

Lavorare con guide d'onda cave in silice

Introduzione

Le applicazioni nella regione dell'infrarosso tra 2.9 e 20μ , hanno sofferto della mancanza di un dispositivo affidabile ed economico in grado di guidare la potenza ottica a mezzo di una fibra ottica od altra guida d'onda flessibile. Molti sistemi dipendono ancora dalla comunicazione a vista in linea diretta, con lenti, specchi o ingombranti bracci articolati. Questo può limitare seriamente molte potenziali applicazioni come in spettroscopia e negli interventi chirurgici che devono essere minimamente invasivi, nonché nell'uso dei laser a CO_2 per la lavorazione e l'incisione dei materiali. Le guide d'onda flessibili cave in silice, HSW per Hollow Silica Waveguides (o fibre ottiche cave), offrono una soluzione eccellente in moltissimi casi. Tuttavia è necessario trattare queste guide d'onda con la dovuta accortezza e progettare e pilotare le ottiche di lancio in modo da ottimizzare le loro prestazioni.

Queste guide d'onda cave sono state sviluppate poiché, a causa dell'assorbimento della silice oltre $1,9\mu$, non è possibile impiegare le normali fibre ottiche in silice per operare alle lunghezze d'onda nel medio e profondo infrarosso. Si è sviluppata quindi questa tecnologia con guide d'onda flessibili cave, che invece consente di operare fino a 20μ e particolarmente a $10,6\mu$ per i laser a CO_2 ed a $2,94\mu$ per i laser ad Er:YAG.

Struttura della guida d'onda

Queste guide d'onda consistono in un tubo cavo di silice, dal diametro interno tipicamente compreso tra 300 e 1000μ . La superficie interna del tubo è ricoperta con un primo strato a specchio d'argento seguito da un secondo strato di alogenuro d'argento, in modo da realizzare un efficiente riflettore dielettrico nell'infrarosso. Il riflettore può essere ottimizzato per la regione desiderata dello spettro. Un rivestimento in acrilato è applicato all'esterno del tubo in silice per assicurare una protezione contro l'abrasione meccanica.

Guida d'onda flessibile cava per IR

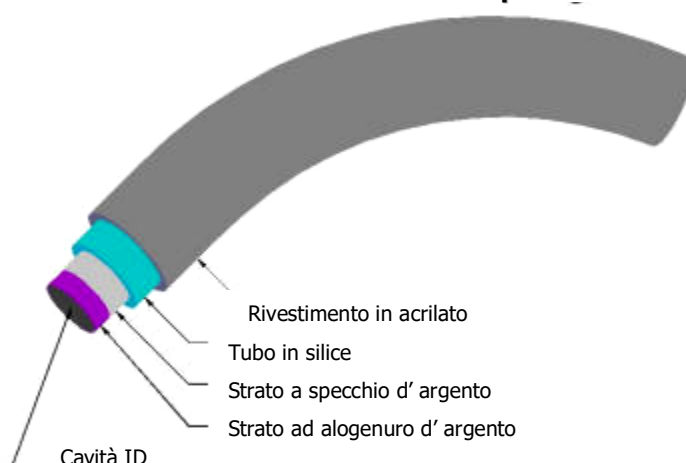


Fig. 1: Struttura di una guida d'onda cava in silice

Maneggio della guida d'onda

Le HSW sono in generale molto più robuste delle fibre ottiche piene. Tuttavia, a causa della struttura cava, le guide d'onda devono essere maneggiate con una certa cura. La guaina esterna in acrilato protegge il tubo capillare durante il normale maneggio, ma non può eliminare lo stress causato da curvature strette o schiacciamenti laterali. A causa della rigidità delle guide d'onda di maggior diametro, esse non devono essere sottoposte a pieghe con raggio di curvatura inferiore a 15cm, 30cm di diametro. Piegature con un raggio inferiore potrebbero causare la rottura del vetro e la distruzione della guida d'onda stessa.



Fig. 2: Guida d'onda cava in uso

Taglio delle guide d'onda

Per terminare le guide d'onda, gli estremi devono essere tagliati in modo da creare una faccia terminale piatta e pulita, da non lucidare. Il processo di taglio è portato a termine usando un apposito utensile diamantato e tagliando attraverso il rivestimento di acrilato in modo da graffiare superficialmente il vetro del tubo.

Con questo utensile si può tagliare direttamente attraverso l'acrilato fino a quando la lama incontra il vetro. Dopo si deve tirare in modo rettilineo e fino al distacco del pezzo terminale, senza piegarlo. E' importante che non ci sia particella alcuna che cada all'interno della guida d'onda perché potrebbe causare della diffrazione e danneggiare la guida. Ogni frammento di rivestimento o vetro lasciato cadere all'interno della cavità potrebbe alterare la propagazione della luce e questo, con laser di potenza elevata, potrebbe causare danni irreparabili alla guida d'onda.

Connettorizzazione delle guide d'onda

Per evitare condizioni di lancio instabili e dei danni potenziali causati da movimenti erratici del fascio in ingresso, sia il laser che la guida d'onda devono essere fissati in modo sicuro durante il lancio. Per la guida d'onda il fissaggio può essere ottenuto in più modi ed uno di questi è costituito dall'impiego di connettori ottici degli standard disponibili come SMA, ST ed FC. Si può anche usare il connettore Polylock™ di tipo smontabile e riutilizzabile. Il connettore deve essere applicato a filo della faccia terminale della guida d'onda.

Condizioni di lancio della luce

Il processo di lancio della luce all'interno di una guida cava è in generale molto simile a quello di lancio dentro una fibra ottica convenzionale, salve alcune differenze di cui si deve tenere conto.

- **Fattore di riempimento (Fill Factor).** Per minimizzare la perdita ottica, il fascio focalizzato d'ingresso deve avere un diametro all'ingresso nella guida d'onda che deve essere attorno al 50% - 65% del diametro della cavità della guida. Quando il fascio risulta ben centrato esso permette una trasmissione nelle migliori condizioni. Questo evita inoltre che il fascio in ingresso colpisca i bordi frontali della guida d'onda, situazione che può creare danni, alle potenze più elevate, in quanto il vetro stesso è fortemente assorbente alle lunghezze d'onda dell'infrarosso.
- **Minimizzare il rapporto Angolo ingresso/NA.** Allo scopo di minimizzare le perdite del lancio attraverso la guida d'onda, si deve mantenere al più basso valore possibile l'apertura numerica del fascio focalizzato. Angoli con valori d'ingresso più elevati hanno minore probabilità di propagarsi lungo la guida, venendo assorbiti e causando dei surriscaldamenti locali, che talvolta possono bruciare la guida d'onda. Pertanto è preferibile avere una NA d'ingresso la minore possibile, in modo da riempire correttamente la cavità della guida d'onda. Lenti con valori di $f > 20$ sono pertanto preferite in queste applicazioni. La tabella che segue fornisce delle prime indicazioni.

Rapporto tra E.F.L. (Effective Focal Length) lunghezza focale effettiva della lente e il diametro della cavità della guida d'onda
(Assumendo il diametro del fascio incidente di ~ 4 mm)

Diametro interno cavità	E.F.L alla lente d'ingresso
1000 μ	6" (150 mm)
750 μ	4.5" (115 mm)
500 μ	3" (75 mm)
300 μ	2" (50 mm)

In sintesi è opportuno utilizzare lenti con una focale relativamente lunga e curare l'**allineamento** del fascio in modo che l'ingresso nella cavità della guida d'onda riduca al massimo le possibilità di urtarne direttamente le pareti interne.

- **Divergenza di uscita.** Teoricamente l'angolo di divergenza del fascio in uscita dalla guida d'onda è uguale a quello d'ingresso. In realtà si verificherà un certo allargamento causato dal mischiarsi dei modi quando la guida d'onda viene piegata, insieme a qualche allargamento causato da microscopiche rugosità o mancanza di uniformità nel rivestimento in alogenuro d'argento interno alla guida d'onda.
- **Materiali delle lenti.** Per le lunghezze d'onda nell'infrarosso, usate con le guide d'onda, bisogna scegliere il materiale adatto per le lenti. Per i sistemi con laser a CO₂, si userà il seleniuro di zinco, ZnSe. Utilizzando materiali diversi, l'utente deve verificare che non si verifichi un assorbimento eccessivo.
- **Tipo di lente.** La configurazione standard usata per il lancio in una guida d'onda è una lente positiva a menisco, con la parte convessa verso il laser.
- **L'allineamento** deve essere raggiunto a bassa potenza. La potenza potrà essere aumentata non appena ottimizzato l'allineamento.

Prestazioni ottiche

Le guide d'onda cave possono trasmettere energia nell'infrarosso alle lunghezze d'onda comprese tra 2,4 e 20 μ e possono essere ottimizzate per lo spettro da 9 a 11 μ tipico dei laser a CO₂ (10.6 μ) ed a 2,9 μ tipico del laser Er:YAG.

Le perdite dipendono principalmente dalle dimensioni delle guide d'onda, dalla loro curvatura e dalla lunghezza d'onda del laser. Le tabelle che seguono forniscono le specifiche del produttore che, per ogni lotto prodotto, garantisce che i valori di perdita siano inferiori o al massimo uguali a quelli specificati. Le perdite sono misurate piegando le guide d'onda a 360°, con un diametro di piegatura di 40cm.

HWCA – Guide d'Onda Cave per CO₂

Codice Prodotto	Diametro Interno (μ)	Perdita per guida diritta (dB/m)	Perdita aggiunta per guida piegata a 360° (dB/m)
HWCA300750	300	2,0	1,5
HWCA500850	500	0,8	1,5
HWCA7501200	750	0,5	1,0
HWCA10001600	1000	0,5	1,0

HWEA – Guide d'Onda Cave per Er:YAG

Codice Prodotto	Diametro Interno (μ)	Perdita per guida diritta (dB/m)	Perdita aggiunta per guida piegata a 360° (dB/m)
HWEA300750	300	2,0	2,0
HWEA500850	500	1,5	2,0
HWEA7501200	750	1,0	1,5
HWEA10001600	1000	1,0	1,5

Le guide d'onda possono trasportare, alla lunghezza d'onda del CO₂ ed a temperatura ambiente, fino a 100W ed oltre 1000W con raffreddamento esterno della guida cava.

Sommario

I vantaggi delle guide d'onda cave, HSW, sono: la loro forza e robustezza, se confrontate con le fibre ottiche piene operanti nel vicino infrarosso, un ampio spettro di operatività da 2,4 a 20 μ , l'elevata capacità di trasporto di energia (>1000W per il CO₂), basse perdite d'inserzione per l'assenza delle perdite di Fresnel, una bassa divergenza del fascio, un basso rapporto peso/ingombro/costo, se confrontato con le soluzioni alternative costituite da sistemi con bracci articolati o con ottiche.

Anche se le guide d'onda hanno delle similarità con le normali fibre ottiche, esistono delle differenze significative che richiedono un diverso maneggio e tecniche operative diverse. Occorre assicurare un impiego ed un maneggio adeguati con un buon allineamento delle guide d'onda. Così facendo si possono garantire ottime caratteristiche di trasmissione per tempi lunghissimi.