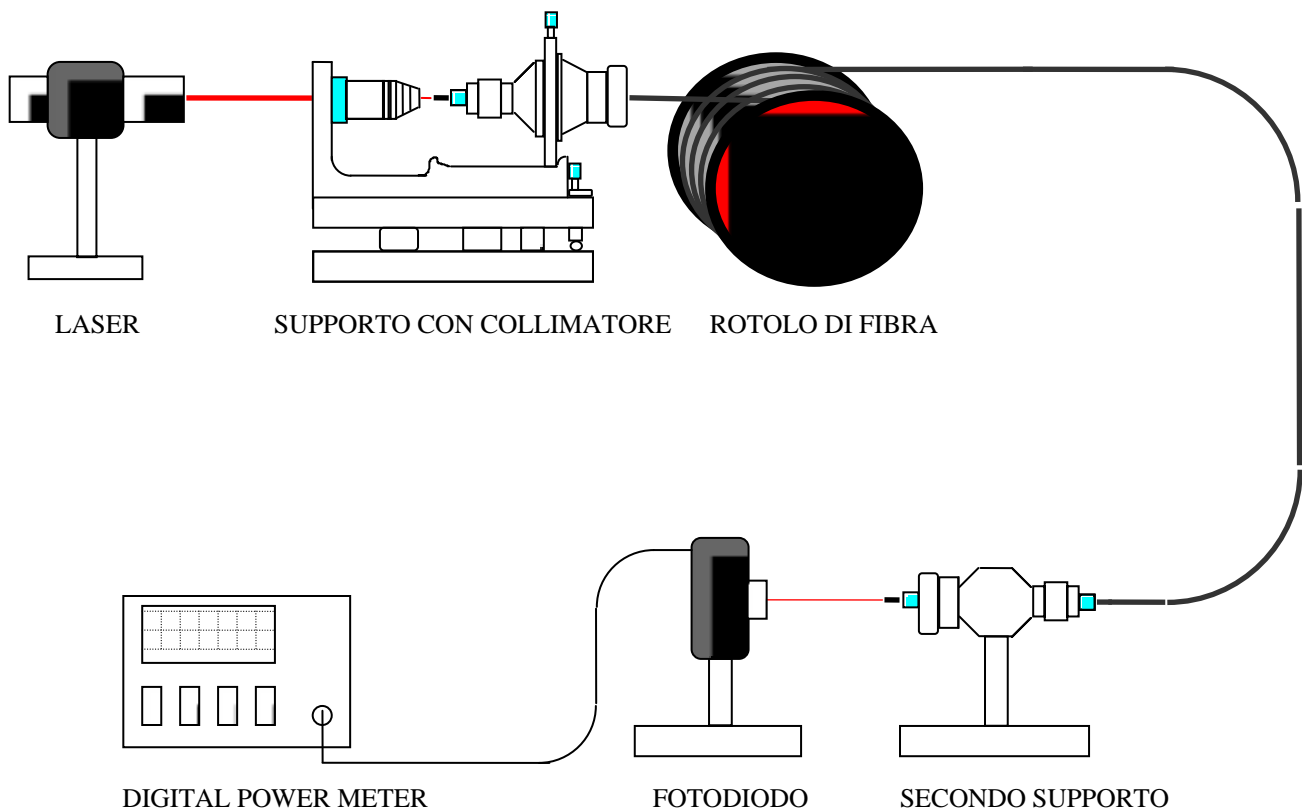


Figura 2. Disposizione degli strumenti per la misura della potenza in uscita da un lungo tratto di fibra ottica.

Successivamente, per mezzo delle viti di regolazione del supporto del laser e di quello atto a sostenere il primo capo del rotolo di fibra, si cerca di effettuare un allineamento tra sorgente e fibra in modo che il fascio laser, dopo essere filtrato attraverso il collimatore, incida perpendicolarmente la sezione della fibra stessa. A questo scopo, dopo un primo allineamento "a vista", è necessario effettuare delle piccole variazioni sulla posizione relativa dei supporti, agendo principalmente sulle viti di regolazione fine, tenendo sotto osservazione il display del digital power meter fino ad ottenere un valore di potenza in uscita più grande possibile.

L'ultima operazione descritta può richiedere dei tempi di esecuzione abbastanza lunghi, dal momento che, a causa delle ridotte dimensioni trasversali della fibra, a piccoli spostamenti possono corrispondere grandi variazioni sull'intensità della radiazione in uscita. Una volta ottenuto il valore di potenza massimo possibile, lo si annota assieme al dato sulla lunghezza della bobina e si procede con l'esperienza.

Il secondo valore di potenza deve essere relativo alla radiazione incidente la fibra. In linea di principio, il valore cercato si potrebbe derivare dal dato sulla potenza del laser, ma una procedura

del genere si rivelerebbe troppo imprecisa, per l'incertezza sulla sezione del pennello laser, sulla sua omogeneità, sulla parte di radiazione riflessa dalla fibra.

Con buona approssimazione, invece, si riconduce tale misura a quella della potenza luminosa in uscita da una fibra di lunghezza molto ridotta.

Pertanto, lasciando invariata la collocazione del primo capo della fibra, si effettua un taglio ad una distanza da quest'ultimo di circa un metro (molto piccola in confronto alla lunghezza dell'intero rotolo), e sull'estremità ottenuta si svolgono le stesse operazioni precedentemente effettuate sui capi della bobina. Occorre prestare molta attenzione a non variare le posizioni del laser e del collimatore e a non danneggiare la parte iniziale della fibra, poiché è essenziale non modificare le condizioni di incidenza rispetto alla prima misura di intensità. Si ricordi altresì di annotare la lunghezza della fibra dopo il taglio, in quanto la bobina verrà nuovamente utilizzata dai successivi sperimentatori.

Si sistema infine l'estremità tagliata al posto del capo del rotolo sul secondo supporto per fibre. Il digital power meter rivelerà in questo modo la potenza luminosa incidente, necessaria per determinare l'attenuazione della fibra ottica per mezzo dell'equazione (2).

La seconda parte dell'esperienza ha come oggetto la misura sperimentale dell'angolo di accettazione φ_a della fibra ottica in esame, da cui far discendere successivamente, tramite la definizione data nella trattazione fisica, il valore dell'apertura numerica $N.A.$.

Lo svolgimento delle operazioni di misura si compie tramite lo stesso apparato utilizzato nella prima parte, fatta eccezione per l'impiego del supporto dotato di piattaforma girevole con goniometro, come si può osservare in figura 3; per quanto riguarda la fibra, si continua a fare uso del tratto da 1 m.

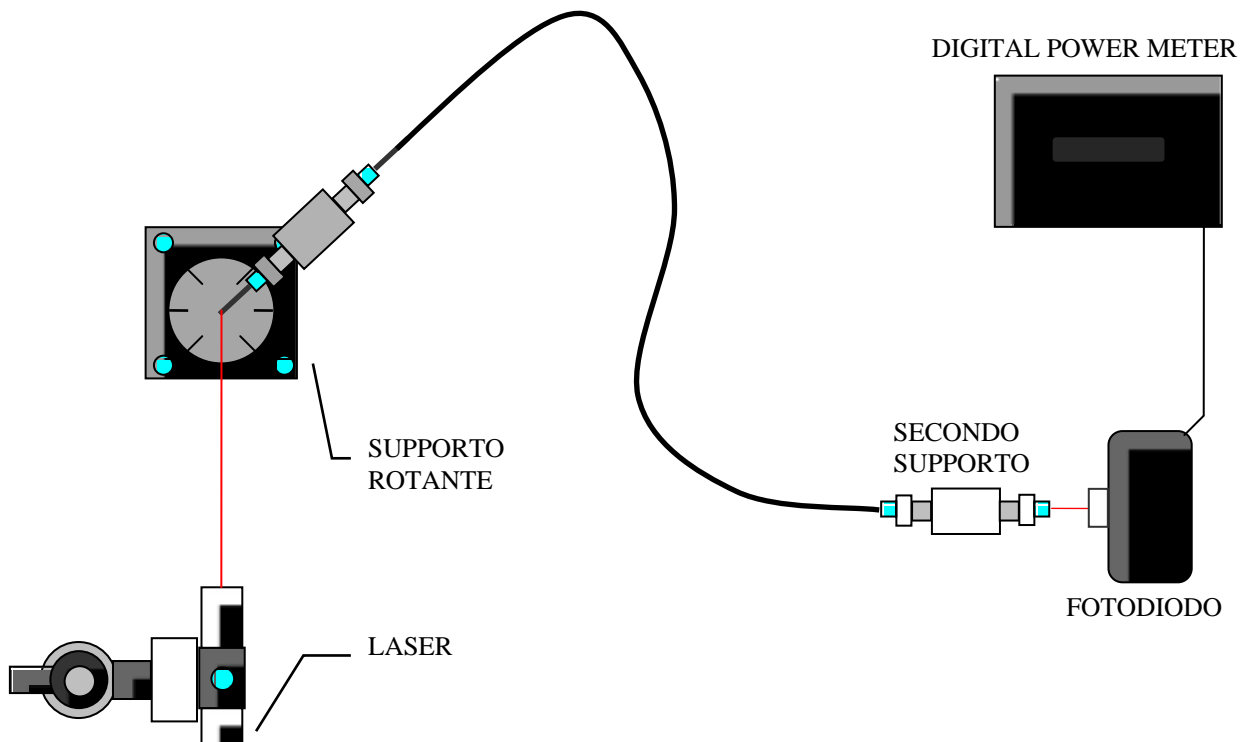


Figura 3. Disposizione degli strumenti per la misura dell'angolo di accettazione (vista dall'alto).

Dopo aver posizionato un estremo della fibra sul supporto rotante e l'altro estremo su un supporto fisso, si agisce sulle viti di regolazione per ottenere un buon allineamento con il fascio laser, quindi si annota il valore individuato dal goniometro e quello visualizzato sul digital power meter per questa posizione di riferimento. Successivamente, muovendo il supporto, si misura la potenza

luminosa in funzione dell'angolo di rotazione. Si osserva che la correttezza delle misure effettuate è strettamente dipendente dalla messa in asse della fibra con il raggio laser, operazione di difficile esecuzione per la diversa conformazione dei relativi supporti e per la limitazione al posizionamento degli stessi, in ragione del fatto che devono essere avvitati nei fori presenti sul banco ottico.

Un altro accorgimento essenziale consiste nel fatto che l'estremità di ingresso della fibra risulti posizionata in corrispondenza del centro del supporto, cioè, in altri termini, essa appartenga all'asse di rotazione della piattaforma; in caso contrario il valore letto sul goniometro non corrisponderebbe all'angolo di incidenza del fascio sulla fibra.

Il fatto che l'andamento della potenza risulti simmetrico rispetto all'angolo di riferimento, è una parziale verifica della correttezza delle operazioni di posizionamento della fibra. In ogni caso, si suggerisce di effettuare più di una serie di misurazioni.

Si osserva infine che, rispetto alla prima parte dell'esperienza, i valori di potenza rilevati risulteranno nettamente inferiori: ciò è conseguenza dell'utilizzo del supporto rotante il quale (per la sua stessa funzione) è privo di collimatore. Per questo motivo può essere necessario provvedere all'oscuramento del fotodiodo dalla luce presente nel laboratorio.

4. Analisi dei dati

Per quanto riguarda la misura di attenuazione, l'incertezza sulla potenza può essere stimata dalle oscillazioni del valore indicato sul display del rilevatore digitale. Per la lunghezza della bobina di fibra, invece, si assuma un'incertezza di almeno un metro sul valore annotato sul supporto, in quanto tale valore è raggiunto in genere dopo una lunga serie di asportazioni di tratti di fibra a partire dai 500 m del rotolo integro e come tale non è suscettibile di verifica.

Una volta trovata la misura di attenuazione della fibra, la si può confrontare con i dati forniti dal costruttore e relativi alla frequenza di emissione del laser He-Ne, se questi sono disponibili.

Per la misura dell'apertura numerica, si stimi l'incertezza sull'angolo di rotazione in base alla scala presente sul goniometro. L'angolo di accettazione, come anticipato nella trattazione fisica, viene calcolato a partire dagli angoli in corrispondenza dei quali la potenza si riduce al 5% del suo valore massimo. Anche in questo caso, è opportuno confrontare il valore trovato per la *N.A.* con quello fornito dal costruttore della fibra.