



I MEZZI DI TRASMISSIONE

Parte Prima : Cavi e trasmissione ad onde radio

Quaderni di elettronica

GUERINO MANGIAMELE

Definizione

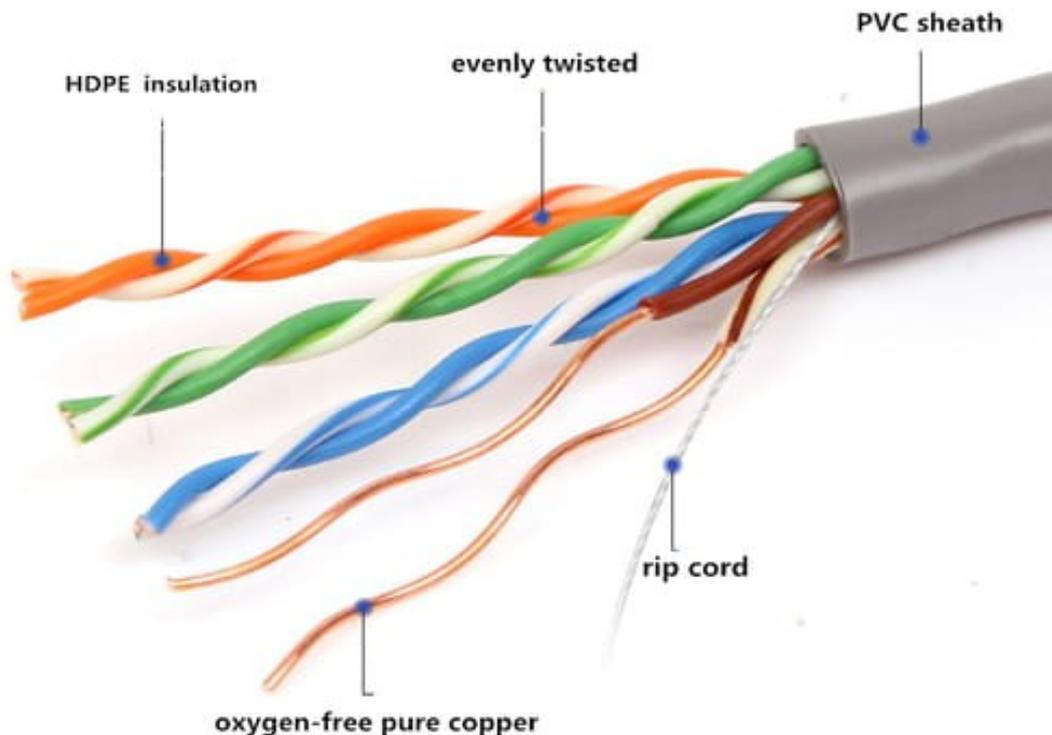
Si definisce mezzo di trasmissione (o mezzo trasmissivo) un componente (o uno spazio) in grado di trasferire da un punto ad un altro, tensioni e correnti elettriche e quindi informazioni analogiche o digitali .

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 doppini 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 doppino intrecciato

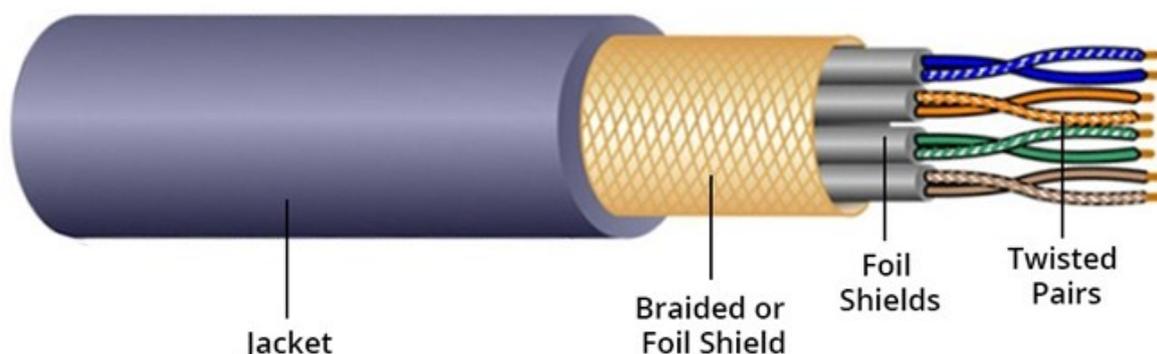
- Può essere utilizzato sia per trasmissioni analogiche che digitali
- Basso costo se utilizzato su brevi distanze
- L'intera rete non si interrompe se una parte della rete è danneggiata

Svantaggi del cavo a doppino intrecciato

Con i suoi numerosi vantaggi, i cavi a doppino 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 doppino 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.

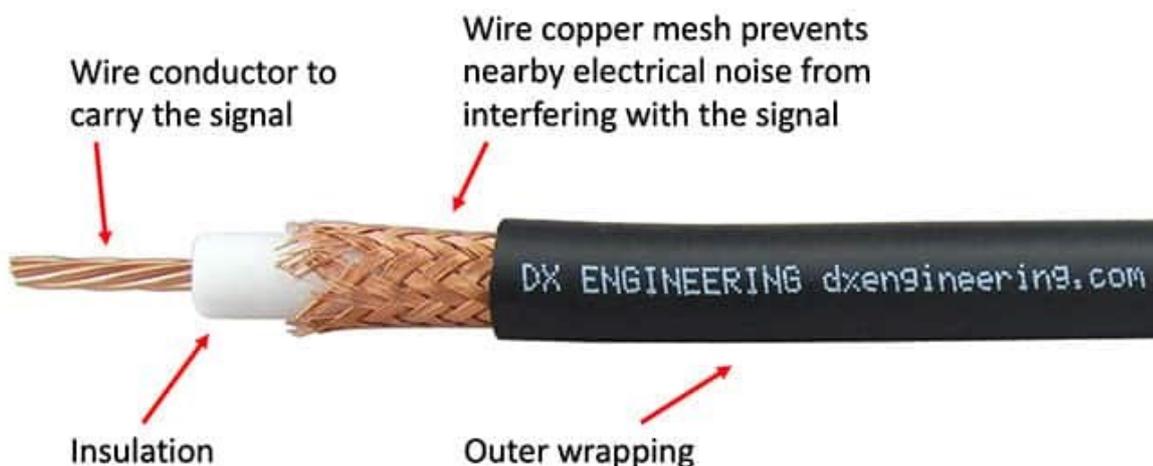
La schermatura rende il cavo ingombrante, quindi UTP è più popolare ed economico della tipologia STP. I cavi UTP vengono spesso utilizzati come connessione di rete ad alta efficienza nelle case e negli uffici.

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

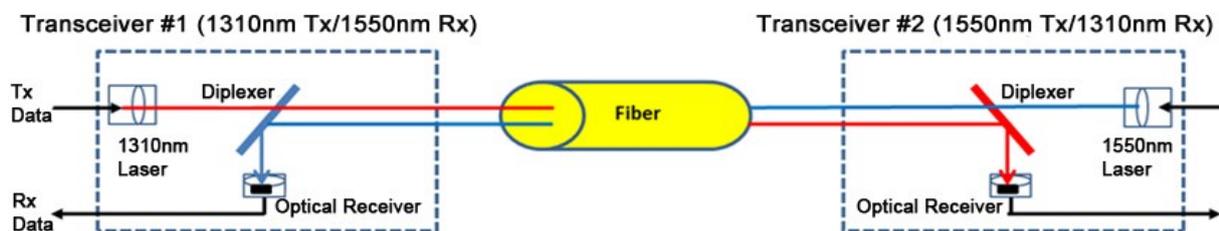
Fibra ottica

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.

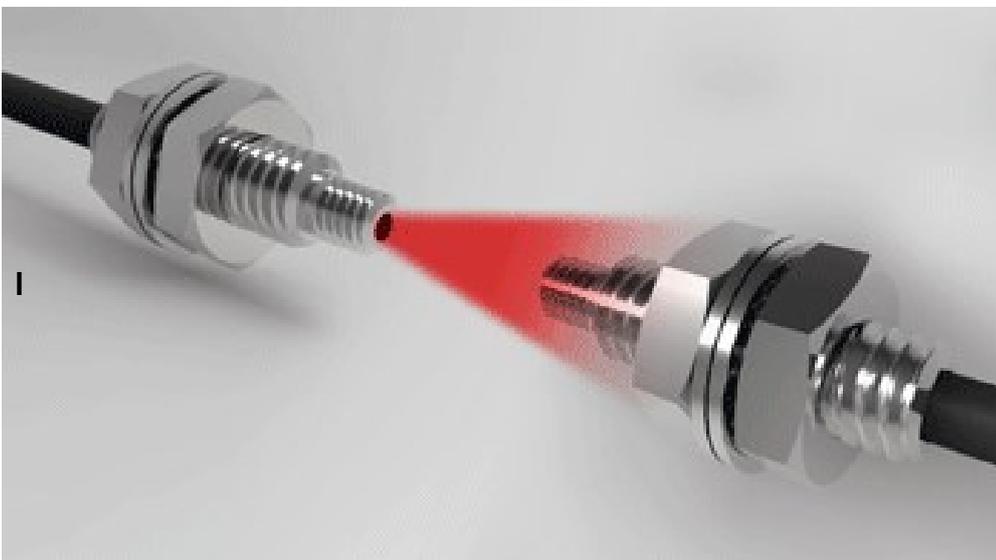
Il led emettitore viene detto comunemente sorgente, mentre, dall'altra parte della fibra è presente un fotodiodo, detto ricevente, che rileva la luce trasmessa.

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



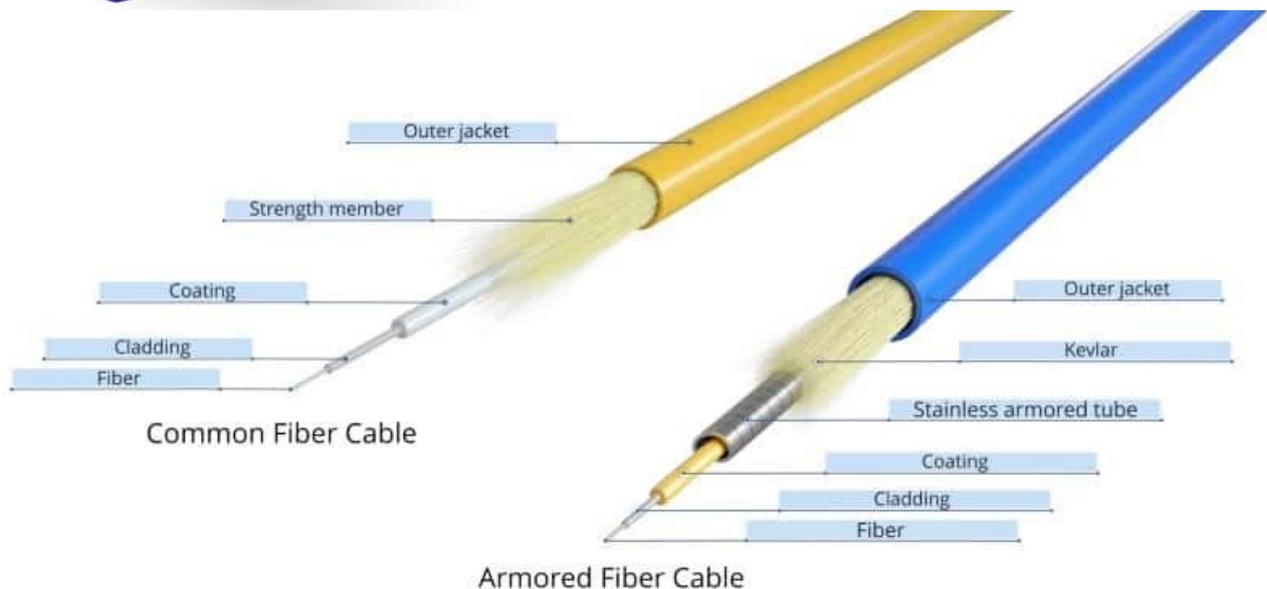
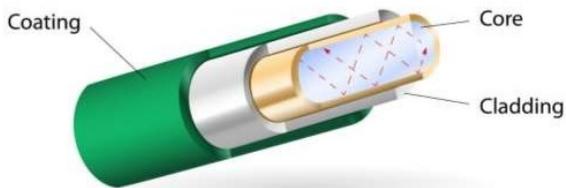
Nel sistema di trasmissione ottica le tre componenti trasmettitore, ricevente e mezzo trasmissivo sono così individuabili :

- **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 μm 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.

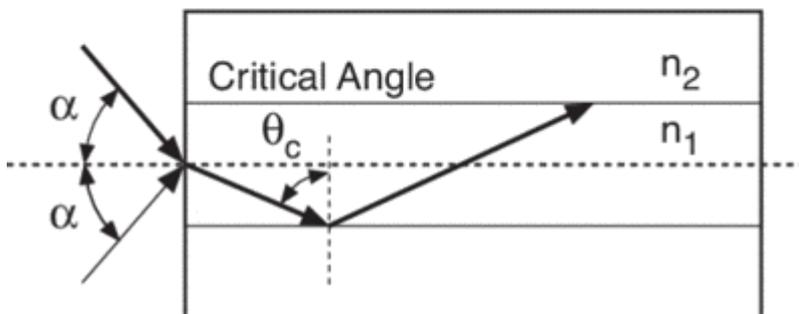
Si definisce **indice di rifrazione** n il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo.

$$n = c/v$$

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 α 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

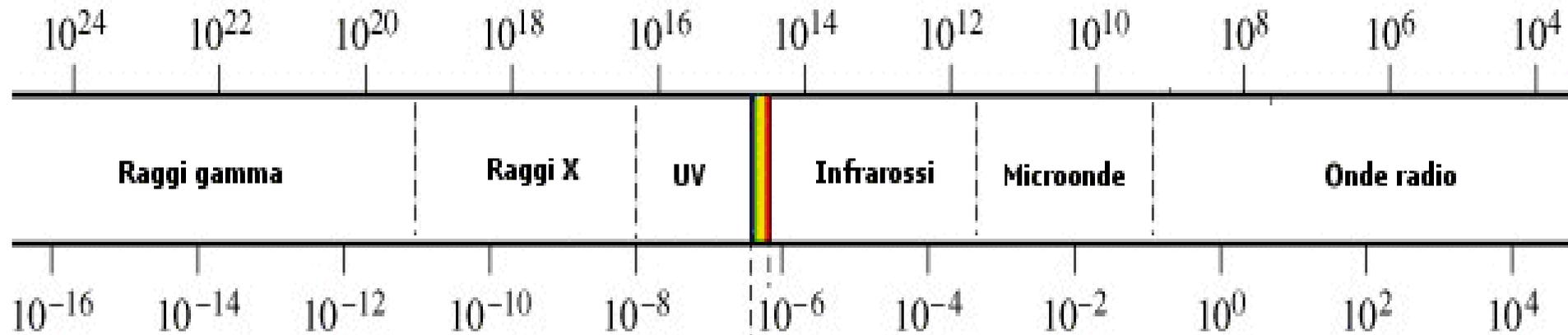
- I cavi in fibra ottica sono più costosi e più fragili dei cavi in rame
- Tecnologia sofisticata necessaria per la produzione, l'installazione e la manutenzione dei cavi in fibra ottica
- Le onde luminose sono unidirezionali, quindi sono necessarie due frequenze per la trasmissione full duplex

Infrarossi

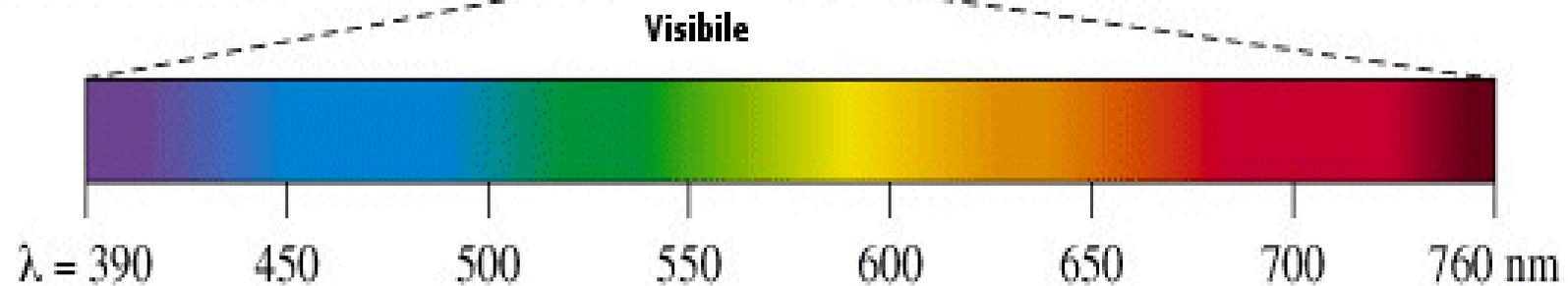
Le onde infrarosse a bassa frequenza vengono utilizzate per comunicazioni a brevissima distanza come telecomando TV, altoparlanti wireless, porte automatiche, dispositivi portatili ecc. I segnali infrarossi possono propagarsi all'interno di una stanza ma non possono penetrare nei muri. Tuttavia, a causa 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).

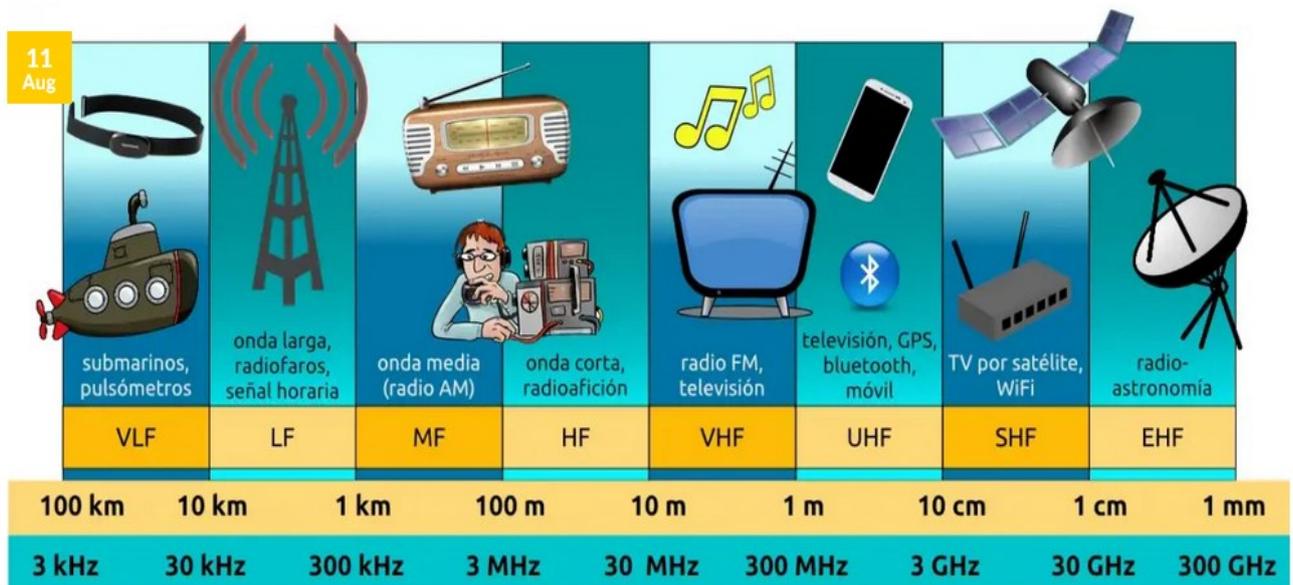
AM Radio	0.5 – 1.7	MHz
CB Radio	26 – 27	MHz
Cordless Phones	43 – 50	MHz
TV Channels 2-6	54 – 88	MHz
FM Radio	88 – 108	MHz
TV Channels 7-13	174 – 216	MHz
Maritime	457	MHz
UHF TV Channels 14-51	470 – 698	MHz
700 MHz band	698 – 793	MHz
800 MHz Cellular NA (1G →)	824 – 891	MHz
900 MHz ISM Band NA	902 – 928	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.

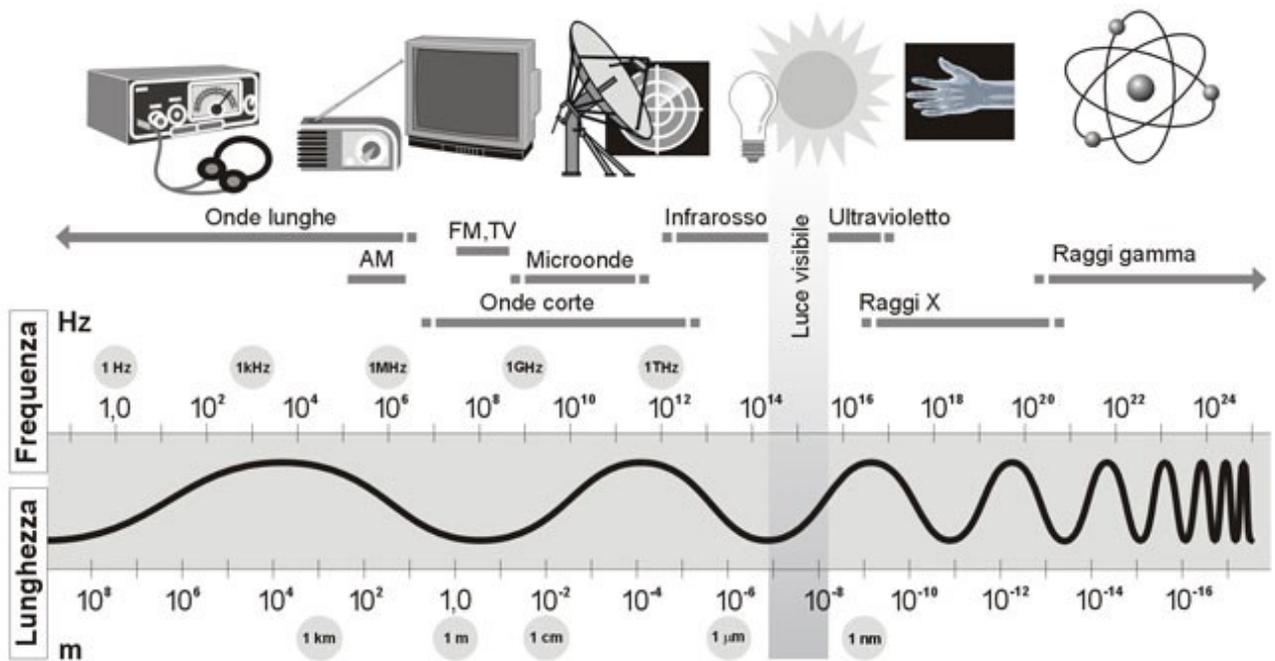
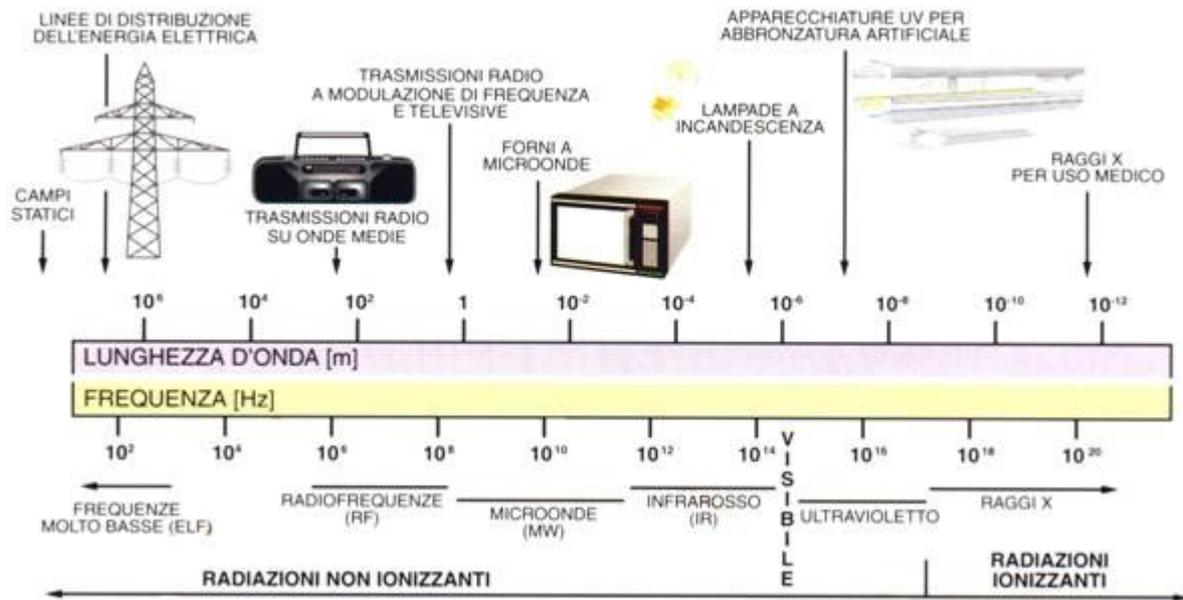
Essendo onde ionizzanti, i raggi X possono causare danni alle cellule dei tessuti.

- **Raggi gamma (γ)**

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
RAGGI COSMICI	10^{11} THz	3×10^{-6} nm		Corpi cosmici	Ricerche atomiche e sub-atomiche
RAGGI GAMMA	da 10^{10} THz	3×10^{-5} nm		Corpi astronomici, nuclei radioattivi, collisioni di particelle nucleari	Ricerca; industria; radiografia di componenti metallici; medicina; sterilizzazione degli strumenti
	a 10^9 THz	3×10^{-4} nm			
RAGGI X	da 10^9 THz	3×10^{-4} nm		Radiazioni atomiche, il sole, altri corpi dallo spazio	Ricerca, medicina, industria
	a 10^5 THz	3×1 nm			
RADIAZIONI ULTRAVIOLETTE	da 10^4 THz	3×10 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	3×10^2 nm			
LUCE VISIBILE: DAL VIOLETTO AL ROSSO	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		
INFRAROSSO	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	$300 \mu\text{m}$			
MICROONDE	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 cm			

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