

# Mezzi Trasmissivi

Prof. Hajj Ali

Per info

[hajjali2000@yahoo.it](mailto:hajjali2000@yahoo.it)

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Mezzi trasmissivi

**Canale di trasmissione** rappresenta il portante fisico su cui viaggia l'informazione. Per trasmettere l'informazione si usano svariate tecniche e mezzi trasmissivi, come:

### mezzi guidati

**Cavi elettrici in rame:** è il supporto fisico su cui viaggia un segnale elettrico (tensione / corrente) di tipo analogico o digitale;

**Fibre ottiche:** trasportano un segnale ottico/luminoso di tipo digitale.

### mezzi NON guidati

**Lo spazio (il vuoto, l'aria):** adatto per la trasmissione wireless (senza filo) su cui viaggiano le onde radio/elettromagnetiche (campo elettrico e magnetico) di tipo analogico o digitale;

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Mezzi trasmissivi

**Cavi elettrici in rame:** In una connessione fisica mediante un cavo conduttore il **segnale trasmesso** è di tipo **elettrico** (tensione/corrente).

Le tipologie di cavi i rame più utilizzate sono :

il **cavo coassiale:**

thinnet o cavo sottile

thicknet o cavo spesso/grosso;



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

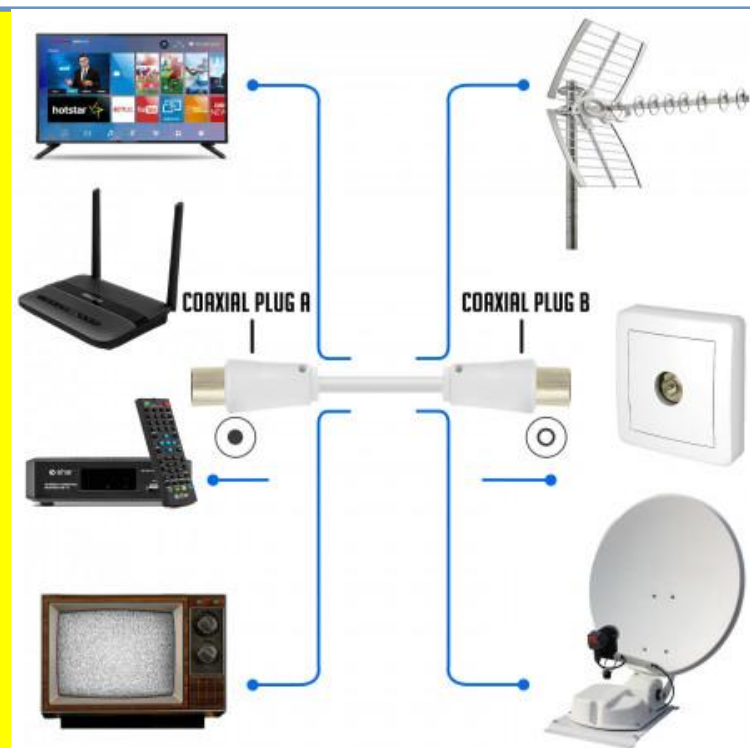
## Mezzi trasmissivi

### Utilizzo attuale del cavo coassiale :

Riveste un ruolo fondamentale nei sistemi di videosorveglianza, ossia quel collegamento tra la telecamera e il videoregistratore e responsabile del trasporto delle immagini.

Antenna - TV

Il cavo coassiale è un elemento detto “passivo”, perché a seconda della sua lunghezza e della frequenza di esercizio, può verificarsi un'attenuazione del segnale.



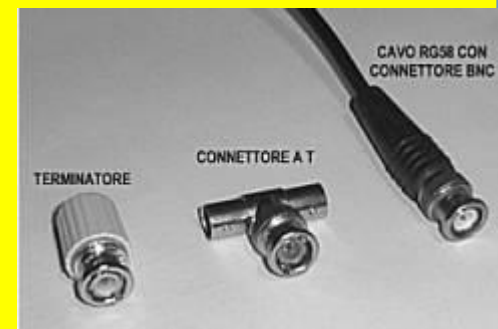
# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Mezzi trasmissivi

### Struttura del cavo coassiale

Il cavo coassiale è costituito da un conduttore centrale (+) in rame di sezione di 1mm circa, avvolto da un isolante PVC o teflon ricoperto da una maglia metallica costituita da filamenti di rame (-), esternamente ricoperto da una guaina. La sua schermatura lo rende immune da disturbi elettromagnetici.

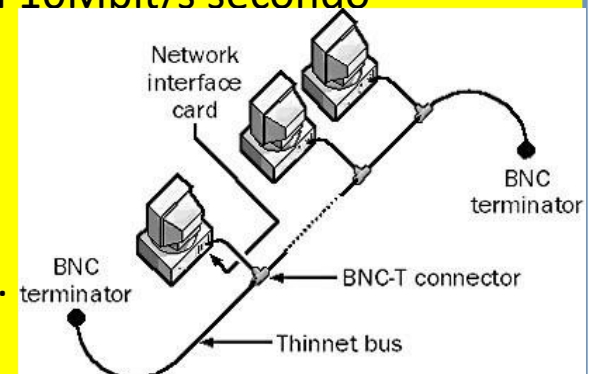
Agli estremi detti capocorda sono crimpati dei connettori BNC ( la sigla dall'inventore Bayonet Neill Concelman) e il circuito viene chiuso da un terminatore a 50 ohm.



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Mezzi trasmissivi

**Il cavo coassiale** Tipologia di cavo largamente utilizzato per portare il segnale TV dall'antenna centrale all'apparecchio televisivo. È stato usato anche per collegare PC in rete locale a BUS (10BASE5, 10BASE2) di 10Mbit/s secondo lo standard Ethernet chiamato IEEE 802.3: PC possono essere di diverso tipo e anche Diversi sistemi operativi.  
impiego del protocollo di accesso CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection).  
Tratto minimo e massimo di cavo tra stazioni va da 2,5m a 500m dimensione rete locale 2500 m (100 stazioni)  
La lunghezza dei pacchetti di dati trasmessi è variabile e può arrivare fino a 1500 byte



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Mezzi trasmissivi

il **doppino cavo di rete RJ45**: Doppino intrecciato, ritorto o binato (Twisted pair) è un tipo di cavo molto utilizzato sia nella telefonia che nella maggior parte delle reti Ethernet (LAN, reti locali) attuali.

**UTP** (Unshielded Twisted Pair) a coppie di fili non schermati. Maggiormente utilizzati nelle reti LAN e cablaggio edifici.

**STP** (Shielded Twisted Pair) a coppie di fili doppiamente schermate,

**FTP** (Foiled Twisted Pair) a coppie di fili con unica schermatura,

L'attorcigliatura serve a limitare la diafonia, indica il rumore o interferenza elettromagnetica che si può generare tra due cavi vicini.

FTP e STP maggiormente utilizzati in ambienti rumorosi e di forti disturbi.



Cavo UTP



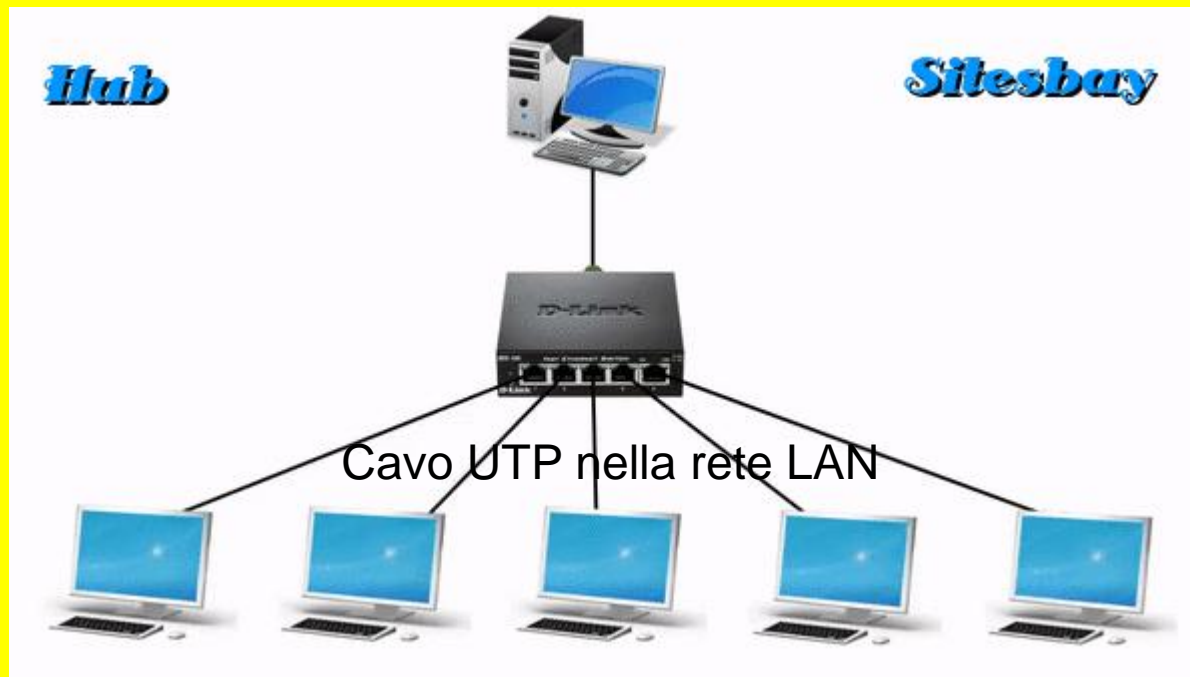
Cavo STP



Cavo FTP

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Mezzi trasmissivi





# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Mezzi trasmissivi

### CATEGORIE DEL CAVO ETHERNET

<b>Categoria</b>	<b>Velocità</b>	<b>Frequenza</b>
<b>Cat-5E</b>	<b>1Gbit/s</b>	<b>100MHz</b>
<b>Cat-6</b>	<b>1Gbit/s</b>	<b>250MHz</b>
<b>Cat-6A</b>	<b>10Gbit/s</b>	<b>500MHz</b>
<b>Cat-7</b>	<b>10Gbit/s</b>	<b>600MHz</b>
<b>Cat-7A</b>	<b>10Gbit/s</b>	<b>1GHz</b>
<b>Cat-8</b>	<b>40Gbit/s</b>	<b>2GHz</b>

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Banda di un canale

La **banda di un canale**,  $B$ , è la **banda di lavoro** utilizzata in un canale di comunicazione ed è un fattore molto importante che ne determina la **velocità** e la **quantità** di informazione trasmesse in un secondo.

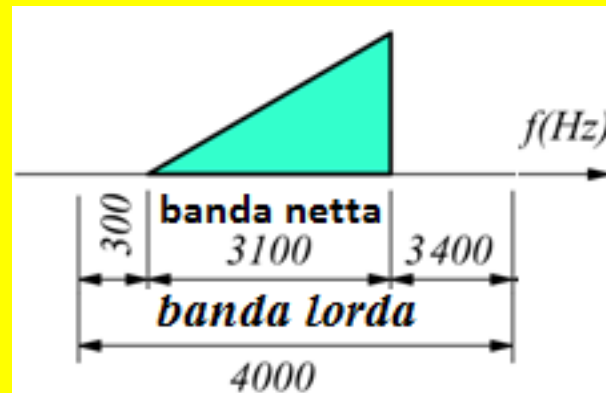
La **larghezza di banda (Width band)**,  $B_w$ , rappresenta la differenza tra la frequenza massima e minima che delimitano l'intervallo di banda.

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Banda di un canale

Il **segnale telefonico** ha una **banda lorda** fra 0 e 4000 Hz invece, la **banda netta** è tra 300 e 3400 Hz;

questa banda di frequenze riservate alla comunicazione telefonica, la cosiddetta banda **PSTN** (Public Switched Telephone Network, ovvero "Rete Telefonica Pubblica Commutata").

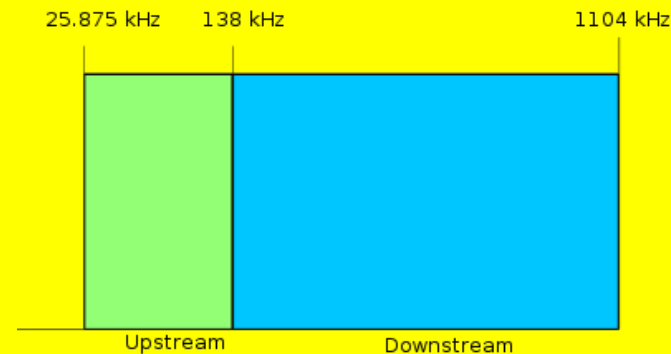


# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Banda di un canale

**Banda ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line, "Linea Digitale Asimmetrica per Abbonati") si suddivide in due bande asimmetriche (e di qui il suo nome):

- la **banda dedicata al caricamento** (upstream: utente - rete, ovvero "flusso in uscita"), che va da **25,8 kHz a 138 kHz**;
- la **banda dedicata allo scaricamento** (canale di downstream: rete - utente, ovvero "flusso in entrata"), che va da **138 a 1104 kHz**.



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Banda di un canale

canale di trasmissione	segnale	velocità	formato
<b>Cavi in rame</b>	Tensione - corrente	$1,5 \times 10^5 : 2,5 \times 10^5$ [km/s]	Analogico/Digitale
<b>Spazio</b>	Onde elettromagnetiche (o. e. m.) a radiofrequenza: 10[kHz] : 100[GHz]	$c \approx 3 \times 10^5$ [km/s] velocità della luce	Analogico/digitale
<b>Fibre ottiche</b>	Campo e. m a freq. Visibile $\approx 10$ [THz]	$2,5 \times 10^5$ [km/s]	Digitale

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Capacità di un canale

**Capacità di canale (C)** espressa in bit/s, è la massima quantità di informazione trasmessa in una unità di tempo. Per avere una trasmissione affidabile è necessario che,  $C \geq V_t$

$V_t$ : velocità di trasmissione della sorgente di informazione

$V_m$ : velocità di trasmissione del modem

- Capacità in assenza di rumore e di codifica di canale (**caso ideale**)

$$V_m = V_t \quad C = 2B \quad (\text{1° formula di Nyquist})$$

- Capacità in **presenza di solo codifica** di canale

$$V_t = V_m \log_2 L \quad [\text{bit/s}] \quad \text{con } L = 2^n \quad (L \text{ e } n \text{ sono rispettivamente i livelli e i bit di codifica})$$

$$C = 2B \log_2 L = 2nB \quad (\text{2° formula di Nyquist})$$

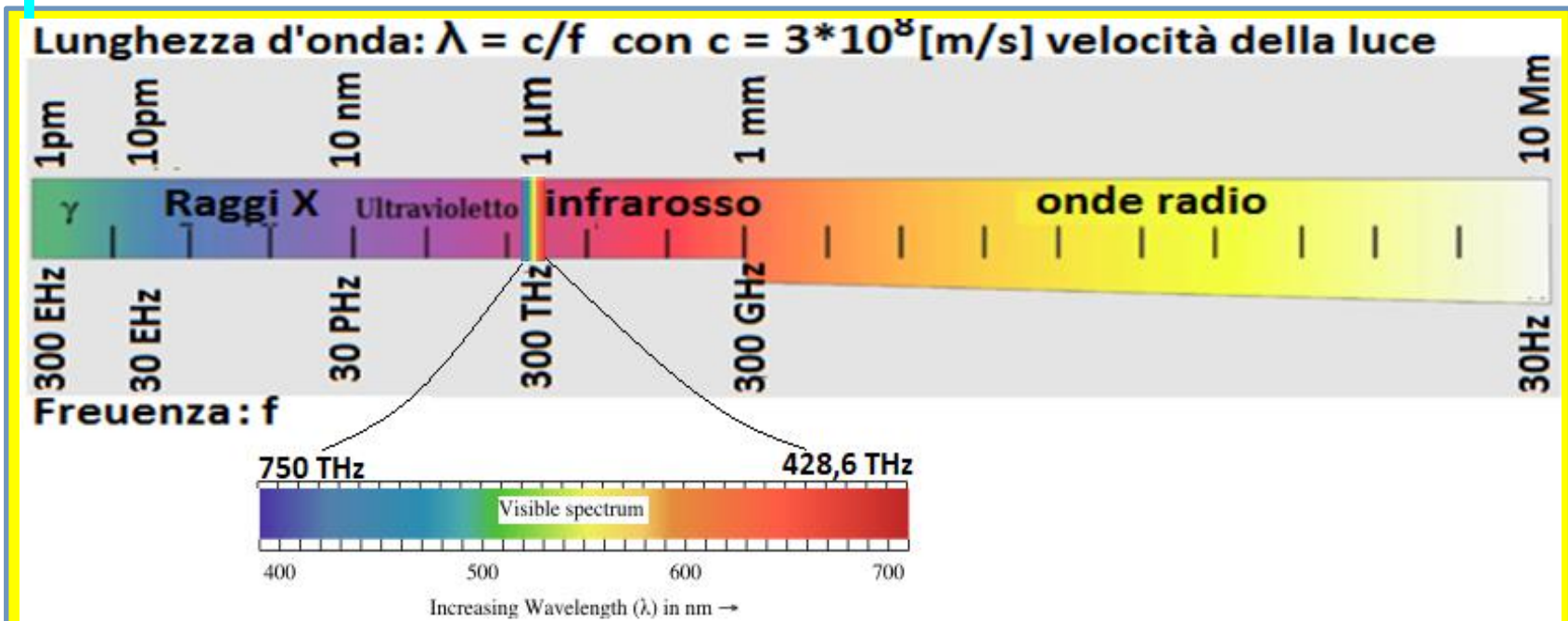
- Capacità in presenza di rumore (**caso reale**):

$$C = B \log_2(1+S/N) \quad (\text{formula di Shannon})$$

S/N: rapporto Signal/Noise, alcune volte viene espresso in deciBel:  $(S/N)_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(S/N)$

# Sistema per dati

## Radiazione elettromagnetiche

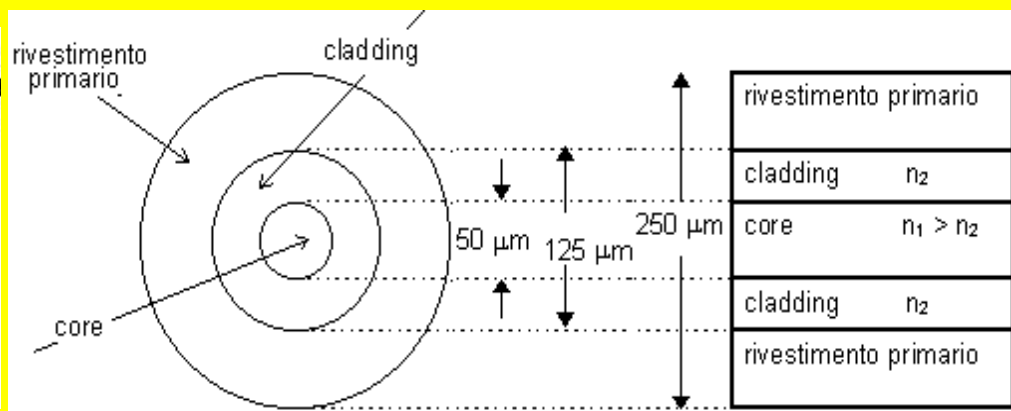
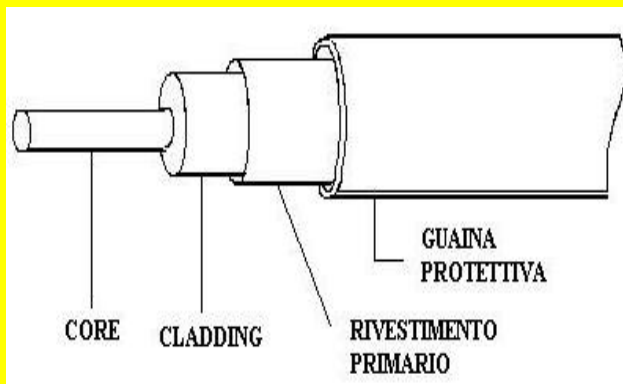


T: tera =  $10^{12}$  - P: peta =  $10^{15}$  - E: exa =  $10^{18}$  - Z: zetta =  $10^{21}$  - Y: yotta =  $10^{24}$

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## FIBRE OTTICHE

Le **Fibre Ottiche (F.O)** sono **mezzi guidati** di un segnale luminoso (ottico) di natura digitale. Vengono realizzate attraverso strutture cilindriche concentriche di materiali trasparenti (vetro, silice o materiale polimerico o plastico).





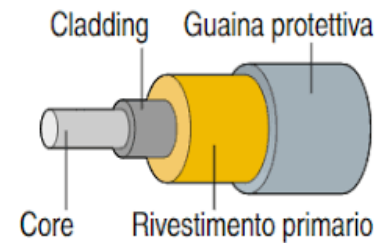
# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## STRUTTURA FIBRE OTTICHE

un **core** è il **nucleo interno** con diametro che va da 8 [ $\mu\text{m}$ ] ad alcune decine di [ $\mu\text{m}$ ], con indice di rifrazione  $n_1$ , entro il quale si propaga la luce.

Il **cladding**, un **mantello di rivestimento del core** anch'esso di vetro trasparente alla luce e alla radiazione infrarossa, di diametro 125 [ $\mu\text{m}$ ], ha indice di rifrazione  $n_2$ , di poco inferiore a quello del core  $n_1$ .

l'intera struttura è avvolta in un **rivestimento primario** e **una guaina protettiva** che garantisce il completo isolamento e la protezione della fibra da tagli e dalle abrasione Meccaniche, ha un diametro di 250  $\mu\text{m}$ .



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Teoria di base

La **velocità di propagazione**  $V_p$  della luce varia sensibilmente a seconda del mezzo attraversato.

Nel **vuoto** tale velocità si indica con  $c$  (velocità della luce) e vale:

$$V_p = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Nei materiali a maggior densità, la velocità di propagazione dipende dall'indice di rifrazione  $n$  del mezzo:

$$V_p = c / n$$

**l'indice di rifrazione** di un materiale è una grandezza adimensionale che quantifica la diminuzione della velocità di propagazione della radiazione elettromagnetica quando attraversa un materiale.

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Teoria di base

**l'indice di rifrazione**, e può essere riscritto in funzione della costante dielettrica e della permeabilità magnetica del mezzo come:

$$n = \sqrt{\epsilon \mu}$$

dato che  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ,  $\mu = \mu_0 \mu_r$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]}$  sono rispettivamente la costante dielettrica assoluta e la permeabilità magnetica assoluta del vuoto.

$\epsilon_r$  e  $\mu_r$  sono rispettivamente la costante dielettrica relativa e la permeabilità magnetica relativa del mezzo.

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Teoria di base

Nella seguente tabella si riporta l'indice di rifrazione di alcune sostanze:

Materiale	Aria	Ghiaccio	Acqua	Vetro
Indice di rifrazione	1	1,31	1,33	1,50

Le **fibre ottiche trasmettono** il segnale ottico sfruttando il fenomeno della **riflessione totale interna (TIR)**:

i raggi di luce passando attraverso un' interfaccia tra due mezzi trasparenti di diversa densità (diverso indice di rifrazione  $n$ ) subiranno il fenomeno della riflessione - rifrazione e cambieranno direzione **secondo le leggi di Snell.**

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

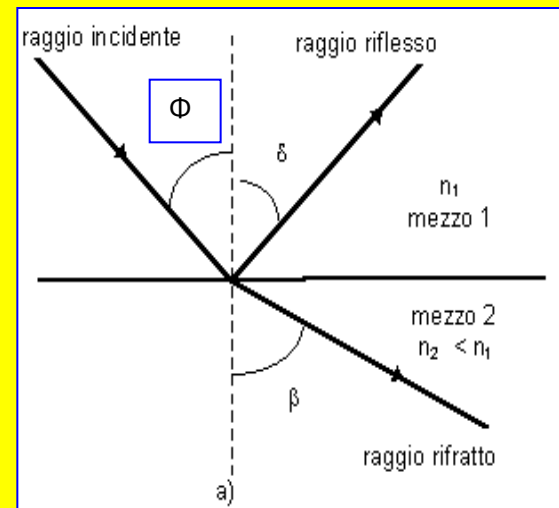
## Teoria di base

### prima legge di Snell:

angolo incidente = l'angolo di riflessione ( $\Phi = \delta$ )

### seconda legge di Snell:

$$n_1 \cdot \sin(\Phi) = n_2 \cdot \sin(\beta)$$



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Teoria di base

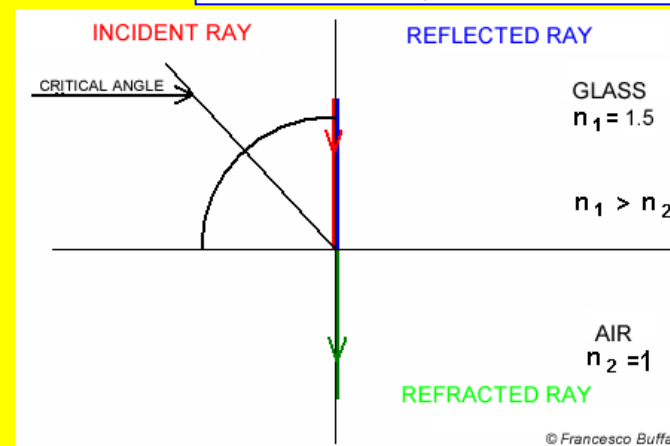
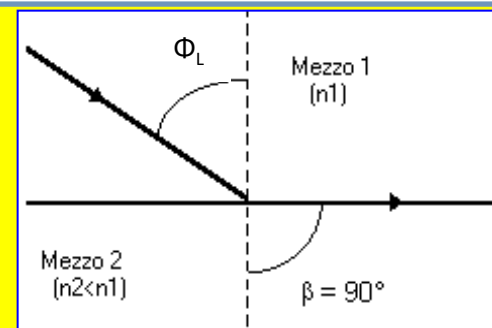
Se  $n_1 > n_2$  e se  $\beta > \Phi$

L'onda rifratta tende a sparire, e la rifrazione si trasforma in riflessione totale.

All'aumentare dell'angolo di incidenza, l'angolo di rifrazione aumenta.

Si definisce angolo limite  $\Phi_L$ , per il quale  $\beta = 90^\circ$

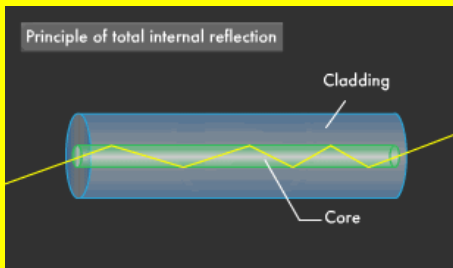
$$\Phi_L = \arcsen \frac{n_2}{n_1}$$



## Propagazione luce in FO

**La propagazione della luce nella fibra ottica avviene nel core.** Poiché l'indice di rifrazione  $n_1$  del core è maggiore di quello del cladding  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ).

In questo modo il raggio subisce una riflessione totale e si propaga nel core per riflessioni multiple



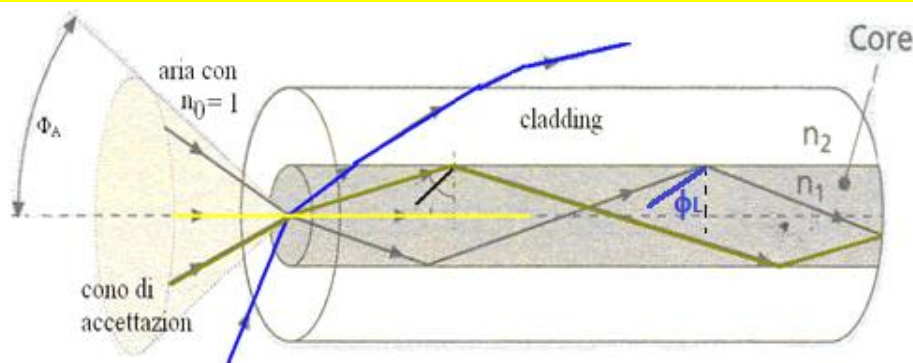
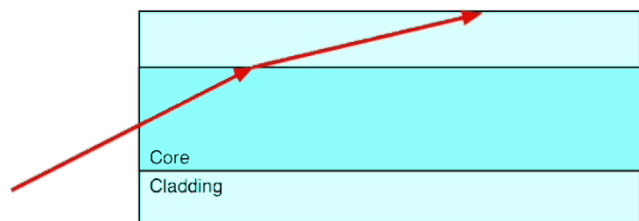
# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Propagazione luce in FO

Considerando un raggio proveniente dall'esterno della fibra, affinché la luce rifratta subisca il fenomeno della riflessione totale interna, occorre che il raggio rispetta l'angolo di accettazione  $\Phi_A$  oppure l'apertura numerica NA.

$$\Phi_A = \arcsen \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

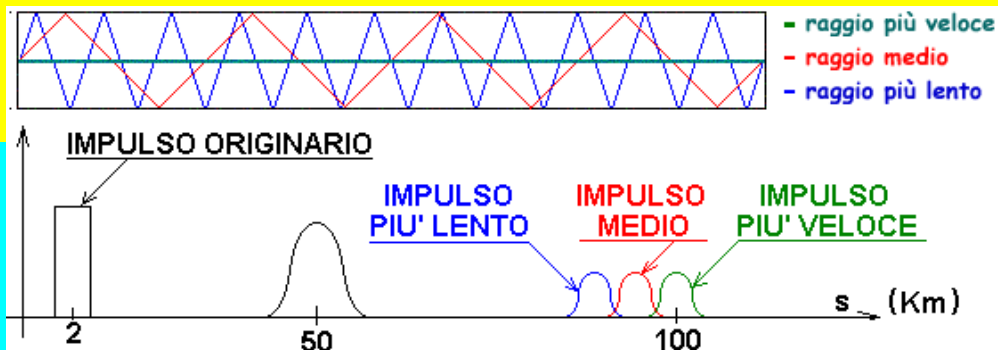
$$NA = \sin(\Phi_A) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$





## Modi di Propagazione luce in FO

Un **modo di propagazione** rappresenta il **numero di percorsi** che i segnali luminosi che possono compiere tra l'entrata e l'uscita della fibra stessa.



Il numero di modi di propagazione  $M$  per una fibra multimodale si può valutare con la seguente formula:

$$M \cong \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\pi \cdot d_1 \cdot NA}{\lambda} \right)^2$$

$d_1$ : diametro del core

## Classificazione delle FO

A **secondo del numero di modi di propagazione**, le fibre ottiche si distinguono in due categorie:

**Multimodali**, a loro volta vengono distinte in **STEP INDEX** e **GRADED INDEX**.

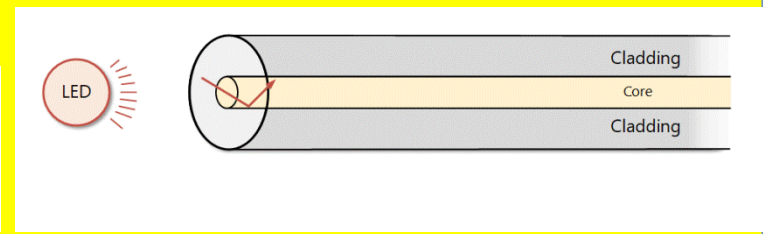
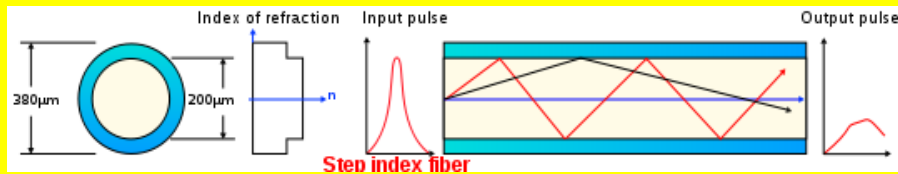
**Monomodali**

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Classificazione delle FO

**Step index:** con indice di rifrazione che varia a gradino, costante nel core e nel cladding.

La propagazione dei raggi di luce nel core avviene per ripetute riflessioni (a zig-zag) e siccome hanno la stessa velocità e l'indice di rifrazione è costante, arrivano all'estremità più lontana in tempi diversi (alta dispersione modale: allargamento della durata dell'impulso e attenuazione dell'ampiezza, cioè una distorsione del segnale)



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Classificazione delle FO

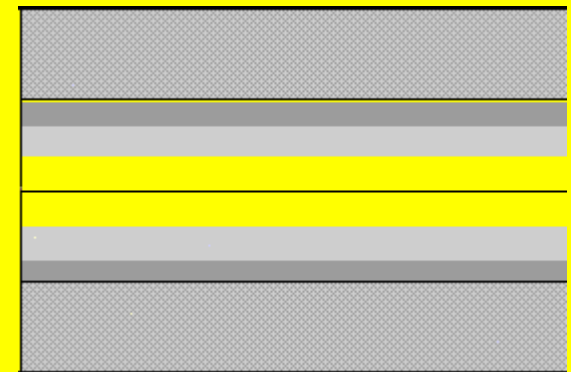
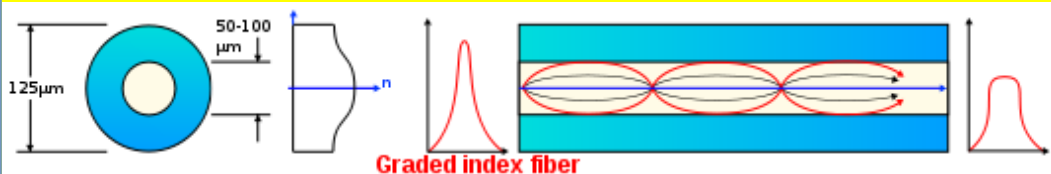
**Graded index:** ha un indice di rifrazione che varia in modo graduale nel core (parabolico), con questa modalità è possibile limitare la dispersione modale, perché quasi tutti i raggi trasmessi arrivano alla stessa velocità.

Ogni modo ha la propria frequenza di taglio (cut off) al di sotto della quale esso non si può propagare

$$V = (\pi \cdot d \cdot NA) / \lambda_0$$

$\lambda_0$ : la lunghezza d'onda nello spazio libero

d: diametro del core



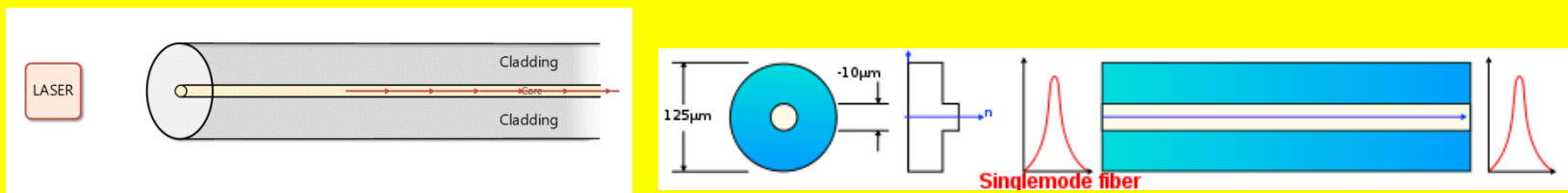
# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Classificazione delle FO

**Monomodale:** Una f. o. in cui si propaga un solo modo, lungo l'asse centrale della fibra.

Questo grazie ad un core di diametro molto piccolo ( $8 : 10 \mu\text{m}$ ) rispetto alle precedenti fibre ed a una lunghezza d'onda maggiore.

Queste fibre sono impiegate nei collegamenti a lunga distanza e dove più richiesto un elevato velocità di collegamento (2,5 Gbit/s, 10 Gbit/s e oltre).



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Vantaggi delle FO

### I principali vantaggi delle fibre

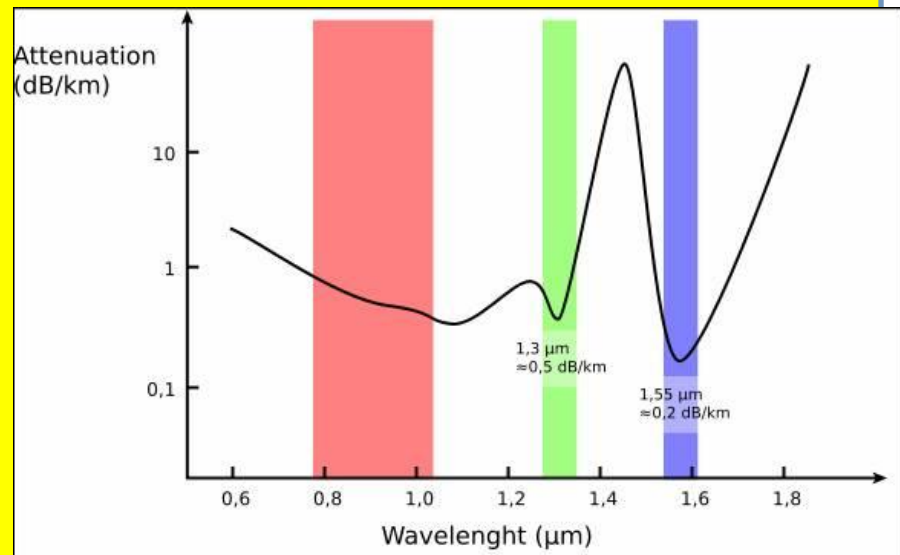
- bassa attenuazione, che rende possibile la trasmissione su lunga distanza senza ripetitori;
- grande capacità di trasporto di informazioni;
- immunità da interferenze elettromagnetiche;
- alta resistenza elettrica, quindi è possibile usare fibre vicino ad equipaggiamenti ad alto potenziale, o tra siti a potenziale diverso;
- peso e ingombro modesto;
- assenza di diafonia (interferenza);
- ottima resistenza alle condizioni climatiche avverse;
- bassi valori di BER (Bit Error Ratio è il rapporto tra i bit non ricevuti correttamente e i bit trasmessi)

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Spettro di lavoro delle FO

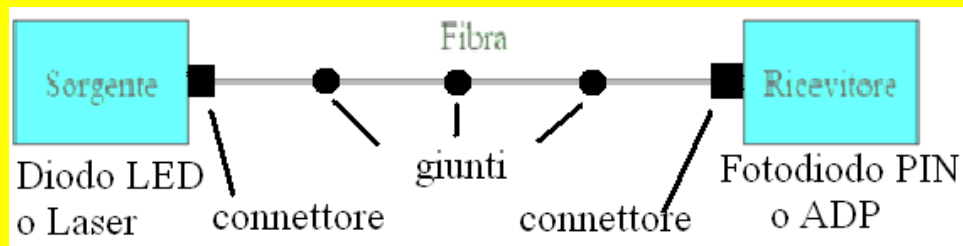
-I sistemi di trasmissione ottici operano su tre intervalli di lunghezza d'onda, detti finestre indicati nella seguente tabella:

SPETTRO	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda$	IMPIEGO
prima finestra	800-900 nm	primi sistemi ottici, collegamenti urbani senza ripetitori ( $\alpha = 2-3$ dB/km)
seconda finestra	1250-1350 nm	sistemi a larga banda, collegamenti fino a senza ripetitori ( $\alpha = 0.4$ dB/km)
terza finestra	1500-1550 nm	sistemi attuali ed in fase di sviluppo ( $\alpha = 0,2$ dB/km )



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Sistema di comunicazione ottico



La **sorgente di luce** utilizzata nelle fibre ottiche è:

Il diodo LED può essere modulato a frequenze non molto elevate (10-150 MHz)

il diodo LASER (LD) può lavorare con frequenze che arrivano fino a 5 GHz.



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Sistema di comunicazione ottico

Il segnale luminoso ricevuto viene convertito in un segnale elettrico, dai sensori o trasduttori fotorivelatori: fotodiodi a valanga APD (Avalanche Photo Diode) oppure i fotodiodi PIN.

Un parametro tipico dei fotorivelatori è la responsività  $R$ , la quale definita come rapporto tra la corrente,  $I_u$ , generata del fotorivelatore e la potenza ottica incidente  $P_{ot}$ , sul fotorivelatore.

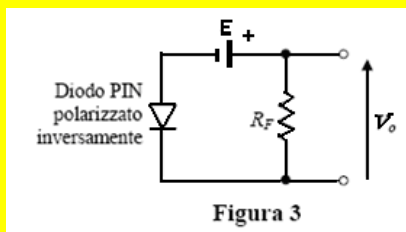
$$R = I_u / P_{ot}$$

La  $R$  dipende anche dalla lunghezza d'onda del segnale ottico, infatti:  $R = \lambda / 1240$ .

$R$  è misurata in A/W.

La corrente si ottiene:  $I_u = R \cdot G \cdot P_{ot}$

$G$ : guadagno interno del fotorivelatore, pari a  $G = 1$  per il PIN e  $G = 100 : 200$  per APD.



# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Bilancio energetico

Il bilancio di potenza può essere espresso

$$PRX = PTX - A_{tot} - M \quad [\text{dBm}]$$

PRX: Potenza, in [dBm], in ingresso al fotorivelatore in ricezione;

PTX: Potenza, in [dBm], in ingresso alla fibra ottica in trasmissione.

$A_{tot}$ : attenuazione totale del collegamento, della fibra, del connettore e del giunto.

M : margine di sistema (tolleranza), dovuto a varie attenuazione costruttive (impurità)

$$A_{tot} = A_{F.O} + A_c + A_g = \alpha_{F.O} \cdot L + N_c \cdot \alpha_c + N_g \cdot \alpha_g$$

$N_c$ : numero connettori.

$N_g$ : numero giunti

$\alpha_{F.O}$ : fattore di attenuazione della fibra ottica, [dB/km]

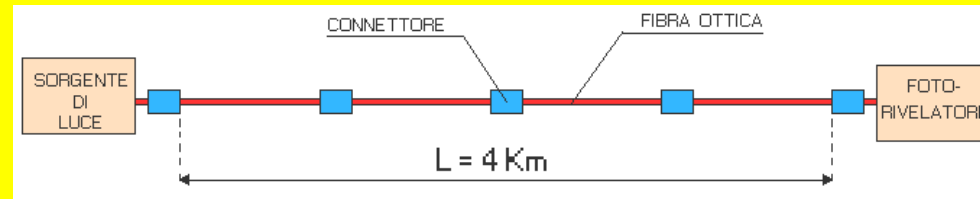
$\alpha_c$  : attenuazione connettori

$\alpha_g$ :attenuazione giunto

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Bilancio energetico

ES.1 Un collegamento in fibra ottica, realizzato secondo lo schema in figura, è caratterizzato dai seguenti dati:



potenza prodotta dalla sorgente:  $P_o = 0,5 \text{ mW}$

lunghezza d'onda della radiazione:  $\lambda = 0,82 \text{ m m}$

attenuazione della fibra:  $A_F = 2 \text{ dB/Km}$

attenuazione dei connettori:  $A_c = 2 \text{ dB}$

attenuazione trasmettitore-fibra:  $A_{TF} = 15,6 \text{ dB}$

attenuazione fibra-ricevitore:  $A_{FR} = 0,4 \text{ dB}$

Margine di sicurezza è  $4 \text{ dB}$

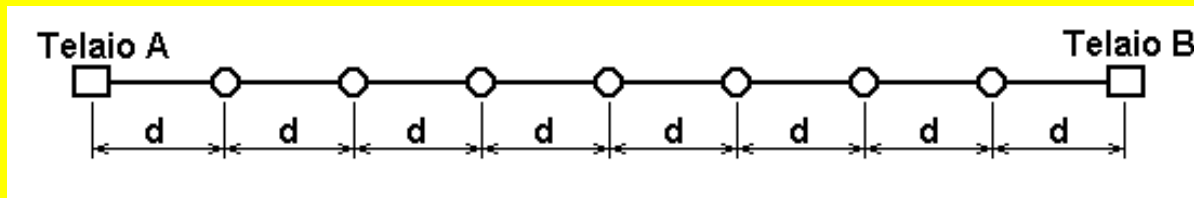
calcoli l'attenuazione complessiva lungo tutta la linea;

2. calcoli la potenza che giunge al fotorivelatore, espressa in  $\text{m W}$  e in  $\text{dBm}$ ;

# Sistema per dati – trasmissione dell'info

## Bilancio energetico

ES.2 Si consideri il collegamento in fibra ottica, tipo **monomodo step index**, funzionante in terza finestra ( $\lambda = 1.550 \text{ nm}$ ) indicato in figura:



dove è:  $d = 2 \text{ Km}$ ;  $\alpha = 0,22 \text{ dB/Km}$ : attenuazione della fibra;  
 $\alpha_g = 0,06 \text{ dB}$ : attenuazione giunto a fusione;  $\alpha_c = 1,2 \text{ dB}$ : attenuazione connettore terminali A e B;  
 $P_{TX} = 1 \text{ dBm}$ : potenza del trasmettitore;  $P_{RX} = -25,6 \text{ dBm}$ : potenza del ricevitore;  
Determinare, l'andamento dell'attenuazione in dB in funzione dei chilometri;

# Dati, informazioni e documenti informatici

## Fonti

<https://theasciicode.com.ar/extended-ascii-code/letter-eszett-scharfes-s-sharp-s-ascii-code-225.html>

[https://www.microst.it/tutorial/manchester\\_3.html](https://www.microst.it/tutorial/manchester_3.html)

<http://www.pc-facile.com/glossario/ethernet/>