



OPTICAL SENSING TECHNOLOGIES

Sensori in fibra ottica



Le Fibre Ottiche: generalità

- La fibra ottica è una guida d'onda dielettrica in vetro o polimero, costituita da un *core*, un *cladding* ed almeno un *coating* primario.
- Può essere Singolo Modo (SM) o Multi Modo (MM).
- La propagazione avviene nel *core*; il *coating* serve a garantire protezione meccanica.
- Le dimensioni ridotte della sezione consente di utilizzare la fibra ottica in ambienti difficilmente raggiungibili e inglobata in vari materiali.
- La bassa attenuazione (tipicamente $< 0,2$ dB/km) consente di effettuare collegamenti a grande distanza.
- Tutte queste caratteristiche possono essere efficacemente utilizzate per applicazioni di “*sensing*”

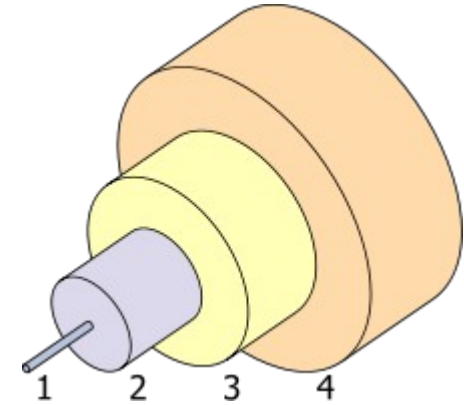


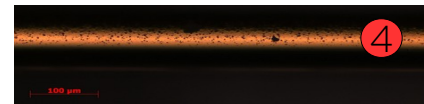
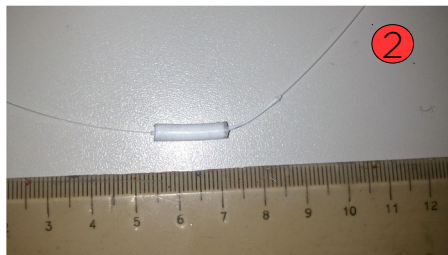
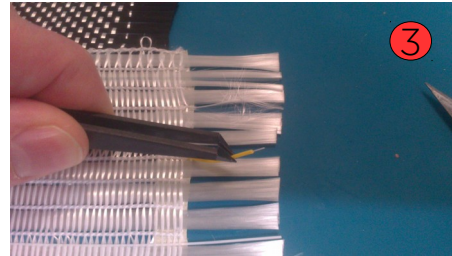
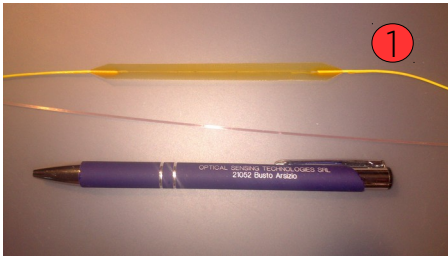
Diagramma di fibra ottica Singolo Modo (SM): [by Bob Mellish, licensed as GFDL-en]
1. Core $8 \mu\text{m}$
2. Cladding $125 \mu\text{m}$
3. Buffer $250 \mu\text{m}$
4. Jacket $400 \mu\text{m}$

Sensori in fibra ottica: principali *benefits*

- Bassa invasività e possibilità di inglobamento in materiale ospite
- Immunità ai disturbi elettromagnetici
- Compatibilità con ambienti AtEx
- Materiale chimicamente inerte ed estremamente stabile
- Tempo di vita molto lungo
- Ampio range di temperatura di esercizio
- Elevata sensibilità e dinamica di misura
- Possibilità di multiplexing

Esempi di rivestimento della fibra ottica

L'utilizzo del rivestimento più opportuno consente di utilizzare la fibra ottica per molteplici applicazioni di *sensing*



- 1) nastro e bacchetta in composito
- 2) rivestimento in silicone per uso medicale
- 3) fibra in ordito di tessuto tecnico
- 4) fibra metallizzata saldabile
- 5) sensore per montaggio a muro

Parametri misurabili

- Deformazione
- Temperatura
- Pressione
- Vibrazione
- Spostamento
- Umidità
- Concentrazione

Utilizzando diverse caratteristiche della luce come lunghezza d'onda, intensità, fase o stato di polarizzazione è possibile ottenere informazioni sulle grandezze fisiche che insistono direttamente o indirettamente sulla fibra ottica o che caratterizzano l'ambiente circostante.

È possibile ad esempio misurare direttamente mediante una fibra ottica lo stato di deformazione di una struttura cui la fibra è vincolata, oppure correlare alcuni tipi di misure all'indice di rifrazione del mezzo in cui una fibra ottica è immersa, che può essere influenzato dalla concentrazione di sostanze chimiche, dall'umidità o altro.

Diversi sensori posti sulla stessa fibra ottica permettono di misurare **parametri diversi con lo stesso sistema**

Tipologie di sensori in fibra ottica

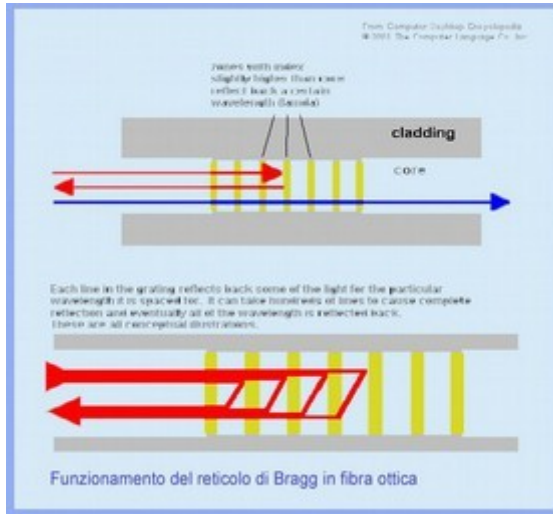
Esistono diverse tipologie di sensori in fibra ottica, che si adattano ad ambienti ed esigenze di misura differenti.

Alcuni esempi:

- Sensori FBG (Fiber Bragg Grating) e LPG (Long Period Grating) --> misura puntuale o quasi-distribuita con molti punti di misura sulla stessa fibra
- Sensori basati su fenomeni di scattering (Reyleigh, Brillouin o Raman) --> misura distribuita su tutta la lunghezza di fibra (km)
- Sensori interferometrici --> misura integrale lungo uno o più tratti di fibra ottica (da mm a decine di metri)

FBG: principio di misura

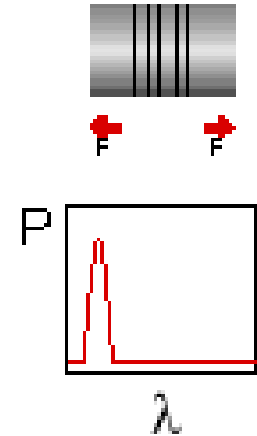
FBG sta per Fiber Bragg Grating, ovvero Reticolo di Bragg in Fibra ottica.



Il Reticolo di Bragg consiste in una variazione periodica dell'indice di rifrazione del core della fibra ottica, che determina la riflessione della luce guidata ad una specifica lunghezza d'onda - detta lunghezza d'onda di Bragg λ_{Bragg} - che dipende dalla dimensione del passo reticolare Λ secondo la relazione:

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

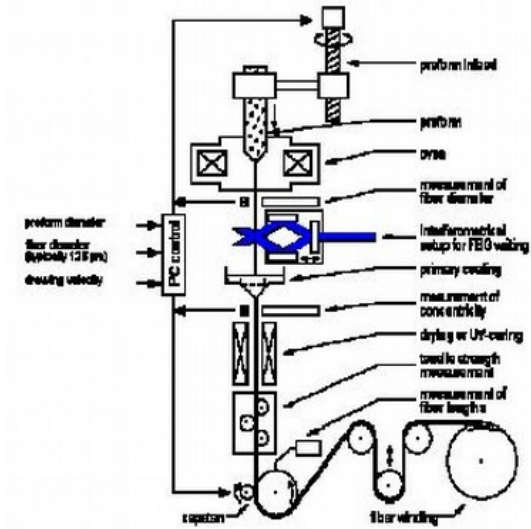
dove n_{eff} è l'indice di rifrazione della fibra ottica



Una deformazione o variazione di temperatura della fibra ottica è misurabile come variazione della lunghezza d'onda riflessa.

FBG: caratteristiche principali

- Grandezza ottica misurata: lunghezza d'onda
 - Risoluzione di misura tipica: 1 pm (corrispondente a ~ **1 $\mu\epsilon$ di deformazione o 0.1 °C di temperatura**)
 - Lunghezza tipica FBG: 1 - 15 mm
 - Reflettività: 1 - 95 %
 - Numero di punti di misura sulla stessa fibra: **da 1 a > 40**
 - Caratteristiche Termo-Meccaniche:
 - **Resistenza di lungo termine all'esposizione alle alte temperature:** 4% di riduzione di riflettività dopo 100 giorni @ T=200°C [*], **6% dopo 1000 giorni**
 - **Resistenza alla deformazione:** 1,5-2 kg di carico di rottura tipico per fibre *recoated*, corrispondenti ad un allungamento max di circa 2%; > 5 kg o **6% di allungamento** per DTG (draw tower gratings)
 - **Durata in condizioni di carico per lungo termine:** **20 anni** per un allungamento indotto da sforzo dello 0.2%
- [*] solo per fibre con rivestimento per alte temperature



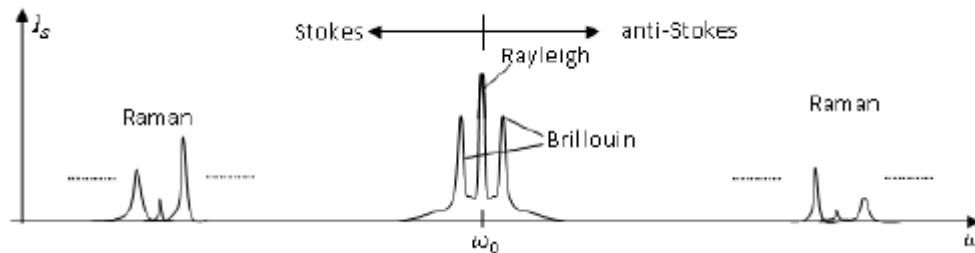
Schema del processo produttivo dei DTG, sensori FBG ad alta resistenza iscritti nella fibra ottica durante il processo di filatura, prima della deposizione del coating.

[cortesia di FBGS International]

Sensori distribuiti

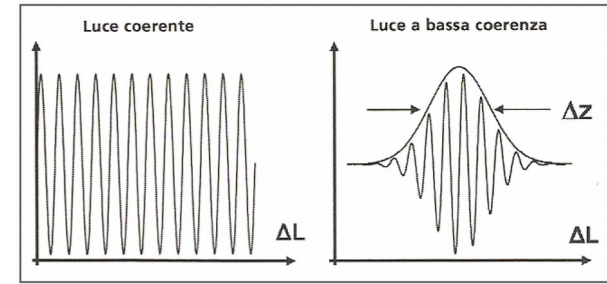
Diversi fenomeni fisici di scattering (Rayleigh, Brillouin, Raman) possono essere utilizzati per rilevare parametri diversi in maniera distribuita lungo la fibra ottica, con base di misura fino a diversi km e risoluzione spaziali anche molto elevata (dipende dalla tecnica di misura).

Sono adatti per misure di temperatura, deformazione o vibrazioni.



Sensori interferometrici

- Si possono usare tecniche interferometriche ad alta o a bassa coerenza, in funzione delle caratteristiche spettrali della sorgente ottica
- Generalmente con l'interferometria si misura una "variazione di cammino ottico" rilevando una variazione di fase del segnale rispetto ad un riferimento: **se si utilizza una fibra ottica per misurare per esempio una deformazione, la variazione di cammino ottico è proporzionale all'allungamento fisico del sensore**
- Questa tecnica di misura consente sensibilità estremamente elevate, con misure "sotto-frangia" ovvero relative ad una variazione di lunghezza del cammino ottico inferiore alla lunghezza d'onda ma con dinamica limitata, oppure con risoluzione dell'ordine della lunghezza d'onda ma con dinamica molto estesa: **per lunghezza del sensore dell'ordine dei metri ad esempio, una misura sotto-frangia consente di rilevare variazioni inferiori al micron con risoluzione di nanometri**, mentre con opportune tecniche di misura si possono misurare **allungamenti dell'ordine dei cm con risoluzione micrometrica** (la fibra sopporta una elongazione di circa il 5% prima della rottura)
- L'interferometria ad alta coerenza permette di fare solo misure relative (spegnendo il sistema, si perde il riferimento), mentre l'interferometria a bassa coerenza permette di realizzare misure "assolute"



Conclusione

