

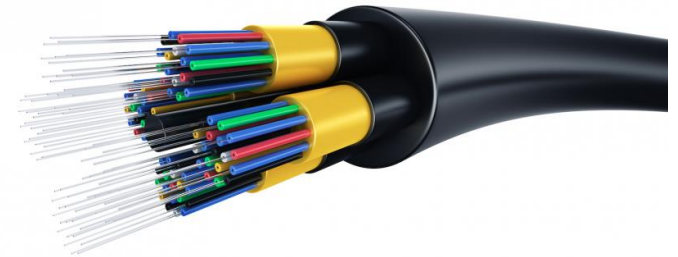


CORSO DI TECNOLOGIE D'ACCESSO

Le Fibre Ottiche nelle TLC

- ✓ Le prime fibre ottiche furono realizzate nel 1953 tuttavia il loro impiego era limitato dalle grandi attenuazioni
- ✓ L'ampiezza del segnale ricevuto da una fibra lunga 1 Km risultava 10^{100} volte inferiore rispetto all'ampiezza del segnale trasmesso.
- ✓ I valori di attenuazione ottenuti con le odierne tecnologie sono tali per cui:
 - ampiezza segnale ricevuto $> 0.96 * \text{ampiezza segnale trasmesso}$

- ✓ Le fibre ottiche sono dei sottilissimi fili di vetro realizzati in silice (SiO_2) trasparenti alla luce a sezione cilindrica e flessibili
- ✓ Quelle usate in telecomunicazioni vengono attraversate da un'estremità all'altra da **impulsi luminosi** nel campo dell'**infrarosso**
- ✓ È composta principalmente da due parti:
 - Una parte interna detta nucleo (core)
 - Una parte esterna detta mantello (cladding)

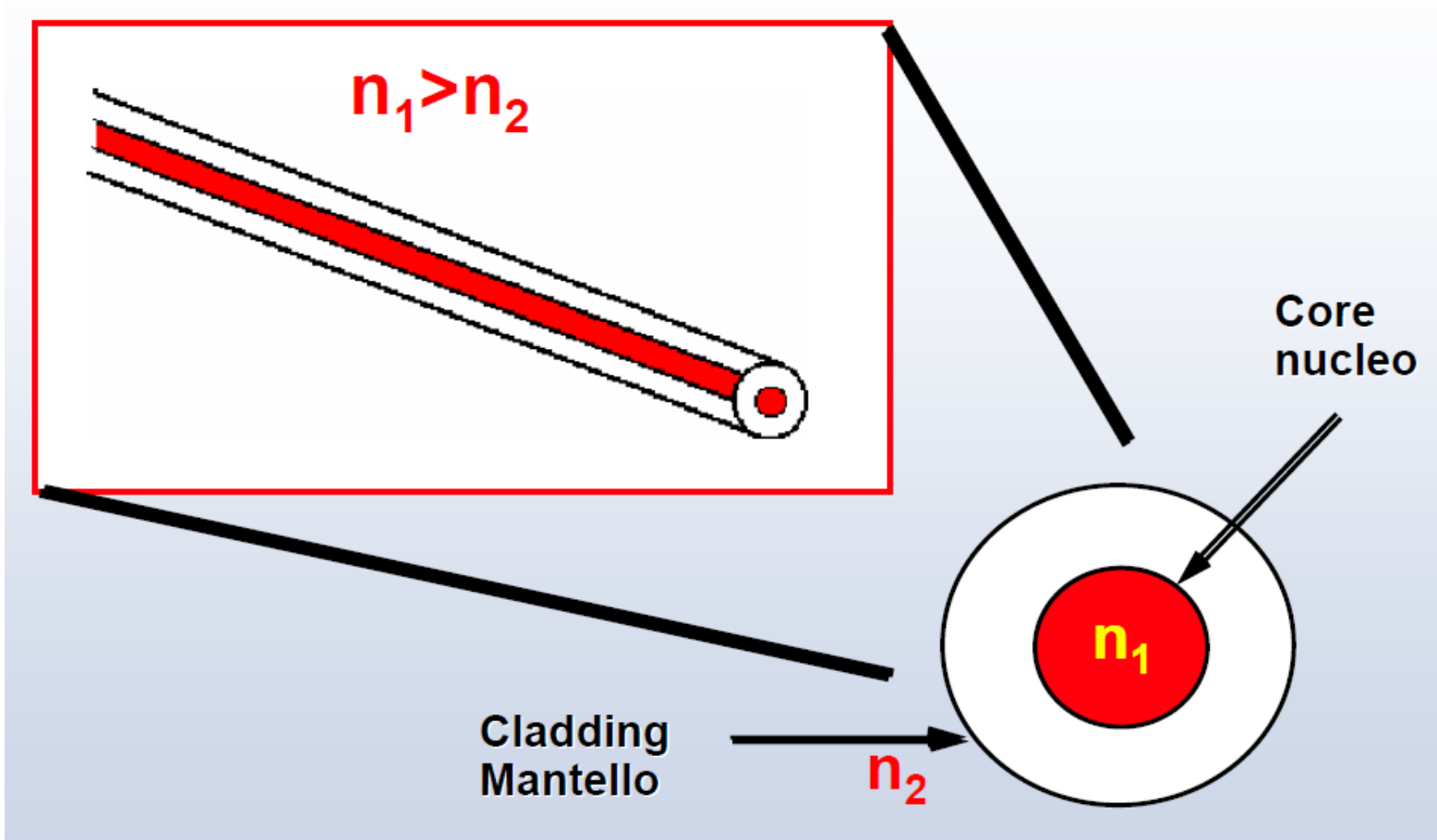


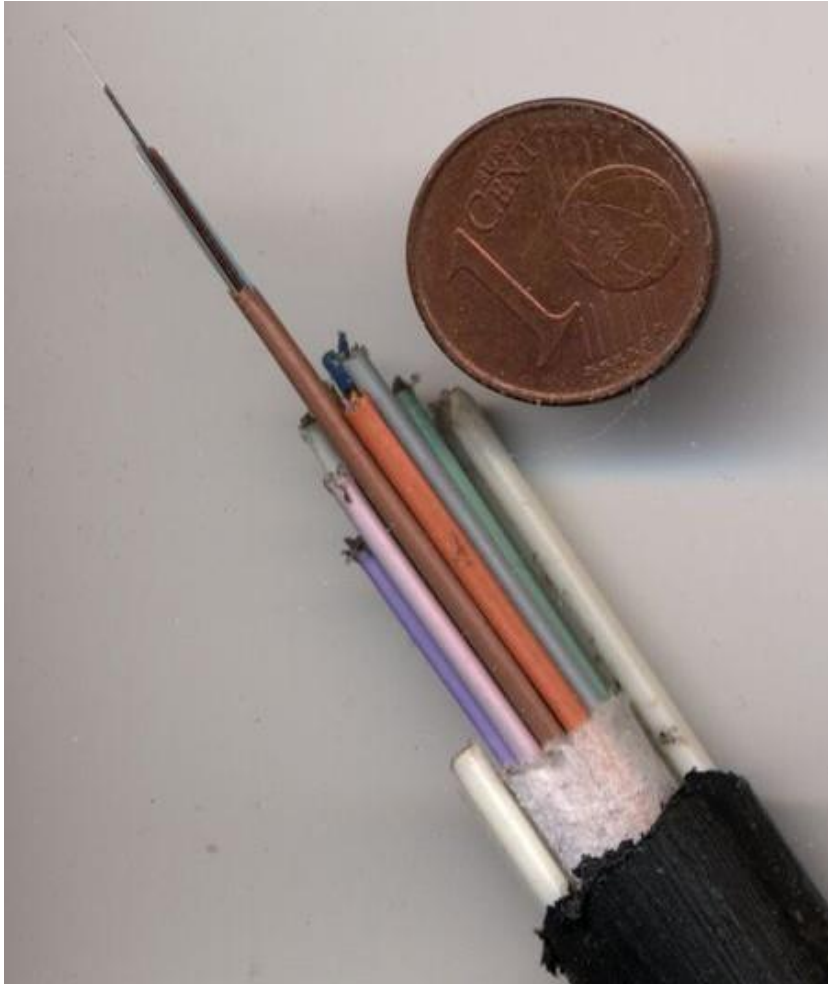
- ✓ Le fibre ottiche sono unicamente adatte a collegamenti punto punto non essendo possibile prelevare o inserire il segnale in un punto intermedio

- ✓ Totale immunità ai disturbi elettromagnetici

- ✓ Caratterizzate da due numeri n/m dove:
 - n diametro della parte interna conduttrice di luce
 - m diametro della parte esterna

- ✓ Le prestazioni delle fibre ottiche sono di gran lunga superiori a quelle dei cavi coassiali che le hanno precedute
- ✓ Core e cladding hanno indici di rifrazione diversi per confinare la luce all'interno del core
- ✓ Sono costituite da due parti concentriche drogate in modo diverso ($n_1 > n_2$) per ottenere indici di rifrazione diversi e da una guaina protettiva in **PVC**





- ✓ Il filo così realizzato è poi ricoperto da un apposito **rivestimento protettivo** e raggruppato insieme ad altre fibre in una **guaina** esterna per formare un **cavo in fibra ottica**

1. **Peso ed ingombro** ridotti, a parità di **banda passante**, rispetto ad altri mezzi trasmissivi
 - due fibre ottiche, ad esempio, hanno una **banda maggiore** di quella che si otterrebbe con 1000 doppini e hanno un **peso** di circa 100 kg/km contro gli 8000 kg/km dei doppini
2. Totale **immunità dai disturbi e.m.** come **interferenze e. m. (EMI)** e **interferenze radio (RFI)** presenti in ambito industriale e che si accoppiano al segnale negli altri mezzi trasmissivi

3. Consentono **l'isolamento elettrico** tra Trasmettitore e Ricevitore
4. Sono **più sicure** di altri mezzi rendendo più difficile l'intrusione nelle comunicazioni poiché è più semplice accorgersi se un estraneo sta inserendo una sonda nel cavo
5. **Resistenza maggiore** ai fattori ambientali potendo attraversare ambienti speciali in cui sono presenti esplosivi o liquidi (infatti non trasportando energia elettrica non sono soggette a cortocircuiti o archi elettrici)

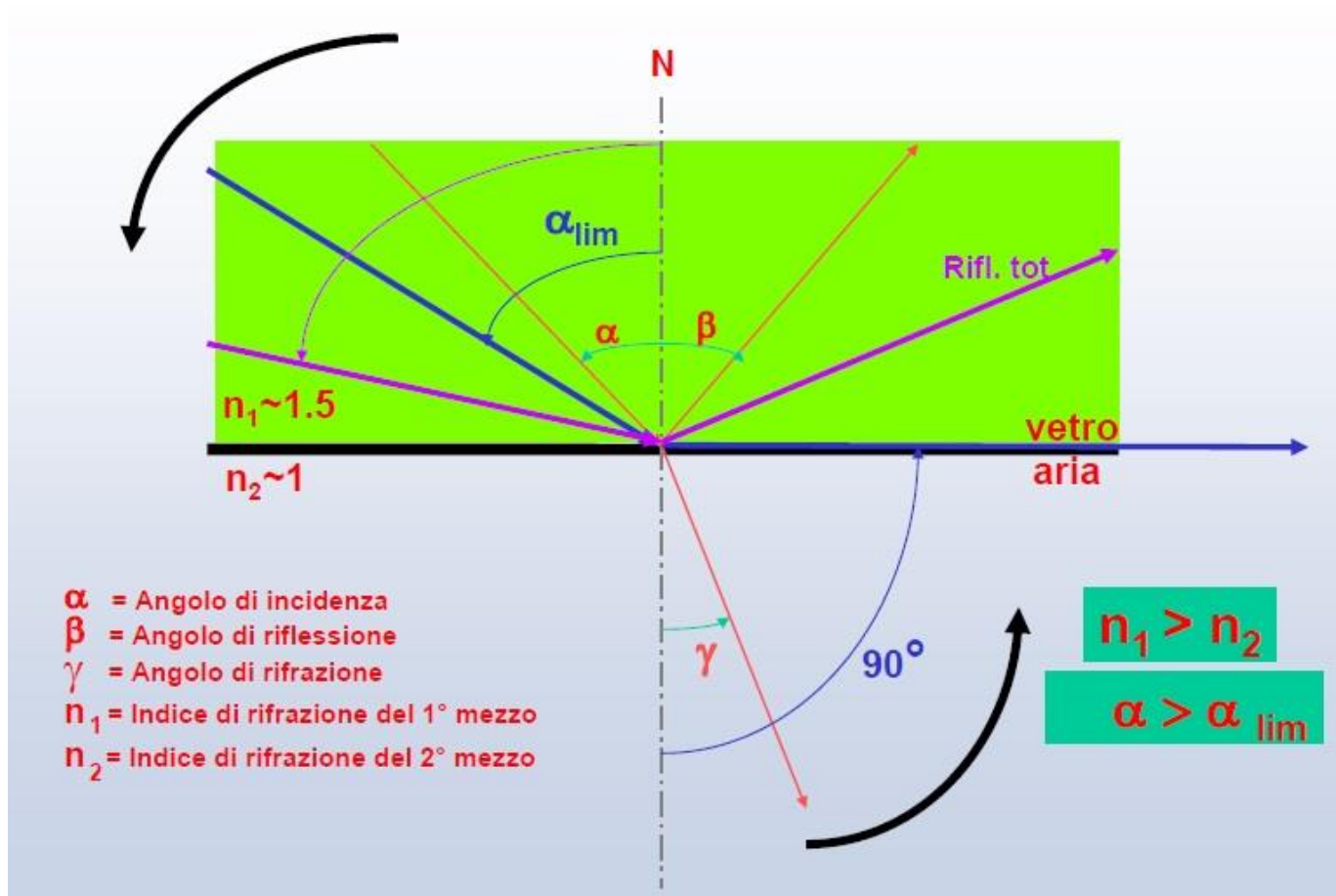
6. **Durata** maggiore degli altri mezzi (il vetro è materiale inerte e non subisce corrosione)
7. Basso rapporto *prezzo/velocità di trasmissione* e *prezzo/lunghezza*
8. Consentono distanze di trasmissione notevolmente maggiori e una eccellente qualità del segnale poiché l'**attenuazione** del segnale è **molto bassa: fino a 0.2 dB/km**
 - Con una tale attenuazione una fibra è in grado di guidare la luce per distanze di 100 km senza la necessità di rigenerare il segnale

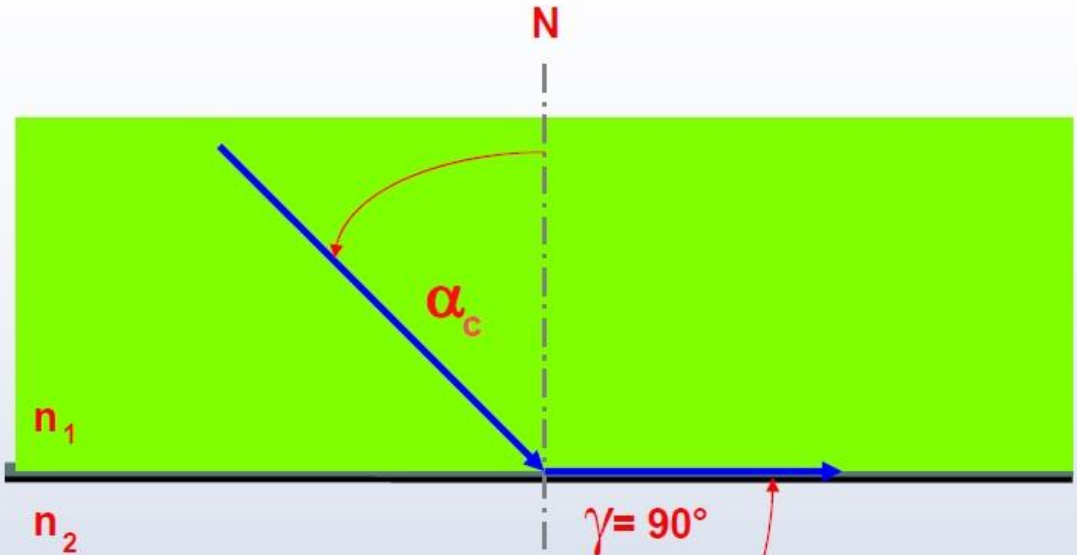
1. Consentono la comunicazione in **una sola direzione** (nei due sensi sarebbero necessarie 2 fibre)
2. Costosa la **realizzazione costruttiva** e la connessione tra fibre
3. Gli accessori e gli strumenti di prova sono **costosi**

- ✓ Nelle fibre ottiche l'indice di rifrazione n_1 (core) è maggiore di n_2 (cladding)
- ✓ La legge di Snell dimostra che per valori dell'angolo di incidenza superiori all'angolo critico α_c si ha riflessione totale

$$\alpha_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$$

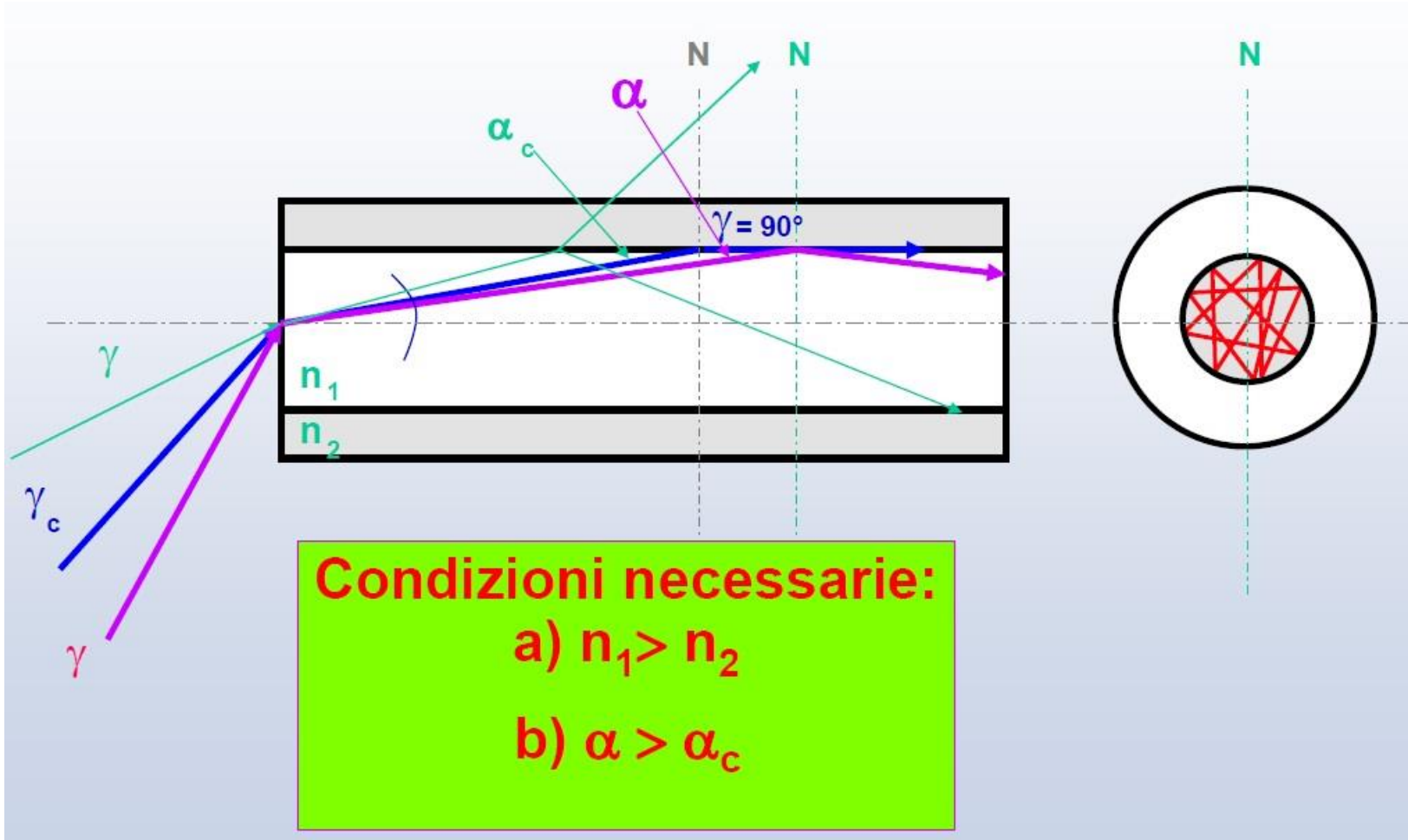
- ✓ Valori tipici per le fibre ottiche:
 - $n_2 = 1.475$
 - $n_1 = 1.5$
 - $\alpha_c = 79.5$ gradi



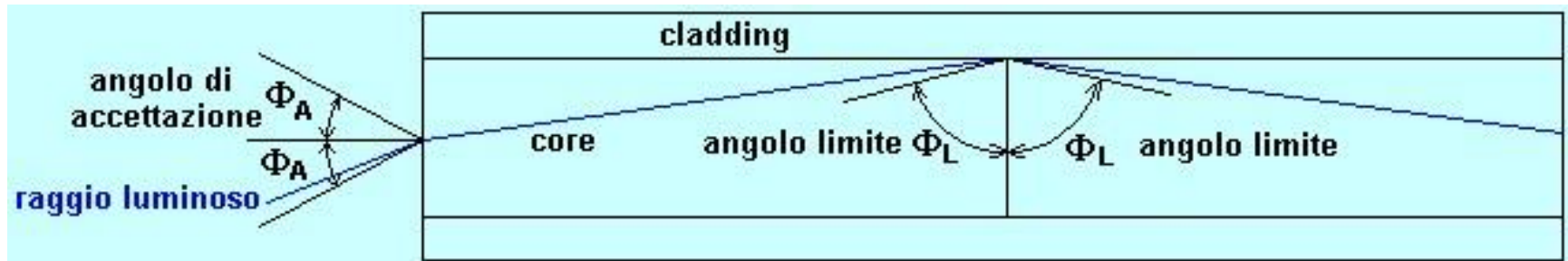


$\sin \alpha_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1.5} = 0,66$
 $\alpha_c = 42^\circ$

$\gamma = 90^\circ$
 $\sin 90^\circ = 1$
 vetro $n = 1.5$

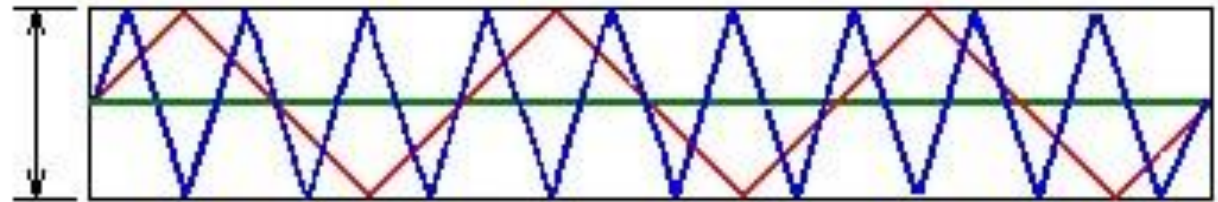


- ✓ Le Leggi della riflessione e della rifrazione ci permettono di stabilire **due condizioni** da rispettare al fine di ottenere la propagazione della luce per **riflessione totale** all'interno del nucleo:
- Il nucleo deve avere un **indice di rifrazione (n_1)** maggiore di quello del **mantello (n_2)**
 - L'**angolo di incidenza** del raggio luminoso all'interno del nucleo deve essere maggiore di un certo **angolo limite** (che dipende dagli indici di rifrazione n_1 e n_2) superato il quale si ha l'assenza del raggio rifratto e si ha solo quello riflesso, che contiene tutta l'energia del fascio incidente



- ✓ Se il diametro del nucleo di una fibra è abbastanza ampio ($>10\mu\text{m}$), un impulso luminoso che entra nella fibra origina diversi raggi, con diversi percorsi, detti modi di propagazione)

$D = 80 \div 100 \mu\text{m}$

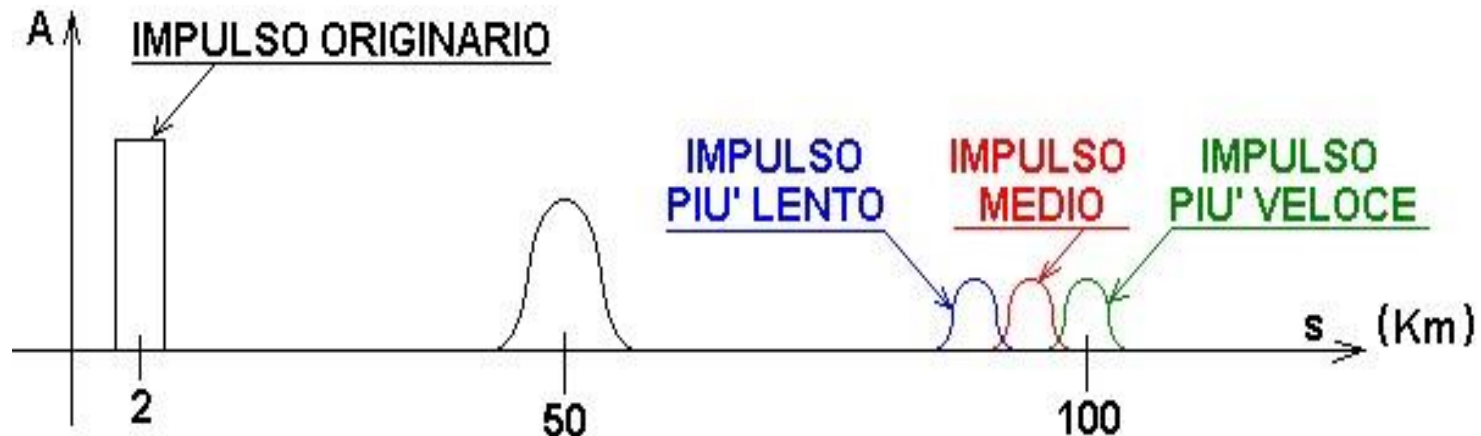


1° RAGGIO PIU' VELOCE

2° RAGGIO MEDIO

3° RAGGIO PIU' LENTO

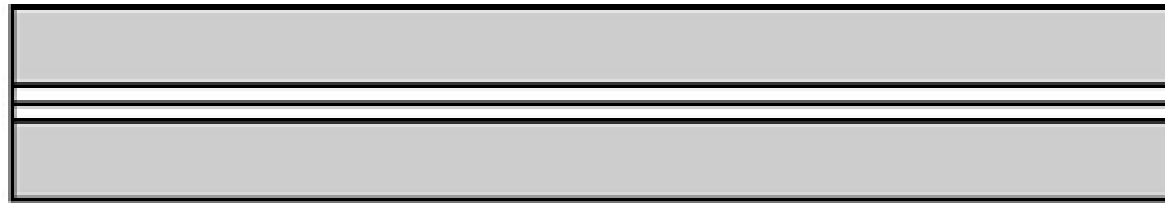
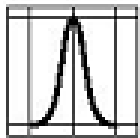
- ✓ Ciascun modo comporta una diversa lunghezza di percorso, quindi un tempo di percorrenza diverso tra ingresso e uscita. Questo produce una deformazione (dispersione modale) del segnale ricostruito al rivelatore finale, a causa della interferenza intersimbolica (sovrapposizione di impulsi luminosi)



- ✓ Per limitare la dispersione modale occorre ridurre al massimo la differenza tra gli indici di rifrazione n_1 ed n_2 del nucleo e del mantello

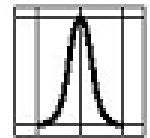
- ✓ Il problema della **dispersione modale** si può risolvere radicalmente solo realizzando fibre in cui sia permesso un **unico modo di propagazione** (***fibre monomodali o single mode***), caratterizzato da un raggio che si propaga in un solo modo ossia in linea retta

Impulso d'ingresso



Monomodo

Impulso d'uscita

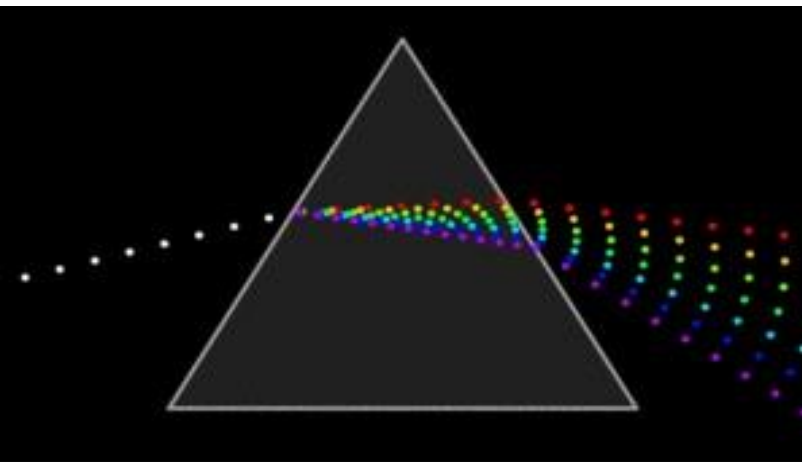




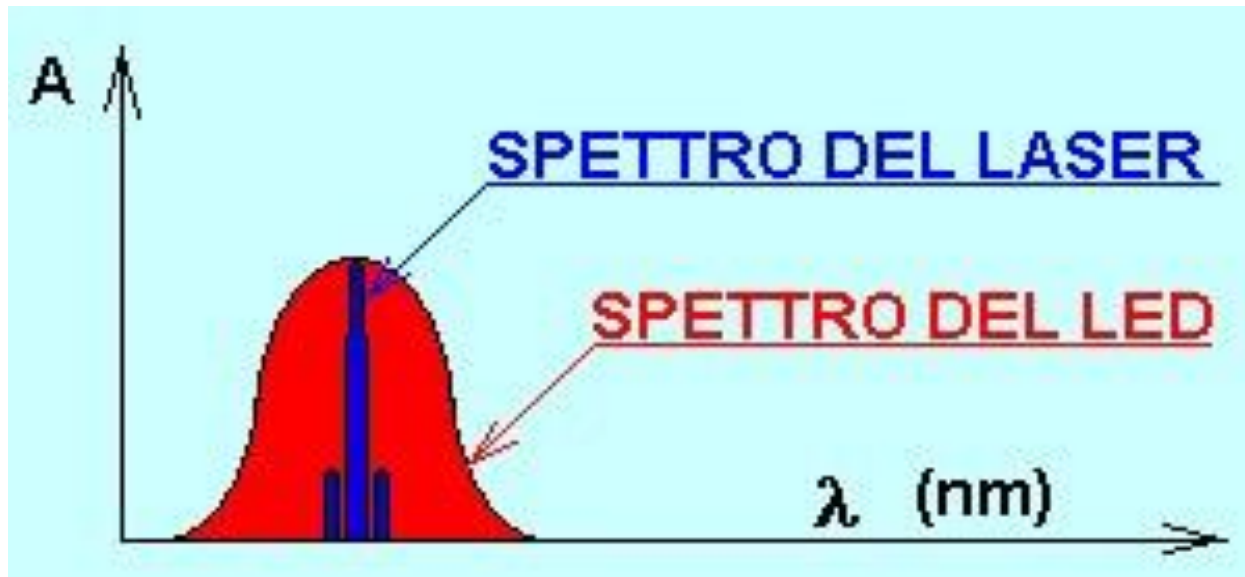
- ✓ Per far ciò occorre rimpicciolire il diametro del nucleo fino a **8-10 μm**
- ✓ Ciò aumenta notevolmente sia la **velocità trasmissiva** sia la **distanza** a cui si possono inviare i dati
- ✓ La dimensione del nucleo, tuttavia, rende problematico l'**accoppiamento** della sorgente luminosa, che in tal caso deve essere un **LASER a infrarosso**, concentrato

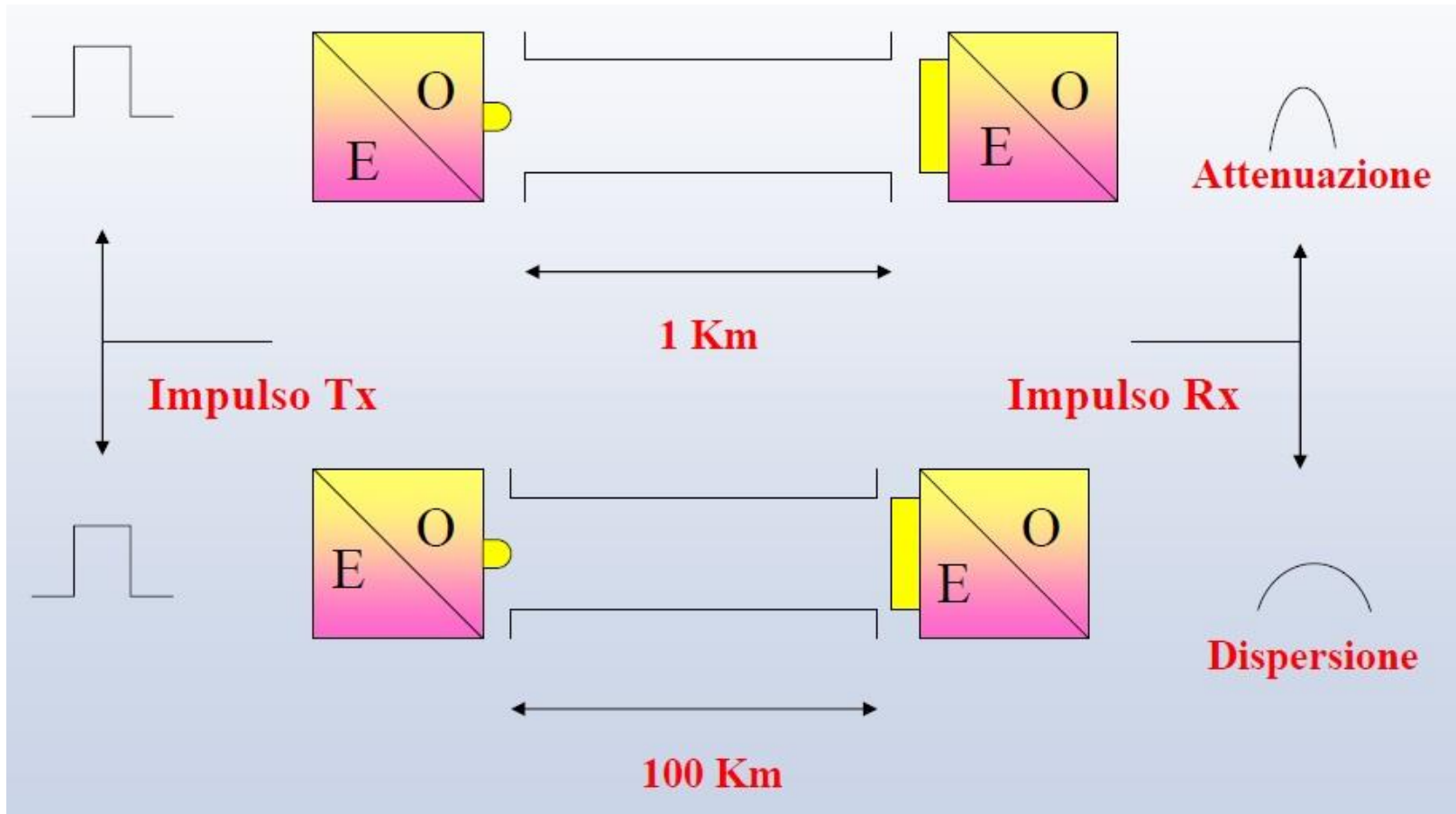
	FIBRA MONOMODALE	FIBRA MULTIMODALE
NUCLEO	Piccolo (< 10 μm .)	Più grande (50 μm , 62,5 μm o più)
DISPERSIONE	Prevale la dispersione cromatica.	Prevale la dispersione modale.
DISTANZA COPERTA	Adatto per applicazioni a lunga distanza (fino a 3 km).	Lunghe distanze ma minori che nel caso monomodale (fino a 2 km).
SORGENTE LUMINOSA	Utilizzo di LASER, più pericolosi.	Utilizzo del LED, che dà meno problemi di sicurezza.
CONNESSIONE	Più difficoltosa a causa del nucleo piccolo.	Meno difficoltosa (nucleo più grande).
COSTO	Maggiore	Minore
POTENZA OTTICA	Maggiore	Minore

- ✓ E' causata dal diverso comportamento della fibra **al variare della lunghezza d'onda λ** (ossia del *colore*) della radiazione che vi si propaga
- ✓ Ciò è dovuto al fatto che la sorgente luminosa ha una certa ***larghezza spettrale***, in quanto la radiazione immessa nella fibra non ha mai una lunghezza d'onda stabilita con precisione, bensì ha un $\Delta\lambda$ (da qualche nm a qualche decina di nm).



- Anche questo tipo di dispersione ha come risultato la restituzione all'estremità più lontana di un **impulso allargato** e più basso rispetto all'impulso di origine.
- La dispersione cromatica si riduce impiegando sorgenti con **stretta larghezza spettrale (LASER)** in cui $\Delta\lambda \approx 1-3 \text{ nm}$





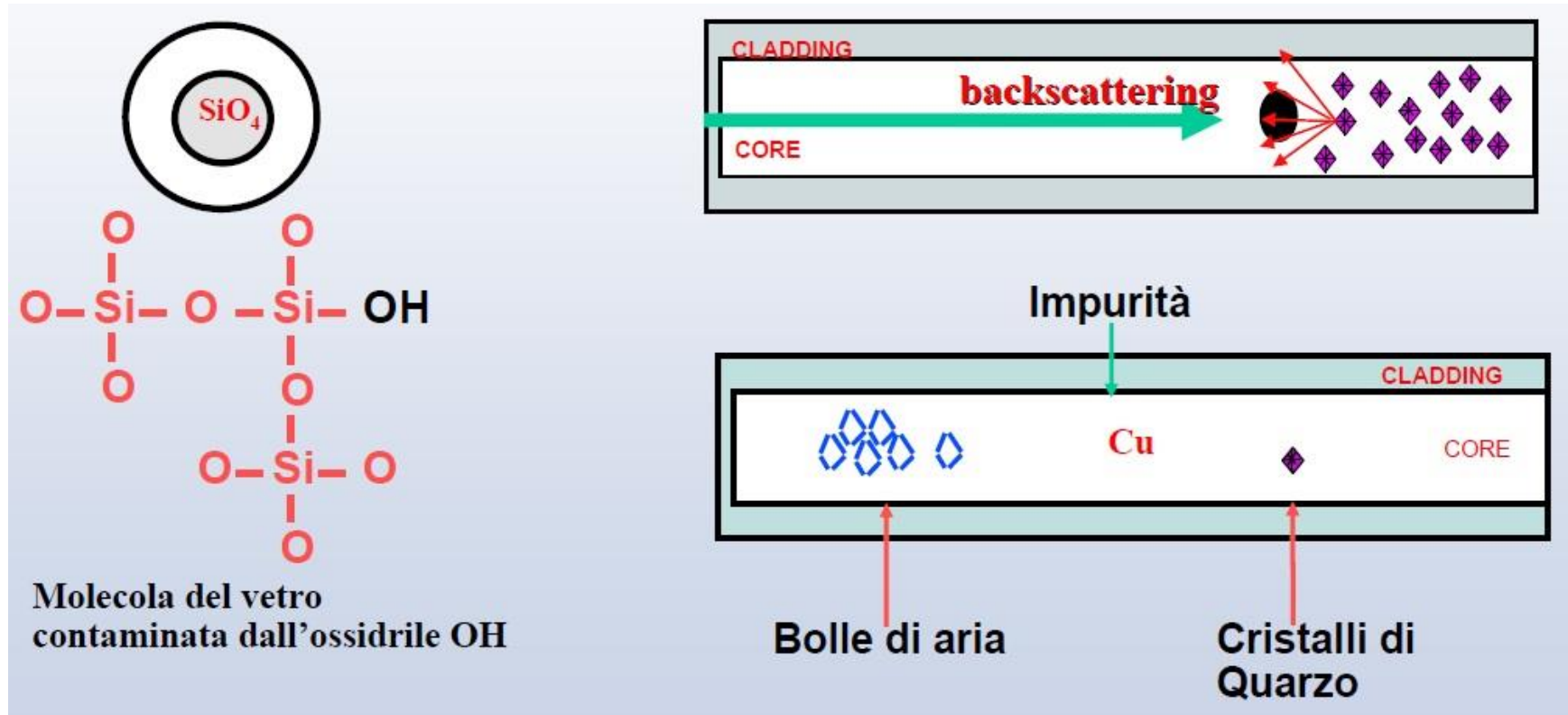
- ✓ Quando un segnale ottico si propaga lungo una fibra subisce una riduzione di potenza ottica cioè una attenuazione.
- ✓ L'attenuazione $A(\lambda)$ introdotta da una fibra ottica di lunghezza L è definita da:

$$A(\lambda) = 10 \cdot \log (P_1(\lambda) / P_2(\lambda)) \quad [\text{dB}]$$

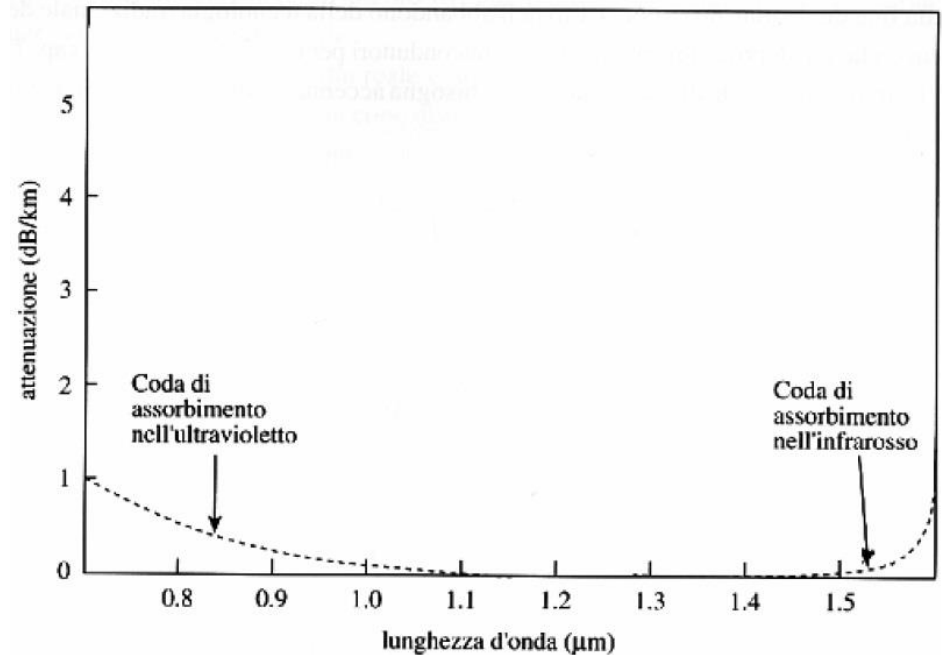
- ✓ P_1 è P_2 sono la potenza di ingresso e in uscita dalla fibra
- ✓ Generalmente si fa riferimento all'attenuazione introdotta da un chilometro di fibra (attenuazione specifica o chilometrica)

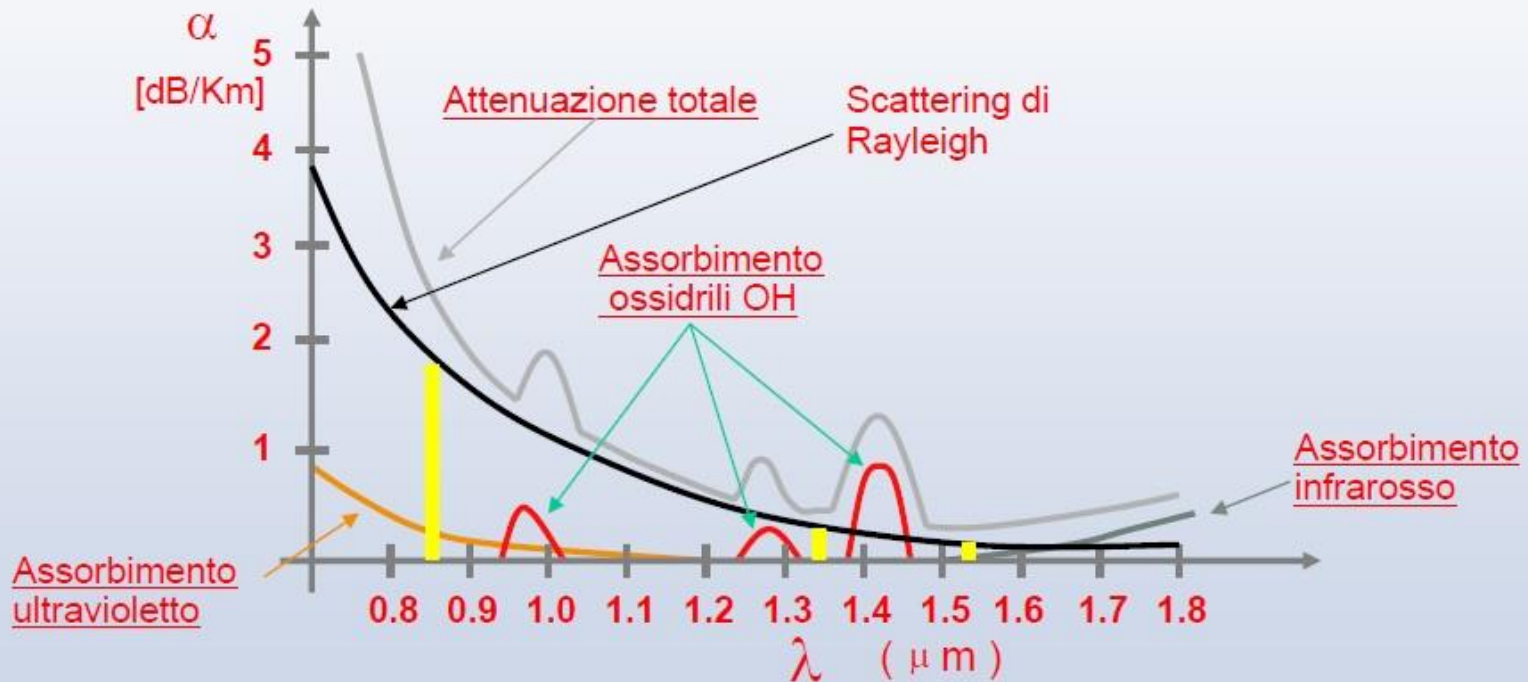
$$\alpha (\lambda) = A(\lambda) / L \quad [\text{dB/Km}]$$

- ✓ Le cause di attenuazione possono essere:
- **Assorbimento:** causato da presenza di impurità, gruppi ossidrilici (OH-, UV, IR), metalli di transizione (Cu, Fe, Ni, Cr, Co, Mn, V)
 - **Diffusione (scattering di Rayleigh):** causato da fluttuazioni di densità a livello molecolare o back scattering (riflettimento)
 - **Imperfezioni meccaniche:** causato da variazioni del raggio core, microcurvature o microfratture



- ✓ I fotoni dotati di energia adeguata possono essere assorbiti dal materiale costituente la fibra, vengono poi restituiti liberando energia sotto forma di calore. Il fenomeno ha il suo massimo nell'ultravioletto
- ✓ Quando i fotoni hanno frequenza vicina a quella di risonanza degli atomi del vetro si dissipa calore in energia ottica causando la coda di attenuazione nell'infrarosso





<i>Posizione nello spettro</i>	<i>Intervalli λ</i>	<i>attenuazione alle λ di funzionamento</i>
I FINESTRA	800 ÷ 900 nm	1,5 dB a $\lambda=850$ nm
II FINESTRA	1250 ÷ 1350 nm	0,35 dB a $\lambda=1310$ nm
III FINESTRA	1500 ÷ 1550 nm	0,2 dB a $\lambda=1550$ nm

- ✓ La propagazione entro una fibra ottica avviene in ***formato numerico***
- ✓ Sebbene sia possibile generare e trasmettere un segnale luminoso che vari in maniera *analogica* la trasmissione su fibra ne determinerebbe una **distorsione** tale da renderlo inutilizzabile
- ✓ In conclusione l'unico tipo di segnale che viene scambiato in un sistema ottico è quello ***digitale binario***

✓ Un sistema di trasmissione ottica necessita di **tre componenti**

- 1) La **sorgente luminosa**, un *LED* o un *LASER*, che trasforma i segnali elettrici *digitali* in una serie di impulsi luminosi (convertitore Elettro/Ottico)
- 2) il **mezzo di trasmissione** cioè la fibra ottica vera e propria
- 3) il **fotodiodo ricevitore** (convertitore Ottico / Elettrico), che riconverte gli impulsi luminosi nei segnali elettrici originari. La velocità di trasmissione su fibra ottica dipende dal tempo di risposta del fotodiodo ricevitore ($1/t_R$)

- ✓ Lo schema seguente rappresenta genericamente un collegamento tra una **sorgente** ed un **ricevente** collegati da un **canale di trasmissione ottico**.

