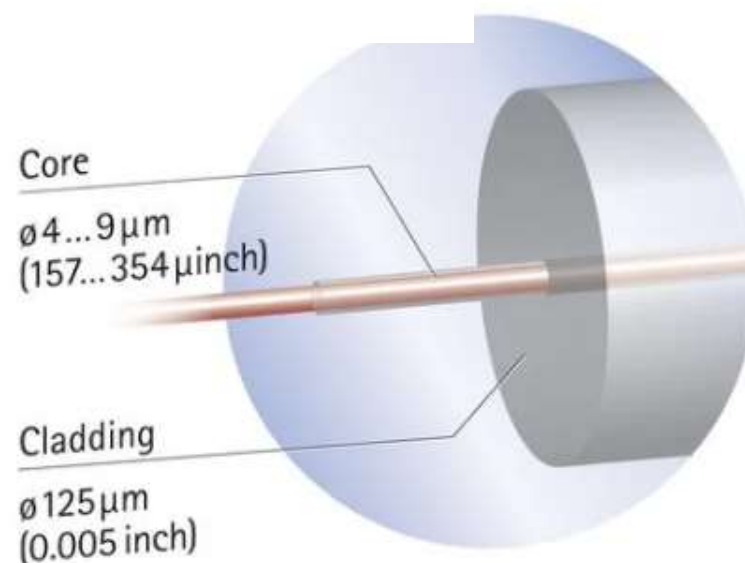


ESTENSIMETRI OTTICI FBG

Sono costituiti da fibre ottiche che contengono al loro interno un reticolo di Bragg o come vengono definite Fiber Bragg Grating (FBG)



FIBRA OTTICA: è simile alla fibra normale utilizzata per le telecomunicazioni, e può essere lunga anche diversi chilometri e avere molti punti di misura distribuiti per la sua lunghezza. La fibra è costituita da due strati: il nucleo centrale e un rivestimento esterno con densità inferiore. La fibra di silice è avvolta in un rivestimento protettivo in plastica.



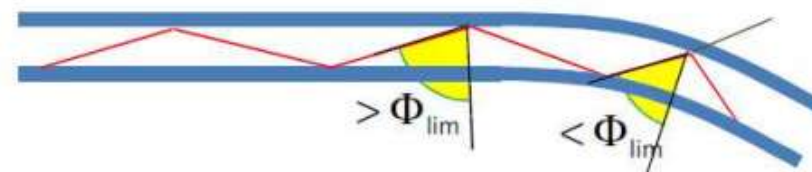
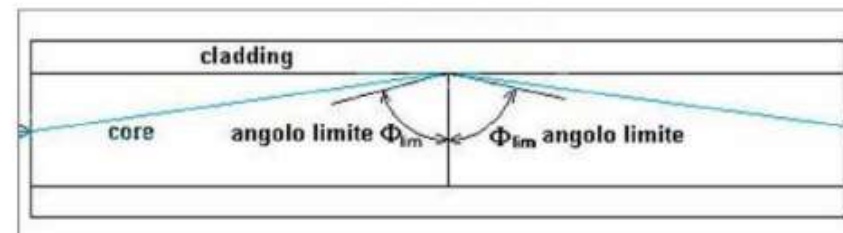
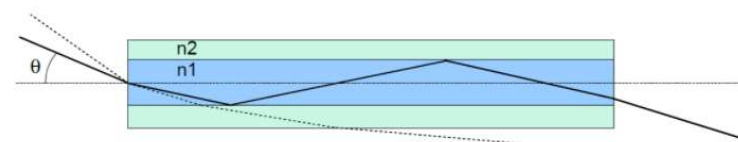
ESTENSIMETRI OTTICI FBG

A causa della discontinuità dell'indice di rifrazione tra i due materiali del nucleo e del rivestimento, nelle fibre ottiche avviene un fenomeno di riflessione. Secondo la legge di Snell, la riflessione è totale, e il raggio luminoso rimane all'interno del nucleo, se l'angolo di incidenza è inferiore a:

$$\Phi_{\text{lim}} = \arcsen \frac{1.475}{1.5} = 79.52^\circ$$

Dove 1,5 è l'indice di rifrazione del nucleo e 1,475 quello del rivestimento.

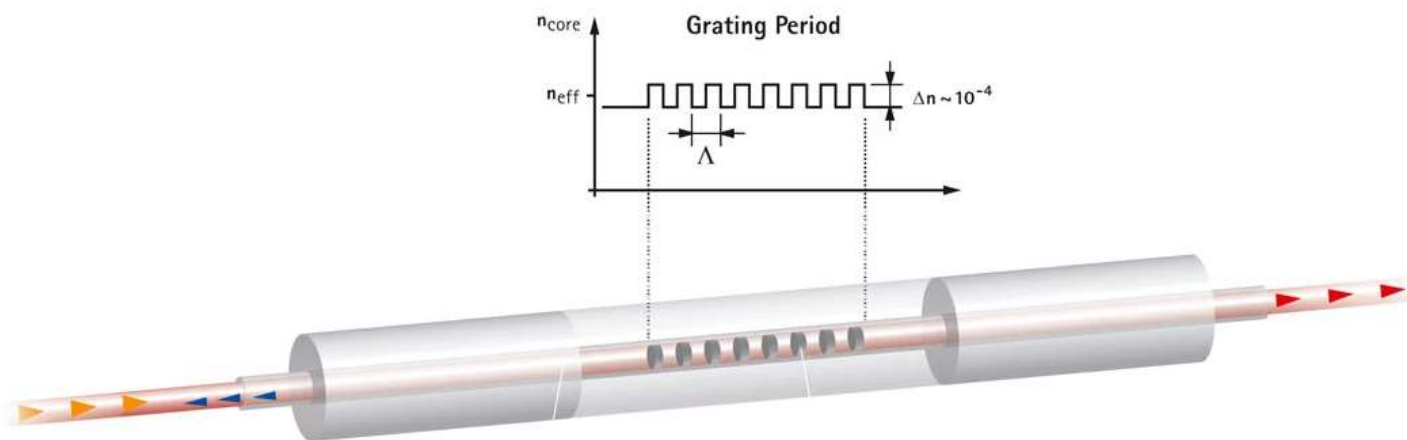
Se la fibra viene curvata, l'angolo di incidenza diminuisce e può diventare minore del valore limite, pregiudicando la trasmissione del segnale luminoso.



ESTENSIMETRI OTTICI FBG

RETICOLO DI BRAGG: la porzione di nucleo che si trasformerà in reticolo, viene dapprima resa fotosensibile tramite un opportuno drogaggio (in genere con atomi di germanio) poi viene esposta ad una figura di interferenza realizzata con luce laser ultravioletta, che provoca una variazione periodica permanente dell'indice di rifrazione. Un processo di "fissaggio" è richiesto per rendere stabile fino a temperature di qualche centinaio di gradi centigradi il reticolo.

Il periodo di questa variazione è circa 0.5 micron. La lunghezza della zona trattata è solitamente di 1 cm e quindi risulta costituita da circa 20000 cambiamenti di indice di rifrazione

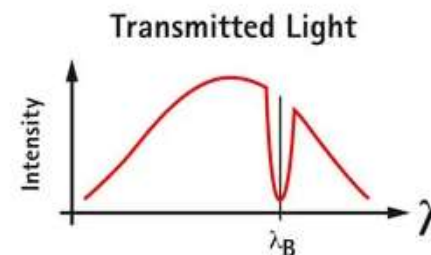
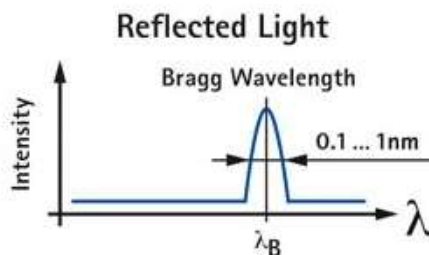
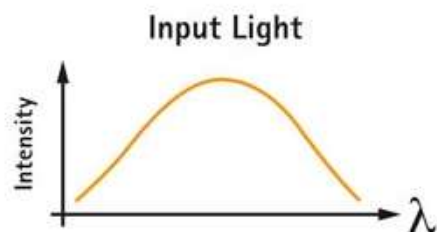


ESTENSIMETRI OTTICI FBG

In corrispondenza di una variazione di indice di rifrazione, si ha una riflessione delle onde. Tutte le componenti riflesse la cui lunghezza d'onda soddisfa la relazione:

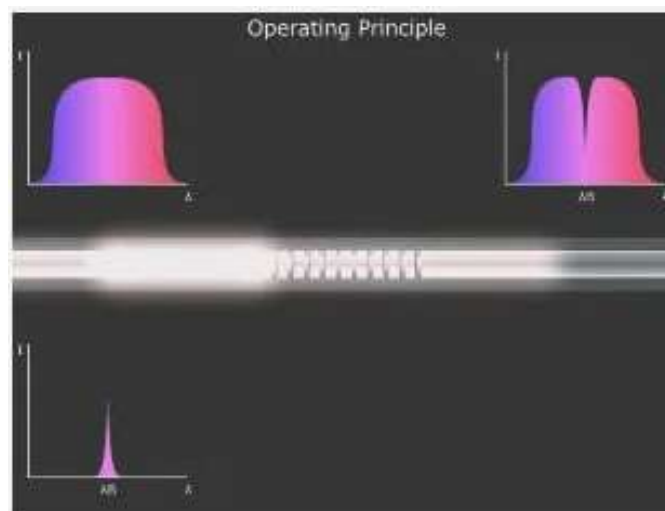
$$\lambda_{\text{Bragg}} = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$$

(dove Λ è il periodo del reticolo e n_{eff} è l'indice di rifrazione del core della fibra ottica per lo specifico modo guidato) si sommano in fase, quindi la luce riflessa dal sensore FBG è caratterizzata da una ben definita lunghezza d'onda che è funzione del periodo reticolare Λ



ESTENSIMETRI OTTICI FBG

- La griglia di Bragg costituisce un pattern di molti punti di riflessione che crea la riflessione di una lunghezza d'onda particolare della luce incidente, agendo come uno specchio selettivo delle lunghezze d'onda
- La lunghezza d'onda di Bragg, tipicamente 1500 nm e 1600 nm viene essenzialmente definita dal periodo della microstruttura e dall'indice di rifrazione del nucleo.
- La griglia di Bragg è perciò un filtro a banda stretta, quando una luce proveniente da una sorgente a banda larga viene introdotta nella fibra ottica, solo quella con una larghezza spettrale molto stretta, centrata sulla lunghezza d'onda di Bragg, viene riflessa indietro dalla griglia. La luce restante continuerà il suo percorso nella fibra ottica fino alla successiva griglia di Bragg senza subire alcuna perdita.



ESTENSIMETRI OTTICI FBG : principi di funzionamento

1. Quando la fibra viene sottoposta a deformazioni, la luce riflessa dal reticolo a fibra di Bragg impiega un tempo maggiore o minore per compiere l'intero percorso di andata e ritorno e da questo tempo si può risalire alla deformazione;
2. Quando la fibra è soggetta a deformazioni positive o negative, la spaziatura tra gli intervalli della FBG cambiano e cambia anche la frequenza dell'onda riflessa.

La dipendenza alla deformazione della fibra a griglia di Bragg si determina derivando la lunghezza d'onda $\lambda_{\text{Bragg}} = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = \frac{\Delta(n_{\text{eff}}\Lambda)}{n_{\text{eff}}\Lambda} = \left(1 + \frac{1}{n_{\text{eff}}} \frac{\partial n_{\text{eff}}}{\partial \varepsilon}\right) \Delta\varepsilon = (1 + p_e) \Delta\varepsilon = \beta_\varepsilon \Delta\varepsilon$$

dove:

β_ε – sensibilità alla deformazione della griglia di Bragg

p_e – costante fotoelastica (variazione dell'indice di rifrazione con tensione assiale)

Il p_e della fibra ottica è: $p_e \approx -0.212$

Ne consegue che la Sensibilità alla deformazione della FBG è data dall'espressione

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\Delta\varepsilon} = \beta_\varepsilon \lambda_B = 0.788 \lambda_B$$

ESTENSIMETRI OTTICI FBG : principi di funzionamento

Si può scrivere:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = k \cdot \varepsilon$$

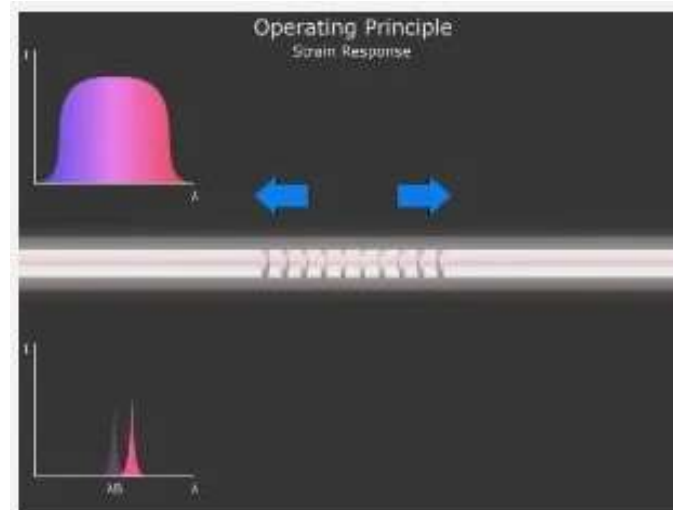
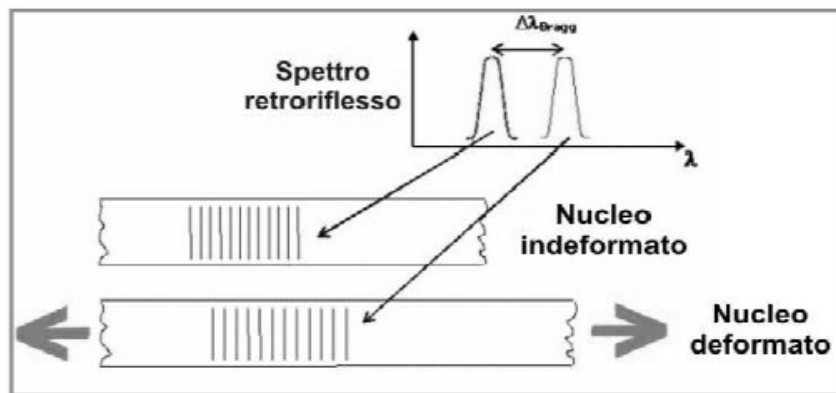
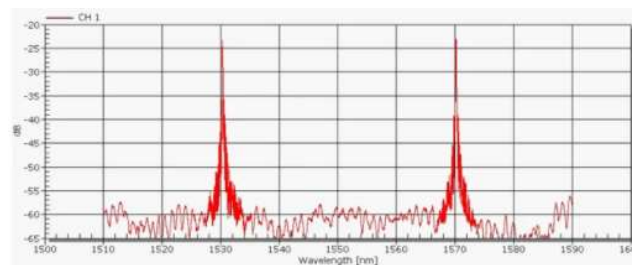
dove:

λ lunghezza d'onda di base del reticolo a fibra di Bragg (lunghezza d'onda all'inizio della misurazione)

$\Delta\lambda$ variazione della lunghezza d'onda con deformazione applicata al reticolo

k fattore k

ε deformazione



ESTENSIMETRI OTTICI: principi di funzionamento

Dipendenza dalla temperatura del reticolo a fibra di Bragg (FBG)

La dipendenza dalla temperatura del reticolo a fibra di Bragg è:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = (\alpha + \zeta)\Delta T$$

dove:

α – coefficiente di espansione termica della fibra

ζ – coefficiente termo-ottico (dipendenza dell'indice di rifrazione sulla temperatura)

$$\Delta\lambda_{Bragg} = k_{\varepsilon} \varepsilon + k_T \Delta T$$

Sostituendo i valori tipici dei coefficienti nella formula del FBG, le variazioni di lunghezza d'onda calcolate per effetto di deformazione e temperatura sono rispettivamente dell'ordine di: 1 pm/ μe e 10 pm/ $^{\circ}\text{C}$

Esistono diverse tecniche di compensazione, tra cui:

- Installare un sensore di temperatura vicino al sensore di deformazione; ciò consente di ottenere una compensazione matematica confrontando i dati e sottraendo l'effetto della temperatura.
- Posizionare due reticoli a fibra di Bragg in una configurazione push-pull in modo tale che quando sono soggetti a deformazione, uno subisca una compressione e l'altro una distensione. Gli effetti della temperatura sono identici per entrambi (es. allungamento), ma l'influenza della sollecitazione meccanica è diversa: per un reticolo FBG la deformazione è "positiva" perché subisce una trazione, mentre per l'altro la deformazione è "negativa" perché subisce una compressione. In questo modo, è possibile effettuare una compensazione matematica.

ESTENSIMETRI OTTICI FBG

I sensori in fibra a reticolo di Bragg hanno uno spessore di strato maggiore rispetto agli estensimetri elettrici. Quando si misura lo sforzo di flessione dei componenti sottili, è presente un errore di misurazione che non deve essere trascurato, ma che può essere facilmente compensato:

$$\varepsilon_{OF} = \frac{0.5h}{0.5h + d} \varepsilon_{Anz}$$

Con

ε_{OF} deformazione sulla superficie del componente

ε_{Anz} deformazione misurata dalla fibra

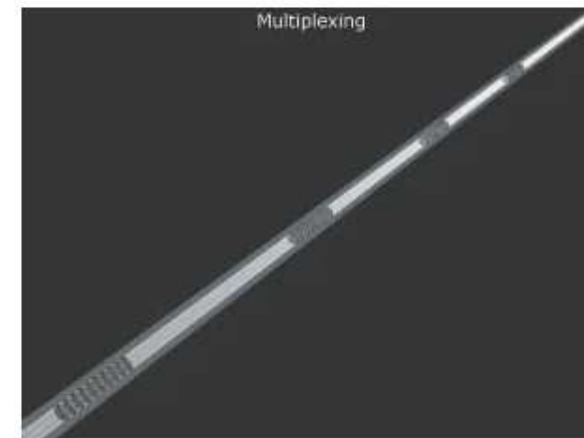
h spessore del componente

d distanza della fibra dalla superficie del componente



ESTENSIMETRI OTTICI FBG

Multiplexing: su una singola fibra ottica si possono inscrivere centinaia di griglie di Bragg, poste a pochi millimetri una dall'altra o separate da alcuni chilometri



Per eseguire le misurazioni, la fibra ottica è collegata ad un interrogatore che invia la luce senza interruzione a diverse lunghezze d'onda, una alla volta, coprendo così un ampio spettro. Questo fenomeno viene definito “laser con sweep”.

La luce si propaga attraverso la fibra, a un certo punto viene riflessa tramite un reticolo a fibra di Bragg e infine torna all'interrogatore.

I diversi periodi dei singoli reticoli FBG consentono di distinguere i segnali provenienti da sensori diversi. La luce rimanente viene rifratta quando raggiunge l'estremità della fibra in modo da non interferire con la misurazione.

Vantaggi ESTENSIMETRI OTTICI FBG

- Bassa perdite (attenuazione) rispetto alla lunghezza della fibra,
- immunità alle interferenze elettromagnetiche e radiofrequenze,
- piccole dimensioni e basso peso,
- sicura operatività a sicurezza intrinseca in ambienti caratterizzati a materiale con pericolo di esplosione,
- elevata sensibilità ed affidabilità a lungo termine i sensori FBG funzionano per anni senza patire le consuete derive dovute all'invecchiamento dei materiali, alla corrosione, all'azione degli agenti atmosferici a cui sono soggetti i sensori elettro-meccanici tradizionali.
- in grado di fornire misure assolute senza la necessita di impiegare i riferimenti.