



LE FIBRE OTTICHE


Pietro Nicoletti

Silvano Gai





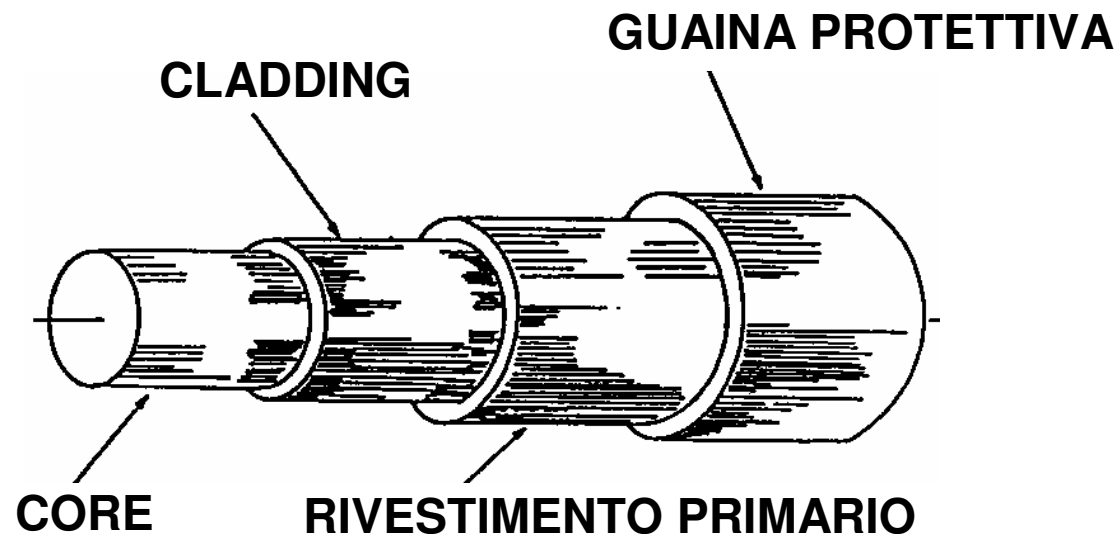
Nota di Copyright

- Questo insieme di trasparenze (detto nel seguito slides) è protetto dalle leggi sul copyright e dalle disposizioni dei trattati internazionali. Il titolo ed i copyright relativi alle slides (ivi inclusi, ma non limitatamente, ogni immagine, fotografia, animazione, video, audio, musica e testo) sono di proprietà degli autori indicati a pag. 1.
 - Le slides possono essere riprodotte ed utilizzate liberamente dagli istituti di ricerca, scolastici ed universitari afferenti al Ministero della Pubblica Istruzione e al Ministero dell'Università e Ricerca Scientifica e Tecnologica, per scopi istituzionali, non a fine di lucro. In tal caso non è richiesta alcuna autorizzazione.
 - Ogni altra utilizzazione o riproduzione (ivi incluse, ma non limitatamente, le riproduzioni su supporti magnetici, su reti di calcolatori e stampate) in toto o in parte è vietata, se non esplicitamente autorizzata per iscritto, a priori, da parte degli autori.
 - L'informazione contenuta in queste slides è ritenuta essere accurata alla data della pubblicazione. Essa è fornita per scopi meramente didattici e non per essere utilizzata in progetti di impianti, prodotti, reti, ecc. In ogni caso essa è soggetta a cambiamenti senza preavviso. Gli autori non assumono alcuna responsabilità per il contenuto di queste slides (ivi incluse, ma non limitatamente, la correttezza, completezza, applicabilità, aggiornamento dell'informazione).
 - In ogni caso non può essere dichiarata conformità all'informazione contenuta in queste slides.
 - In ogni caso questa nota di copyright non deve mai essere rimossa e deve essere riportata anche in utilizzi parziali.
- 



Struttura di una fibra ottica

- È un minuscolo e flessibile filo di materiale vetroso:
 - una parte interna detta nucleo (core)
 - una parte esterna detta mantello (cladding)
 - core e cladding hanno indici di rifrazione diversi per confinare la luce all'interno del core



Caratteristiche

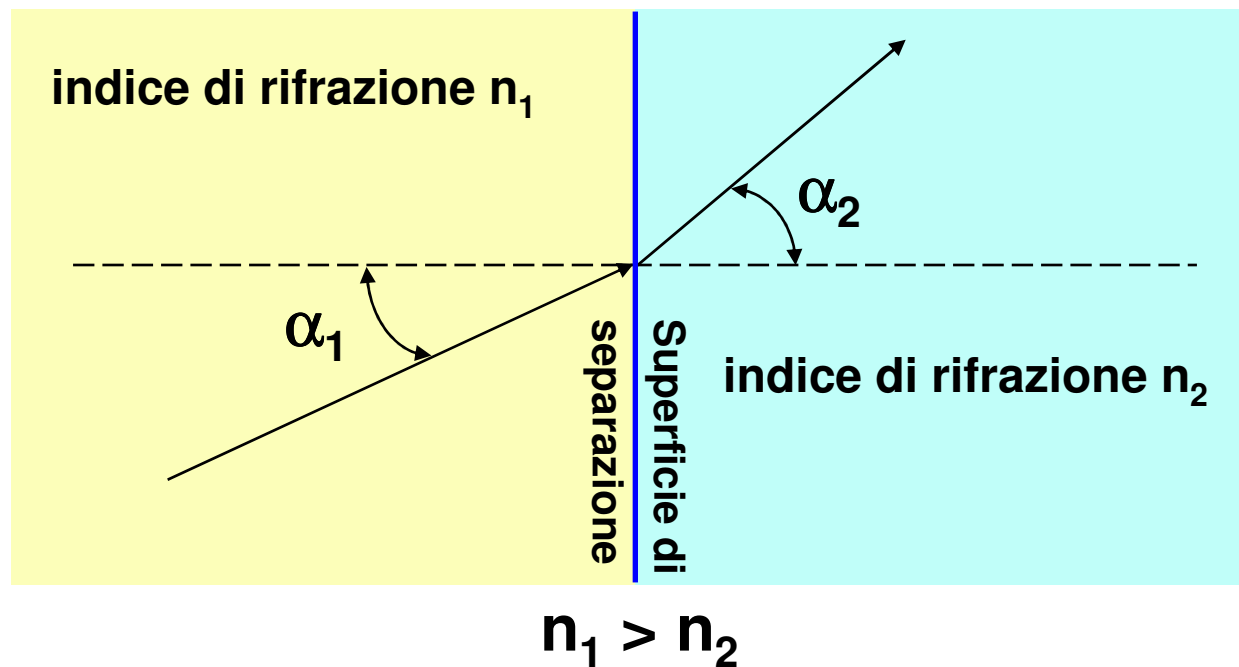
- Le fibre ottiche sono unicamente adatte a collegamenti punto a punto, non essendo possibile prelevare o inserire il segnale in un punto intermedio
- Totale immunità ai disturbi elettromagnetici
- Caratterizzate da due numeri n/m dove:
 - n diametro della parte interna conduttrice di luce
 - m diametro della parte esterna
- Valori tipici in micron
 - multimodali 50/125, 62.5/125, 100/140
 - monomodali 8-10/125

Cenni di propagazione guidata

- La propagazione all'interno delle fibre ottiche avviene per riflessioni successive
- Un ruolo chiave è giocato dall'indice di rifrazione indicato con n :
 - il core e il cladding avendo indici di rifrazione diversi riflettono la luce secondo le leggi dell'ottica geometrica (legge di Snell)
 - nel core la velocità di propagazione è inversamente proporzionale all'indice di rifrazione
- Al ridursi delle dimensioni del core:
 - l'ottica geometrica diventa insufficiente a spiegare il funzionamento delle fibre
 - si adotta la teoria delle guide d'onda

La legge di Snell

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$



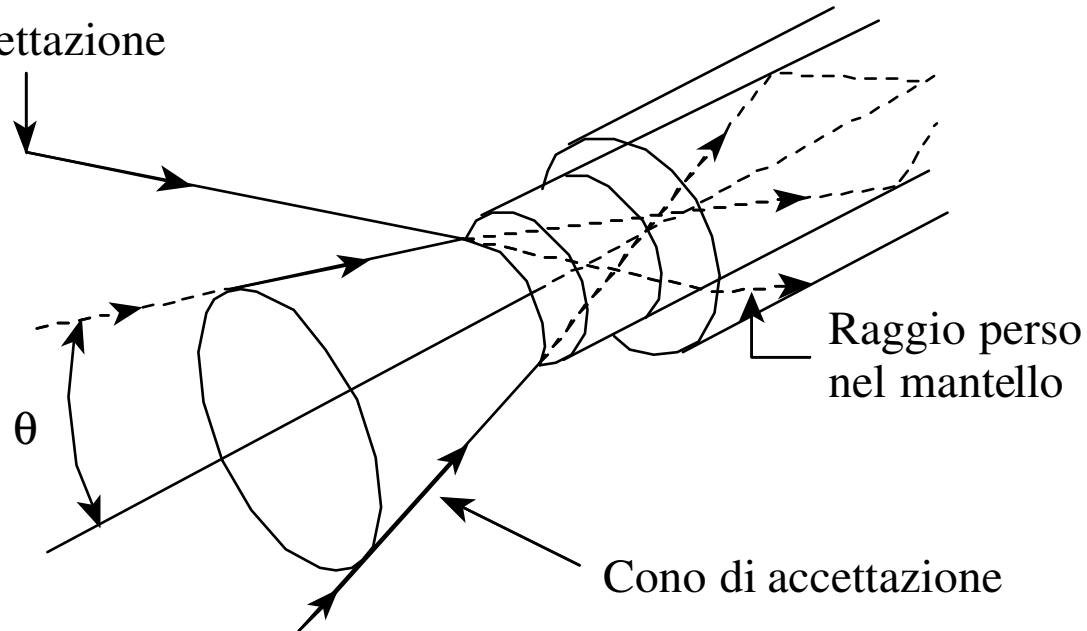
La legge di Snell

- 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 a:
 - $\alpha_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$ detto angolo critico, si ha riflessione totale
- Valori tipici per le fibre ottiche:
 - $n_2 = 1.475$
 - $n_1 = 1.5$
 - $\alpha_c = 79.5$ gradi

Cono di accettazione

■ $\theta = 90 - \alpha_c$

Raggio fuori dal cono di accettazione



Raggio perso nel mantello


Cono di accettazione

$NA = \sin \theta$

$\theta =$ massimo angolo di accettazione



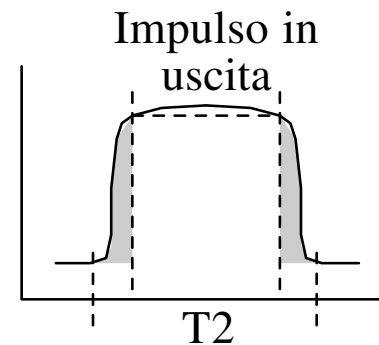
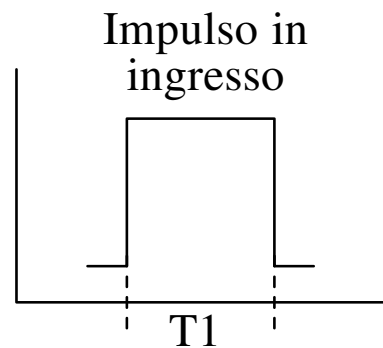
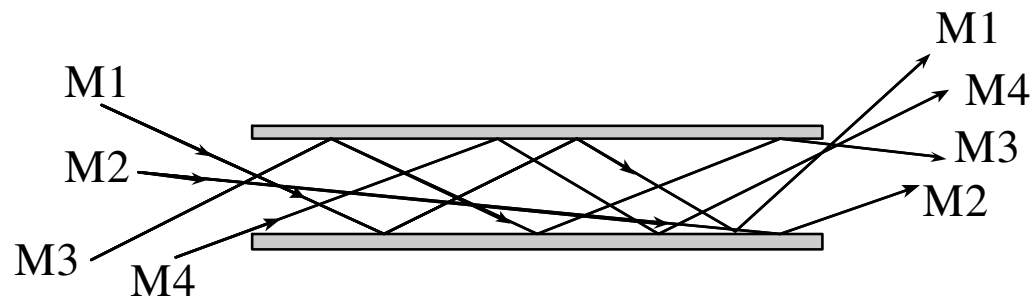
Modi di Propagazione

- In generale in una fibra ottica la luce ha più modi di propagazione (dispersione modale) che limitano la banda
 - Nelle fibre ottiche multimodali la luce si propaga con diversi percorsi o modi
 - esistono due tipi diversi di fibre multimodali:
 - step-index (oggi non più utilizzate)
 - graded-index (utilizzate tipicamente nelle reti locali)
 - Nelle fibre ottiche monomodali la luce si propaga in un solo modo
- 



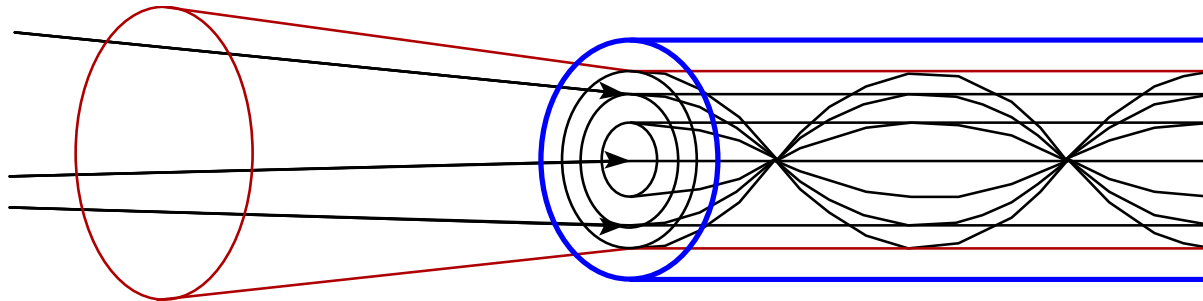
Fibre multimodali step-index

- La variazione degli indici di rifrazione tra cladding e core è brusca e causa molta dispersione modale



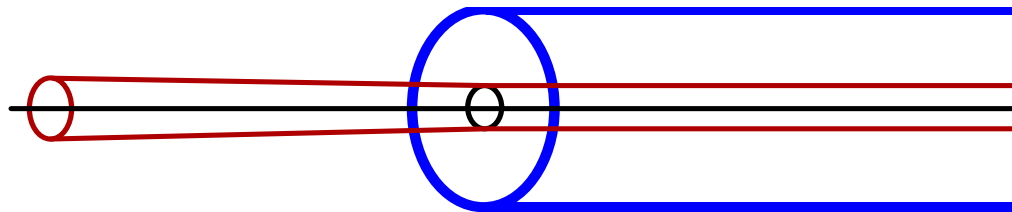
Fibre multimodali graded-index

- La variazione continua degli indici di rifrazione rallenta i raggi più centrali
 - Le fibre graded-index hanno una banda passante molto superiore a quelle step-index
 - Lavorano in 1^a e 2^a finestra (850 e 1300 nm)



Fibre monomodali

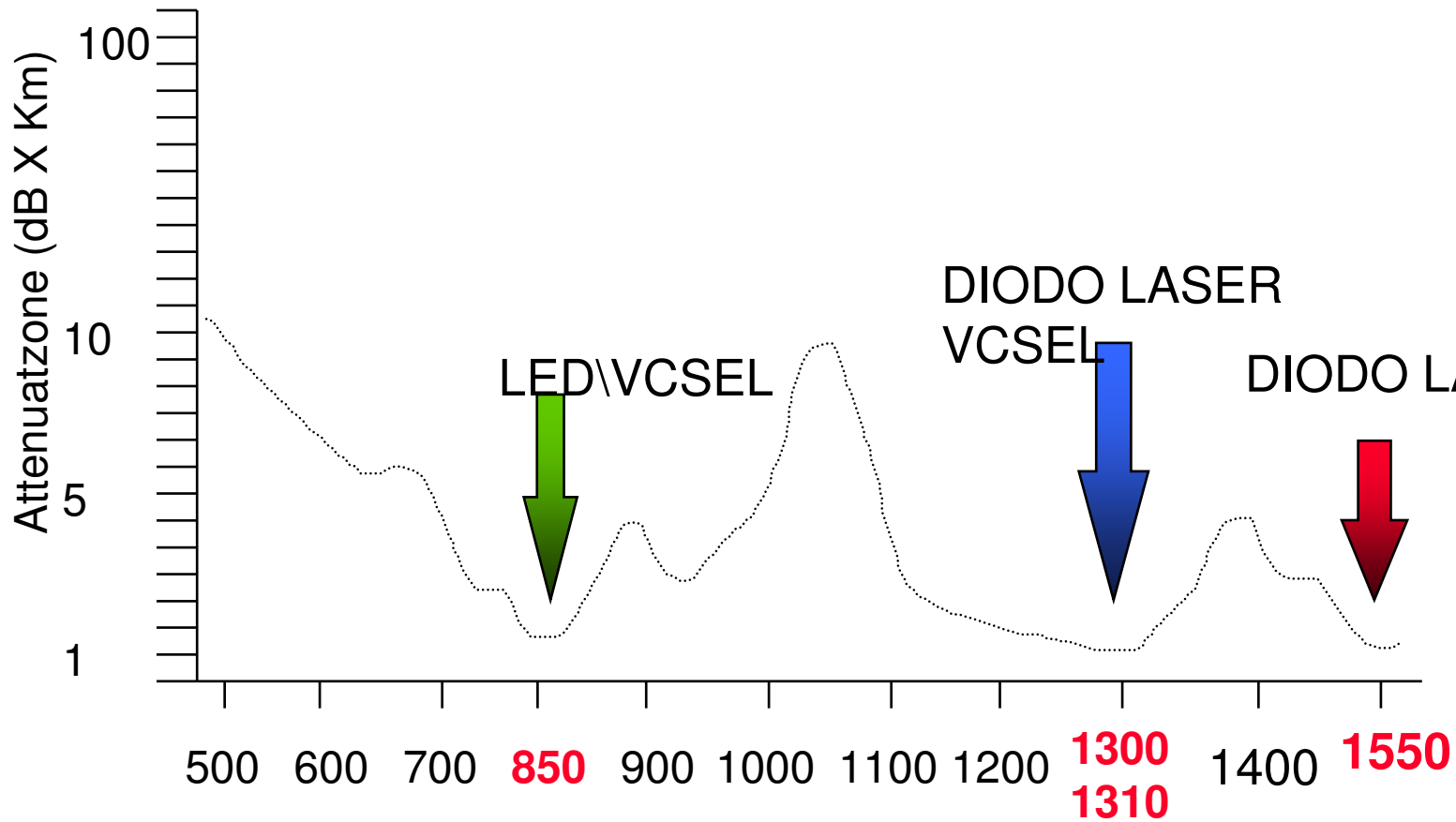
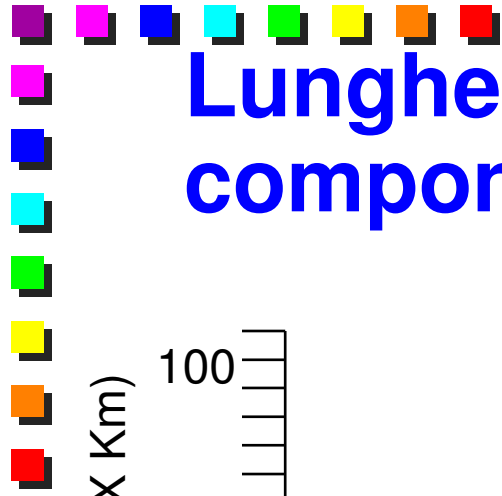
- La fibra si comporta come una guida d'onda ammettendo una sola modalità di propagazione:
 - non si ha dispersione modale
 - la banda passante è elevatissima, dell'ordine di centinaia di GHz · Km
 - lavorano in 2^a e 3^a finestra (1300 e 1500 nm)



Tipi di trasmissione

- Sulle fibre ottiche si usano due diverse modalità di trasmissione:
 - sulle fibre multimodali si trasmette con LED che sono poco costosi
 - sulle fibre monomodali si trasmette con Laser che sono più costosi dei LED, ma si coprono distanze maggiori a velocità maggiori

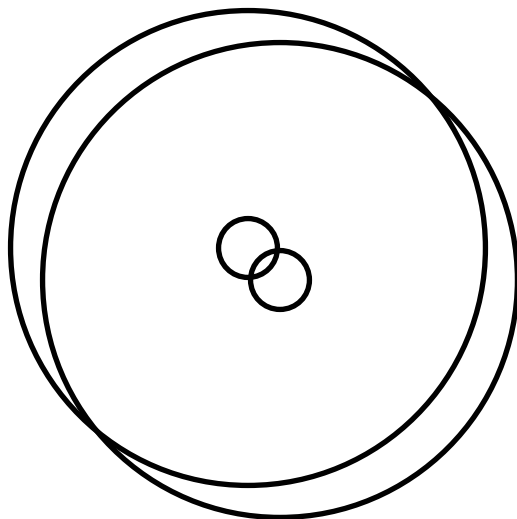
Lunghezze d'onda e componentistica ottica



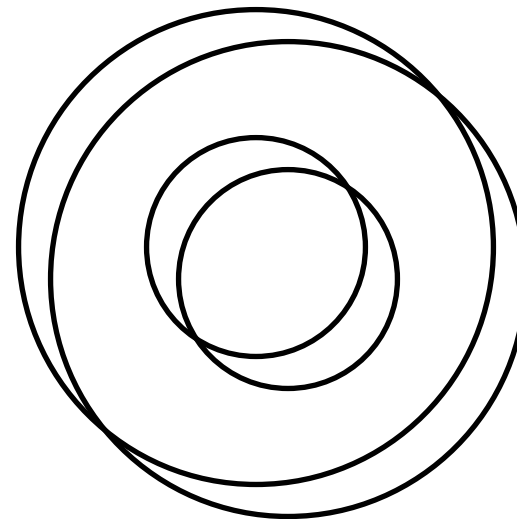
Interconnessione

- La difficoltà di interconnettere fibre ottiche aumenta al diminuire delle dimensioni del core.

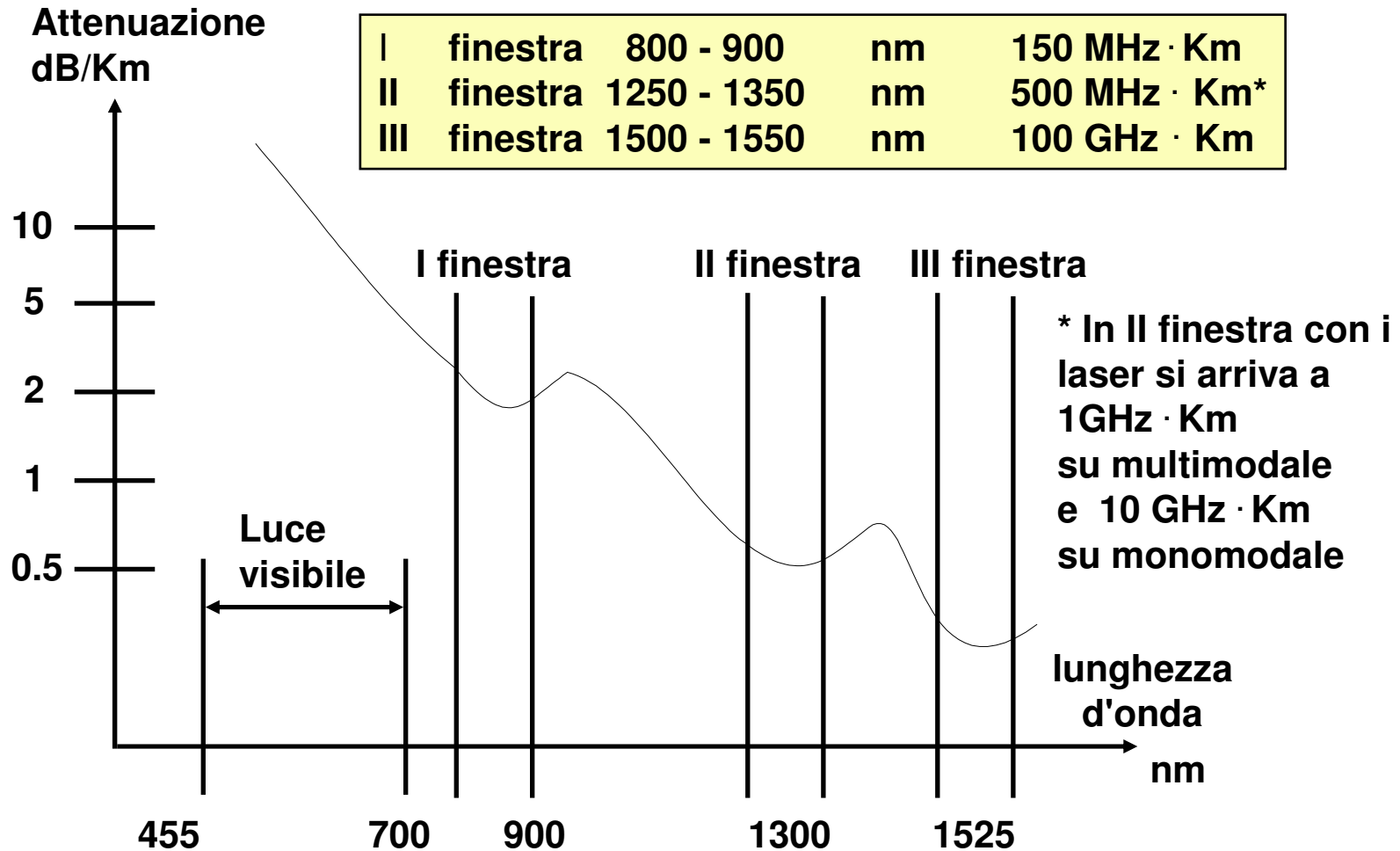
10/125



50/125



Finestre di utilizzo



Fibra a specifiche ISO/IEC 11801

- **Caratteristiche minime richieste dallo standard ISO/IEC 11801 riferite alla fibra ottica multimodale 62.5/125 μm :**

| Lunghezza d'onda (nm) | Attenuazione massima (dB/Km) | Banda passante (MHz · Km) |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| 850 | 3.5 | 200 |
| 1300 | 1.0 | 500 |

Fibra a specifiche TIA/EIA 568A

- **Caratteristiche minime richieste dallo standard TIA/EIA 568A riferite alla fibra ottica multimodale 62.5/125 μm :**

| Lunghezza d'onda (nm) | Attenuazione massima (dB/Km) | Banda passante (MHz · Km) |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| 850 | 3.75 | 160 |
| 1300 | 1.5 | 500 |

I cavi in fibra ottica

- A seconda della diversa metodologia costruttiva utilizzata si identificano tre principali famiglie di cavi in fibra ottica:
 - Cavi di tipo tight, suddivisi in:
 - cavi multimonofibra
 - cavi multifibra
 - Cavi di tipo loose
 - Cavi di tipo slotted core

Cavi di tipo tight

■ Caratteristiche:

- hanno le guaine protettive aderenti alla fibra
- possono essere direttamente terminati con diversi connettori: ST, SC, FC-PC, ecc.

■ Vengono utilizzati per installazioni in luoghi interni

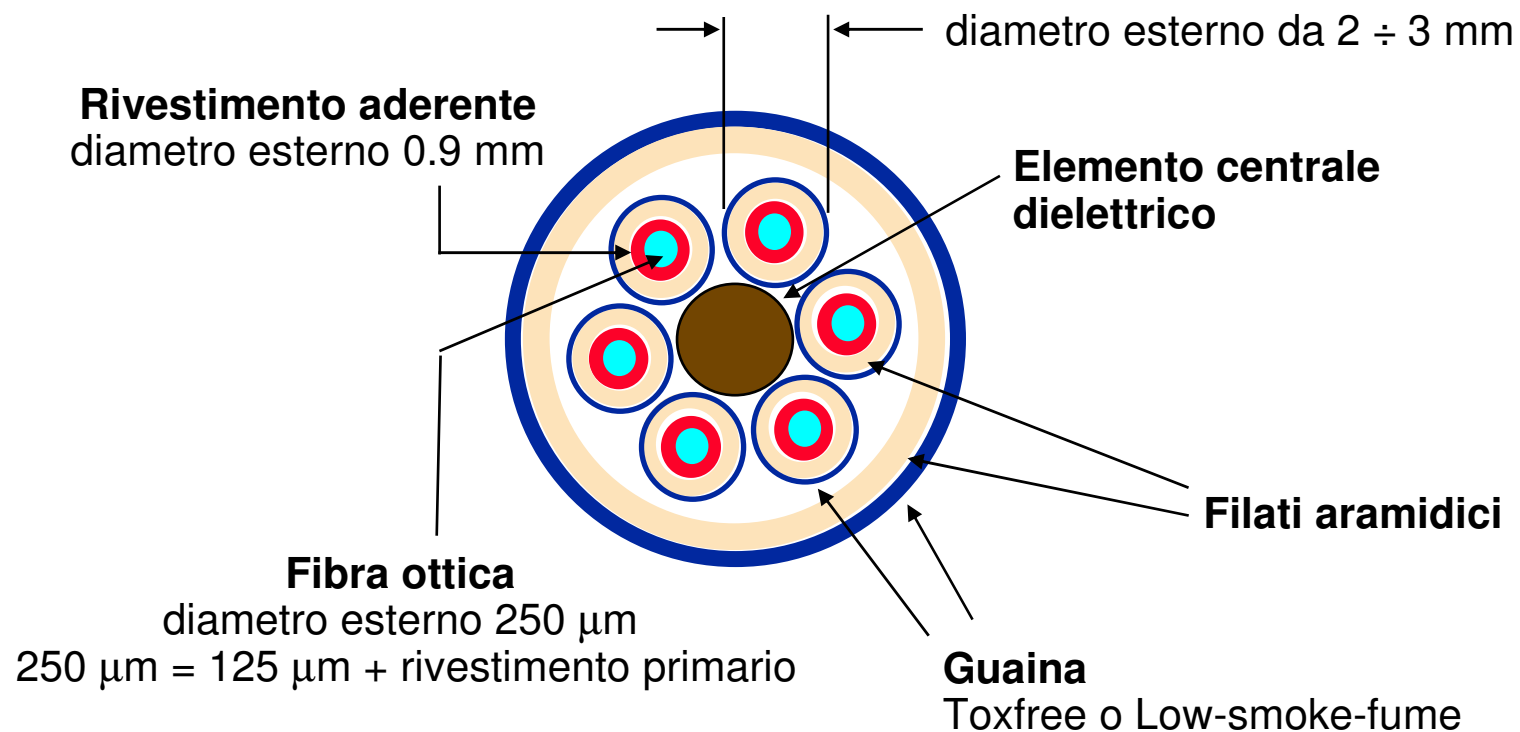
■ Si suddividono in due famiglie:

- cavi multimonofibra
- cavi multifibra

Cavi multimonomofibra

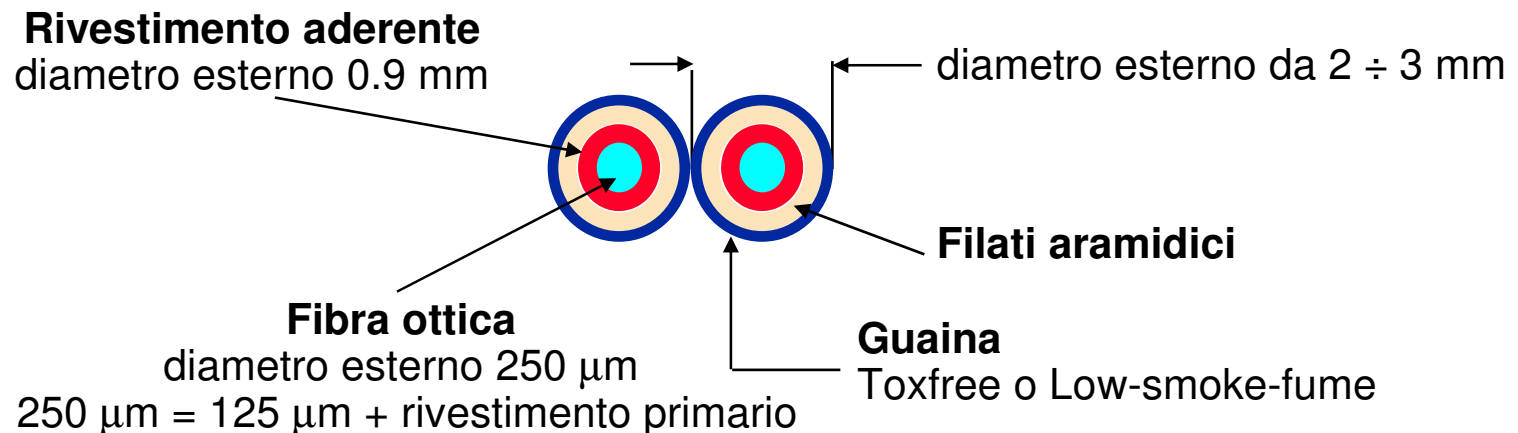
■ Cavi molto robusti (massimo 8 fibre)

- ogni singola fibra può avere un rivestimento di 2 ÷ 3 mm di diametro



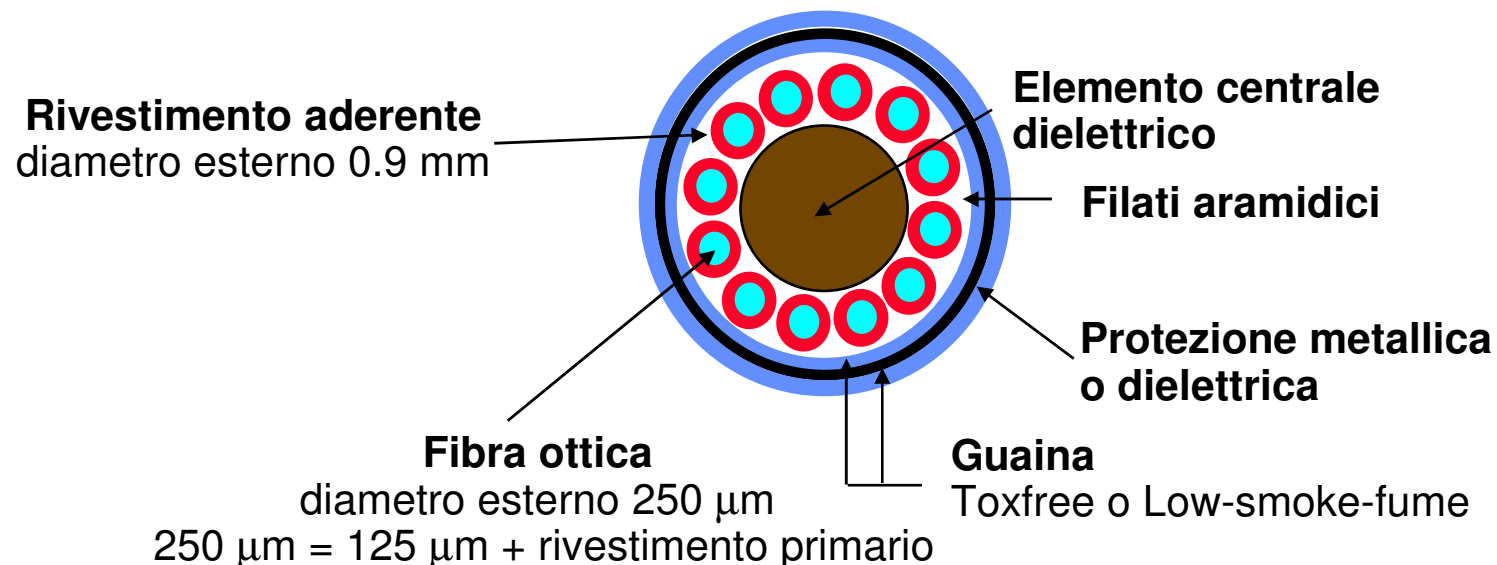
Bretelle ottiche

- Le bretelle ottiche servono per effettuare le permutazioni tra gli apparati attivi ed i pannelli di terminazione
 - utilizzano un cavo multimonofibra a due fibre, chiamato anche cavo bifibra



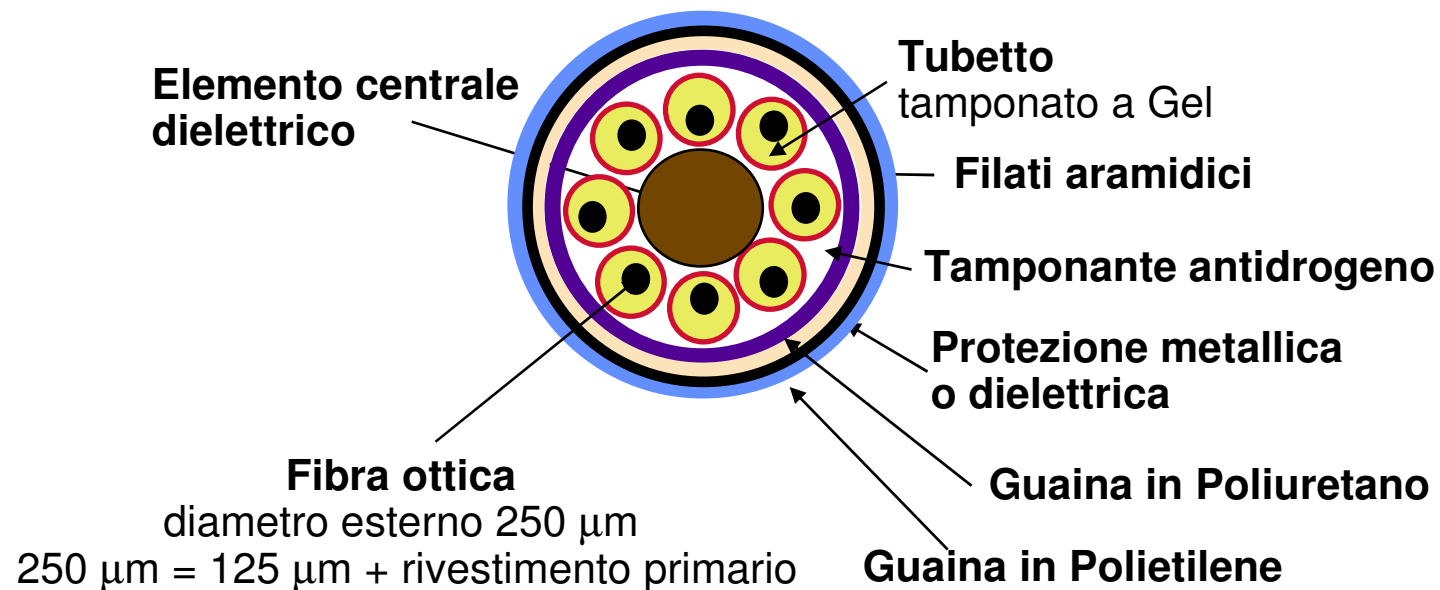
Cavi multifibra

- Usati come cavi dorsale perchè permettono una maggiore densità di fibre (massimo 32)
 - ogni singola fibra ha un rivestimento aderente con un diametro esterno di 0.9 mm
 - per rendere robusto il cavo si impiega una protezione metallica o dielettrica



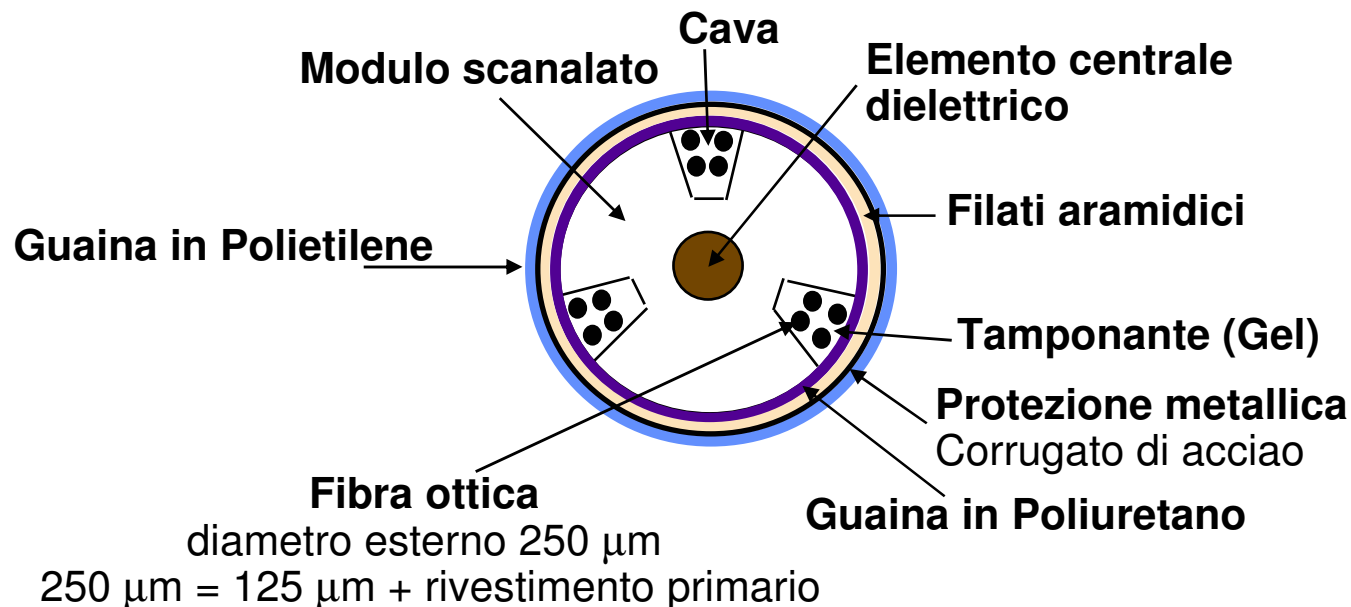
Cavi di tipo loose

- Cavi usati per installazioni in luoghi esterni soggetti a presenza di acqua o umidità
 - possono contenere fino a 100 fibre ottiche
 - devono essere giuntati tramite tecniche di splicing o fusione a cavetti monofibra di tipo tight



Cavi di tipo slotted core

- Cavi usati per installazioni in luoghi esterni soggetti a presenza di acqua o umidità
 - possono contenere fino a 400 fibre ottiche
 - devono essere giuntati tramite tecniche di splicing o fusione a cavetti monofibra di tipo tight

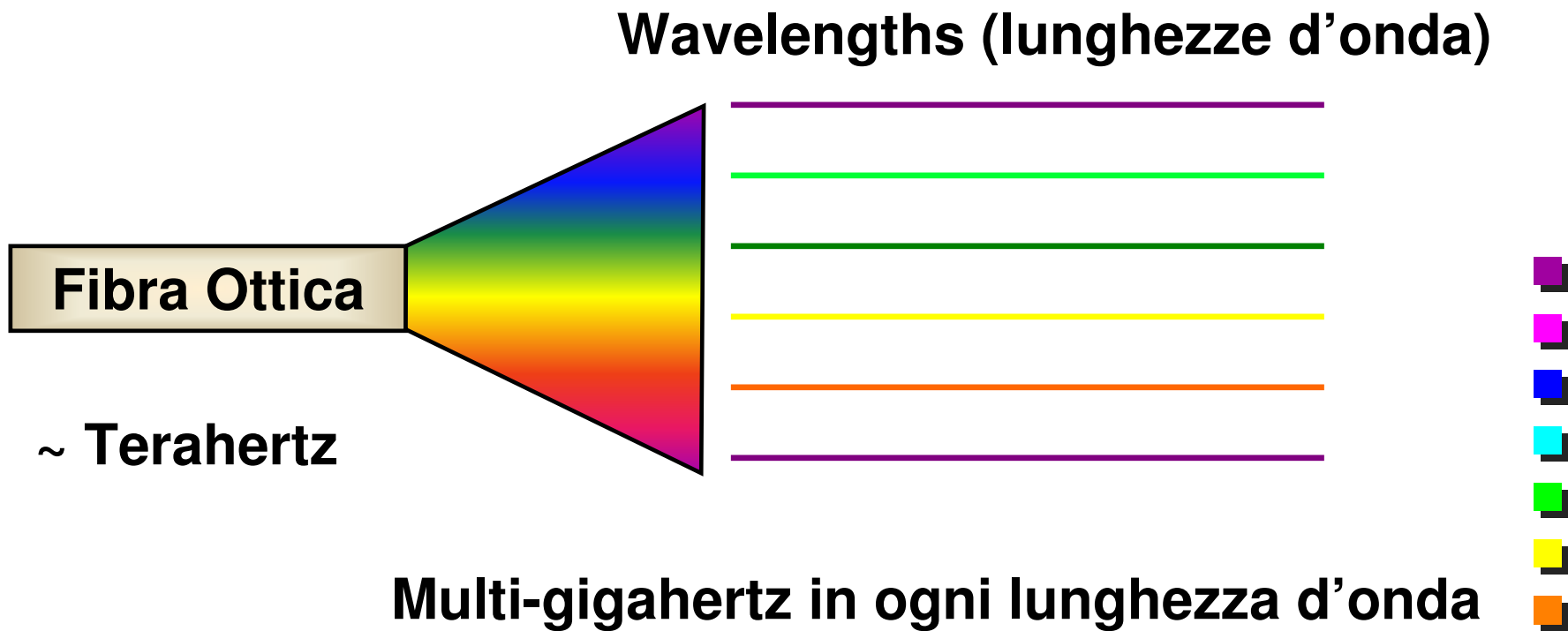


Fibre Ottiche

- Più costose del rame (bifibra multimodale può costare 2500 lire/metro)
- Molto costose le giunzioni e la connettorizzazione:
 - il problema è più critico al diminuire delle dimensioni del core e quindi nelle monomodali
 - è richiesto personale qualificato con strumentazione adeguata
- Elevate velocità:
 - è oggi standard lavorare a 2.4 Gb/s

WDM: Wavelength Division Multiplexing

- Opera su più lunghezze d'onda multiplexer (MUX) $n \times \text{canali} = n \times \lambda$
 - 4 x 10Gb/s (OC-48)
 - 16 x 2.5Gb/s (OC-192)



WDM, CWDM e DWDM

- WDM (wavelength division multiplexing) da 2 a 4 lunghezze d'onda per fibra.
- CWDM (coarse wavelength division multiplexing) Da 8 lunghezze d'onda ad alcune in più. Pensato per distanze medie adatte a reti regionali o metropolitane.
- DWDM (dense wavelength division multiplexing) supporta da 8 a più lunghezze d'onda. Alcuni produttori offrono apparati che supportano 16 lunghezze d'onda.
 - Sistemi emergenti sono in grado di supportare centinaia di lunghezze d'onda.

Trasmissione con tecnica WDM

- Le trasmissioni su differenti lunghezze d'onda vengono raccolte tramite un Multiplexer (MUX)
- In ricezione i vari canali trasmissivi vengono spillati dalla fibra tramite un De-Multiplexer (DEMUX)

