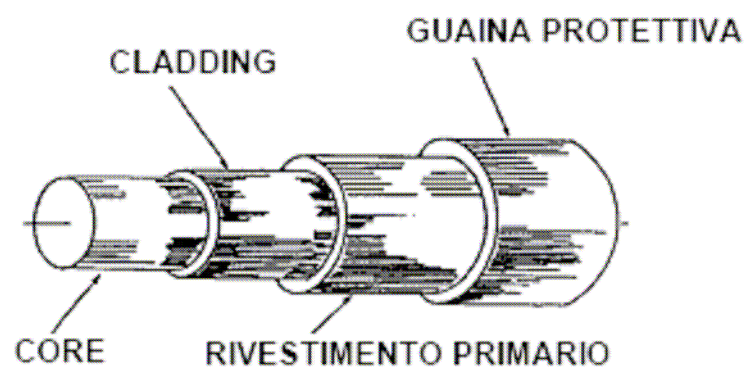


Struttura di una fibra ottica

- È un minuscolo e flessibile filodi materiale vetroso. La parte interna è chiamata nucleo (core), la parte esterna è detta mantello (cladding).



Caratteristiche delle fibre ottiche

- Le fibre ottiche sono unicamente adatte a collegamenti di tipo punto-punto, poichè non è possibile prelevare o inserire il segnale in un punto intermedio del cavo.
- La radiazione elettromagnetica che si propaga nella fibra ottica ha frequenze comprese grossolanamente fra 100 THz e 1000 THz, e quindi ben distinte dalle frequenze utilizzate per le comunicazioni radio (che avvengono nel campo delle microonde, grossomodo da 100 MHz a 100 GHz). Inoltre la radiazione elettromagnetica luminosa viene facilmente bloccata dai corpi solidi, per cui una fibra ottica rivestita di una guaina “opaca” è totalmente immune ai disturbi elettromagnetici.

Caratteristiche delle fibre ottiche

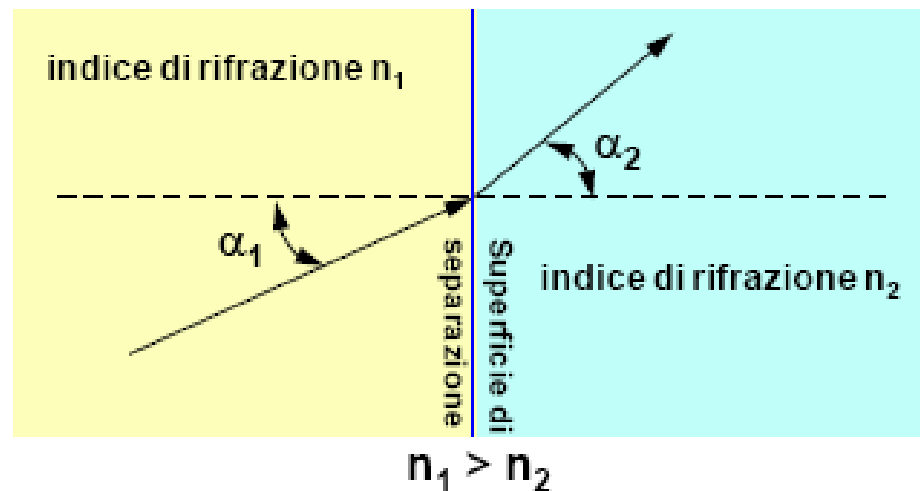
- Le fibre ottiche sono caratterizzate da due numeri n/m dove n è il diametro del core dove viene confinata la luce, mentre m è il diametro del cladding che serve a confinare la luce.

Cenni alla propagazione guidata

- Se la dimensione degli oggetti in gioco è decisamente superiore alla lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica, la sua propagazione può essere studiata tramite la teoria dell'ottica geometrica, altrimenti occorre ricorrere alla teoria delle guide d'onda.
- La propagazione della radiazione elettromagnetica all'interno delle fibre ottiche avviene per riflessioni successive.
- Al fine di dare una spiegazione più intuitiva piuttosto che esauriente, nel seguito faremo sempre riferimento all'ottica geometrica.

Legge di Snell

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



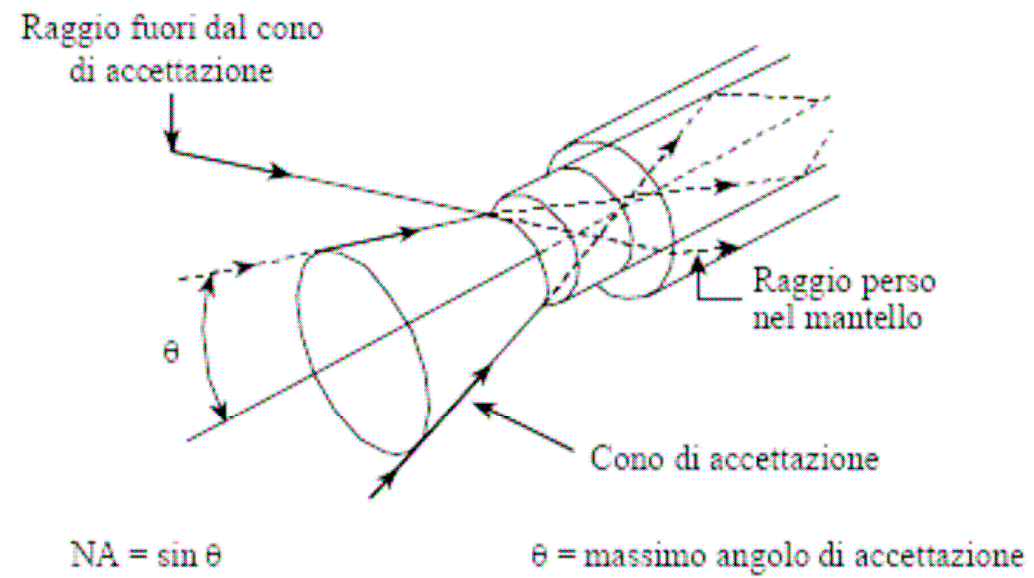
- Senza alcuna perdita di generalità ipotizziamo che sia $n_1 > n_2$, per cui se il raggio trasmesso esiste si ha che $\alpha_2 > \alpha_1$. Supponiamo ora di incrementare progressivamente l'angolo del raggio incidente α_1 fino ad arrivare ad avere $\alpha_2 = 90^\circ$

Legge di Snell

- In tal caso $\alpha_1 = \arcsin(n_2 / n_1) < 90^\circ$. Incrementando ulteriormente α_1 la legge di Snell non può più essere verificata, e non esiste più alcun raggio trasmesso, cioè tutta la potenza incidente viene riflessa. Tale fenomeno viene chiamato *riflessione totale*. In altre parole se il raggio incide sulla superficie di separazione con un angolo superiore all'angolo critico $\alpha_c = \arcsin(n_2 / n_1)$ si ha riflessione totale.
- Nelle fibre ottiche si costruisce il core con un materiale più denso del cladding in modo da confinare la luce nel nucleo e non avere perdite di potenza nella propagazione a distanza.
- Come esempio numerico si prenda $n_1 = 1.5$ e $n_2 = 1.475$ da cui risulta $\alpha_c = 79.5^\circ$

Cono di accettazione

■ $\theta = 90^\circ - \alpha_c$



Modi di propagazione

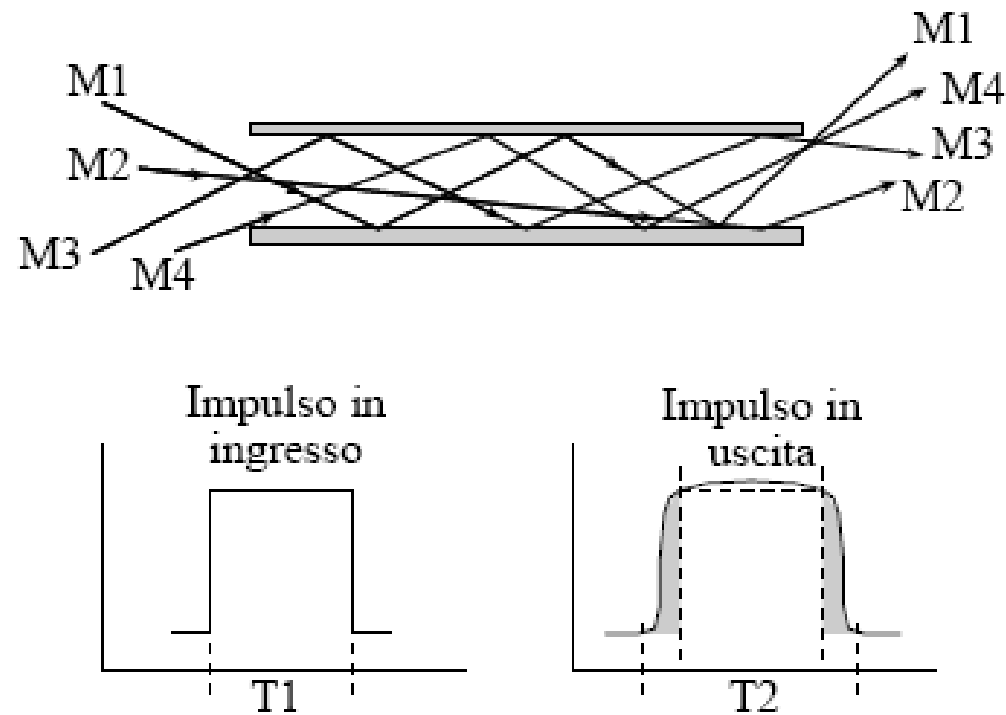
- In generale una fibra ottica presenta più modi di propagazione; soltanto un insieme finito (o al limite numerabile) di radiazioni elettromagnetiche con ben determinate caratteristiche si può propagare nella fibra ottica.
- Se esiste soltanto un modo di propagazione la fibra ottica si dice *monomodale*, altrimenti è detta *multimodale*.
- Dal lato pratico, il numero di modi che si possono propagare in una fibra ottica è determinato dalle dimensioni geometriche, in particolare dalla coppia di numeri n/m che indica i diametri del core e del cladding. Tutte le dimensioni sono espresse in micron; valori tipici per le fibre multimodali sono 50/125, 62.5/125, 100/140, mentre per le fibre monomodali 8-10/125.

Modi di propagazione

- In generale diversi modi di propagazione si propagano nella fibra ottica con velocità differenti, giungendo al ricevitore in istanti diversi; si parla in questo caso di dispersione modale, ed è un fenomeno che provoca una distorsione del segnale trasmesso, che giunge al ricevitore con una forma diversa da quella trasmessa.
 - Ovviamente la dispersione modale non è un problema nelle fibre ottiche monomodali, che quindi sono in grado di garantire prestazioni superiori (in termini di velocità trasmissiva) rispetto alle fibre multimodali.
 - Esistono due diversi tipi di fibra multimodale:
 - Step-index, non più utilizzate
 - Graded-index, utilizzate tipicamente nelle reti locali a medio alte velocità trasmissive
-

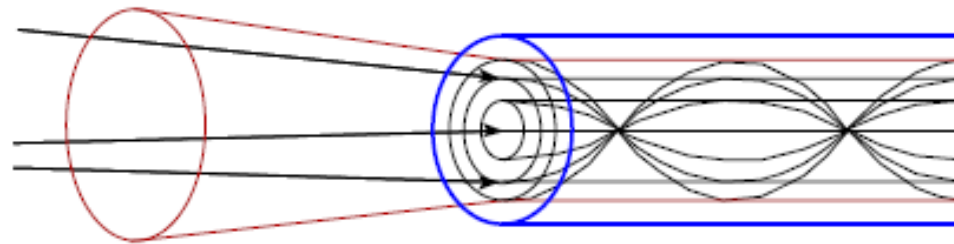
Fibre multimodali step-index

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



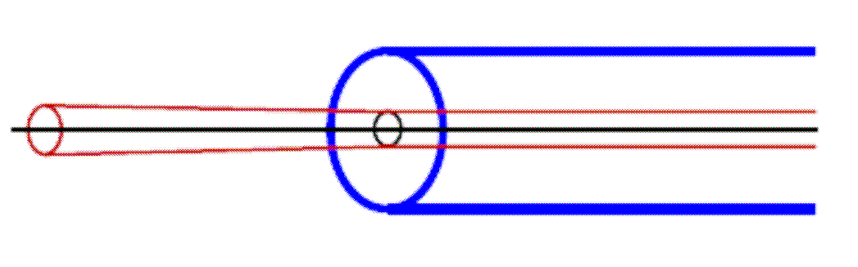
Fibre multimodali graded-index

- Il core non è un materiale omogeneo, infatti l'indice di rifrazione è maggiore sull'asse centrale e diminuisce gradatamente fino all'interfaccia col cladding. Questo “rallenta” i raggi “centrali” che percorrono una distanza minore, mentre i raggi che compiono un percorso maggiore hanno anche una maggiore velocità. Come risultato si ha una diminuzione della dispersione modale e quindi le fibre graded-index hanno una banda passante molto più larga rispetto alle fibre step-index.



Fibre monomodali

- Dato che non presentano dispersione modale, le fibre ottiche monomodali hanno una banda passante elevatissima, dell'ordine delle centinaia di GHz·km



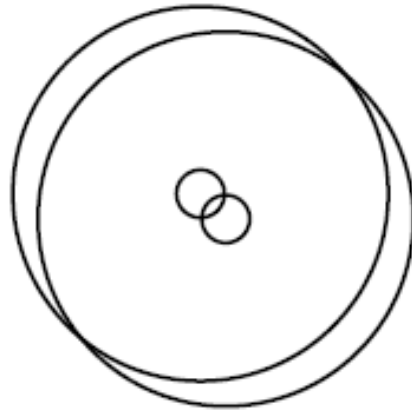
Sorgenti ottiche

- Nella pratica si utilizzano diverse sorgenti ottiche a seconda delle fibre utilizzate, delle distanze da raggiungere e delle velocità trasmissive da ottenere.
- Sulle fibre multimodali si trasmette comunemente con dei diodi laser, che sono sorgenti ottiche tipicamente poco costose.
- Sulle fibre monomodali si trasmette invece con delle sorgenti laser, decisamente più costose delle sorgenti precedenti, ma che permettono di coprire maggiori distanze con velocità trasmissive superiori rispetto alle fibre alimentate da diodi laser.

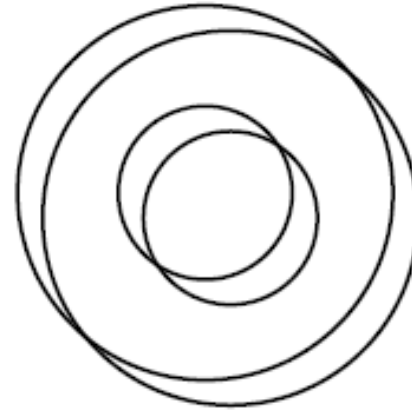
Interconnessione

- La difficoltà di interconnettere i dispositivi ottici aumenta al diminuire delle dimensioni della fibra ottica utilizzata.

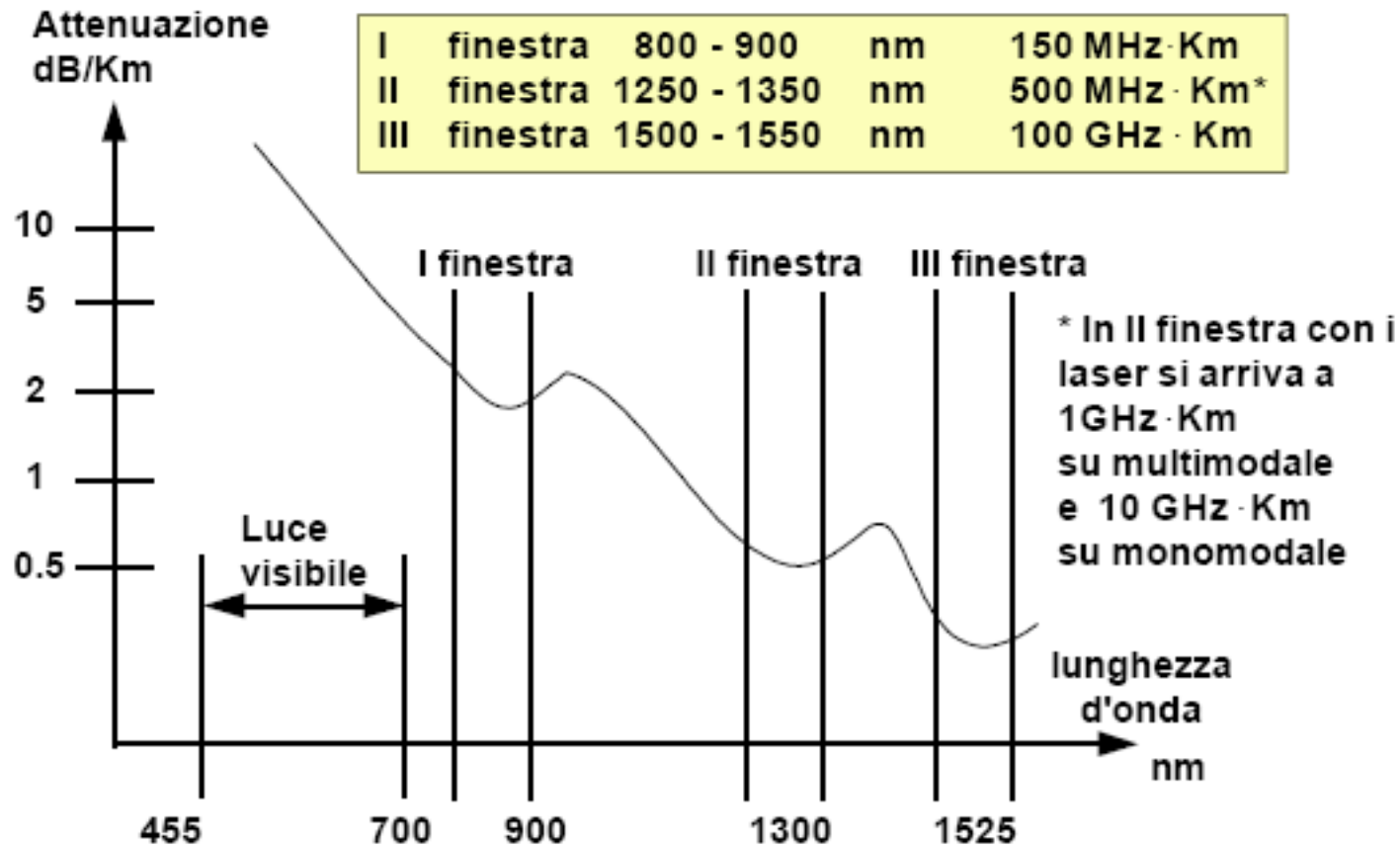
10/125



50/125



Finestre di utilizzo



Alcuni ordini di grandezza

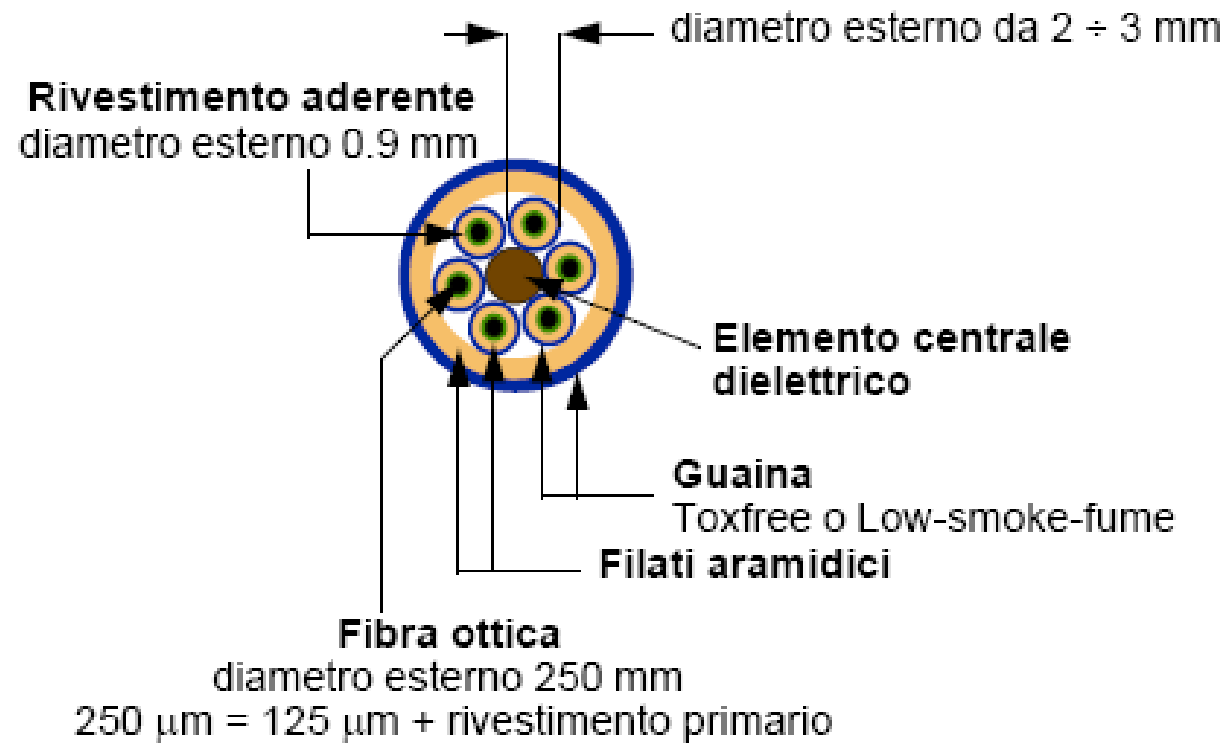
Lunghezza d'onda (nm)	Attenuazione massima (dB/Km)	Banda passante (MHz · Km)
850	3.5	200
1300	1.0	500

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

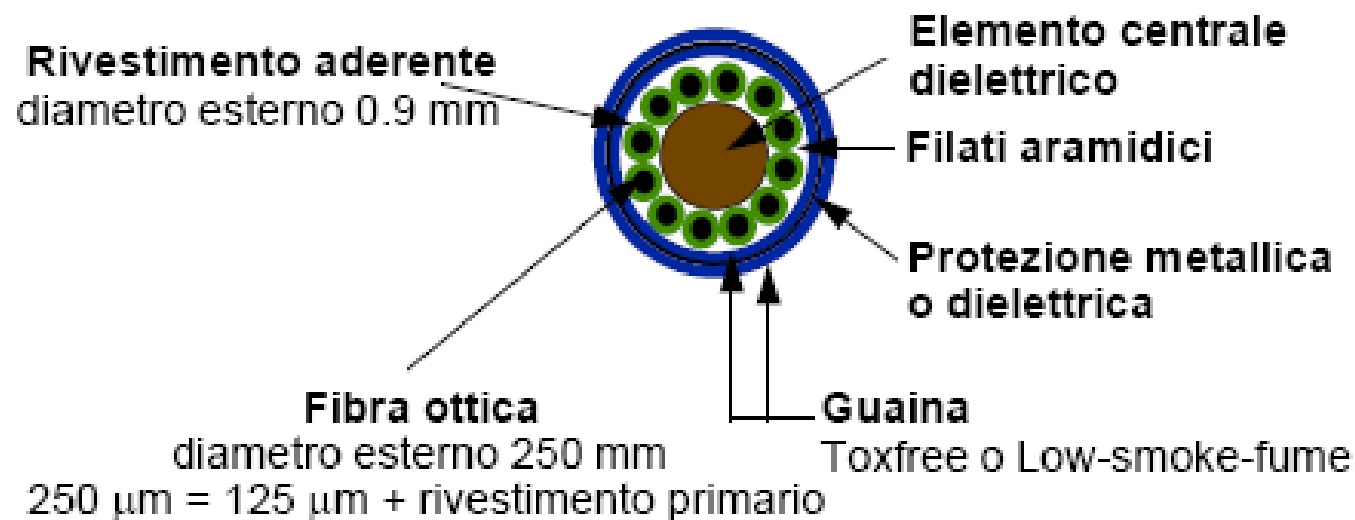
Cavi di tipo tight multimonomfibra

- Sono cavi molto robusti, spesso installati in ambienti interni



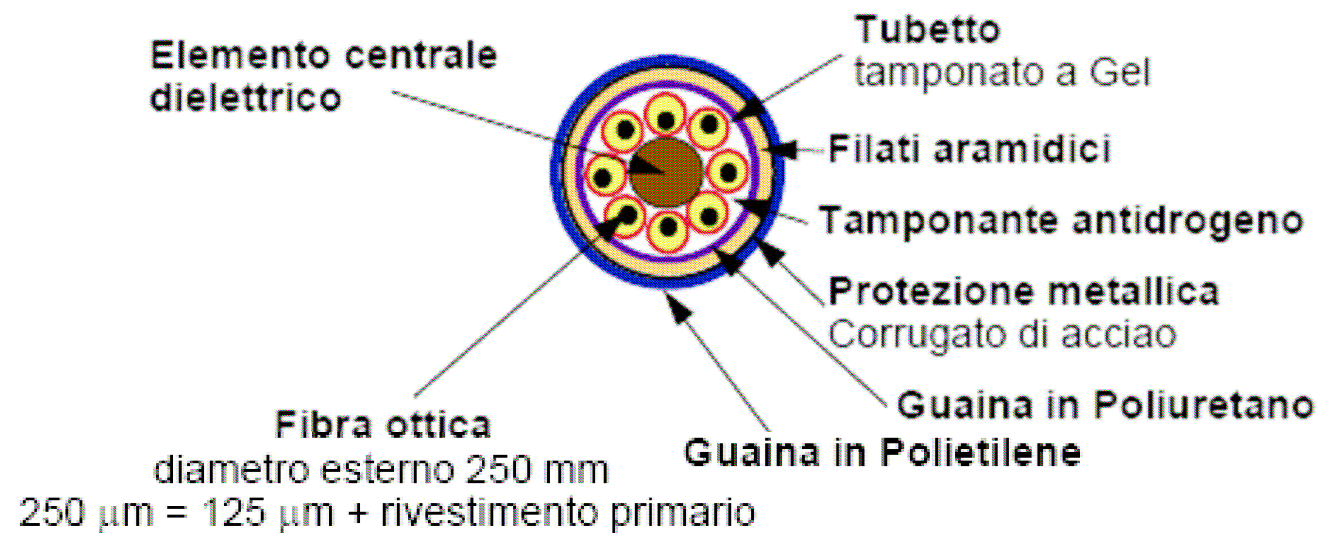
Cavi di tipo tight multifibra

- Sono cavi molto robusti utilizzati per le dorsali dati poichè permettono una maggiore densità di fibre. La caratteristica peculiare è la presenza di strutture metalliche con l'obiettivo di incrementare la robustezza ed il tempo di vita della struttura.



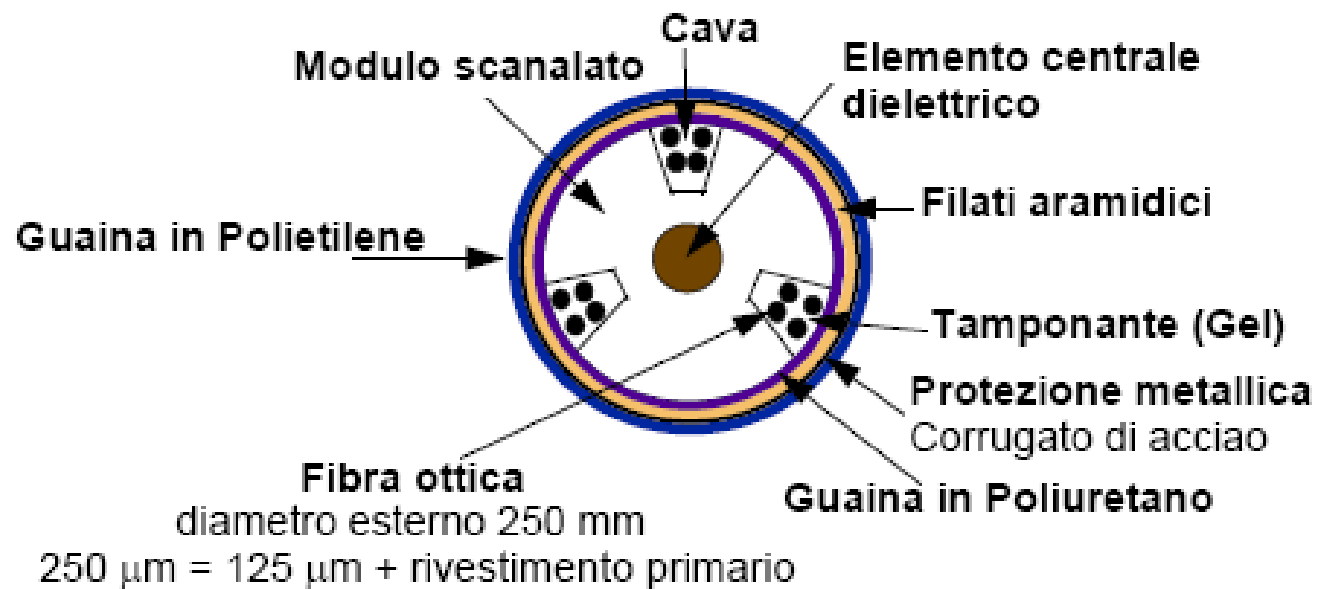
Cavi di tipo loose

- Sono cavi utilizzati per le installazioni in ambienti esterni soggetti alla presenza di acqua o umidità.



Cavi di tipo slotted core

- Sono cavi utilizzati per le installazioni in ambienti esterni soggetti alla presenza di acqua o umidità.



Considerazioni generali sulle fibre ottiche

- Il materiale è più costoso del rame
- Sono estremamente costose le giunzioni e le connettorizzazioni, specialmente nel caso delle fibre monomodali in cui il core è molto piccolo, soltanto alcuni micron. L'installazione e la manutenzione richiedono quindi personale qualificato dotato di adeguata strumentazione (anch'essa piuttosto costosa).
- Sono tutt'ora in fase di sviluppo i componenti ottici necessari alla costruzione di reti totalmente ottiche (come amplificatori, accoppiatori, splitter, ...) per cui i sistemi sono ancora basati su tecnologie elettro-ottiche; ciò comporta varie problematiche di integrazione, efficienza, costi, ...
- Le fibre ottiche sono in grado di fornire capacità trasmissive dell'ordine delle decine o centinaia di Gbps; attualmente, tali velocità non possono essere garantite da nessun'altra tecnologia.

Sistemi di comunicazione ad alta velocità basati su fibra ottica

➤ Anello ottico sottomarino TAT-12/13

❑ Connette New York (NY, US), Rhode Island (RI, US), Lands End (LE, UK) e Penmarc'h (PE, FR)

- La tratta RI-LE è lunga 5913 km, con 133 ripetitori ogni 45 km
- La tratta LE-PE è lunga 370 km, con 4 ripetitori ogni 74 km
- La tratta PE-NY è lunga 6321 km, con 140 ripetitori ogni 45 km
- La tratta NY-RI è lunga 162 km, senza alcun ripetitore

❑ È composto da 4 fibre: le due operative formano due anelli in cui i flussi di dati hanno direzioni opposte, le altre due sono inattive e fungono da canali di backup

Sistemi di comunicazione ad alta velocità basati su fibra ottica

- ❑ I ripetitori totalmente ottici sono basati sulle fibre ottiche drogate all'erbio (erbium doped fiber amplifiers, EDFA)
 - ❑ Sono in funzione 4 canali gestiti con divisione di lunghezza d'onda (wavelength division multiplexing, WDM) per ogni fibra ottica
 - ❑ Ciascun flusso garantisce una velocità trasmissiva di 2.5 Gbps in divisione di tempo, per un totale di 10 Gbps per fibra.
- Anello ottico sottomarino TAT-14
- ❑ Connette Blaabyerg (Danimarca), Norden (Germania), Katwijk (Olanda), St. Valéry (Francia), Bude -Haven (UK), Tuckerton (US) e Manasquan (US), per una lunghezza complessiva di 15,428 km.

Sistemi di comunicazione ad alta velocità basati su fibra ottica

- ❑ È composto da 4 coppie di fibre. In ciascuna coppia i flussi di dati hanno direzioni opposte. Due coppie sono in servizio e due coppie sono di backup.
- ❑ I ripetitori totalmente ottici sono basati sulle fibre ottiche drogate all'erbio (erbium doped fiber amplifiers, EDFA)
- ❑ Su ciascuna fibra sono gestite 16 lunghezze d'onda in WDM, per una capacità totale di 640 Gbps.