

# Fibra ottica

github.com/asdrubalini

September 28, 2021

## 1 Teoria

### 1.1 Utilizzo

La fibra ottica è un mezzo vetroso che convoglia un raggio luminoso al suo interno. Il raggio può essere trasmesso solo se il materiale di cui è composto la fibra ha delle caratteristiche tali da risultare in una riflessione totale.

### 1.2 Legge di Snell

Esiste una relazione tra l'angolo di incidenza, l'angolo con cui viene rifratto il raggio nel secondo mezzo e gli indici di rifrazione dei due mezzi. La relazione è descritta dalla legge di Snell:

$$\frac{\sin(\phi_i)}{\sin(\phi_r)} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Dalla formula si capisce che, aumentando l'angolo di incidenza, aumenta anche quello di rifrazione. Quando l'angolo di rifrazione raggiunge i 90 gradi, il segnale viene riflesso completamente. L'angolo di incidenza necessario per questa evenienza si chiama angolo limite  $\phi_L$  e si trova con la formula inversa della legge di Snell:

$$\sin(\phi_L) = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

### 1.3 Apertura numerica

L'apertura numerica è un parametro che caratterizza l'accoppiamento della fibra con la sorgente di radiazione.

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

## 1.4 Angolo di accettazione

Il segnale deve entrare nella fibra con un certo angolo, definito angolo di accettazione. L'angolo di accettazione si può ricavare dall'apertura numerica:

$$\phi M = \arcsin(NA) \quad (4)$$

## 1.5 Modi di propagazione

Dati i parametri della fibra, possono esistere diversi raggi luminosi che la attraversano con percorsi diversi, distanze diverse e tempi diversi. Il numero di questi raggi è definito come modi di propagazione e si calcola con la seguente equazione:

$$M = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi \cdot d \cdot NA}{\lambda} \right)^2 \quad (5)$$

## 1.6 Lunghezza d'onda di taglio di una fibra monomodale

Una fibra monomodale ha un solo modo che può essere propagato. Esiste una relazione tra il diametro del nucleo, l'apertura numerica e la lunghezza d'onda limite o critica  $\lambda_c$ .

$$d = 0.76 \frac{\lambda_c}{NA} \quad [m] \quad (6)$$

## 1.7 Banda di una fibra

La banda di una fibra si può calcolare sapendo la banda modale  $B_m$  e la banda cromatica  $B_c$ .

$$B = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{B_m^2} + \frac{1}{B_c^2}}} \quad [MHz] \quad (7)$$

Banda modale:

La dispersione modale è nulla per le fibre monomodali

$$\Delta t m_o = 3333 \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot (n_1 - n_2) \quad \left[ \frac{ns}{km} \right] \quad (8)$$

$$B m_0 = \frac{0.44 \cdot 10^3}{\Delta t m_0} \quad [MHz \cdot km] \quad (9)$$

$$B m = \frac{B m_0}{l^{0.85}} \quad [MHz] \quad (10)$$

Banda cromatica:

$$\Delta t c_o = \mu \cdot \Delta \lambda \quad \left[ \frac{ps}{km} \right] \quad (11)$$

$$Bc_0 = \frac{0.44 \cdot 10^6}{\Delta tc_0} \quad [MHz \cdot km] \quad (12)$$

$$Bc = \frac{Bc_0}{l} \quad [MHz] \quad (13)$$

## 1.8 Scarto relativo degli indici di rifrazione

$$S = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2} \cdot 100 \quad (14)$$

## 1.9 Perdite intrinseche ed estrinseche

Le perdite intrinseche di una fibra sono quelle che dipendono dalla tecnologia, mentre quelle estrinseche dipendono da difetti di produzione.

Intrinseche, per scattering:

$$P = \frac{0.85}{\lambda^4} \quad (15)$$

Estrinseche:

Tronchi con diametro diverso:

$$A_d = 20 \cdot \log\left(\frac{d_s}{d_r}\right) \quad [dB] \quad (16)$$

Tronchi con apertura numerica diversa:

$$A_N A = 20 \cdot \log\left(\frac{NA_s}{NA_r}\right) \quad [dB] \quad (17)$$

Tronchi con indice di rifrazione diversi:

$$\tau = \frac{4}{2 + \frac{n_1 s}{n_1 r} + \frac{n_1 r}{n_1 s}} \quad (18)$$

$$A_N = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad [dB] \quad (19)$$