

Fibra Ottica e Riflessione totale

Dell'Orto Francesco

2 luglio 2026

Sommario

In questo documento viene descritto il funzionamento della fibra ottica e il principio fisico della riflessione totale interna. L'elaborato è stato realizzato tramite $\text{\LaTeX}$.

Indice

1	Introduzione	2
2	La struttura del cavo e i suoi componenti	2
2.1	Tabella riassuntiva dei componenti	3
3	Il principio della riflessione totale interna	3
3.1	La condizione fondamentale	3
3.2	La legge di Snell	4
3.3	Angolo limite e riflessione totale	4
4	Vantaggi e applicazioni della fibra ottica	4
5	Conclusione	5

1 Introduzione

Oggi giorno scambiare dati in modo sicuro e rapido è fondamentale. Per moltissimo tempo abbiamo usato i vecchi cavi in rame, che però fanno fatica a stare dietro alla grande quantità di dati che dobbiamo trasmettere e possono subire interferenze elettromagnetiche.

La svolta tecnologica sono i cavi in **fibra ottica**. A differenza del rame, che trasporta impulsi elettrici, la fibra ottica trasporta segnali luminosi all'interno di sottilissimi filamenti di vetro purissimo, spessi quanto un **capello umano**.

Questo permette di trasferire grandissime quantità di dati da una parte all'altra del pianeta in pochissimi *millisecondi*.

2 La struttura del cavo e i suoi componenti

Per riuscire a capire come fa l'impulso luminoso a viaggiare senza uscire dal cavo dobbiamo guardare come è fatto dentro. Un filamento di fibra ottica è composto da **quattro** strati concentrici, ognuno con una funzione specifica.

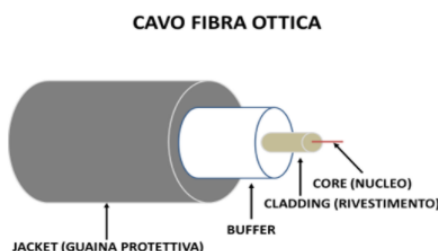


Figura 1: Componenti di un cavo in fibra ottica.

Guardando l'immagine (Figura 1) possiamo spiegare la funzione dei vari componenti partendo dall'interno verso l'esterno:

- **Core (Nucleo):** È il filo centrale in vetro purissimo. È la parte in cui viaggiano gli impulsi luminosi del laser.
- **Cladding (Rivestimento):** È lo strato di vetro che avvolge il nucleo. Ha una composizione chimica leggermente diversa che riflette la luce e la lascia intrappolata nel core.
- **Buffer (Rivestimento intermedio):** È uno strato di plastica flessibile. Non serve per la trasmissione della luce, ma ha un compito meccanico: proteggere il vetro interno da urti e rotture.

- **Jacket (guaina protettiva):** È l'involucro esterno, robusto e spesso. Serve a proteggere tutto il cavo da umidità, usura e schiacciamento quando viene posato sotto terra o nei fondali marini.

2.1 Tabella riassuntiva dei componenti

Componente	Materiale	Funzione principale
Core	Silice purissima	Trasporto del segnale luminoso
Cladding	Silice drogata	Trattiene la luce nel nucleo applicando la riflessione totale.
Buffer	Plastica morbida	Protezione del vetro da urti
Jacket	Polimeri robusti	Isolamento totale dagli agenti esterni.

3 Il principio della riflessione totale interna

Il principio che è alla base del funzionamento della fibra ottica è la **riflessione totale interna** (che possiamo osservare nella figura 2). Questo fenomeno permette alla luce di

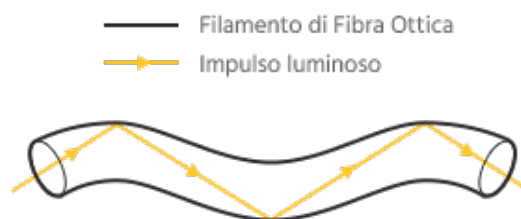


Figura 2: Riflessione totale interna nella fibra ottica.

riflettersi più volte all'interno del core, senza poter uscire facilmente dal cavo.

3.1 La condizione fondamentale

Per fare in modo che la riflessione totale possa avvenire, il *core* deve avere un indice di rifrazione maggiore rispetto al *cladding*. Questa condizione possiamo esprimerla come:

$$n_1 > n_2$$

dove:

- n_1 è l'indice di rifrazione del **core**.
- n_2 è l'indice di rifrazione del **cladding**.

Questa differenza fa sì che la luce quando arriva al confine tra il core e il cladding (*superficie di separazione*), si rifletta verso l'interno invece di disperdersi all'esterno.

3.2 La legge di Snell

Il comportamento della luce quando passa da un materiale all'altro è espresso dalla **Legge di Snell**:

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

Dove:

- θ_1 è l'angolo di incidenza: l'angolo con cui il raggio luminoso arriva sulla *superficie di separazione*.
- θ_2 è l'angolo di rifrazione: l'angolo con cui il raggio proseguirebbe nel *cladding*.

Gli angoli vengono misurati rispetto alla **normale**, una linea immaginaria perpendicolare alla superficie di separazione.

3.3 Angolo limite e riflessione totale

Quindi, come abbiamo visto, grazie alla legge di Snell, se abbiamo $n_1 > n_2$, esiste un angolo di incidenza per cui l'angolo di rifrazione diventa **90°**. Quindi il raggio, invece di entrare nel cladding esce *radente* lungo la superficie di separazione. Questo angolo di incidenza prende il nome di **angolo limite** (θ_c).

Dalla legge di Snell, sostituendo $\theta_2 = 90^\circ$ (quindi $\sin \theta_2 = 1$) possiamo ricavare:

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Se l'angolo di incidenza è **maggiore** dell'angolo limite ($\theta_1 > \theta_c$), la luce non può più passare nel rivestimento (cladding) e viene completamente riflessa all'interno del nucleo (core): questo è il fenomeno della **riflessione totale**.

4 Vantaggi e applicazioni della fibra ottica

Grazie alle sue caratteristiche, la fibra ottica è diventata una delle colonne portanti della tecnologia moderna. Sebbene sia famosa per le reti Internet ad alta velocità e i cavi sottomarini, il suo utilizzo si estende ben oltre le telecomunicazioni.

Rispetto ai tradizionali cavi in rame, la fibra ottica offre diversi vantaggi:

1. **Velocità elevatissime:** permette di trasmettere enormi quantità di dati in tempi *brevissimi* (fino a diversi gigabit al secondo nelle reti moderne e anche oltre in ambito sperimentale).
2. **Immunità alle interferenze:** non conducendo elettricità, è completamente immune ai campi magnetici e ai disturbi elettromagnetici esterni.
3. **Lunghe distanze:** il segnale luminoso subisce un'attenuazione minima, questo lo rende in grado di percorrere molti chilometri senza bisogno di ripetitori.
4. **Sicurezza:** è estremamente difficile intercettare il segnale luminoso senza interrompere fisicamente la trasmissione.

Questi vantaggi rendono la fibra indispensabile non solo per collegare data center o continenti, ma anche in altri campi. Ad esempio in **medicina** viene utilizzata negli endoscopi per illuminare e visualizzare l'interno del corpo umano sfruttando **la riflessione totale**; in **sensoristica**, invece, viene impiegata per misurare con precisione parametri come temperatura e pressione in ambienti ostili o difficili da raggiungere.

5 Conclusione

Concludendo, la fibra ottica è un'invenzione che ha cambiato il modo in cui comunichiamo e trasmettiamo i dati. Grazie a un semplice principio fisico, *la riflessione totale interna*, la luce riesce a viaggiare per chilometri all'interno di un sottile filo di vetro. Questo permette di trasmettere enormi quantità di dati in pochissimo tempo, dalla classica ricerca su internet alle videochiamate tra continenti.