



## I MEZZI DI TRASMISSIONE

### **Parte Prima : Cavi e trasmissione ad onde radio**

Quaderni di elettronica

GUERINO MANGIAMELE

## Definizione

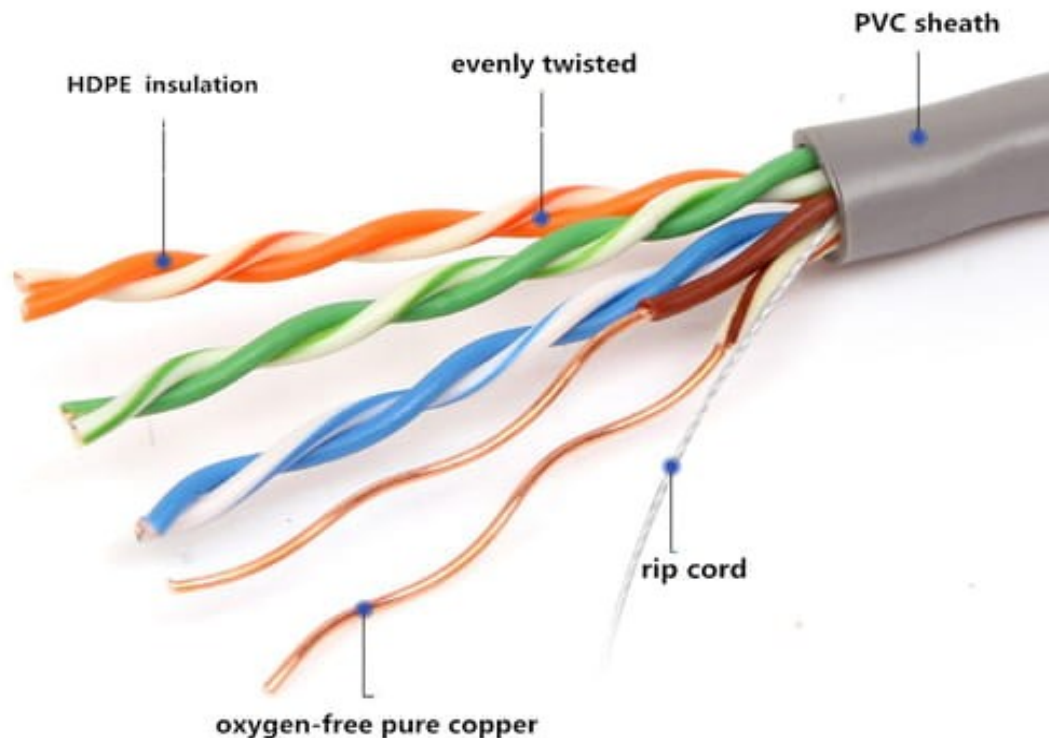
Si definisce mezzo di trasmissione ( o mezzo trasmissivo) un componente ( o uno spazio) in grado di trasferire da un punto ad un altro, tensioni e correnti elettriche e quindi informazioni analogiche o digitali .

I mezzi trasmissivi possono essere essenzialmente di due tipi –

- **Su cavo ( o “guidati”) in cui** i dati trasmessi viaggiano attraverso un sistema di cablaggio che ha un percorso fisso. Ad esempio, fili di rame, fili in fibra ottica, ecc.
- **Attraverso lo spazio libero per mezzo di onde elettromagnetiche .**  
Ad esempio, onde radio, laser, infrarosso, ecc.

Ogni mezzo di trasmissione ha i suoi vantaggi e svantaggi in termini di larghezza di banda, velocità, ritardo, costo per bit, facilità di installazione e manutenzione, ecc.

## Cavo a doppino intrecciato ( Twisted pair)



I fili di rame sono i fili più comunemente utilizzati per la trasmissione dei segnali grazie alle buone prestazioni a basso costo.

Rappresentano i cablaggi standard nella telefonia e nelle reti Ethernet.

Tuttavia, se due o più fili affiancati possono interferire con i segnali reciproci. Per ridurre questa interferenza elettromagnetica, una coppia di fili di rame viene intrecciata a forma elicoidale. Tale configurazione viene detta a **doppino intrecciato**. Per ridurre l'interferenza tra doppioli intrecciati vicini, le modalità di torsione sono diverse per ogni coppia.

Attualmente i cavi ethernet per alte velocità ( superiori ai 10Gb/s ) sono di categoria CAT7

### Vantaggi del cavo a doppiolo intrecciato

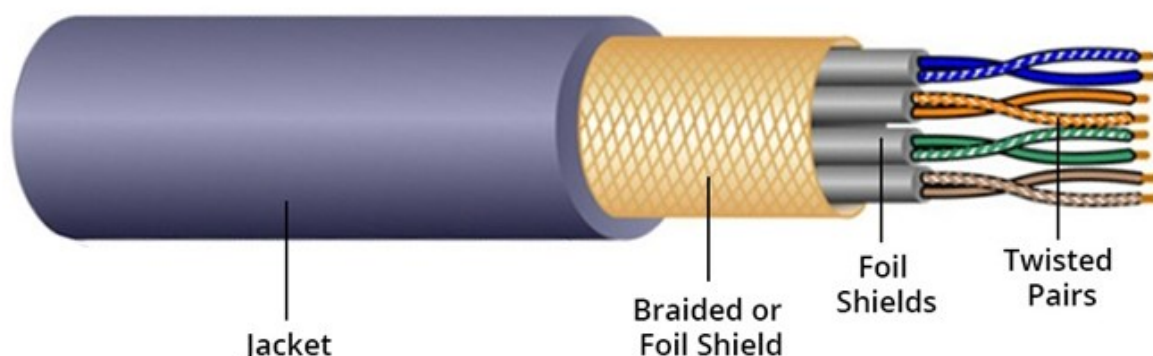
- Può essere utilizzato sia per trasmissioni analogiche che digitali
- Basso costo se utilizzato su brevi distanze
- L'intera rete non si interrompe se una parte della rete è danneggiata

### Svantaggi del cavo a doppiolo intrecciato

Con i suoi numerosi vantaggi, i cavi a doppiolo intrecciato presentano anche alcuni svantaggi :

- Il segnale non può percorrere lunghe distanze senza ripetitori
- Alto tasso di errore per distanze superiori a 100 m (se Unshielded)
- Molto sottile e quindi si rompe facilmente
- Non adatto per connessioni a banda larga

### Cavo schermato a doppiolo intrecciato



I cavi possono essere schermati o non schermati, la schermatura permette una maggiore immunità ai campi elettromagnetici interferenti esterni.

Per contrastare la tendenza dei cavi a doppino intrecciato a captare segnali di rumore, i fili sono schermati nei seguenti tre modi –

- Ciascun doppino è schermato.
- L'insieme di più coppie intrecciate nel cavo è schermato.
- Ogni doppino intrecciato e poi tutti i doppini sono schermati.

Tali doppini intrecciati sono chiamati **cavi schermati a doppino intrecciato (STP)**. I fili che non sono schermati ma semplicemente raggruppati insieme in una guaina protettiva sono chiamati **cavi a doppino intrecciato non schermato (UTP)**. Questi cavi possono avere una lunghezza massima di 100 metri.

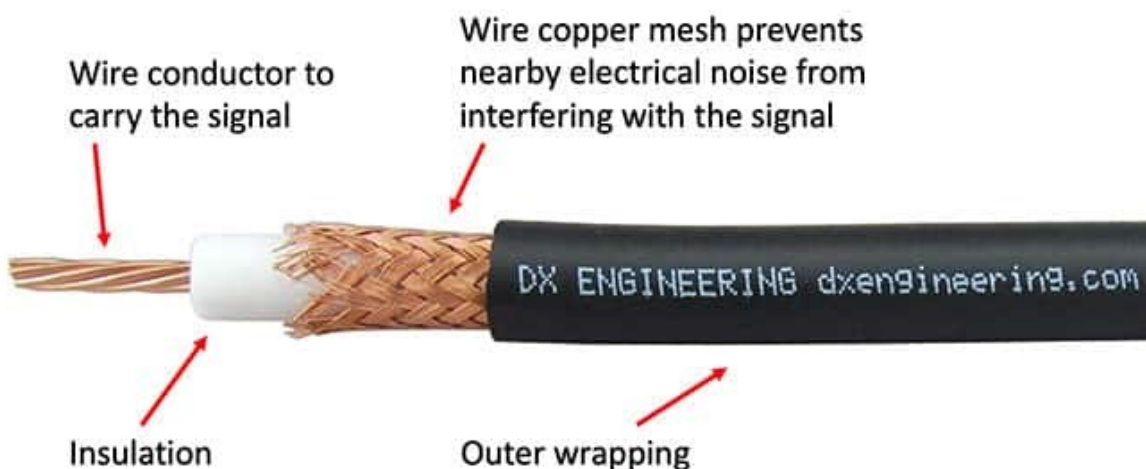
La schermatura rende il cavo ingombrante, quindi UTP è più popolare ed economico della tipologia STP. I cavi UTP vengono spesso utilizzati come connessione di rete ad alta efficienza nelle case e negli uffici.

## Cavo coassiale

I **cavi coassiali** sono cavi in rame con una migliore **schermatura** rispetto ai cavi a doppino intrecciato, in modo che i segnali trasmessi possano percorrere distanze maggiori a velocità più elevate. Un cavo coassiale è costituito, a partire dal più interno, da i seguenti strati:

- Filo di rame rigido come **nucleo**
- **Materiale isolante che** circonda il nucleo
- Rete intrecciata a trama fitta di **materiale conduttore che** circonda l'**isolante e che svolge la funzione di GABBIA DI FARADAY**
- Guaina protettiva **in plastica che** racchiude il filo

I cavi coassiali sono ampiamente utilizzati per le connessioni **TV via cavo** e **LAN**.



## **Vantaggi dei cavi coassiali**

- Eccellente immunità al rumore
- I segnali possono percorrere distanze maggiori a velocità più elevate, ad esempio da 1 a 2 Gbps per un cavo di 1 km
- Possono essere utilizzati sia per segnali analogici che digitali
- Più economici rispetto ai cavi in fibra ottica
- Facile da installare e mantenere.

## **Svantaggi dei cavi coassiali**

Questi sono alcuni degli svantaggi dei cavi coassiali –

- Più Costoso rispetto ai cavi a doppino intrecciato
- Non compatibile con cavi a doppino intrecciato

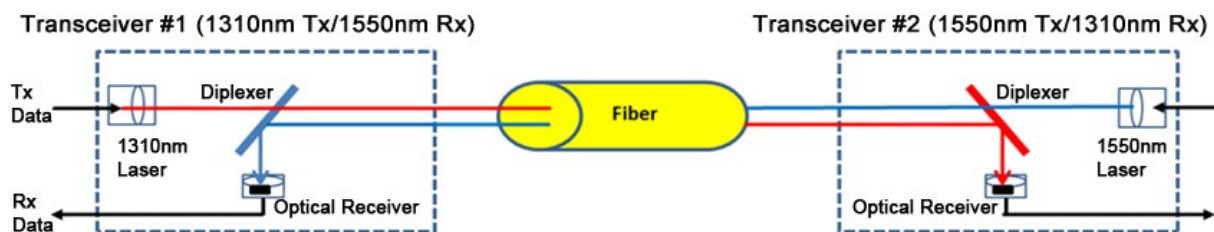
# Fibra ottica

I sottili fili di vetro o di plastica utilizzati per trasmettere i dati utilizzando le onde luminose sono chiamati **fibre ottiche**.

Il conduttore di vetro fibra ottica, riesce a trasferire, a notevoli distanze, la luce emessa da un led emettitore o da un raggio laser.

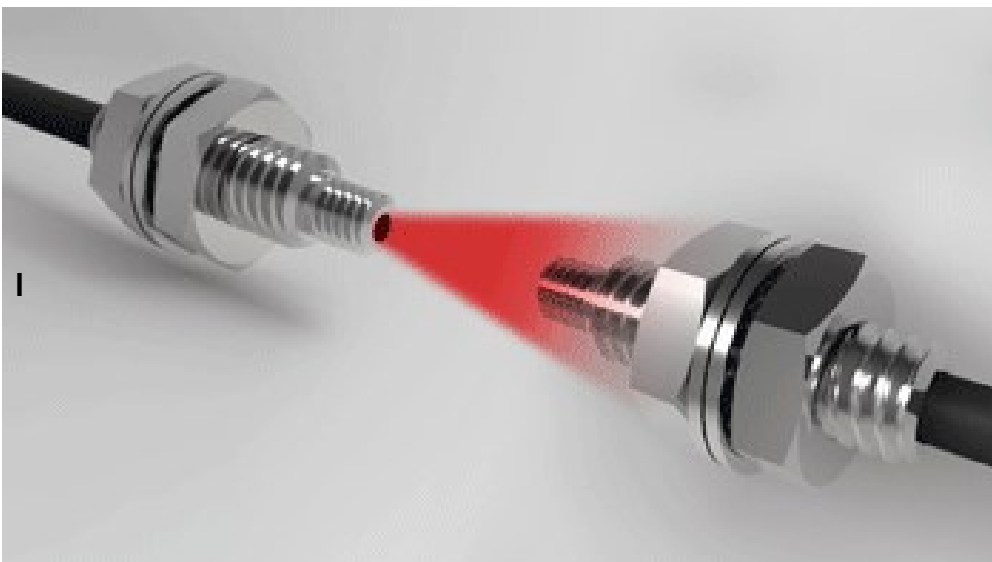
Il led emettitore viene detto comunemente sorgente, mentre, dall'altra parte della fibra è presente un fotodiodo, detto ricevente, che rileva la luce trasmessa.

L'accensione e lo spegnimento della luce ( corrispondente ai valori binari 1 o 0 ) propagata nel conduttore permette la trasmissione delle informazioni.



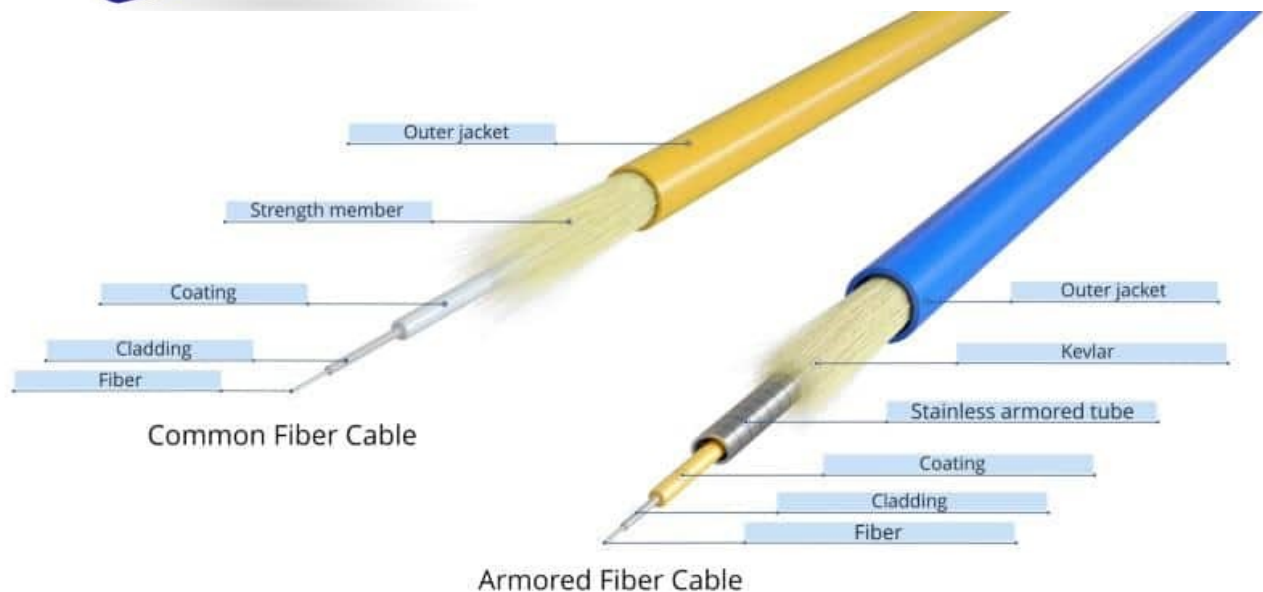
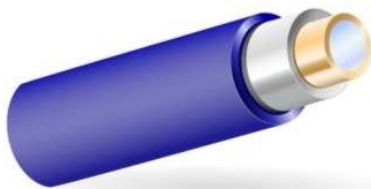
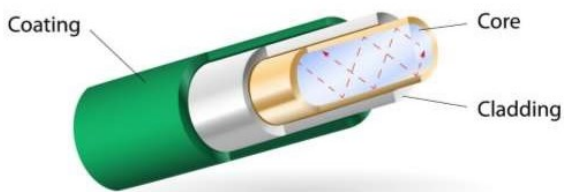
Nel sistema di trasmissione ottica le tre componenti trasmettitore, ricevente e mezzo trasmissivo sono così individuabili :

- **Tx: la sorgente luminosa può essere un LED o un laser che converte i segnali elettrici in impulsi luminosi**
- **il mezzo di trasmissione che è la fibra ottica;**
- **Rx: il fotodiodo ricevitore che converte gli impulsi ottici in impulsi elettrici**



**Il cavo in fibra ottica** è costituito da UNO o più cavi in vetro raggruppati insieme in un rivestimento protettivo. Ogni fibra è composta a partire dallo strato più interno, da questi tre strati:

- **Nucleo in vetro di silice** o **plastica** di alta qualità (POLIMERO) (trasparenza superiore al 98%) di circa 120  $\mu\text{m}$  di diametro chiamato **Core**
- **Rivestimento in vetro di silice** o **plastica** di alta qualità, con un indice di rifrazione inferiore rispetto al nucleo (**cladding**)
- Rivestimento esterno protettivo chiamato (**Coating**)



Si noti che sia il nucleo che il rivestimento sono fatti di materiale simile. Tuttavia, poiché l'**indice di rifrazione (\*)** del rivestimento CLADDING è inferiore, qualsiasi onda di luce vagante che tenta di sfuggire al nucleo viene riflessa indietro a causa della **riflessione interna totale**.

(\*) Il concetto di rifrazione è collegato al concetto di velocità di propagazione della luce.

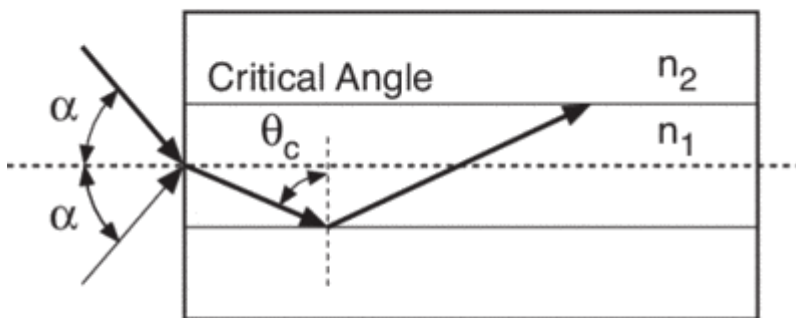
Si definisce **indice di rifrazione**  $n$  il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo.

$$n = c/v$$

L'apertura Numerica

Una proprietà fondamentale della trasmissione in fibra ottica è che l'angolo di incidenza, per avere riflessione totale all'interno del Core, deve essere inferiore all'angolo  $\alpha$  il cui seno è detto APERTURA NUMERICA .

## Numerical Aperture



$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\text{Full Acceptance Angle} = 2\alpha$$

<https://www.youtube.com/watch?v=Ry1Vjrqn0>

La fibra ottica sta rapidamente sostituendo i fili di rame nelle linee telefoniche, nelle comunicazioni Internet e persino nelle connessioni TV via cavo perché i dati trasmessi possono percorrere distanze molto lunghe senza indebolirsi. Il cavo in fibra ottica a **nodo singolo può avere una lunghezza massima del segmento di 2 km e una larghezza di banda fino a 500 Mbps**. Il cavo in fibra ottica **multi-nodo può avere una lunghezza massima anche fino a 100 km e una larghezza di banda anche di 1-2 Tbps**.



## **Vantaggi della fibra ottica**

La fibra ottica sta rapidamente sostituendo i fili di rame grazie ai vantaggi che offre :

- Elevata larghezza di banda
- Immune alle interferenze elettromagnetiche
- Adatto per aree industriali e rumorose
- I segnali che trasportano dati possono percorrere lunghe distanze senza indebolirsi

## **Svantaggi della fibra ottica**

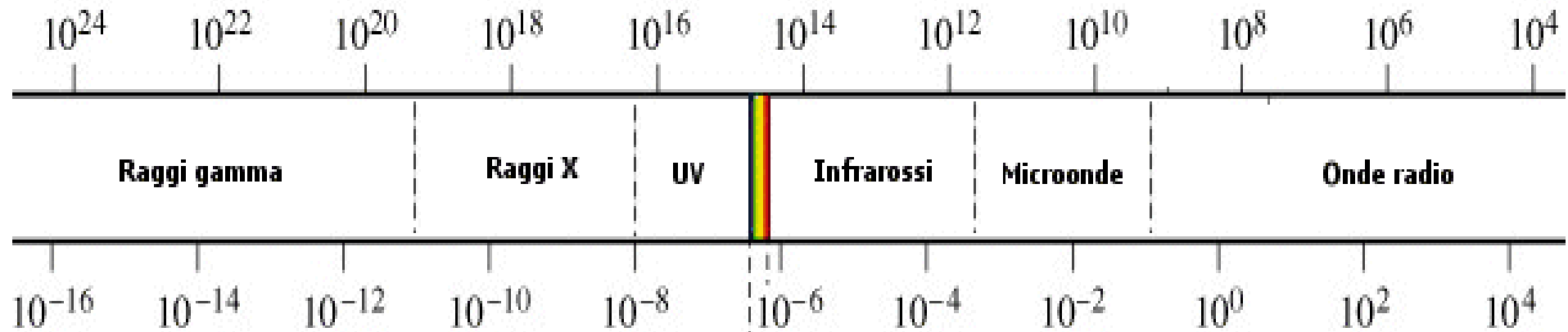
- I cavi in fibra ottica sono più costosi e più fragili dei cavi in rame
- Tecnologia sofisticata necessaria per la produzione, l'installazione e la manutenzione dei cavi in fibra ottica
- Le onde luminose sono unidirezionali, quindi sono necessarie due frequenze per la trasmissione full duplex

## **Infrarossi**

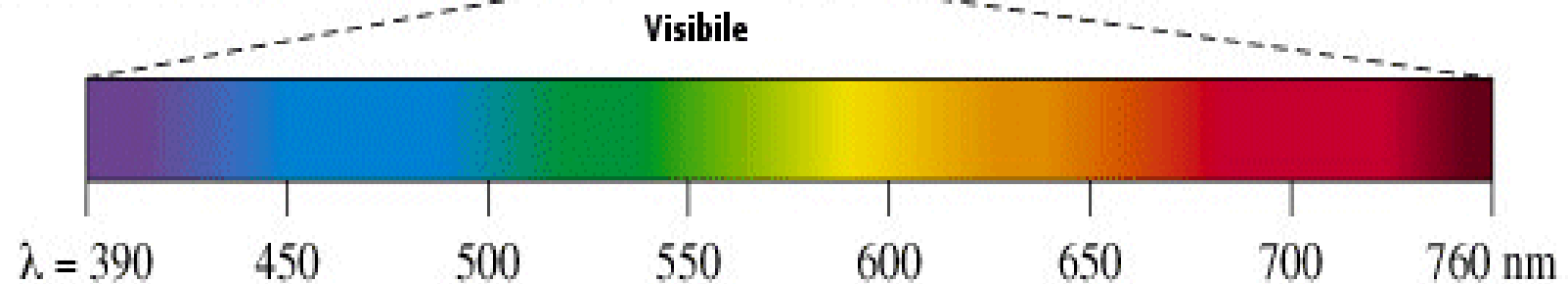
Le onde infrarosse a bassa frequenza vengono utilizzate per comunicazioni a brevissima distanza come telecomando TV, altoparlanti wireless, porte automatiche, dispositivi portatili ecc. I segnali infrarossi possono propagarsi all'interno di una stanza ma non possono penetrare nei muri. Tuttavia, a causa di un raggio così breve, è considerata una delle modalità di trasmissione più sicure.

Onde radio

**Frequenza (Hz)**



**Lunghezza d'onda (m)**



$1 * 10^{14}$  Hz = 100 THz     $\lambda = c/f$      $c =$  velocità della luce  $3 * 10^8$  m/s

**NOTA:** per frequenze radio e microonde si ritiene comunemente adottare la misura in Hz, per frequenze superiori si usa la notazione in Lunghezza d'onda

# Una **classificazione delle onde elettromagnetiche.**

(dalle frequenze più basse alle più alte) :

## ONDE RADIO E MICROONDE

- **Onde Radio**

Le cosiddette ONDE RADIO vengono generate da apparecchi elettronici dotati di "circuiti oscillatori", vengono impiegate nelle trasmissioni di dati digitali, nelle trasmissioni televisive e radio.

Le onde radio sono divise in bande di frequenze, a seconda dell'uso che ne viene fatto nei sistemi di telecomunicazione.

- **Microonde**

Anche queste onde sono generate da apparecchiature elettroniche e vengono utilizzate ad esempio nei radar, nei sistemi di comunicazione via satellite, per riscaldare cibi (come nel forno a microonde).

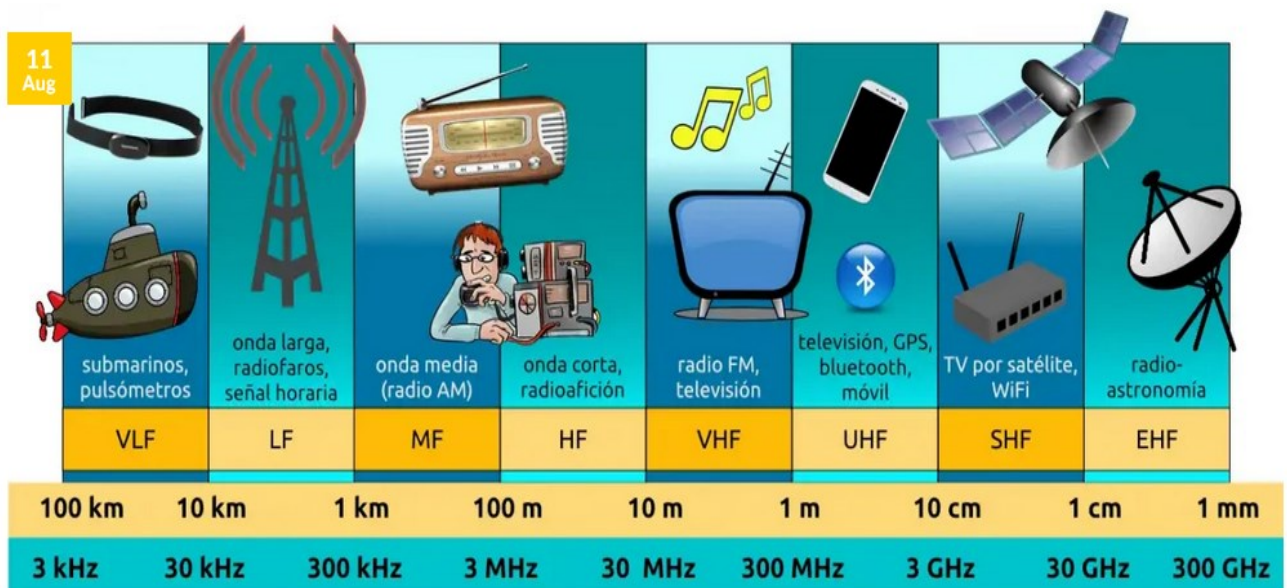
AM Radio	0.5 – 1.7	MHz
CB Radio	26 – 27	MHz
Cordless Phones	43 – 50	MHz
TV Channels 2-6	54 – 88	MHz
FM Radio	88 – 108	MHz
TV Channels 7-13	174 – 216	MHz
Maritime	457	MHz
UHF TV Channels 14-51	470 – 698	MHz
700 MHz band	698 – 793	MHz
800 MHz Cellular NA (1G →)	824 – 891	MHz
900 MHz ISM Band NA	902 – 928	MHz
900 MHz GSM Band	880 – 960	MHz
1800 MHz GSM Band	1710 – 1880	MHz
1900 PCS NA (2G →)	1850 – 1990	MHz
3G →	1885 – 2200	MHz
4G: many bands between	1700 – 2100	MHz
2.4 GHz ISM Band NA Bluetooth, WiFi, cordless phones, point-to-point, ovens	2.4	GHz
2.5 GHz WiMax	2.5	GHz
5 GHz ISM Band NA WiFi, point-to-point	5.0	GHz

↑ better transmission

... ..

↓ more capacity

**Wireless Spectrum and Radio Bands**



- **Infrarosso**

Queste onde sono prodotte da molecole e corpi caldi. Con apparecchiature sensibili ai raggi infrarossi (pirometri) è possibile, per esempio 'vedere' al buio persone e animali a sangue caldo.

Le onde infrarosse sono usate parecchio nell'industria, in medicina, in astronomia...

- **Luce visibile**

La luce visibile è una banda molto stretta di lunghezze d'onda (dal violetto al rosso da circa 390 a 760 nm)) alle quali il nostro occhio è sensibile.

La luce è prodotta da atomi e molecole dovute al movimento oscillatorio degli elettroni .

- **Ultravioletto**

Le lunghezze d'onda diventano sempre più piccole, le frequenze sempre maggiori e i fotoni sempre più energetici.

Il Sole genera intensi raggi ultravioletti. Questi interagiscono, con gli atomi degli strati alti dell'atmosfera che vengono così ionizzati: questa parte dell'atmosfera si chiama ionosfera.

Gran parte di tale radiazione ultravioletta viene bloccata dalla ionosfera e solo in parte penetra fino alla superficie della Terra.

La caratteristica della radiazione ultravioletta di ionizzare gli atomi e produce a livello di batteri e microorganismi delle reazioni chimiche tali da distruggerli. Molte applicazioni a raggi ultravioletti vengono utilizzate in medicina come germicida o per la sterilizzazione.

- **Raggi X**

I raggi X sono usati in medicina: infatti il maggior assorbimento da parte delle ossa rispetto ai tessuti molli permette di radiografare, cioè 'vedere', le ossa.

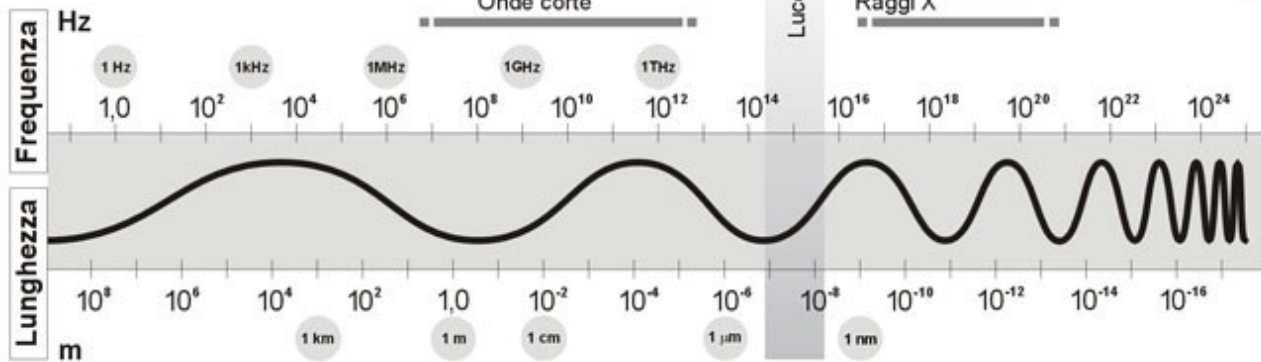
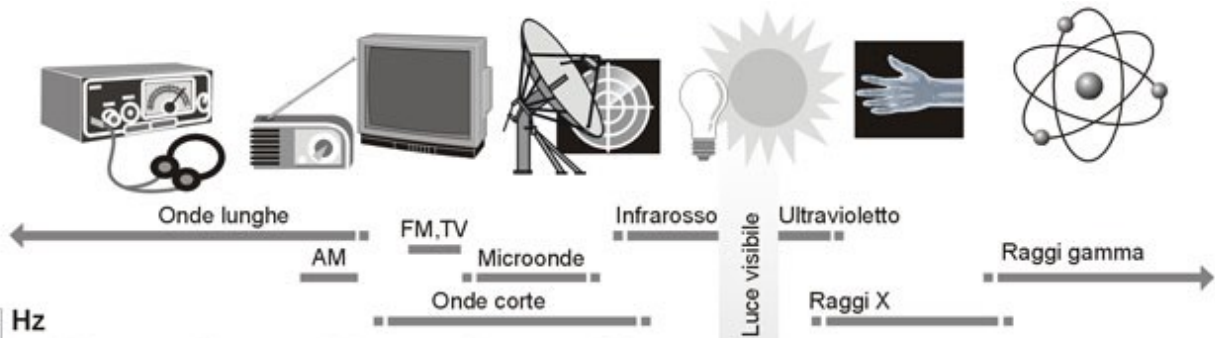
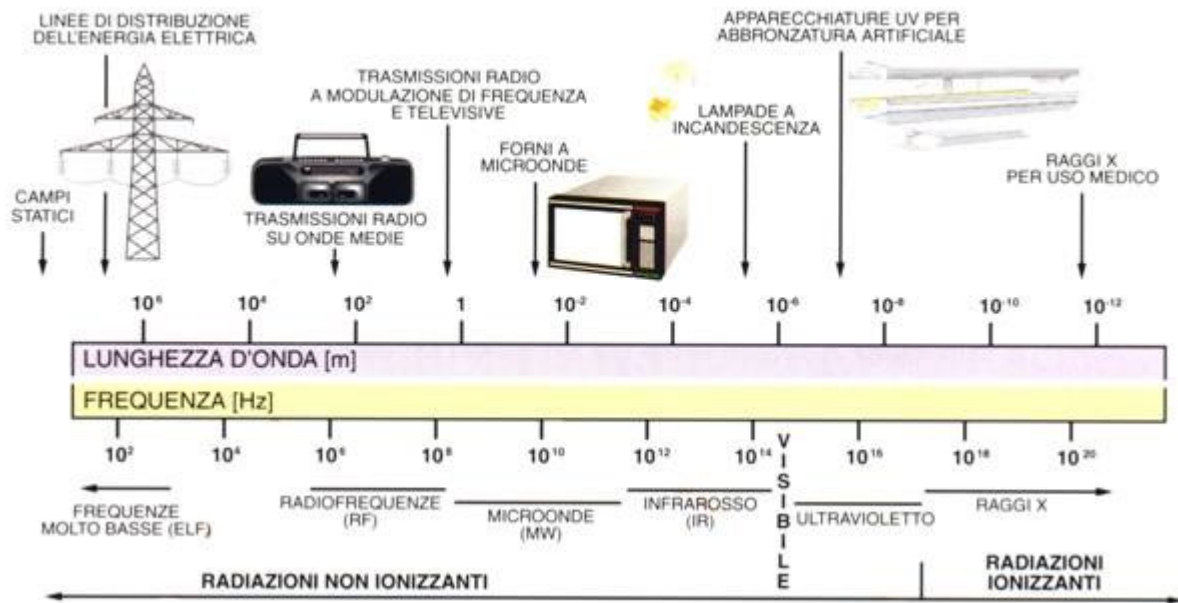
Essendo onde ionizzanti, i raggi X possono causare danni alle cellule dei tessuti.

- **Raggi gamma ( $\gamma$ )**

Queste onde elettromagnetiche estremamente energetiche sono di origine nucleare. L'energia dei fotoni è di livelli tali da produrre effetti a livello nucleare

I raggi gamma sono quelli prodotti da sostanze radioattive.

Se vengono assorbiti da organismi viventi possono provocare danni estremamente seri.



NOME	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA		SORGENTI	UTILIZZAZIONE
<b>RAGGI COSMICI</b>	$10^{11}$ THz	$3 \times 10^{-6}$ nm		Corpi cosmici	Ricerche atomiche e sub-atomiche
<b>RAGGI GAMMA</b>	da $10^{10}$ THz	$3 \times 10^{-5}$ nm		Corpi astronomici, nuclei radioattivi, collisioni di particelle nucleari	Ricerca; industria; radiografia di componenti metallici; medicina; sterilizzazione degli strumenti
	a $10^9$ THz	$3 \times 10^{-4}$ nm			
<b>RAGGI X</b>	da $10^9$ THz	$3 \times 10^{-4}$ nm		Radiazioni atomiche, il sole, altri corpi dallo spazio	Ricerca, medicina, industria
	a $10^5$ THz	$3 \times 1$ nm			
<b>RADIAZIONI ULTRAVIOLETTE</b>	da $10^4$ THz	$3 \times 10$ nm		Dallo spazio, sole, arco voltaico, lampade al mercurio o allo xenon	Ricerca, sviluppo osseo umano (vitamina D), processi fotochimici, produzione dei chip, fotografia, sterilizzazione di alimenti, spettacolo, moda (abbronzatura)
	a $10^3$ THz	$3 \times 10^2$ nm			
<b>LUCE VISIBILE: DAL VIOLETTO AL ROSSO</b>	tra 400 e 700 THz	Violetto	380-440 nm	Il sole e altri corpi dallo spazio, fuoco, oggetti incandescenti, gas ionizzati	La vita sulla terra (fotosintesi), vista, ricerca, industria (optoelettronica: CD, stampanti laser...), processi chimici, arte, spettacolo, fotografia, cinema, Tv, telecomunicazioni
		Blu	440-500 nm		
		Verde	500-570 nm		
		Giallo	570-590 nm		
		Arancio	590-610 nm		
		Rosso	610-750 nm		
<b>INFRAROSSO</b>	da $10^5$ GHz	$0,75 \mu\text{m}$		Tutti gli oggetti caldi, certi tipi di LED, LASER	Esseri viventi, alimentazione, medicina, fotografia e visione notturna, ricerca, radioastronomia, industria
	a $10^3$ GHz	$300 \mu\text{m}$			
<b>MICROONDE</b>	da $10^3$ GHz	$300 \mu\text{m}$		Stazioni terra/terra e/o terra/satelliti, strumenti elettronici (magneton, klystron, maser), forni	Comunicazioni, ponti radio, radar, strumenti di navigazione aerea, controllo di velocità, meteorologia, alimentazione, radioastronomia
	da 1 GHz	$30 \text{ cm}$			

<https://www.lacomunicazione.it/voce/onde-elettromagnetiche/>