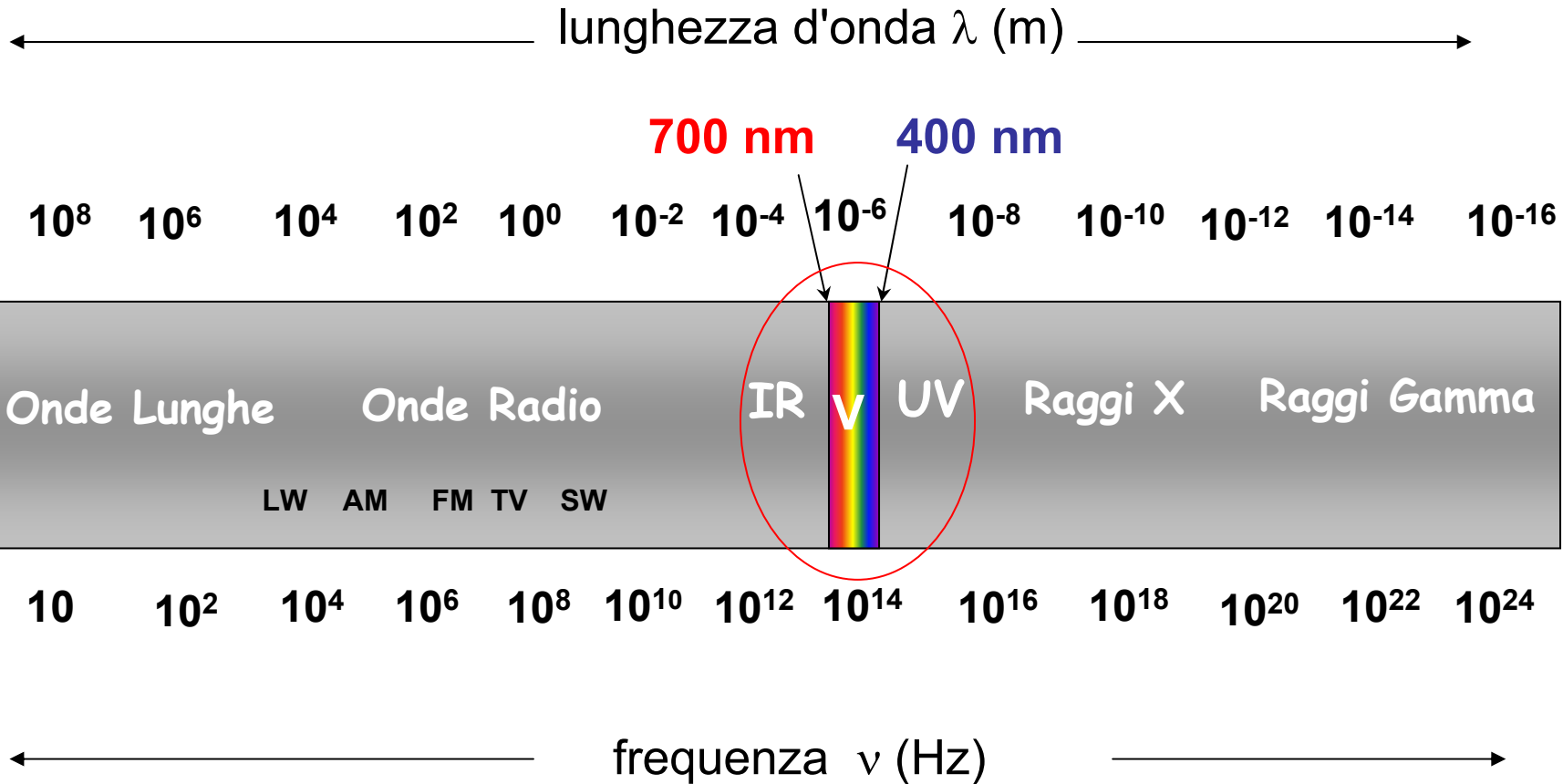


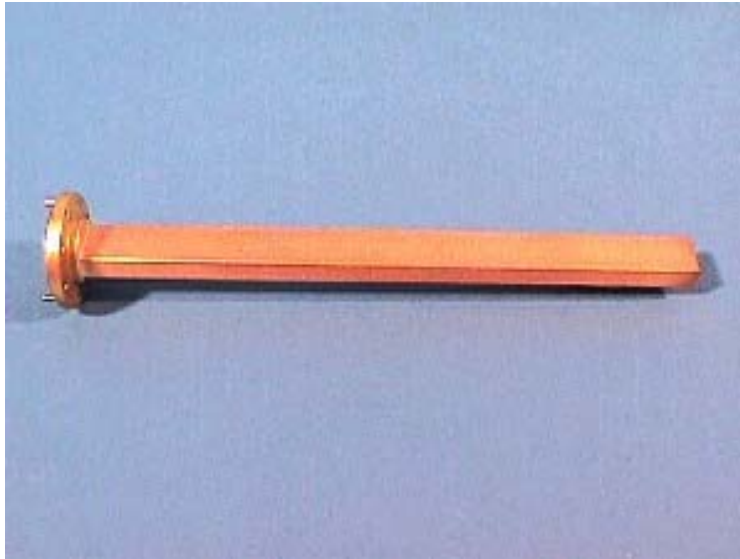
Guide d'onda per le onde e.m. luminose

- fibre ottiche

Spettro Elettromagnetico

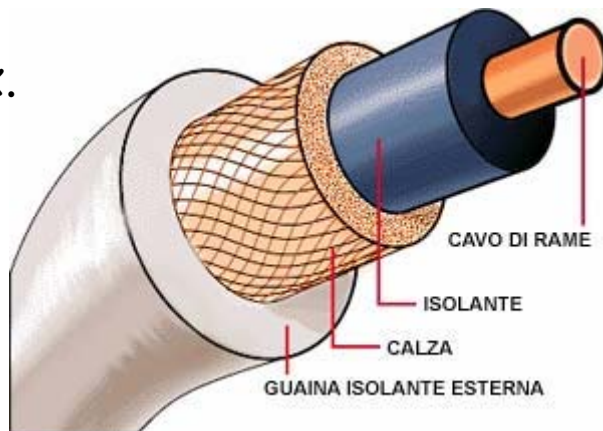


Guidaggio delle onde e.m.

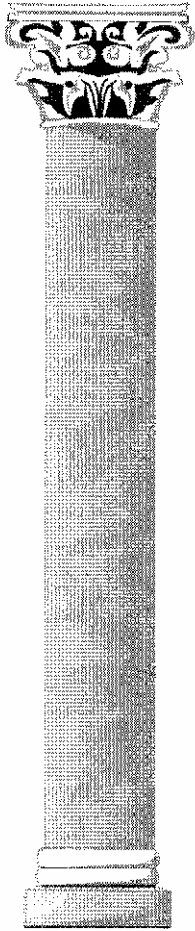


Guide metalliche

Cavi coax.

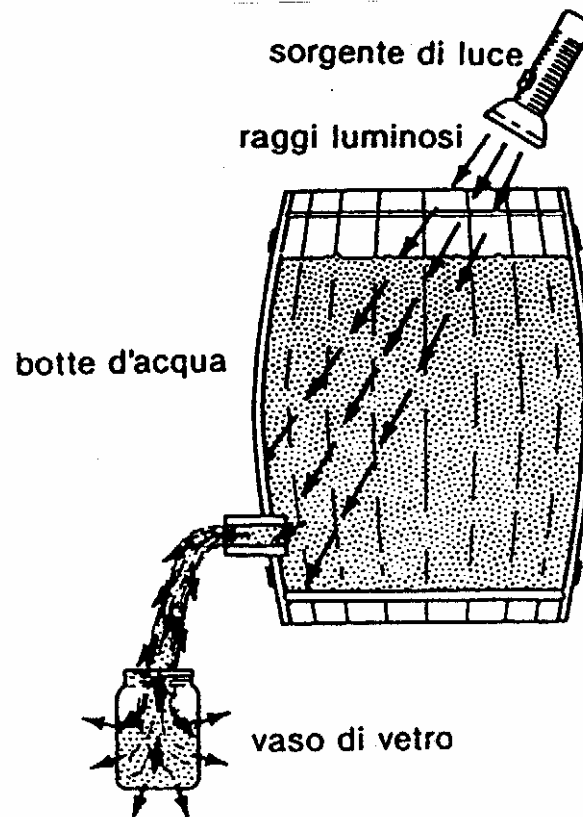


Fibre ottiche

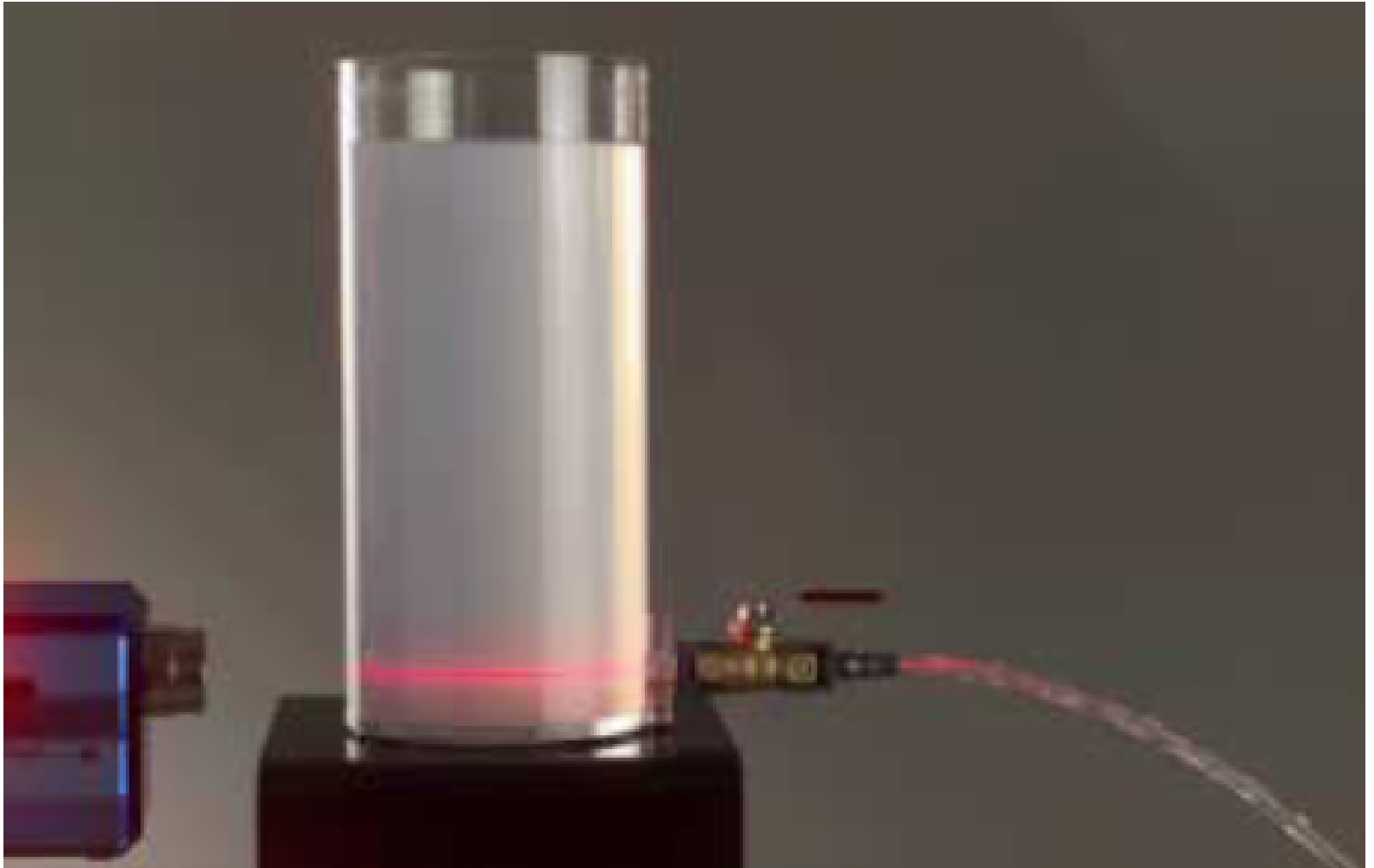


UN PO' DI STORIA

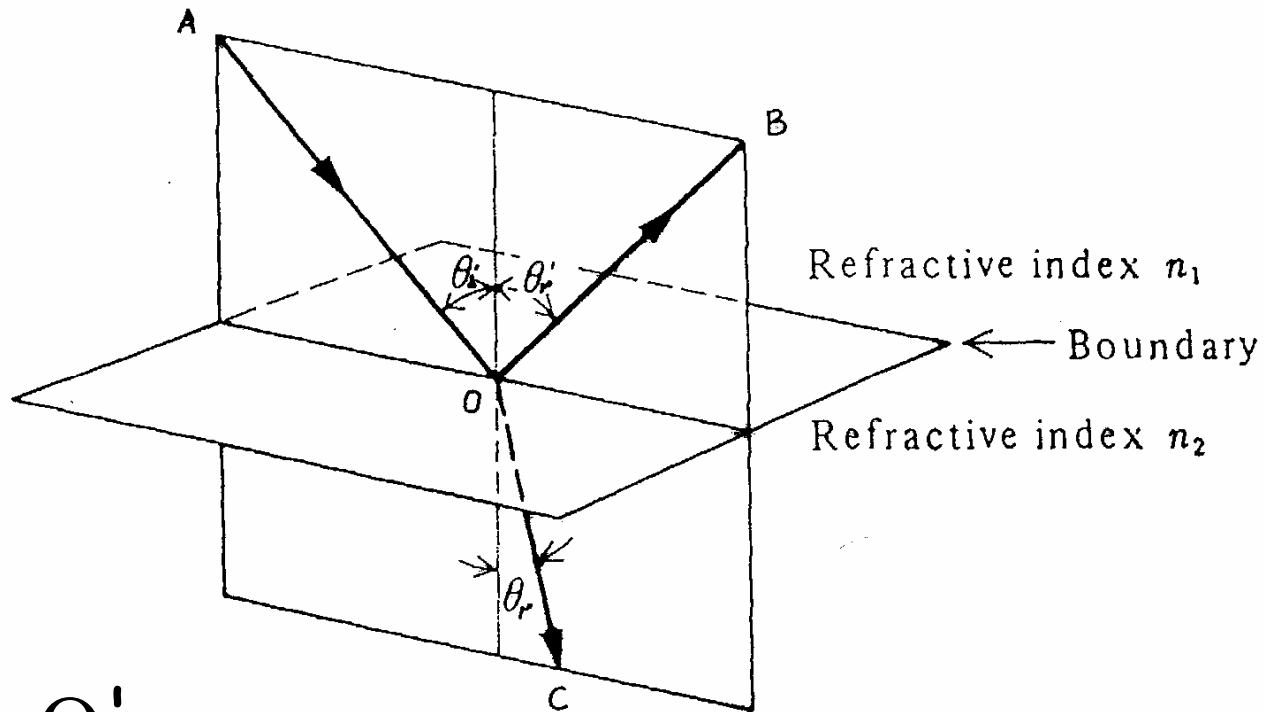
- 1870 - J. Tyndall: esperimenti per dimostrare la capacità della luce di propagarsi all'interno di getti d'acqua



Esperimento di Tyndall oggi



Ottica geometrica



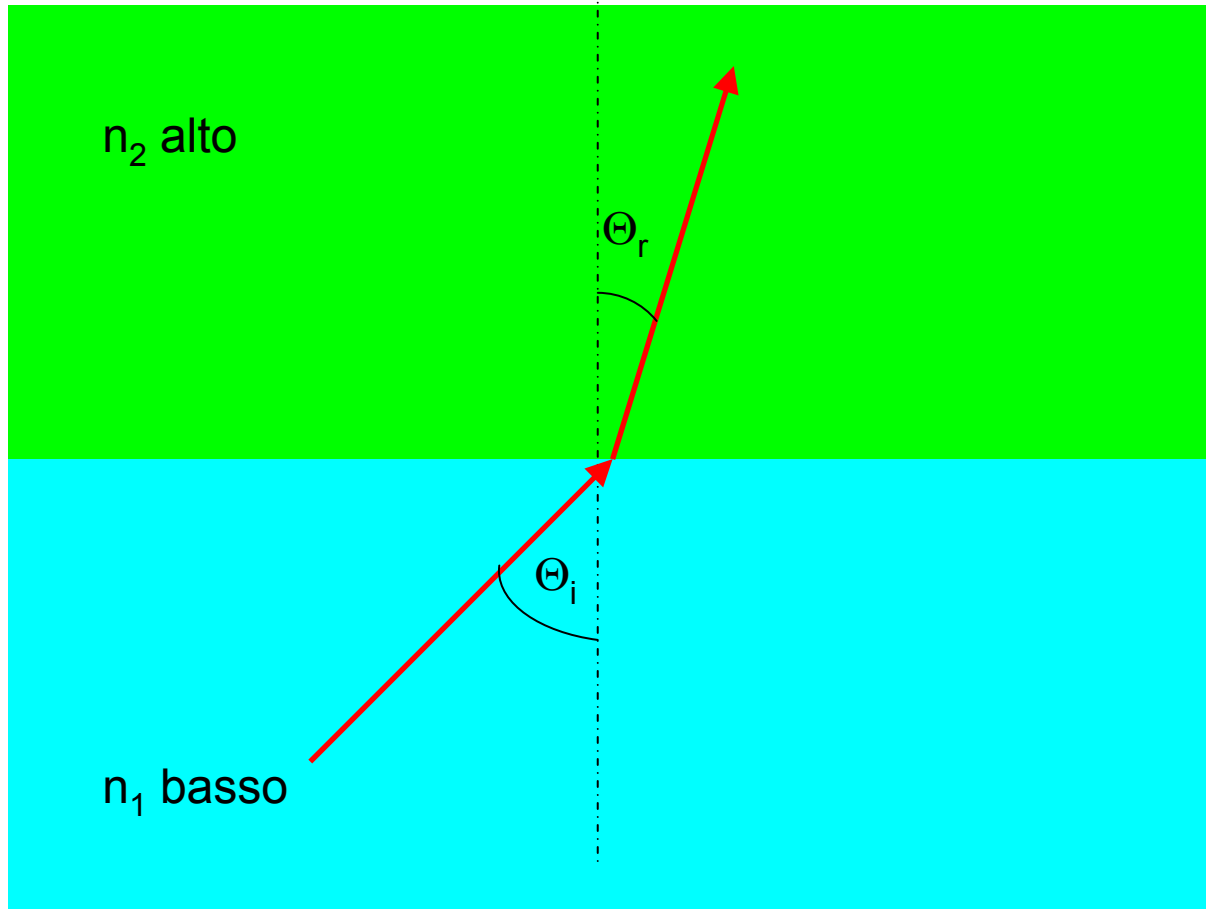
$$\Theta_i = \Theta_r'$$

$$n_1 (\text{sen } \Theta_i) = n_2 (\text{sen } \Theta_r) \quad \text{legge di Snell}$$

se:

$n_2 > n_1$ si ha $\sin \Theta_i > \sin \Theta_r$

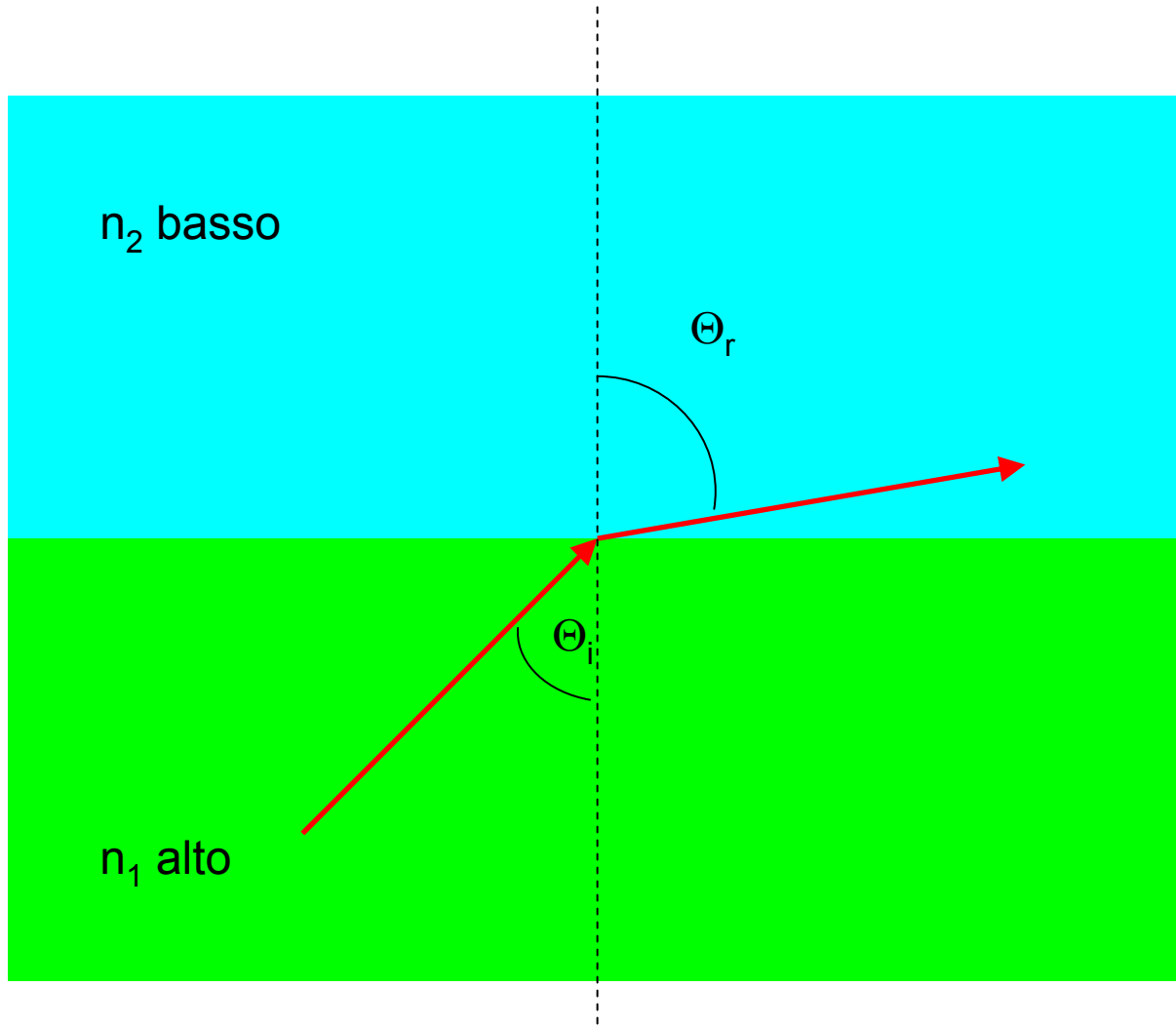
quando un raggio passa da un mezzo "meno denso" ad un mezzo "più denso" si avvicina alla normale



se:

$n_2 < n_1$ si ha $\sin \Theta_i < \sin \Theta_r$

quando un raggio passa da un mezzo "più denso" ad un mezzo "meno denso" si allontana dalla normale



Consideriamo che:

$$n_2 < n_1 \quad \text{cioè} \quad \sin \theta_i < \sin \theta_r$$

Poiché la legge di Snell può essere espressa come:

$$\sin \theta_r = \frac{(\sin \theta_i)}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}$$

Possono aversi 3 casi:

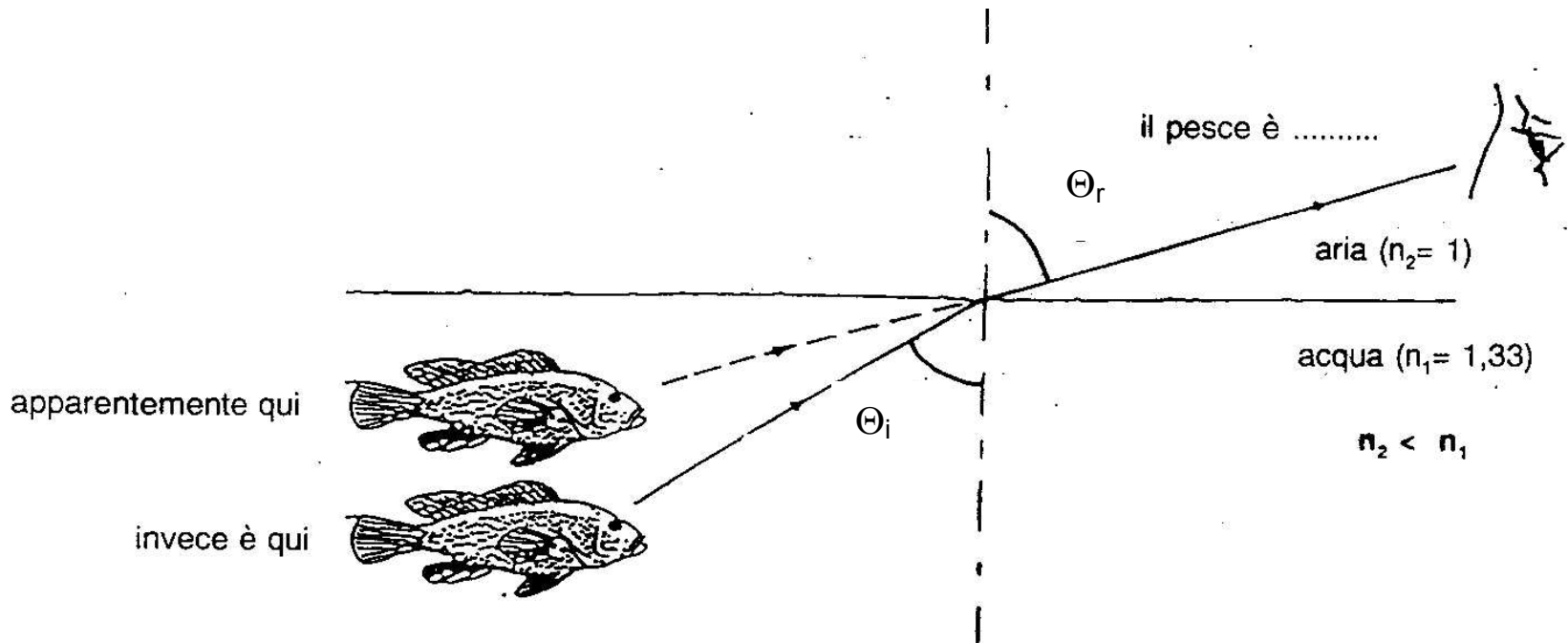
$$\sin \theta_i \leq (n_2/n_1)$$

dalla legge di Snell (con $n_2 < n_1$): $\sin \theta_r = \frac{(\sin \theta_i)}{(\frac{n_2}{n_1})}$

1° caso:

$$\sin \theta_i < \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \theta_r < 1$$

il raggio è rifratto



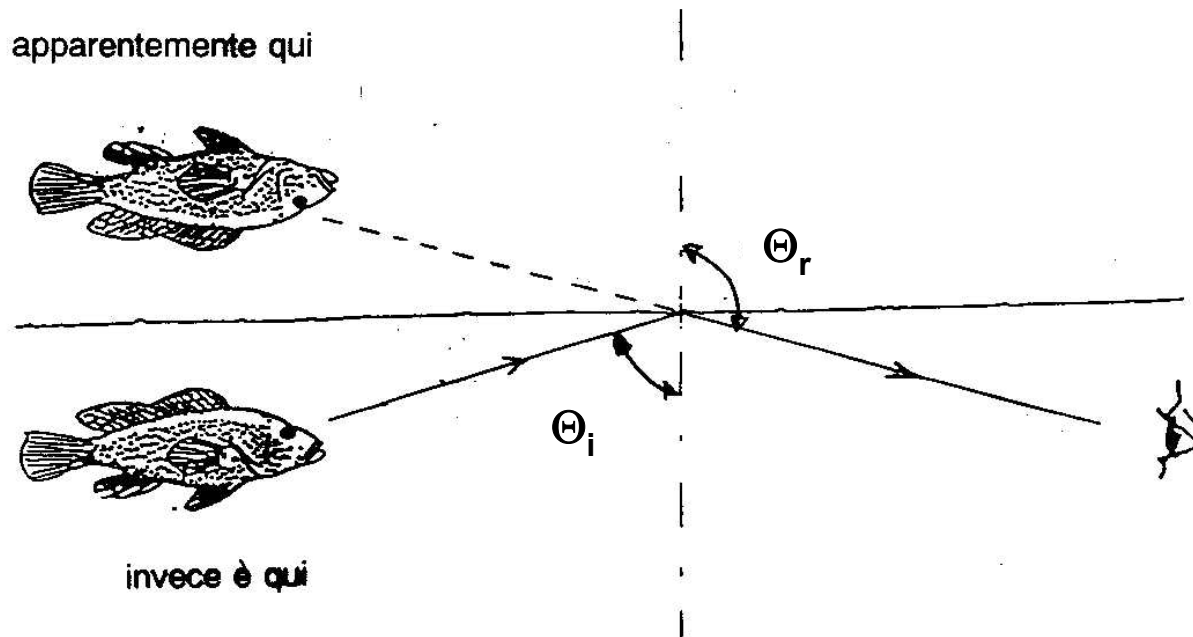
2° caso:

$$\sin \theta_i > (n_2/n_1)$$

$$\sin \theta_r = \frac{(\sin \theta_i)}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}$$

$$\sin \theta_r > 1$$

il raggio è riflesso



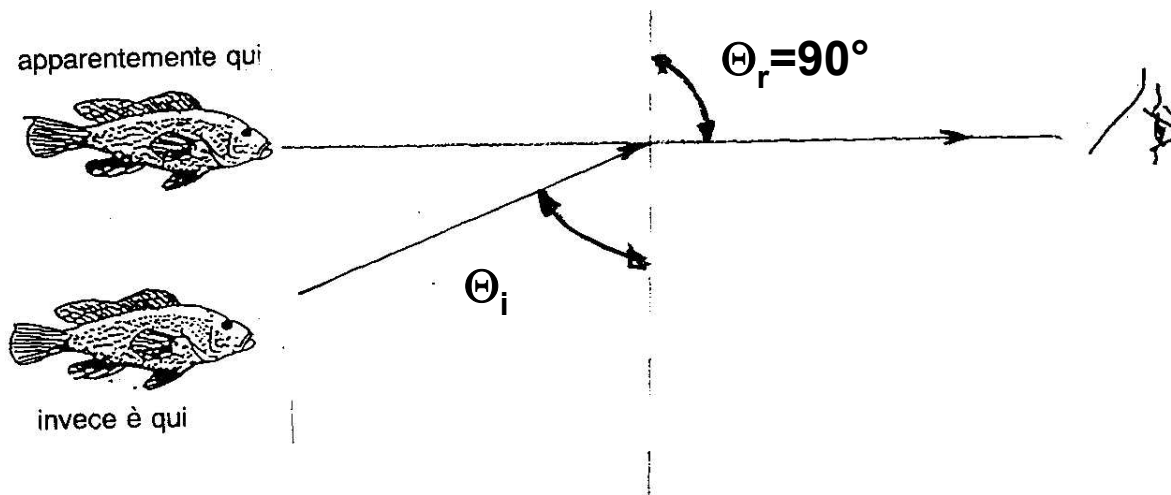
3° caso:

$$\sin \theta_i = \frac{n_2}{n_1}$$

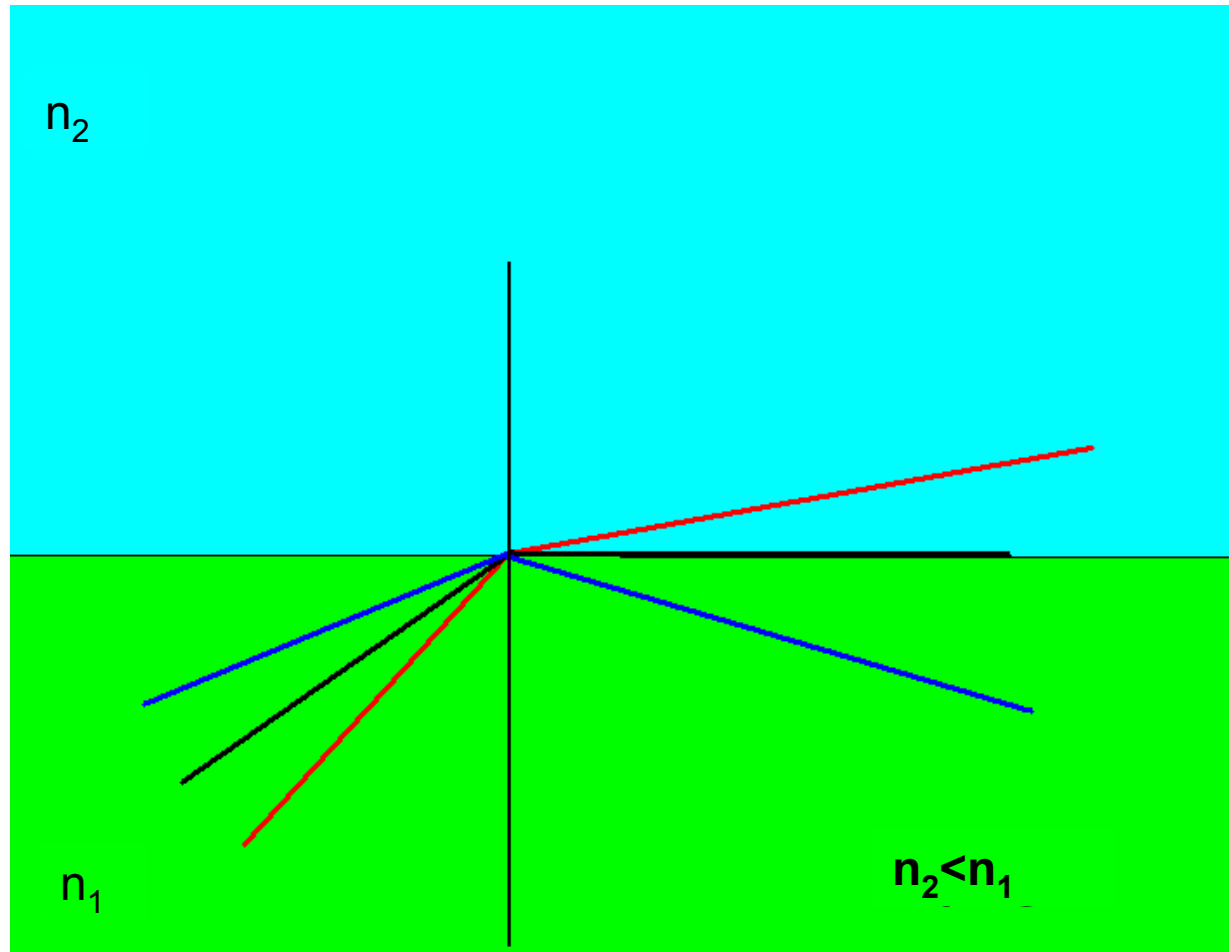
$$\sin \theta_r = \frac{(\sin \theta_i)}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}$$

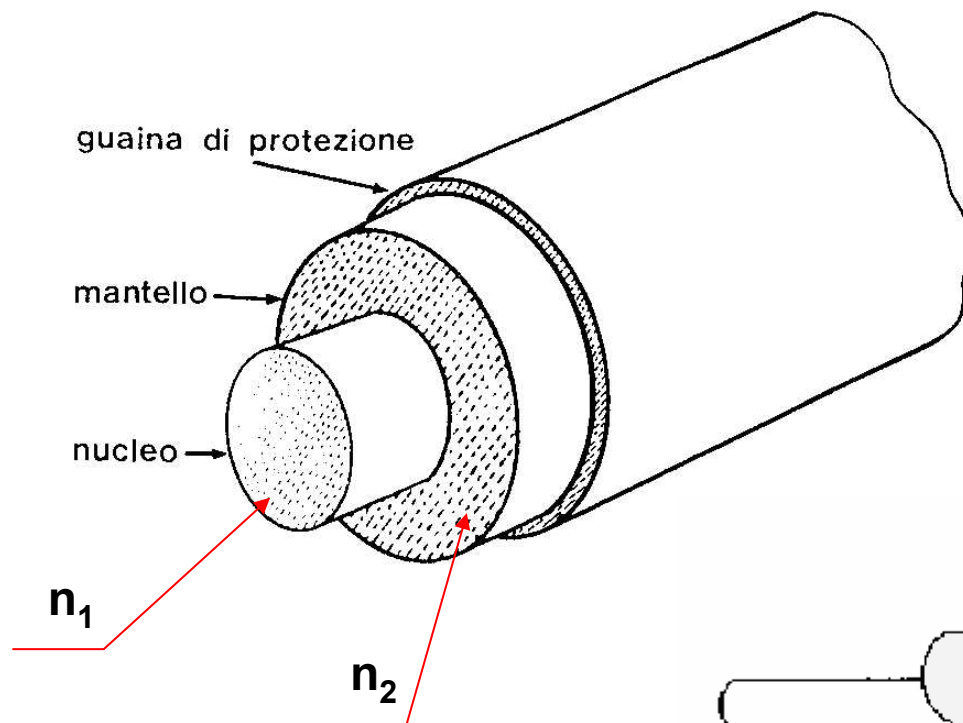
$\sin \Theta_r = 1$ $\Theta_r = 90^\circ$: Θ_i è detto **angolo critico (Θ_c)**

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$



Rifrazione e riflessione dei raggi luminosi (legge di Snell)





Fibra ottica

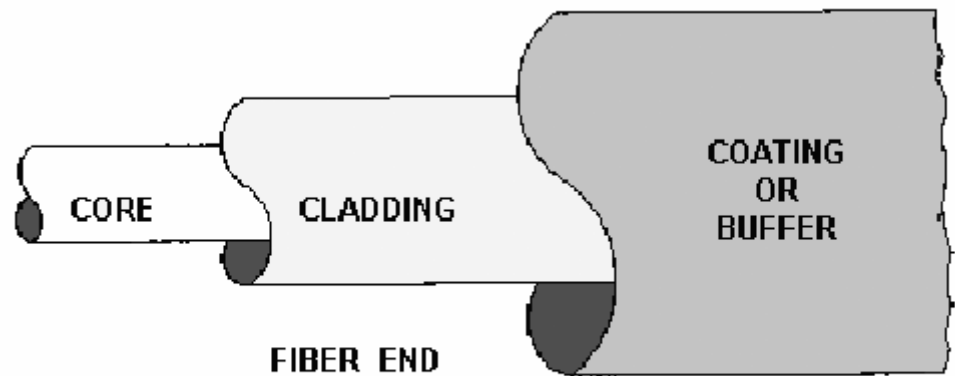
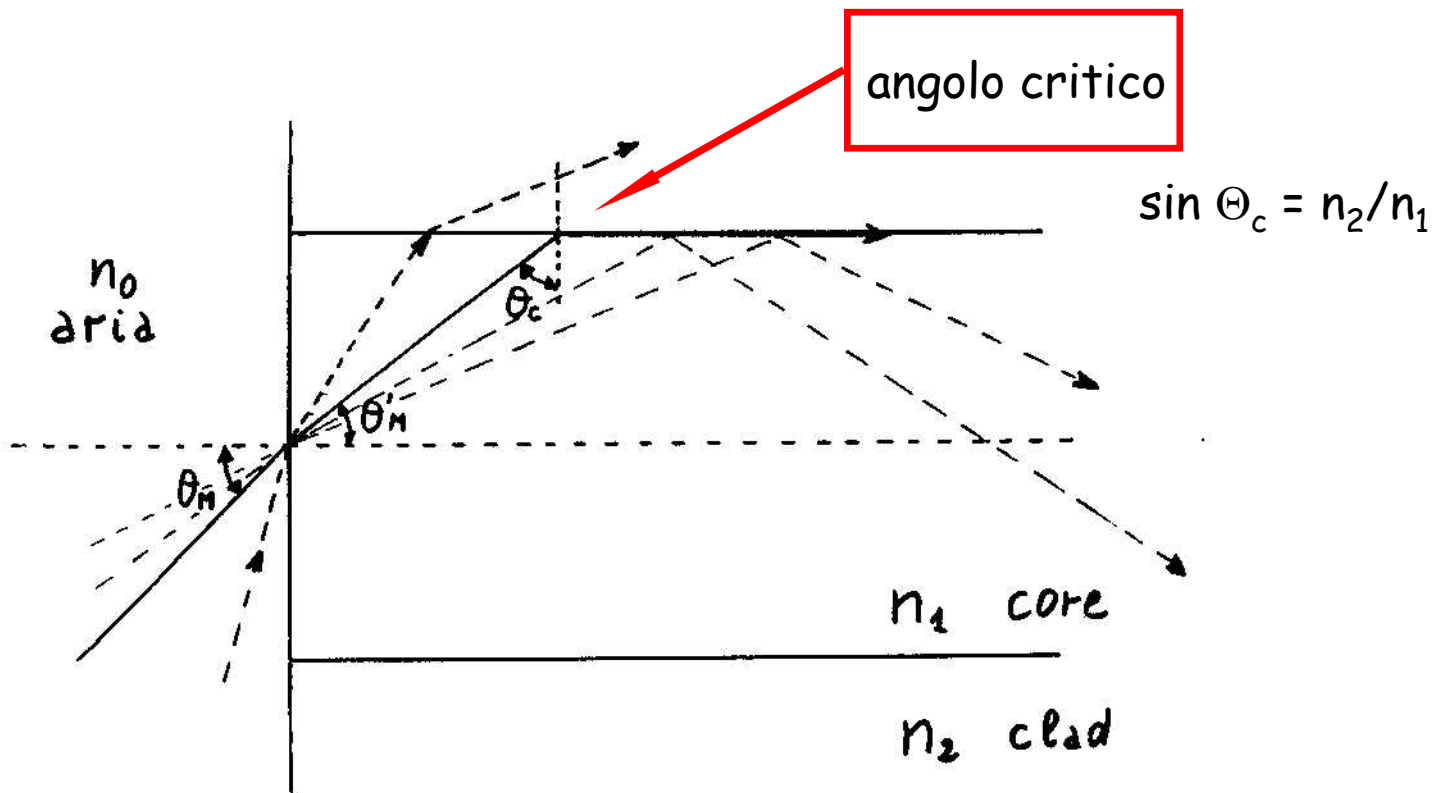


Figure 2-9.—Basic structure of an optical fiber.



$$\sin \theta'_M = \cos \theta_c = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

$$N.A. = n_0 \sin \theta_M = n_1 \sin \theta'_M = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$N.A. \approx \theta_M$$

**N.A. = apertura
numerica**

Θ_M = angolo di accettazione

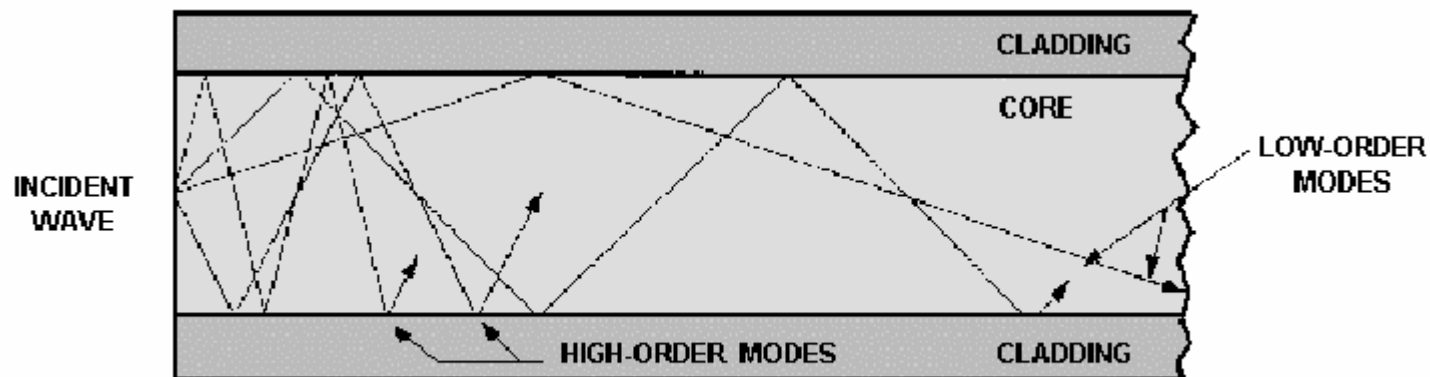
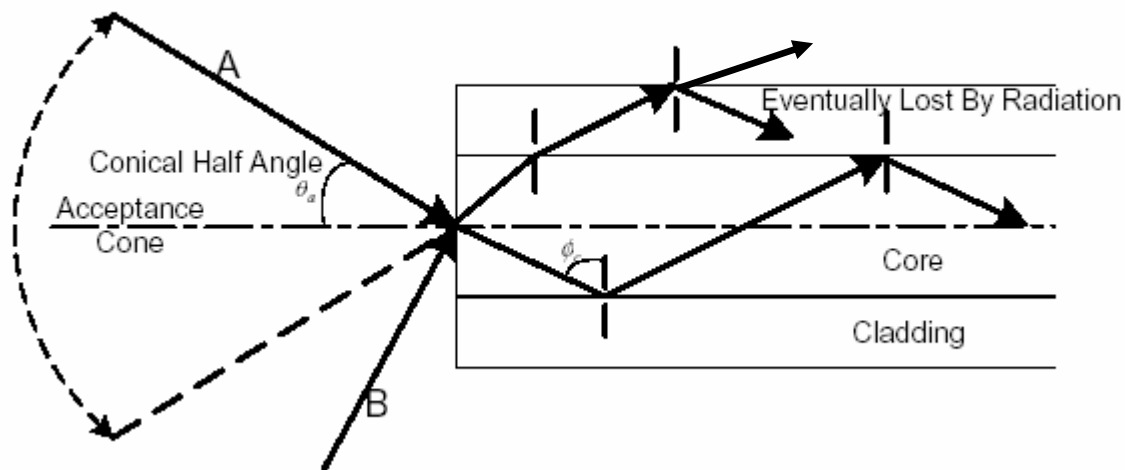
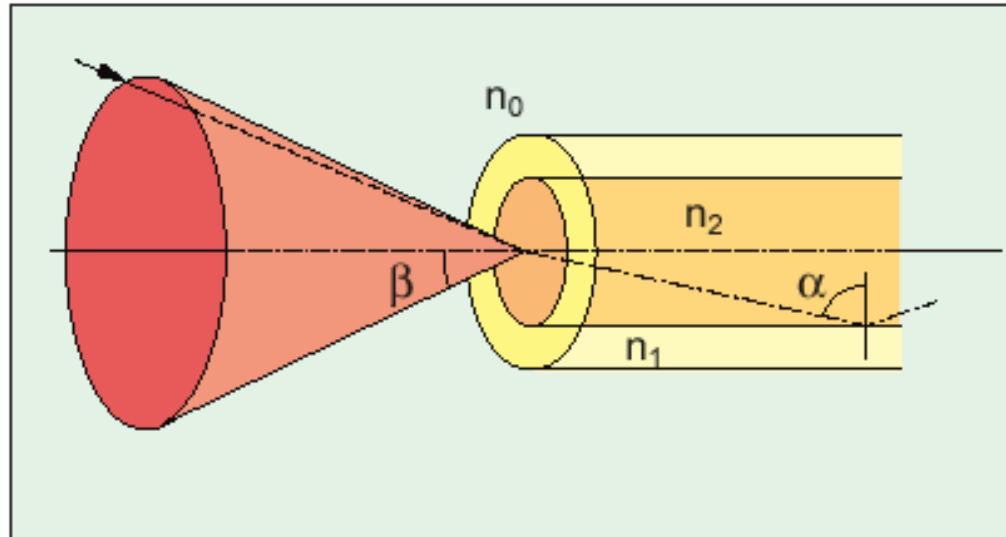


Figure 2-18.—Low-order and high-order modes.

Apertura Numerica



valori tipici di:

- indici di rifrazione del nucleo (n_1) e del mantello (n_2) di una fibra ottica
- apertura numerica (NA)
- angolo di accettazione (Θ_M)

n1	n2	NA	Θ_M (gradi)
1.5	1.40	.538	32.6
1.5	1.41	.512	30.8
1.5	1.42	.483	28.9
1.5	1.43	.453	26.9
1.5	1.44	.420	24.8
1.5	1.45	.384	22.6
1.5	1.46	.344	20.1
1.5	1.47	.298	17.4
1.5	1.48	.244	14.1
1.5	1.49	.173	9.9

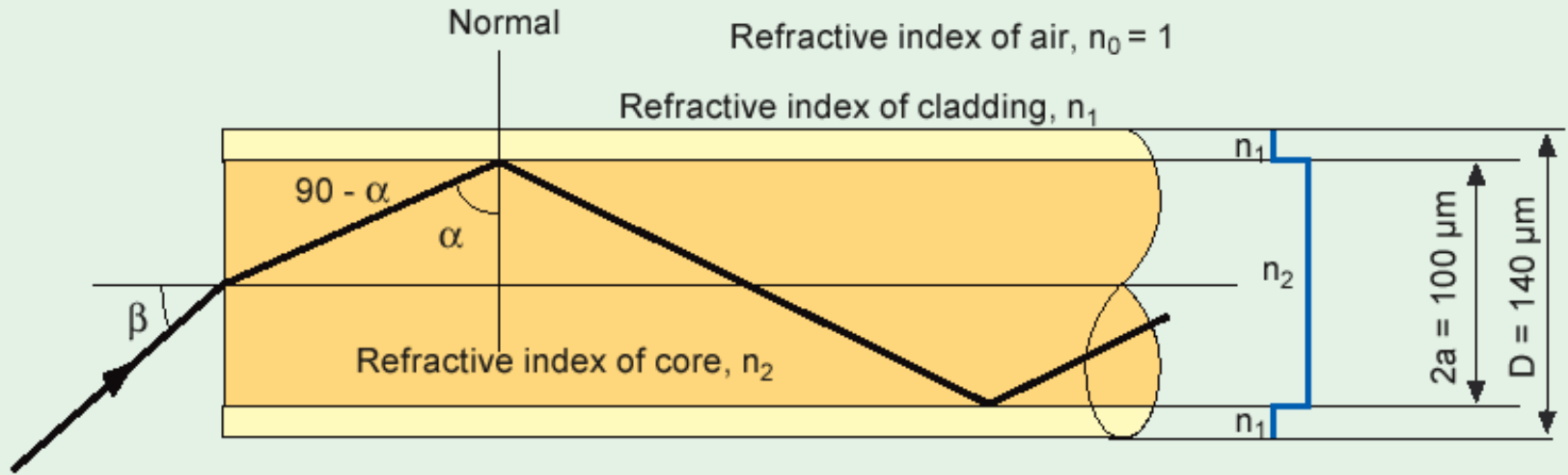
Tipi di fibre ottiche (propagazione):

- monomodo
- multimodo (step-index; graded index)

Tipi di fibre ottiche (materiale):

- plastica (trasporto luce, TLC su brevissime distanze))
- vetri multicomponenti (fibroscopi)
- vetro di silice (TLC su lunghe distanze)

Fibra ottica step-index

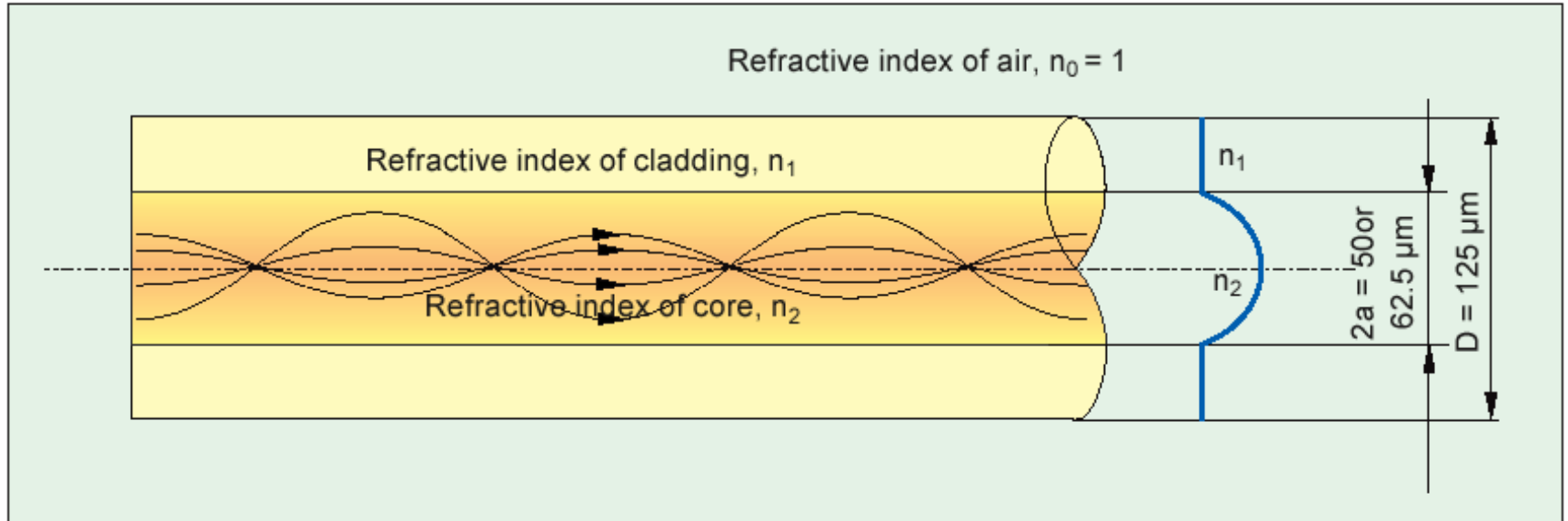


Diametri tipici (a =raggio nucleo):

Nucleo: $2a = 50$ micron ; Mantello $D = 125$ micron (fibra S. I. 50-125)

Nucleo: $2a = 100$ micron ; Mantello $D = 140$ micron (fibra S. I. 100-140)

Fibra ottica Graded Index

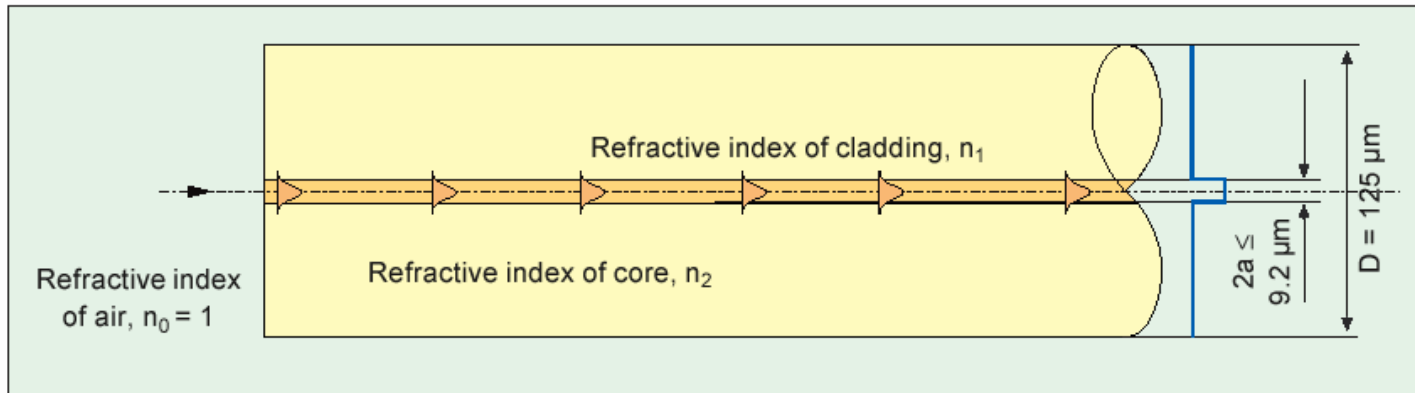


Diametri tipici (a =raggio nucleo):

Nucleo: $2a = 50$ micron ; Mantello $D = 125$ micron (fibra G.I. 50-125)

Nucleo: $2a = 62,5$ micron ; Mantello $D = 125$ micron (fibra G.I. 62,5-125)

Fibra ottica monomodo (Single mode)



Diametri tipici:

Nucleo: $2a = 5\text{-}9$ micron ; Mantello $D = 125$ micron

Il diametro del nucleo è legato alla lunghezza d'onda di cut-off (λ_c) e all' Apertura Numerica da:

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA$$

$2a$ = diametro nucleo

NA = apertura numerica della fibra ottica

$V_c = 2,405$

Per $\lambda < \lambda_c$ la fibra non è più monomodo

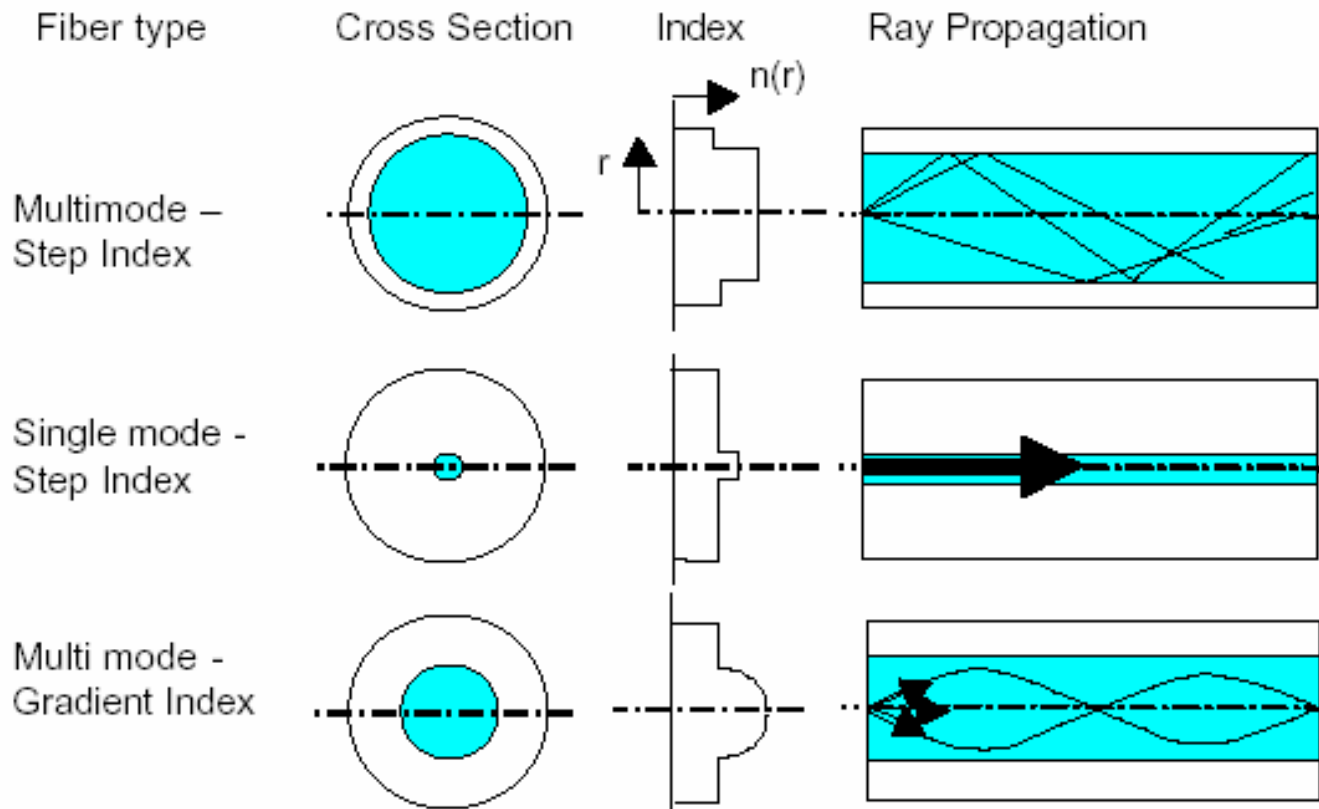
Esempio:

Se: $2a = 9,2$ micron ; $NA = 0,11$

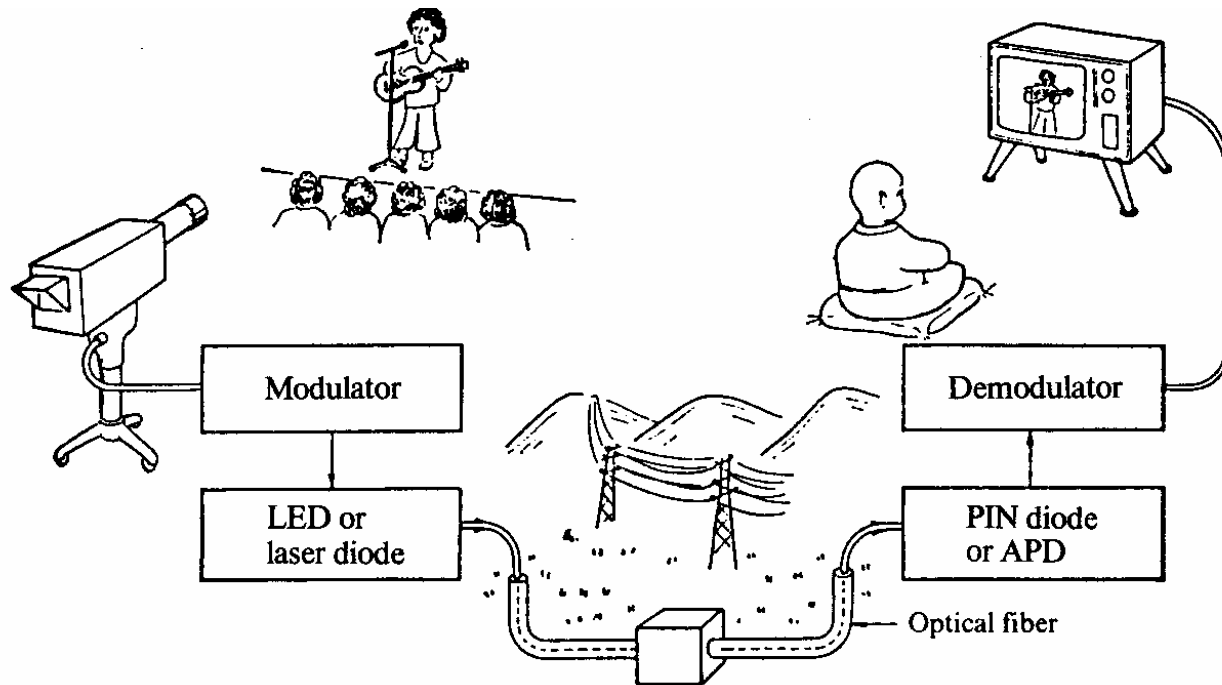
La fibra è monomodo per $\lambda_c = 1322$ nm

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA = \pi \frac{9,2}{2,405} \cdot 0,11 \approx 1322 \text{ [nm]}$$

Tipi di fibre ottiche



Tipica applicazione delle fibre ottiche: telecomunicazioni



Cenni sull' Ottica Integrata

TIPICHE STRUTTURE OTTICHE INTEGRATE

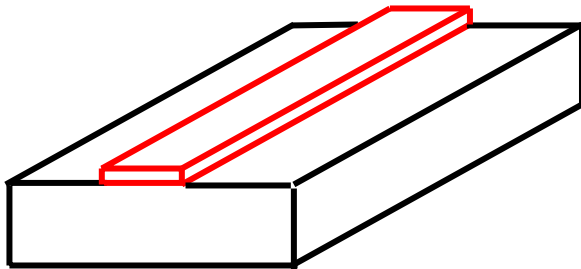
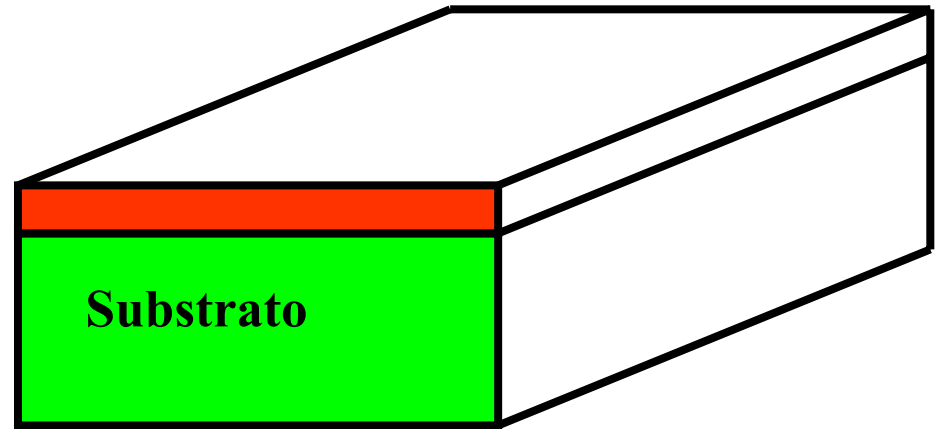
Guida
planare
asimmetrica

$$n_g > n_s > n_0$$

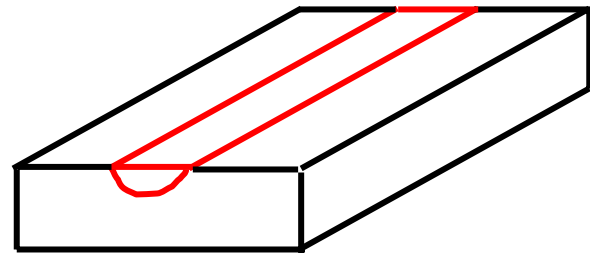
n_0

n_g

n_s



Guida a striscia



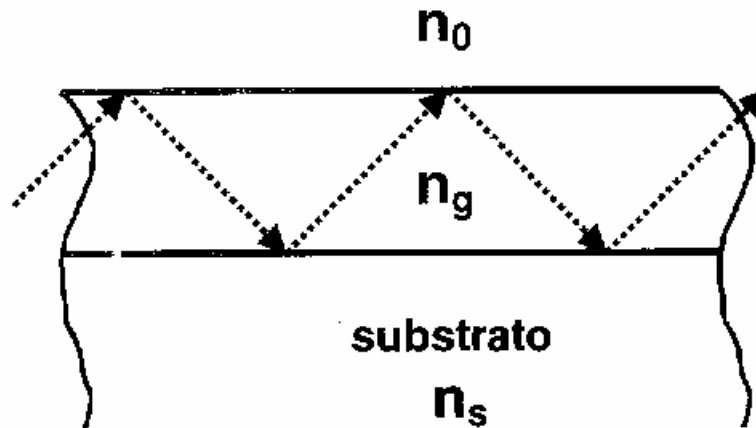
Guida a canale

Propagazione della luce in una guida ottica integrata (vista in sezione)

n_g = indice dello strato guidante (equivalente al core di una fibra ottica)

n_s = indice del substrato

n_0 = indice dell'aria (se sulla parte superiore c'è aria)



Materiale comunemente utilizzati come substrato:

- vetri
- materiali elettroottici (es. niobato di litio)
- semiconduttori (germanio, arseniuro di gallio)

Comuni configurazioni delle guide

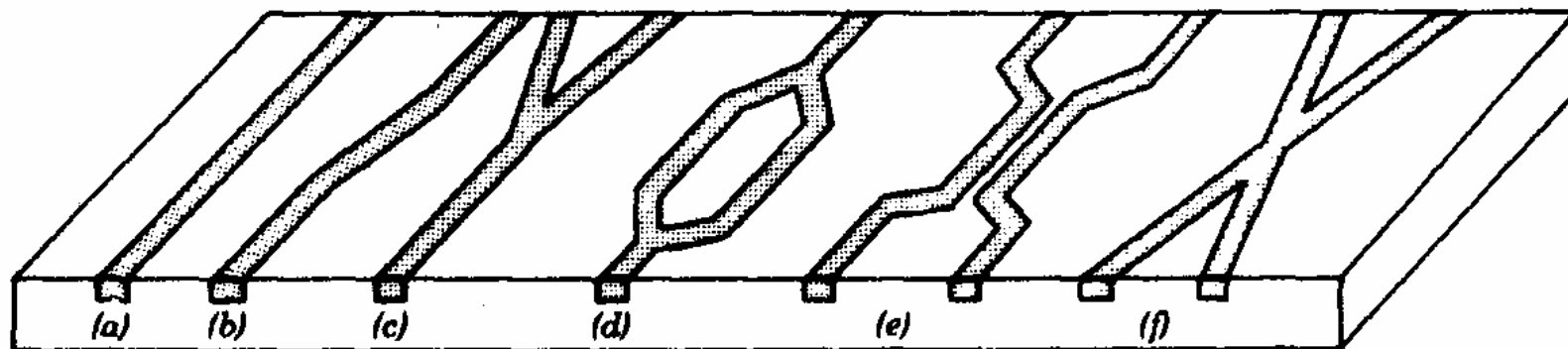


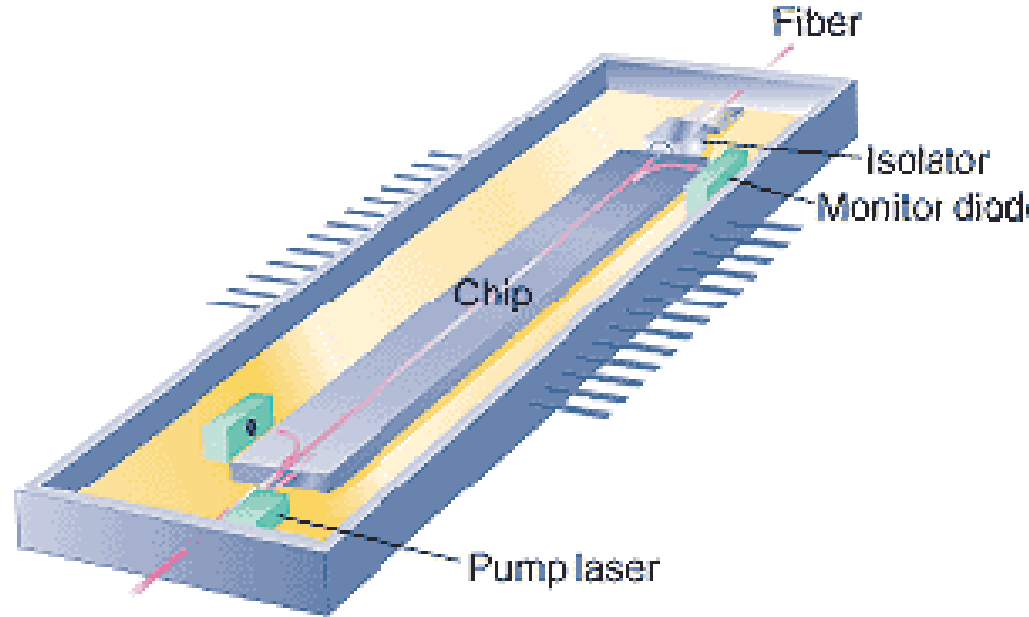
Figure 7.3-4 Different configurations for waveguides: (a) straight; (b) S bend; (c) Y branch; (d) Mach-Zehnder; (e) directional coupler; (f) intersection.

Vantaggi dell'ottica integrata

Possibilità di realizzare numerosi componenti attivi e passivi su di uno stesso chip avente dimensioni molto contenute

esempio:

- sorgenti laser
- divisori di fascio e mux-demux
- amplificatori ottici



Integrabilità con i sistemi a fibra ottica

Difetto dell'ottica integrata

Tecnologia non ancora sufficientemente sviluppata