

UNITÀ DIDATTICA 3

LA CONNESSIONE OTTICA

IN QUESTA UNITÀ IMPAREREMO...

- a conoscere le modalità di trasmissione di segnali ottici in fibra
- a effettuare i test sulle fibre ottiche

■ La trasmissione di segnali ottici in fibra

Oltre alla trasmissione di segnali elettrici si può utilizzare un secondo fenomeno fisico per trasmettere comunicazioni, la **luce**, che viene propagata utilizzando un particolare conduttore chiamato **fibra ottica**.

L'idea che sta alla base dello sfruttamento della luce per trasmettere informazioni binarie è stata quella di associare direttamente l'informazione all'accensione e allo spegnimento della luce facendo corrispondere per esempio allo 0 la presenza della luce e all'1 il buio.

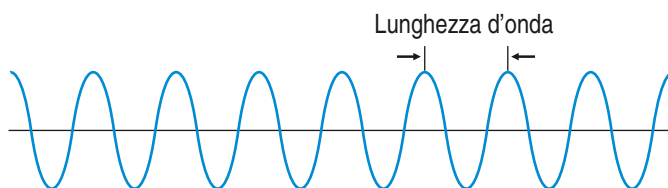
I primi ostacoli incontrati nella realizzazione di fibre ottiche furono la loro elevata attenuazione del segnale (negli anni '50 era di circa 1000 dB/km) che le rendeva praticamente inutilizzabili.

La rivoluzione nelle telecomunicazioni avvenne quando nel 1970 i ricercatori della **Corning Glass Works** riuscirono a perfezionare una fibra ottica con attenuazione di "soli" 20 dB/km alla lunghezza d'onda di 633 nm (nanometri, 10^{-9} m): iniziò quindi la "sostituzione" dei cavi elettrici con cavi in fibra che a partire dagli anni '90 hanno trovato impiego anche per le reti locali: oggi le fibre ottiche hanno attenuazione di circa 0,2 dB/km.

La trasmissione della luce

La luce è una particolare onda elettromagnetica e quindi, come tutte le onde elettromagnetiche, si propaga a una velocità di 300.000 km/s nel vuoto.

Le onde si classificano in base ai valori di frequenza f (o di lunghezza d'onda $\lambda = 1/f$). ►

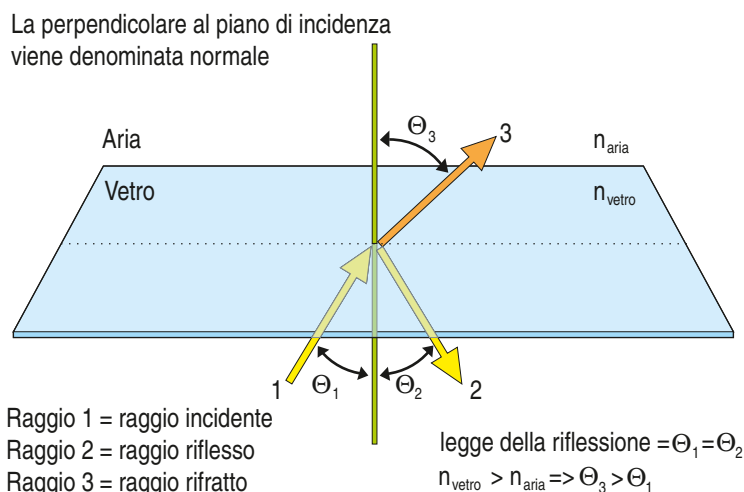


Per esempio, la gamma dei valori visibili dall'uomo è compresa tra 0,4 a 0,7 μm mentre la gamma utilizzata per la trasmissione nelle fibre ottiche è la luce infrarossa da 0,85, 1,35, 1,55 μm . ►

Quando le dimensioni della fibra sono molto maggiori di quelle della lunghezza d'onda, le proprietà e i modi di propagazione dell'energia luminosa in una fibra ottica possono essere studiati semplicemente applicando le leggi dell'ottica geometrica. In particolare vengono utilizzate le **leggi di Snell** che studiano la riflessione e la rifrazione di un raggio luminoso incidente sulla superficie di separazione di due materiali.

Quando un raggio di luce attraversa due materiali con un angolo θ diverso da 90° una parte di energia viene riflessa mentre l'altra entra nel materiale con un angolo diverso da quello di ingresso e viene rifratta: siamo in presenza di un'onda incidente, di un raggio riflesso e di un raggio rifratto.

Names	Frequenze audio		Frequenze basse		Frequenze medie
Power and telephone					Radio
Devices					
Hertz	Kilohertz				
10	100	1	10	100	1
Frequenza in hertz	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5
Lunghezza d'onda in metri	10^7	10^6	10^5	10^4	10^3
	1 megametro				1 chilometro



L'angolo di incidenza θ_1 è uguale all'angolo di riflessione θ_2 mentre l'angolo di rifrazione è in relazione al tipo di materiale, secondo un parametro specifico di ogni materiale chiamato **indice di rifrazione**, indicato con **n**.

L'indice di rifrazione di un materiale è dato dal rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel materiale stesso:

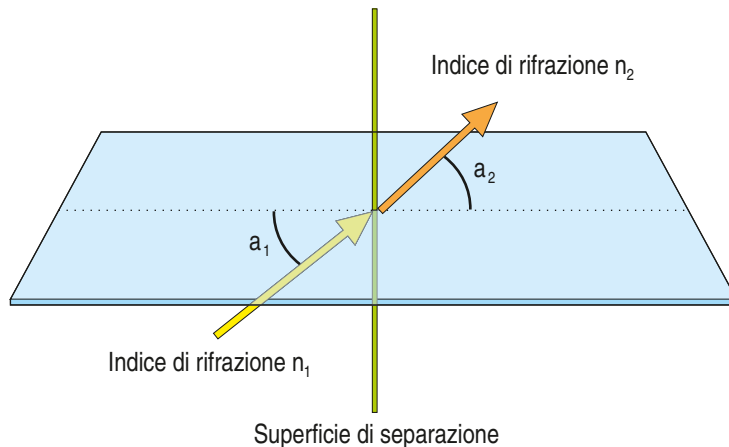
$$\text{indice di rifrazione } n = \frac{\text{velocità della luce nel vuoto}}{\text{velocità della luce nel materiale}}$$

Naturalmente l'indice di rifrazione nell'aria ha valore 1 mentre per tutti i materiali ha valore >1 , essendo la velocità della luce nei materiali più densi sempre inferiore a quella nel vuoto. Nella tabella sono riportati i valori dell'indice di rifrazione di alcuni materiali.

Materiale	Indice di rifrazione
Aria	1
Acqua	1,333
Plastica	1,47
Vetro	1,523
Diamante	2,418

Come si può vedere dalla figura a lato, la **legge di Snell** lega l'angolo di incidenza α_1 di un raggio luminoso che attraversa un materiale con indice di rifrazione n_1 e "passa attraverso" la superficie di separazione di un secondo materiale con indice n_2 formando un angolo α_2 .
La relazione tra i due angoli è:

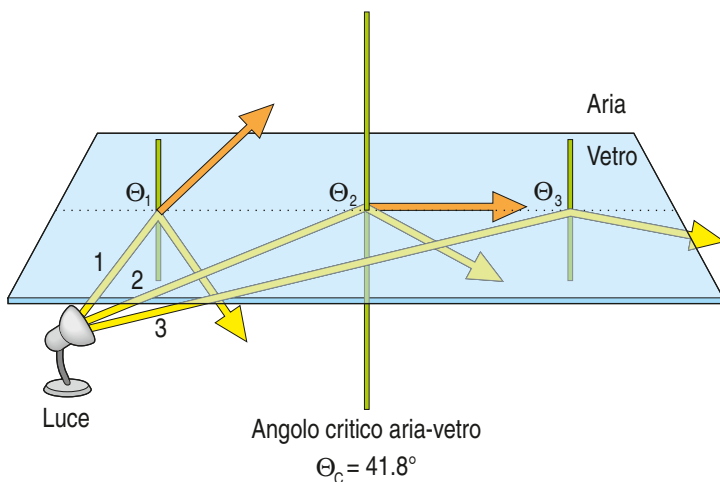
$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$



La parte di luce che viene **rifratta** "sottrae" energia a quella che viene **riflessa**: il nostro obiettivo è quello di ottenere un sistema in grado di **riflettere totalmente** la luce in modo da trasferire il segnale più lontano possibile.

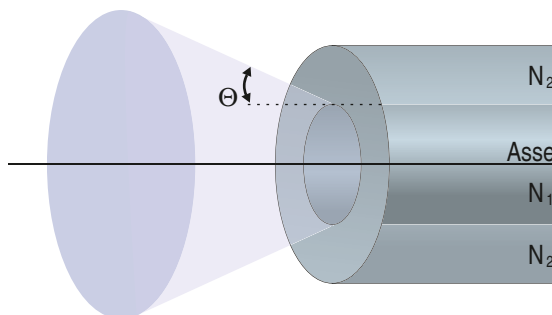
Dalla **legge di Snell** si può ricavare un valore particolare dell'angolo di incidenza che prende il nome di **angolo critico**, α_c , tale che per i valori dell'angolo di incidenza superiori a esso si ha la riflessione totale.

$$\alpha_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$



Raggio 1: $\theta_1 < \theta_c$: parte della luce viene riflessa e parte viene rifratta
Raggio 2: $\theta_1 = \theta_c$: parte della luce viene riflessa e parte viene rifratta
Raggio 3: $\theta_1 > \theta_c$: viene totalmente riflessa

Per trasmettere la luce si realizzano quindi dei conduttori particolari che prendono il nome di **fibre ottiche** composti da due materiali disposti in modo coassiale come nella figura a lato. Al centro viene posto un filo di vetro di dimensioni micrometriche, che prende il nome di **core** (o nucleo). Esso viene avvolto da un mantello esterno (**cladding**) che ha un indice di rifrazione diverso dal vetro (generalmente ha valori $n_2 = 1,475$ per il cladding e $n_1 = 1,52$ per il core).



L'angolo critico è quindi $\alpha_c = \sin^{-1}(1,475/1,52) \approx 79,5$ gradi e al di sotto di questo angolo di incidenza la luce viene totalmente riflessa, quindi si mantiene tutta all'interno del core.



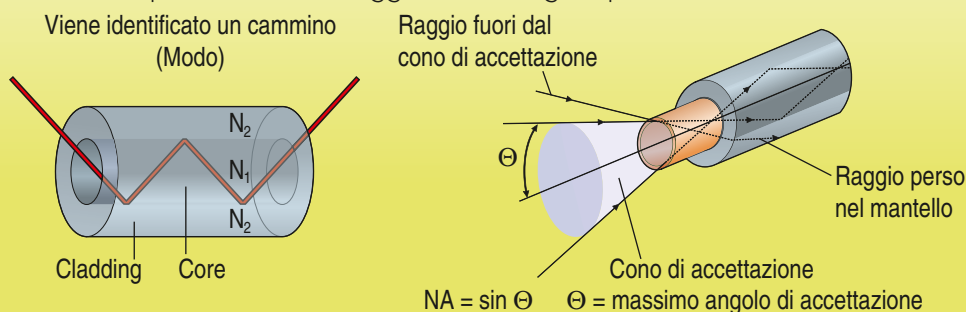
CONO DI ACCETTAZIONE, APERTURA NUMERICA, MODO

Si definisce **cono di accettazione** l'insieme degli angoli di incidenza per i quali avviene la riflessione totale del segnale nella fibra.

Si definisce **apertura numerica** (NA) di una fibra il "range" di angoli di luce incidente che saranno completamente riflessi (il suo valore varia in genere tra 0,1 e 0,3).

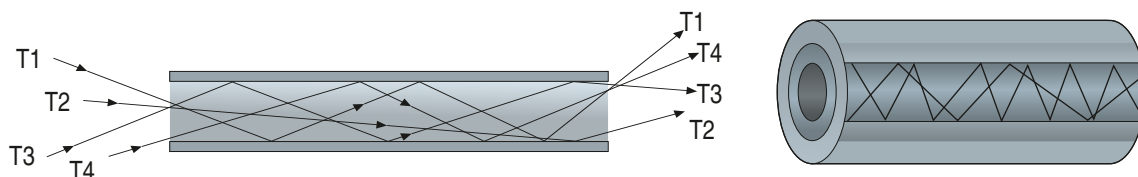
$$NA = (n_2^2 - n_1^2)^{1/2}$$

Si definisce **modo** il percorso che un raggio di luce segue quando attraversa una fibra.



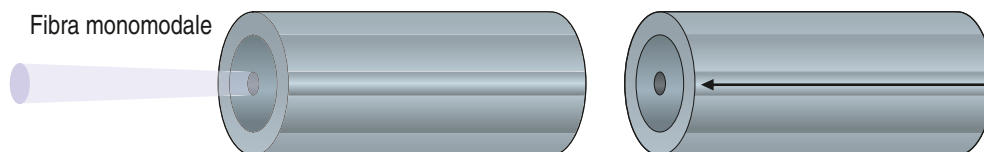
Se in una fibra viene trasmesso un unico segnale luminoso prende il nome di fibra **monomodale** (**single mode**) mentre le fibre ottiche che ammettono più modi di propagazione vengono dette **multimodali** (**multimode**).

Nella figura seguente viene riportato un esempio di fibra multimodale con 4 modi.



Si può osservare come all'aumentare del diametro del core i cammini percorsi nei diversi modi hanno lunghezza diverse: dal disegno si vede immediatamente che il percorso T2 è molto più breve del percorso T3. Di conseguenza avremo tempi di propagazione diversi, per cui segnali inviati contemporaneamente giungeranno a destinazione in tempi diversi (fenomeno della **dispersione**): il segnale che arriva per ultimo pone un limite inferiore di permanenza alla durata dell'impulso (valore 0 o valore 1) limitando di fatto la velocità di trasmissione.

L'eliminazione del problema della dispersione modale si ottiene solo con le fibre monomodali: in esse si riesce a ridurre la dimensione del core fino a circa 4-10 μm e la propagazione dei raggi avviene in un unico modo.



Nelle fibre monomodali è però necessario avere una sorgente di segnale che generi un fascio preciso di luce monocromatica. Generalmente viene utilizzato un **laser** che genera una luce monocromatica e coerente mentre nelle fibre multimodali è possibile trasmettere con normali **LED**, più economici e semplici da utilizzare.

I vantaggi di questo tipo di fibra sono:

- ▶ elevato tempo di vita;
- ▶ assenza di dispersione;
- ▶ minima perdita della potenza ottica;
- ▶ bassa attenuazione;
- ▶ ampia larghezza di banda.

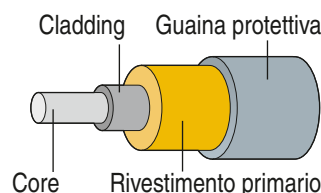
Gli svantaggi si limitano fondamentalmente a due punti:

- ▶ problemi di connessione a causa del piccolissimo diametro del core;
- ▶ elevata potenza ottica richiesta.

■ La struttura di una fibra ottica

Abbiamo detto che una fibra ottica si presenta come un cavo coassiale dove al centro, al posto del cavo di rame, viene posto un filo di vetro di dimensioni micrometriche che prende il nome di **core** (o nucleo). Questo viene avvolto da un mantello esterno (**cladding**) che ha un indice di rifrazione molto diverso dal vetro: in questo modo si mantiene la luce all'interno del core. ▶

Core e **cladding** vengono poi ricoperti da due strati di materiali protettivi.



I vantaggi delle fibre ottiche rispetto ai cavi elettrici sono i seguenti:

- ▶ sono completamente **immuni dai disturbi elettromagnetici**: il segnale trasportato consiste in fotoni, che sono elettricamente neutri;
- ▶ permettono trasmissioni ad **alta velocità**: esistono fibre ottiche operative a 2 Gb/s;
- ▶ hanno una **bassa attenuazione** del segnale: alcuni decimi di dB/km;
- ▶ sono di **dimensioni molto ridotte** e quindi molto comode per i cablaggi strutturati;
- ▶ hanno **costi contenuti**.

Lo svantaggio più evidente per le fibre ottiche è il fatto che possono essere utilizzate solo per connessioni punto-punto dato che non è possibile prelevare il segnale in un punto intermedio ma solo alla sua estremità.

Oggi le dimensioni caratteristiche di una fibra ottica sono le seguenti:

- ▶ il diametro delle fibre è di 125 µm;
- ▶ il diametro completo del cavo, compreso i rivestimenti, è di circa 0,25 mm.

Caratteristiche costruttive dei cavi in fibra ottica

Ogni cavo in fibra ottica è composto da due fibre, una per il trasmettitore (**Tx**) e una per il ricevitore (**Rx**) per cui la trasmissione è **full duplex** e le due fibre sono messe in un singolo contenitore fino ad arrivare ai connettori.

Le coppie di fibre ottiche sono raggruppate all'interno di un cavo che può arrivare fino a 24 coppie.

Il connettore più comune per le fibre multimode è **SC** (**Subscriber Connector**), mentre per le single mode è **ST** (**Straight Tip**). ▶



A seconda della diversa tecnologia costruttiva possiamo avere tre tipologie di cavi:

- ▶ cavi di tipo **tight**;
 - cavi **multimonofibra**
 - cavi **multifibra**
- ▶ cavi di tipo **loose**;
- ▶ cavi di tipo **slotted core**.

I cavi di tipo **tight** sono usati principalmente per installazioni in luoghi interni e si suddividono in:

- ▶ cavi **multimonofibra** che sono costituiti al massimo da otto fibre disposte attorno a un nucleo centrale di materiale dielettrico. Sono particolarmente robusti in quanto ogni singola fibra viene rivestita con una guaina protettiva fino ad arrivare a un diametro di 2-3 mm. Vengono per esempio utilizzati per realizzare le **bretelle ottiche** che assicurano le permutazioni tra gli apparati attivi e i pannelli di terminazione (multifibra a due fibre, chiamati **bifibra**);
- ▶ cavi **multifibra** che sono meno robusti dei cavi multimonofibra dato che il rivestimento della singola fibra arriva al massimo a un diametro di 0,9 mm: per questo motivo, però, possono contenere con lo stesso diametro globale del cavo un numero maggiore di fibre ottiche (fino a 32) e quindi sono maggiormente indicati per la realizzazione delle dorsali.

I cavi di tipo **loose** sono usati principalmente per installazioni in luoghi esterni e possono contenere fino a 100 fibre: sono particolarmente indicati per la connessione in ambienti umidi e in presenza di acqua in quanto hanno più strati di protezione con particolari gel che tamponano il cavo.

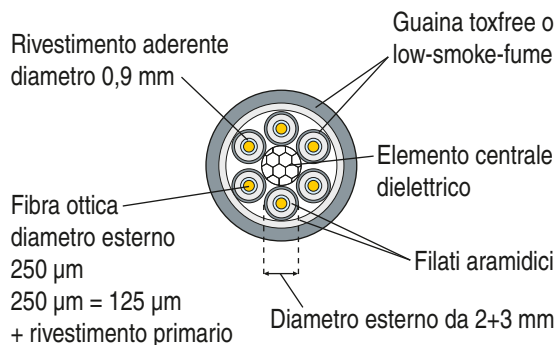
Non sono invece indicati per cablaggi verticali e devono essere giuntati utilizzando cavetti monofibra.

I cavi di tipo **slotted core** sono usati principalmente per installazioni in luoghi esterni e possono contenere fino a 400 fibre: sono particolarmente indicati per la connessione in ambienti umidi e in presenza di acqua in quanto hanno anch'essi una protezione tamponante con gel.

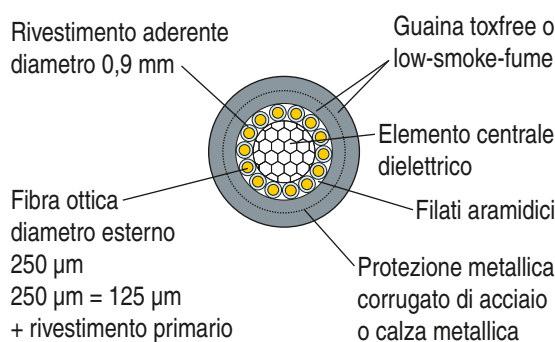
Sono costituiti da un elemento centrale scanalato entro le cui cavità vengono riposte le fibre nude; anch'essi devono essere giuntati utilizzando cavetti monofibra.

Per le **LAN** in genere si usano le **tight** all'interno degli edifici mentre le **loose** si usano per installazioni esterne agli edifici.

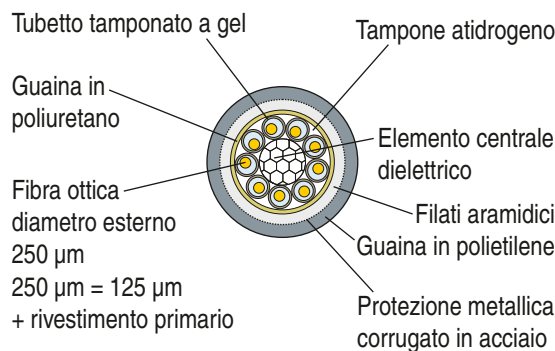
Cavo multimonofibra



Cavo multifibra



Cavo di tipo loose



Cavo di tipo slotted core

