

Basi teoriche della trasmissione dati

L'informazione può essere trasmessa a distanza variando opportunamente una qualche caratteristica fisica del segnale scelto per la trasmissione.

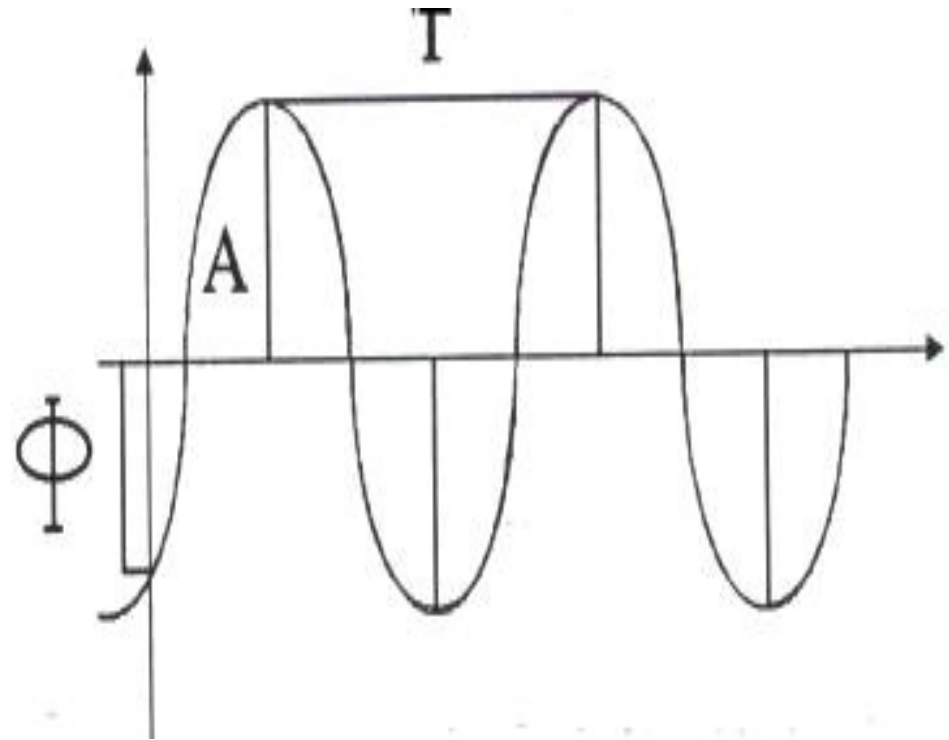
Il segnale si propaga con una certa velocità, attraverso un mezzo di trasmissione e, dopo un intervallo di tempo Δt , arriva all'altra estremità del mezzo.

A = ampiezza d'oscillazione

T = periodo

f = frequenza = $\frac{1}{T}$

Φ = fase



Ampiezza A: differenza fra il valore massimo ed il minimo;

Periodo T: quantità di tempo trascorso il quale la funzione si ripete;

Frequenza: inverso del periodo $f = 1/T$, misurata in **cicli al secondo (Hz)**.

La trasmissione può avvenire attraverso:

Mezzi

Fenomeno Fisico

elettrici (cavi) *corrente elettrica*

ottici (fibre) *luce*

wireless *onde elettromagnetiche*

Onda elettromagnetica: una combinazione di campo elettrico e campo magnetico variabili, che propagandosi nello spazio è in grado di indurre a distanza una corrente elettrica in un dispositivo ricevente (antenna).

Segnale analogico e *segnale digitale*:

segnale analogico: il valore del segnale può variare *gradualmente* in un intervallo costituito da un *numero infinito* di possibili valori;

segnale digitale: il segnale varia *bruscamente* assumendo in ogni istante solo uno di un *insieme finito di valori*.

La *natura dei fenomeni fisici* è di tipo *analogico e non digitale*. Un segnale, quindi, non varierà mai istantaneamente ma impiegherà sempre un certo intervallo di tempo.

A causa dell'interazione con il mezzo trasmissivo, la *forma del segnale a destinazione non sarà mai esattamente quella di partenza.*

Una funzione $g(t)$, definita in un intervallo *finito* T , può essere considerata come una *funzione periodica di periodo T* , e quindi espressa come *somma di un numero infinito di funzioni sinusoidali* (Fourier: matematico francese dell'800):

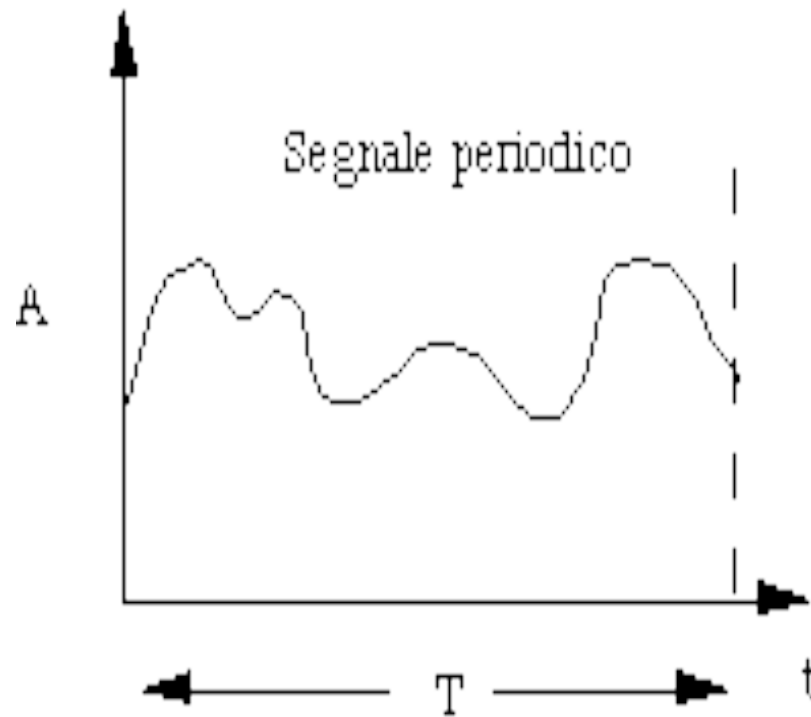
$$g(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

$f = 1/T$: *frequenza fondamentale*

a_n e b_n : ampiezze dell' n -esima armonica di *frequenza $n \cdot f$*

I valori di c , a_n e b_n sono tutti calcolabili come opportuni integrali di $g(t)$ in dt .

Un qualunque segnale $g(t)$, di durata T , può essere rappresentato dal suo *spettro di frequenze* (la sua scomposizione in sinusoidi).



Frequency band: intervallo di frequenze
comprendente le frequenze di tutte le sinusoidi che descrivono il segnale.

Fattori che influenzano le caratteristiche della
Banda di Frequenza:

*tanto più è breve la durata **T** del segnale, tanto più è alto il valore della frequenza fondamentale;*

*quanto più velocemente varia **g(t)**, tanto più numerose sono le armoniche necessarie a descriverla.*

I canali attenuano in modo diverso le armoniche:

- * frequenza di taglio f_c*
- * distorsione dei segnali*

Banda passante (di un mezzo fisico): intervallo di frequenze che il mezzo fisico è in grado di trasmettere senza alterarle oltre certi limiti.

Attenuazione e ***Ritardo*** (principali alterazioni del segnale): variano al variare delle frequenze trasmesse.

Ampiezza di banda: dipende dalle caratteristiche fisiche del mezzo trasmissivo, e dalla eventuale presenza di filtri (***filtri passa-basso, passa-banda***).

Nella trasmissione in un mezzo trasmissivo:

l'attenuazione subita dal segnale dipende dalla frequenza del segnale ed è proporzionale alla distanza percorsa;

se la banda passante è inferiore alla banda di frequenza, il segnale viene distorto (privato di alcune armoniche).

Se un numero sufficiente di armoniche arriva a destinazione, il segnale è comunque utilizzabile.

Nyquist (1924): Un *segnale analogico di banda h* può essere completamente ricostruito mediante una *campionatura effettuata $2*h$ volte al secondo*.

In ambito binario: Se ciascun campione può assumere uno di *n* valori distinti, *il segnale risulta completamente rappresentato con*

*$2*h*(\lg_2 n)$ bit per ogni secondo*

Il *Bit rate* (*velocità di trasmissione in bit/sec*) di un canale di comunicazione con **banda passante** di *h* Hz, su cui è trasmesso un segnale che può assumere *V* **livelli discreti** è:

$$\text{massimo data rate (bit/sec)} = 2 * h * \log_2 V$$

Il *Baud rate* invece è la velocità di segnalazione di una linea, ossia quante volte al secondo essa è in grado di cambiare valore.

Rapporto *segnale/rumore*(*signal to noise ratio*): rapporto fra la potenza del segnale e quella del rumore misurata in ***decibel***

dB: 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto S/N.

Alcuni valori esemplificativi:

Rapporto S/N

2

10

100

1000

Misura in Db

3

10

20

30

Il teorema di Nyquist è valido per canali totalmente privi di disturbi (purtroppo non è realistico).

Teorema di Shannon (1948): il massimo data rate di un canale rumoroso, con banda passante di ***h Hz*** e rapporto segnale/rumore pari a ***S/N*** , è dato da:

massimo data rate (bit/sec) = $h * \lg_2(1 + S/N)$

Su un canale con banda ***$3k$ Hz e $S/N=30dB$*** (tipici di una normale linea telefonica) massimo si può arrivare a ***30.000 bps.***

In generale:

*più alto è il numero di ***bps*** da trasmettere, più ampia deve essere la banda passante;

*a parità di mezzo utilizzato, minore è la lunghezza del canale di trasmissione tanto più è alto il numero di ***bps*** che si possono trasmettere (attenuazioni e sfasamenti restano accettabili);

*la trasmissione digitale è più critica di quella analogica (genera frequenze più alte), ma può essere più facilmente "rigenerata" lungo il percorso (in quella analogica ogni amplificazione introduce distorsione, che si somma a quella degli stadi precedenti).

Trasmissione ***baseband*** (*trasmissione in ***banda base****): la singola trasmissione impegna l'intera banda passante.

Trasmissione ***broadband***: attraverso opportune tecniche di ***multiplazione*** si effettuano contemporaneamente più trasmissioni distinte (nella telefonia con *broadband* si indicano trasmissioni che impegnano più di 4 kHz)

Mezzi trasmissivi

Doppino intrecciato: coppia di conduttori in rame intrecciati in forma elicoidale (l'intreccio riduce i disturbi causati dalle interferenze)

*usato, in particolare, per le ***connessioni terminali del sistema telefonico*** (da casa dell'utente alla centrale più vicina).

****larghezza di banda*** - dipende dalla distanza (100 -1000 Mb/s a 100 metri).

UTP (Unshielded Twisted Pair)

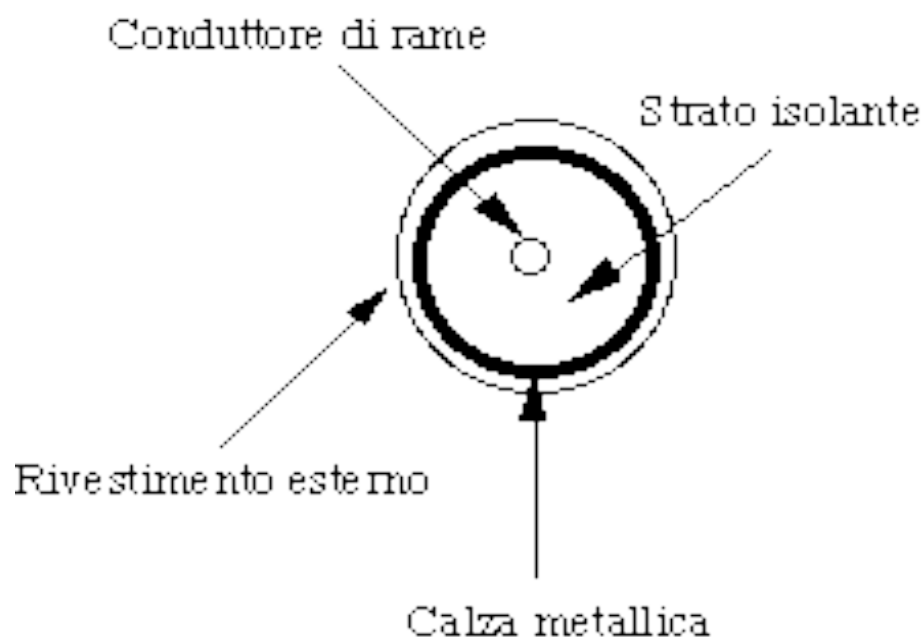
***Categoria 3:** otto fili isolati, leggermente attorcigliati a coppie, contenuti in una guaina di plastica (comune nei cablaggi telefonici interni agli edifici);

***Categoria 5** (dal 1988): simile alla categoria 3, ma con un più fitto avvolgimento (più giri per centimetro) e con un migliore isolamento (teflon). Usato soprattutto nei collegamenti in ambito LAN (Ethernet a 100 Mbps, ATM a 34 Mbps).

***Categoria 6:**...

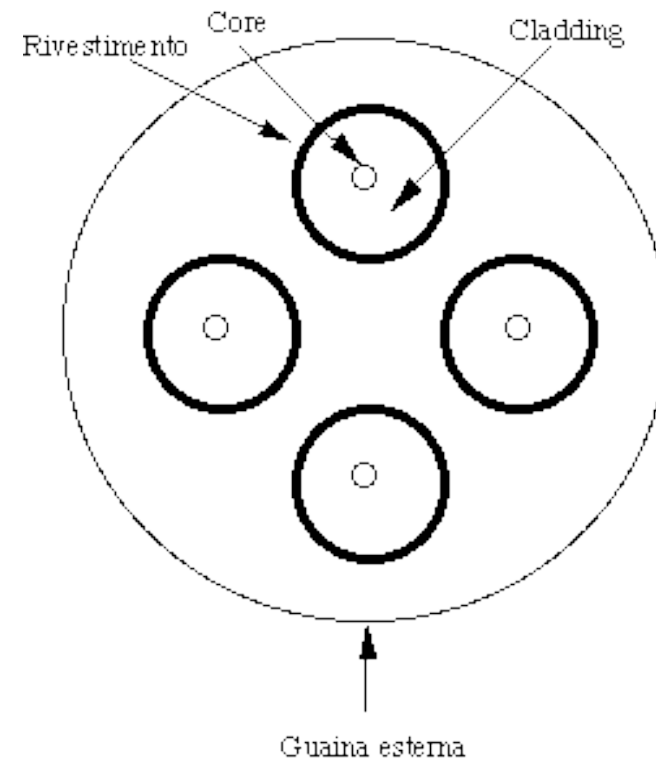
STP (Shielded Twisted Pair): è schermato e quindi più ingombrante ma offre migliori prestazioni (poco usato).

Cavo coassiale: conduttore centrale in rame circondato da uno strato isolante all'esterno del quale vi è una calza metallica, il tutto rivestito in plastica. Il miglior isolamento, rispetto al doppino, consente maggiori velocità di trasmissione e distanze superiori.



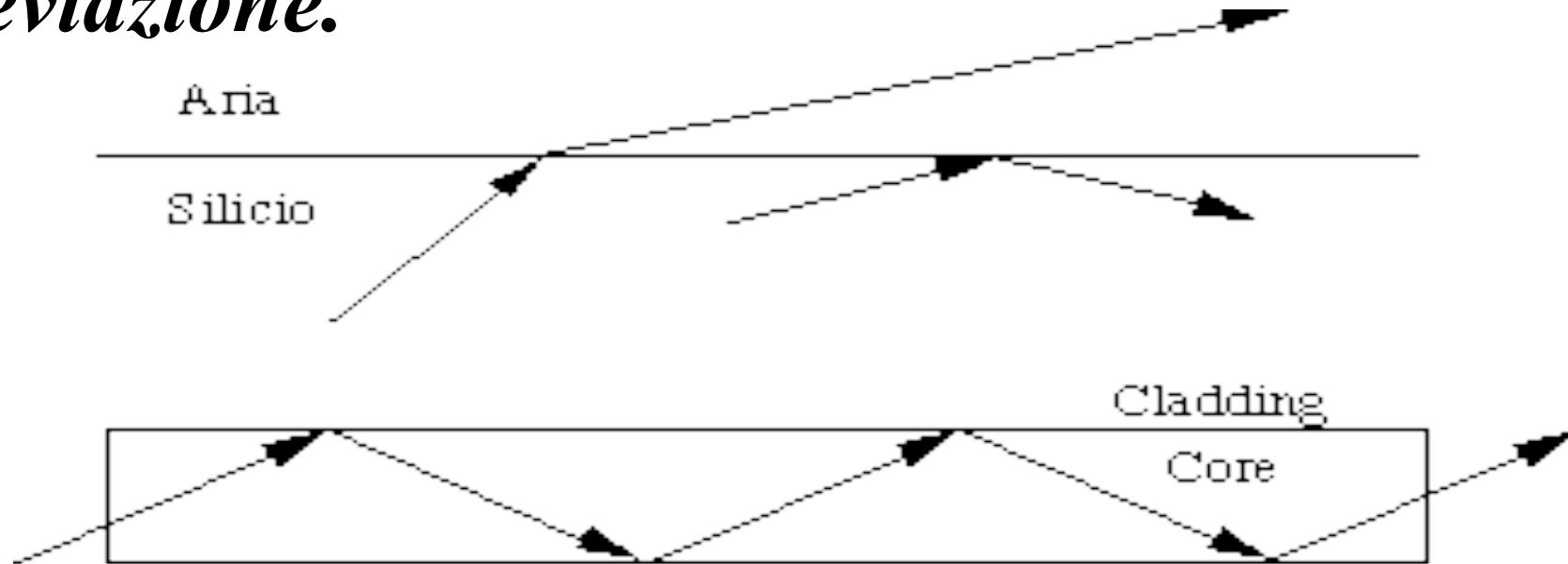
Molto usato in passato nel sistema telefonico per le tratte a lunga distanza, è ormai sostituito quasi ovunque dalla fibra ottica (oggi è usato per la TV via cavo ed in vecchie LAN).

Fibra ottica: sottilissimo cilindro centrale in vetro (***core***), circondato da uno strato esterno (***cladding***) di vetro avente un diverso indice di rifrazione e da una guaina protettiva.



In genere più coppie sono contenute insieme in una stessa guaina esterna.

*Quando un raggio di luce attraversa il confine fra il **core** ed il **cladding** subisce una deviazione.*



La deviazione dipende dagli *indici di rifrazione* dei due materiali ed è tale che *per certi angoli di incidenza, il raggio resta intrappolato all'interno del core.*

Fibre ottiche

multimodali: (core di 50 micron) raggi diversi con diversi angoli (***mode***) possono contemporaneamente propagarsi nella stessa fibra;

monomodali: (core di 8-10 micron) la luce di un singolo raggio avanza nella fibra che si comporta come una ***guida d'onda***. Sono più costose ma garantiscono distanze maggiori (fino a 30 km).

Nelle fibre ottiche un *impulso luminoso* rappresenta un *1* mentre *la sua assenza* uno *zero*.

Le attuali fibre consentirebbero velocità di trasmissione di *50 Tbps* ad un bassissimo tasso d'errore.

Mancando al momento sistemi di conversione luminoso/elettrico in grado di operare a tali velocità, la pratica corrente limita l'uso delle fibre a *qualche Gbps*.

La *bassa attenuazione* nella trasmissione in fibra è dovuta:

*alla *particolare trasparenza* delle fibre ottiche (se il mare fosse fatto di questo vetro si vedrebbe il fondo...);

*all'utilizzo di *tre particolari bande* per la trasmissione (tutte tra *infrarosso e UV*: 0.85μ , 1.30μ , 1.55μ –perdita di meno del 5% per Km-), larghe da 25.000 GHz a 30.000 GHz ciascuna.

Prima finestra: etichettata 850 nm, con *sorgente LED*, viene utilizzata per le *fibre multimodali* in applicazione *LAN con distanze medio-piccole*.

Seconda finestra: etichettata 1300 nm, con *sorgente LED*, è utilizzata con *fibre multimodali* in applicazione *LAN con distanze medie*. Questa stessa finestra viene portata a 1310 nm, con sorgente laser, costituendo la prima finestra per la **fibra monomodale** per applicazioni LAN e trasmissione dati su distanze medio-lunghe.

Terza finestra: etichettata 1550nm, con *sorgente LASER*, è utilizzata con *fibre monomodali* per trasmissione dati su distanze lunghe.

Un sistema di trasmissione ottico ha tre componenti :

sorgente luminosa: converte un segnale elettrico in impulsi luminosi (può essere un LED o un laser);

mezzo di trasmissione: fibra ottica;

fotodiodo ricevitore: converte gli impulsi luminosi in segnali elettrici (l'ordine dei Gbps deriva dal tempo di risposta dei fotodiodi che è dell'ordine del nsec).

Topologie comuni per reti su fibre ottiche

anello: concatenando più fibre ottiche si crea un anello. L'interfaccia del singolo sistema può essere **passiva** (fa passare l'impulso luminoso nell'anello) o **attiva** (converte l'impulso luminoso in elettrico, lo amplifica e lo riconverte in luce);

stella passiva: l'impulso, inviato da un trasmettitore, arriva in un cilindro di vetro al quale sono attaccate (fuse) tutte le fibre ottiche. Si realizza così una rete broadcast.

Vantaggi delle fibre ottiche rispetto al rame:

banda:due fibre sono più capaci di 1000 doppini;*

***peso:** *100 kg/km contro 8.000 kg/km;*

***totale insensibilità a disturbi elettromagnetici;**

***difficili intrusioni.**

Svantaggi delle fibre ottiche rispetto al rame:

***costo delle giunzioni;**

***comunicazione unidirezionale**

Trasmissione wireless

Le onde elettromagnetiche

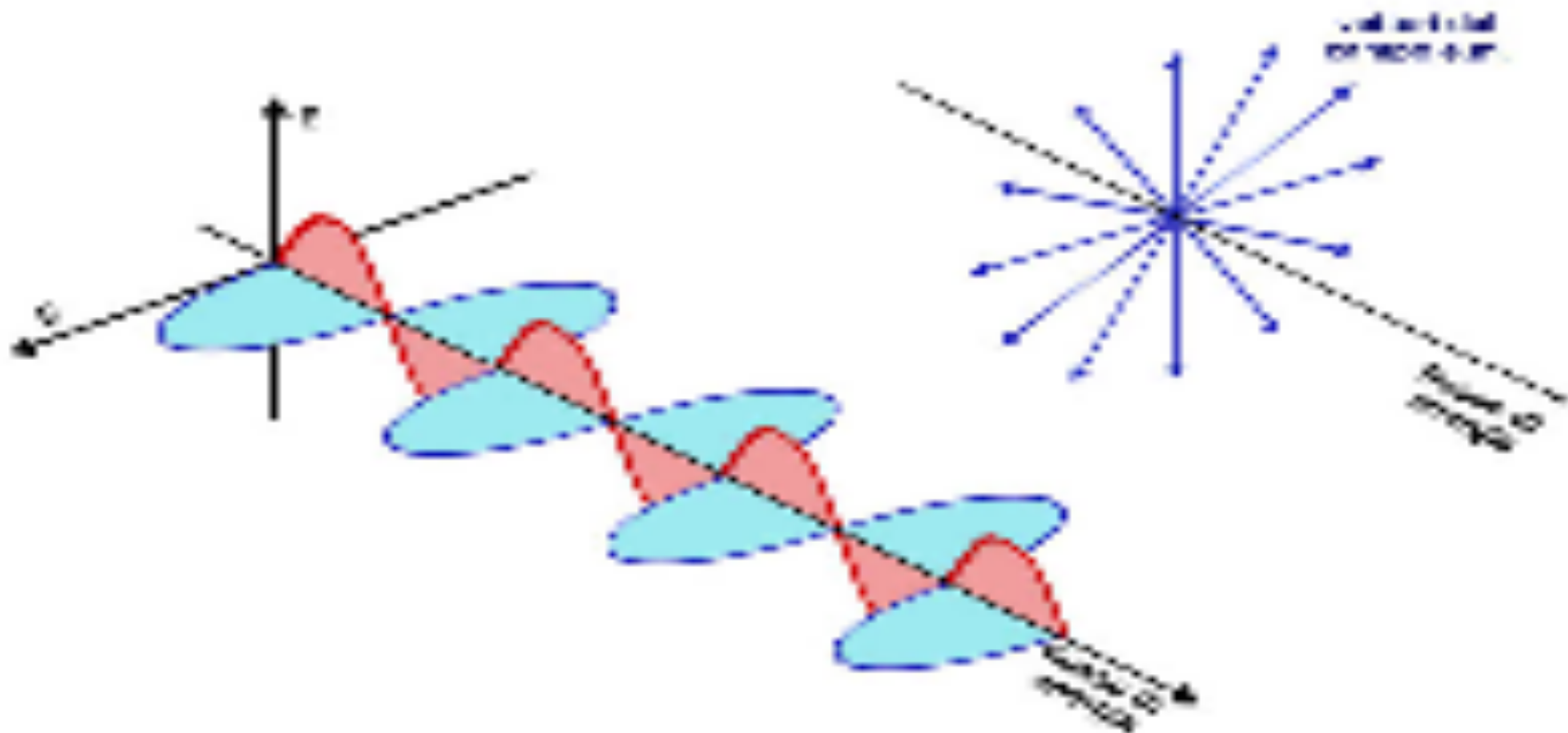
- *previste dal fisico inglese James Clerk Maxwell (1865);

- *prodotte ed osservate per la prima volta dal fisico tedesco Heinrich Hertz (1887);

viaggiano nello spazio (*anche vuoto*) alla velocità della luce ($c = 3 \cdot 10^8$ m/sec) e possono indurre una corrente in un dispositivo (*antenna*) che le riceve.

Un'onda elettromagnetica monocromatica (cioè con una ben definita frequenza e lunghezza d'onda) è costituita da un campo elettrico (\mathbf{E}) e un campo magnetico (\mathbf{B}) mutuamente perpendicolari che oscillano in fase fra loro perpendicolarmente alla direzione di propagazione.

Un'onda elettromagnetica consiste in realtà di due componenti accoppiate: una elettrica e una magnetica. Un'onda di questo tipo è detta **onda polarizzata piana**, e il piano di polarizzazione è il piano in cui oscilla il campo elettrico.



Onde elettromagnetiche

*Il numero di oscillazioni al secondo si chiama frequenza f e si misura in *Hertz*;

*la distanza fra due minimi (o massimi) consecutivi si chiama lunghezza d'onda e si indica con λ .

Relazione fondamentale: $f * \lambda = c$ (nel vuoto)

Nel vuoto, quale che sia f , le onde elettromagnetiche viaggiano tutte alla stessa velocità c . Nel rame e nelle fibre ottiche la velocità si riduce ai $(2/3)$ di c .

Onde elettromagnetiche

La lunghezza d'onda decresce al crescere della frequenza: $\lambda = c/f$

Ad esempio per

$$f = 1 \text{ Mhz}$$

$$\lambda = 300 \text{ m;}$$

$$f = 30 \text{ Ghz}$$






$$\lambda = 1 \text{ cm;}$$

Si trasmettono informazioni *modulando l'ampiezza, la frequenza e/o la fase.*

Porzioni dello spettro elettromagnetico utilizzabili per la trasmissione dati:

- * *onde radio* ($10^4 \div 10^8$ Hz) ;
- * *microonde* ($10^8 \div 10^{10}$ Hz) ;
- * *raggi infrarossi* ($10^{10} \div 10^{14}$ Hz) ;
- * *luce visibile* ($10^{14} \div 10^{14.3}$ Hz) ;
- * *raggi ultravioletti* ($10^{14.3} \div 10^{16}$ Hz) .

Raggi **X** ($10^{16} \div 10^{22}$ Hz) e **Gamma** ($10^{22} \div 10^{24}$ Hz):
difficili da produrre, modulare, non si propagano bene attraverso gli edifici e sono pericolosi per gli esseri viventi

nome	f in Hz	λ in m	indicazione	esempi
	10^{-1}			
		10^9		Oscillazioni di terremoti, maree, ponti, torri, grattacieli, pendoli di orologio
	10^0			
bassa frequenza	3 Hz	10^8		telescriventi
		10^1		frequenze industriali
BF	30 Hz	10^7		16 Hz (frequenze acustiche BF) 
		10^2		25 Hz 50 Hz 16 2/3 Hz 50 Hz
	300 Hz	10^6		300 Hz telefono 
		10^3		
Very Low Frequencies VLF	3 kHz	10^5	onde miriametriche	3,4 kHz
		10^4		
Low Frequencies LF	30 kHz	10^4	onde chilometriche	20 kHz ultrasuoni
		10^5		
Medium Frequencies MF	300 kHz	10^3	onde ettometriche	150 kHz onde lunghe 285 kHz 525 kHz onde medie 1605 kHz
		10^6		radio 
High Frequencies HF	3 MHz	10^2	onde decametriche	3,95 MHz
		10^7		onde corte
Very High Frequencies VHF	30 MHz	10^1	onde metriche	26,1 MHz 40 MHz
		10^8		47 MHz televisione 
Ultra High Frequencies UHF	300 MHz	10^0	onde decimetriche	790 MHz
		10^9		
Super High Frequencies SHF	3 GHz	10^{-1}	onde centimetriche	30 MHz
		10^{10}		 ipersuoni
Extremely High Frequencies EHF	30 GHz	10^{-2}	onde millimetriche	40 GHz ponti radio, radar
		10^{11}		
	300 GHz	10^{-3}		gamma infrarossi, luce e raggi x

Onde Radio (largamente usate sia per comunicazioni interne che esterne):

- *facili da generare;
- *omnidirezionali (si propagano in tutte le direzioni);
- *possono viaggiare per lunghe distanze
- *penetrano negli edifici.

*Onde radio **bassa frequenza** (VLF, LF, MF):*

- *si propagano in tutte le direzioni;
- *passano attraverso edifici;
- *percorrono lunghe distanze (a frequenze più basse possono essere rilevate anche dopo 1000 Km);
- *soggette a interferenze elettromagnetiche.

Onde radio *alta frequenza* (HF, VHF):

- *a queste frequenze inizia ad aversi una propagazione in linea retta ($\lambda \sim \text{cm} \div \text{mm}$);
- * sono fermate (rimbalzano) dagli ostacoli e tendono ad essere assorbite dal suolo.

Impiegate per trasmissioni direzionali, le onde che colpiscono la ionosfera vengono rifratte e rispedita a terra.

***soggette a interf. elettromagnetiche.**

Trasmissione a Microonde

Sopra i 100 Mhz le onde si propagano in linea retta (antenne trasmettenti e riceventi, poste su apposite torri, devono essere accuratamente allineate).

A causa della curvatura della terra, la trasmissione oltre certe distanze richiede l'uso di ripetitori (la distanza fra i ripetitori cresce come la radice quadrata dell'altezza delle torri: per torri alte 100 m i ripetitori possono essere distanti 80 Km).

Microonde: usate per trasmissioni a grande distanza e come bande per applicazioni industriali-scientifiche-mediche (telefoni portatili, telecomandi cancelli,...)

- *Non attraversano gli edifici

- *A causa della dispersione nello spazio alcune onde possono essere rifratte, e quindi arrivare in ritardo e fuori fase (**Multipath Fading**: distruzione del segnale causata dall'arrivo fuori fase di onde rifratte).

- *Per bande fino a circa 8 Ghz, le onde vengono assorbite dall'acqua (pioggia)

Onde infrarosse e millimetriche

Usate per comunicazioni su piccole distanze (telecomandi televisori, ...) sono relativamente direzionali e non passano attraverso corpi solidi

Usate in ambienti chiusi, non interferiscono con quelle impiegate nei locali attigui (usando il proprio telecomando non si cambia il canale al televisore del vicino).

Trasmissione ad onde luminose: soluzione economica in grado di fornire una grande larghezza di banda.

Attraverso segnalazione ottica coerente basata su laser (montati su tetti) si possono trasferire informazioni (collegare lan in due edifici) a diverse centinaia di mt.

*Laser-Fotorilevatore: sistema unidirezionale.

Sistema molto delicato: un raggio laser inferiore ad 1 mm deve puntare un bersaglio a centinaia di mt.

*Il raggio laser non passa attraverso la pioggia e/o nebbia fitta;

*Piccole turbolenze d'aria possono portare il raggio fuori bersaglio.