

RICHIAMI DI OTTICA



*Per comprendere come un segnale luminoso possa venire trasmesso attraverso una fibra ottica è necessario ricordare alcune essenziali nozioni di **Fisica** sulla propagazione della luce ed, in particolare, le leggi di **Snell**.*



*La luce si propaga nel **vuoto** alla velocità costante di:*

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

In qualunque altro mezzo trasparente, la velocità della luce è sempre di poco inferiore a questo valore.

*Nell'**acqua** è di circa:*

$$v = 2,25 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

*nel **vetro**, invece, è di circa:*

$$v = 2 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

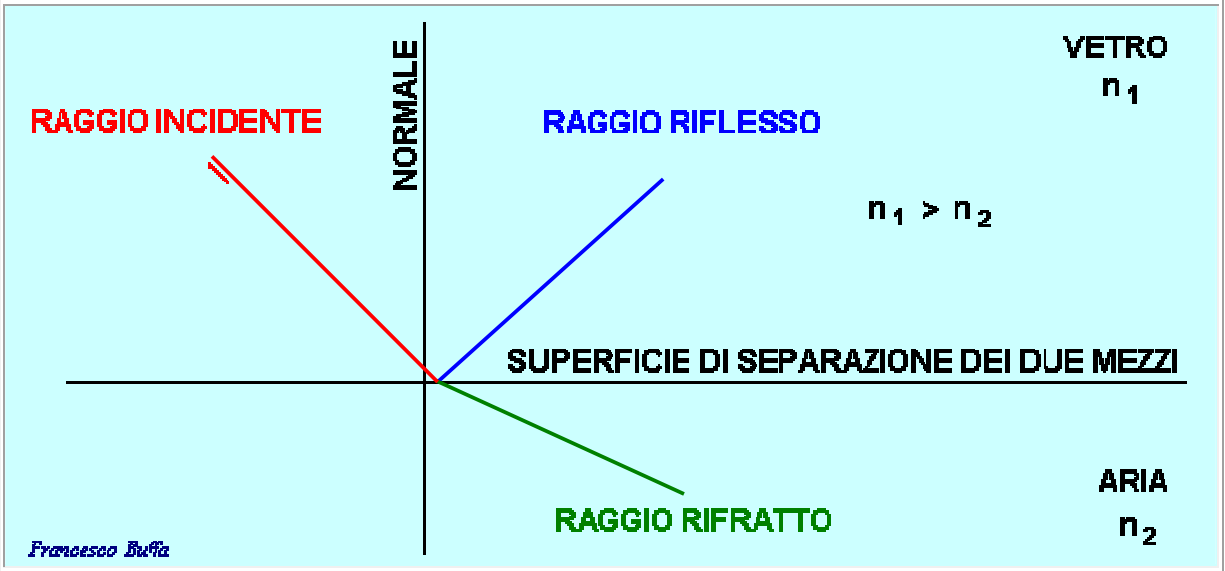
*La parola "**circa**" è dovuta al fatto che questa velocità varia, anche se di poco, al variare dei componenti chimici costitutivi del vetro che, come è noto, è un miscuglio amorfo di **silice** ($\text{SiO}_2 = \text{biossido di silicio}$) e di altri additivi.*

*Si definisce **indice di rifrazione n** il rapporto fra la velocità della luce nel vuoto **c** e la velocità della luce **v** in un altro mezzo.*

$$n = \frac{c}{v}$$

*Esistono quindi tanti indici di rifrazione **n** quanti sono i mezzi trasparenti.*

*Un raggio luminoso, che si propaga in un mezzo trasparente, ad esempio il **vetro**, con indice di rifrazione **n₁** ed incontra un altro mezzo pure trasparente, con indice di rifrazione **n₂** diverso, ad esempio minore, come l'**aria**, viene in parte **riflesso** ed in parte **rifratto** come indicato in figura.*



La prima legge di **Snell** riguarda la riflessione e dice che **il raggio incidente ed il raggio riflesso formano lo stesso angolo con la normale** cioè, in formula, con riferimento alla figura di sopra:

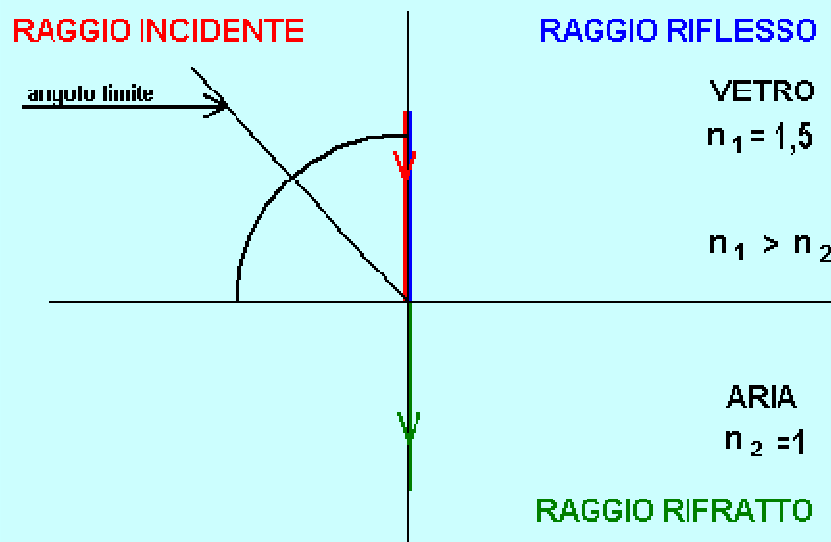
$$\Phi_1 = \Phi_3$$

La seconda legge di **Snell** invece riguarda il fenomeno della rifrazione e **lega gli angoli incidente e riflesso con gli indici di rifrazione, secondo la formula:**

$$\frac{\text{sen}\Phi_1}{\text{sen}\Phi_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Poiché $n_1 > n_2$, di conseguenza, $\Phi_2 > \Phi_1$, ma $\text{sen}\Phi_2$, può assumere al massimo il valore di **1**, cui corrisponde un angolo di rifrazione di **90°**, cioè praticamente l'assenza di rifrazione.

Si deduce, come conseguenza che, al crescere dell'angolo di incidenza, anche l'angolo di rifrazione cresce, ma più rapidamente, fino a che, quando il primo raggiunge il valore detto **angolo limite**, il secondo raggiunge il valore di 90°, **non dando più luogo a rifrazione**, come indicato dalla seguente animazione.



Francesco Buffa

SU QUESTO PRINCIPIO SI BASA IL FUNZIONAMENTO DELLE FIBRE OTTICHE

Un raggio luminoso, dunque, viene immesso ad un estremo della fibra ottica, facendo

in modo che l'angolo di incidenza fra il **core** ed il **cladding** sia superiore al **valore limite**, pertanto non vi sarà mai rifrazione, ma solo riflessione ed il segnale si propaga per riflessioni successive sino all'altro estremo.

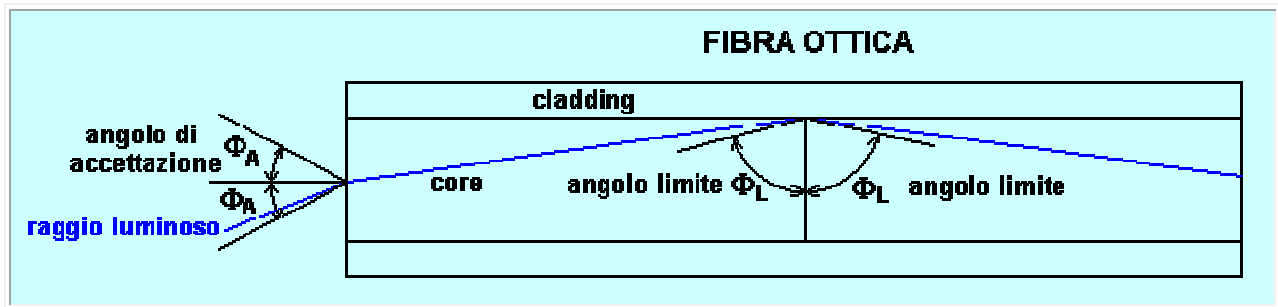
L'angolo limite si ha dunque in corrispondenza di $\text{sen}\Phi_2 = 1$ e quindi il suo valore è dato da:

$$\text{sen}\Phi_L = \frac{n_2}{n_1}$$

se, ad esempio si scelgono due fibre ottiche con indici: $n_1=1,47$ e $n_2=1,46$, si ricava:

$$\Phi_L = \arcsen \frac{n_2}{n_1} = \arcsen \frac{1,46}{1,47} = 83,3^\circ$$

Si definisce dunque **angolo di accettazione** l'angolo massimo entro cui deve essere immesso il raggio ottico all'interno della fibra in modo che sia garantita la propagazione per riflessioni interne senza rifrazione esterna verso il cladding.

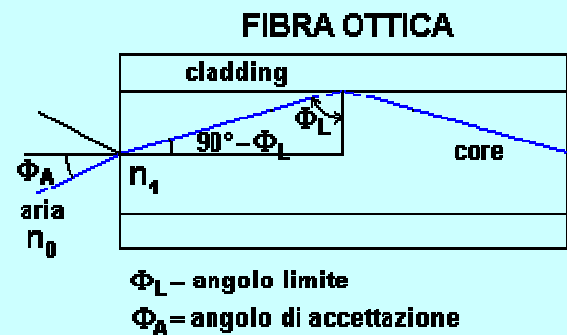


Anche l'angolo di accettazione può essere espresso in funzione degli indici di rifrazione del **core** e del **cladding**. Applicando la 2° legge di Snell alla immissione del raggio luminoso dall'aria, con indice $n_0 = 1$, al **core** con indice n_1 si ha:

$$\frac{\text{sen}\Phi_A}{\text{sen}(90^\circ - \Phi_L)} = \frac{n_1}{n_0}$$

ovvero:

$$\text{sen}\Phi_A = \frac{n_1}{n_0} \text{sen}(90^\circ - \Phi_L)$$



Ma poiché è:

$$\text{sen}(90^\circ - \Phi_L) = \cos\Phi_L = \sqrt{1 - \text{sen}^2\Phi_L} = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}$$

ed anche:

$$n_0 = 1$$

si ricava, semplificando:

$$\text{sen}\Phi_A = \frac{n_1}{n_0} \text{sen}(90^\circ - \Phi_L) = \frac{n_1}{n_0} \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

ovvero:

$$\Phi_A = \arcsen \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Nel caso pratico dell'esempio di sopra si ottiene:

$$\Phi_A = \arcsen \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \arcsen \sqrt{1,47^2 - 1,46^2} = 9,8^\circ$$