



# Reti di Calcolatori e Laboratorio

## **Lezione 3** **Trasmissione dei dati**

Prof. E. Di Nardo

Università degli Studi di Napoli Parthenope

A.A. 2023/2024

# Basi della trasmissione

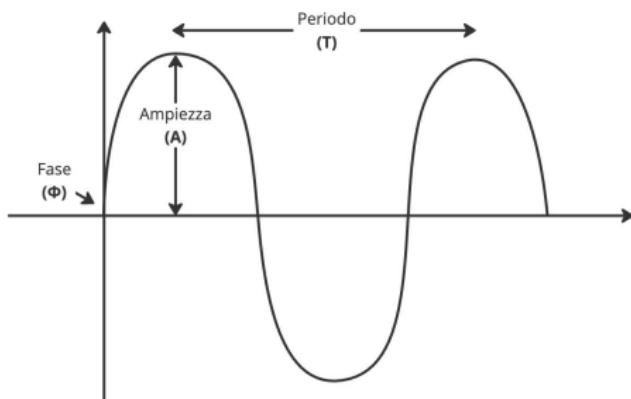
## Il segnale

Un segnale sinusoidale è una forma d'onda periodica e regolare che si ripete in un periodo di tempo  $t$

- Le informazioni possono essere trasmesse variando le **caratteristiche fisiche** del segnale
- Il segnale si propaga attraverso un qualche mezzo di trasmissione con una certa velocità  $t$  per un intervallo di tempo  $\Delta t$

# Il segnale

- **Aampiezza (A)**: differenza fra il valore massimo ed il valore minimo
- **Periodo (T)**: Quantità di tempo prima della ripetizione del segnale
- **Frequenza (f)**: Numero di oscillazioni sul periodo T  $\frac{1}{T}$
- **Fase ( $\Phi$ )**: Scostamento dall'origine



# Mezzi di trasmissione

Il segnale può essere trasmesso principalmente attraverso tre diversi fenomeni fisici associati ad un determinato mezzo di trasmissione

- Corrente elettrica - Cavi in rame
- Luce - Fibra ottica
- Onde elettromagnetiche - Wireless

# Tipologia di segnale

Il segnale si divide in due categorie

- **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

I fenomeni naturali sono tutti *esclusivamente* analogici

# Analisi spettrale

## Teorema di Fourier

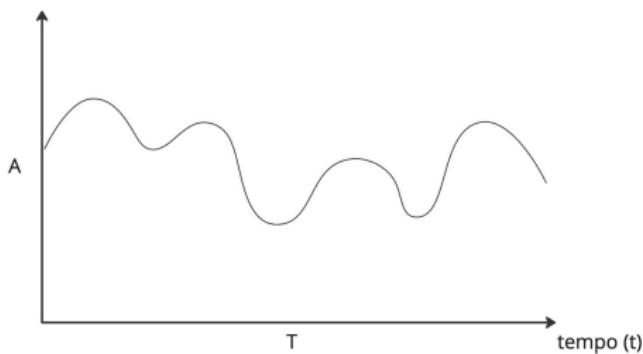
Una funzione  $g(t)$ , definita in un intervallo finito  $T$ , può essere considerata come una funzione periodica di periodo  $T$ , e quindi espressa come somma di un numero infinito di funzioni sinusoidali

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

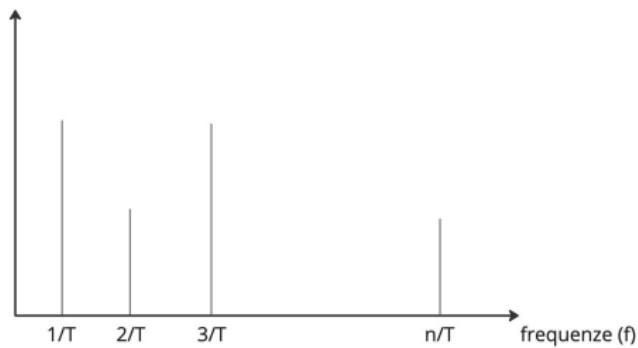
- Tale funzione può essere vista anche in base alla **frequenza fondamentale**  $f = \frac{1}{T}$
- Un'armonica è un multiplo intero della frequenza fondamentale
- $a_n$  e  $b_n$  sono le ampiezze dell'ennesima armonica che ha frequenza  $n * f$
- $c$  è detto **coefficiente di Fourier**

# Spettro di frequenze I

- L'analisi spettrale porta a vedere il segnale rappresentato da un insieme di frequenze
- Queste frequenze rappresentano le sue sinusoidi
- La scomposizione in frequenze è detto **spettro di frequenze**
- L'intervallo delle frequenze di tutte le sinusoide è detto **frequency band**



Segnale periodico



Spettro di frequenze

# Spettro di frequenze II

- Minore è la durata del periodo  $T$ , maggiore sarà il valore della frequenza fondamentale
- Quanto più velocemente varia  $g(t)$ , tanto più numeroso sono le armoniche che la descrivono
- Dato un mezzo fisico di comunicazione abbiamo che le seguenti definizioni
  - ▶ **Banda passante** - intervallo di frequenze che il mezzo fisico è in grado di trasmettere senza alterarle oltre certi limiti
  - ▶ **Attenuazione e Ritardo** - Alterazioni del segnale. L'attenuazione dipende dalla frequenza del segnale ed è proporzionale alla distanza percorsa
  - ▶ **Aampiezza di banda** - quantità di informazioni che è possibile trasmettere in un determinato lasso di tempo
    - Possono esserci delle attenuazioni sulle bande tramite l'utilizzo di filtri (es. **passa-basso, passa-banda**)

# Spettro di frequenze III

- La banda passante non dovrebbe mai essere inferiore alla banda di frequenza del segnale, altrimenti ci sarà distorsione
- Un segnale anche se distorto, può essere ricostruito se un numero sufficiente di armoniche giunge a destinazione

# Teorema di Nyquist

## Teorema di Nyquist

Un segnale analogico di banda  $h$  può essere completamente ricostruito mediante una campionatura effettuata  $2 * h$  volte al secondo

- Siamo interessati alla necessità di trasmettere solo bit
- Dato un intervallo di  $n$  possibili valori il segnale è completamente rappresentato da un numero di bit per secondo pari a

$$2 * h * \log_2(n)$$

# Caratteristiche del segnale

- Tale risultato è chiamato **bit rate**
- **Baud rate** Velocità di comunicazione (numero di volte in un secondo in cui è possibile cambiare il valore)

# Rapporto Segnale/Rumore

- Non esiste un canale di comunicazione perfetto
- Bisogna tenere in considerazione questo aspetto
- Si utilizza il rapporto segnale/rumore (signal to noise ratio)

$$SNR = 10 * \log_{10}(S/N)$$

- Si misura in decibel

Rapporto S/N	Decibel
2	3
10	10
100	20
1000	30

# Teorema di Shannon

## Teorema della capacità di canale

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

$$\text{Max datarate (bit/sec)} = h * \log_2(1 + S/N)$$

# In sintesi

- 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

- **Broadband**

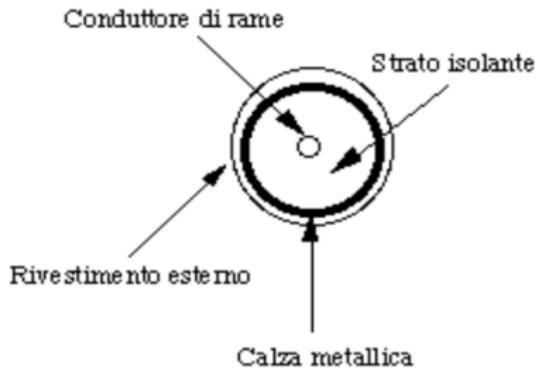
- ▶ attraverso opportune tecniche di **multiplazione** si effettuano contemporaneamente più trasmissioni distinte

# 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)

## 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.



- 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)

# Fibra ottica

- Un sistema di trasmissione ottico ha tre componenti

## 1 sorgente luminosa

- converte un segnale elettrico in impulsi luminosi (può essere un LED o un laser)

## 2 mezzo di trasmissione

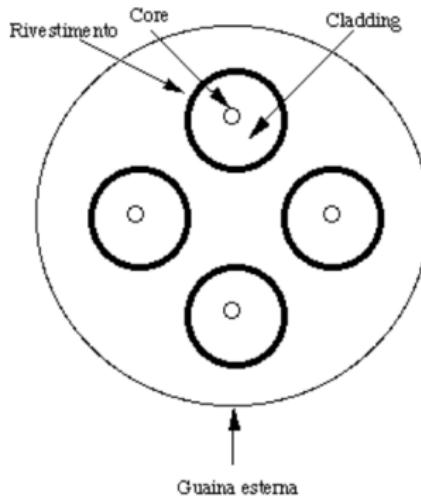
- fibra ottica

## 3 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)

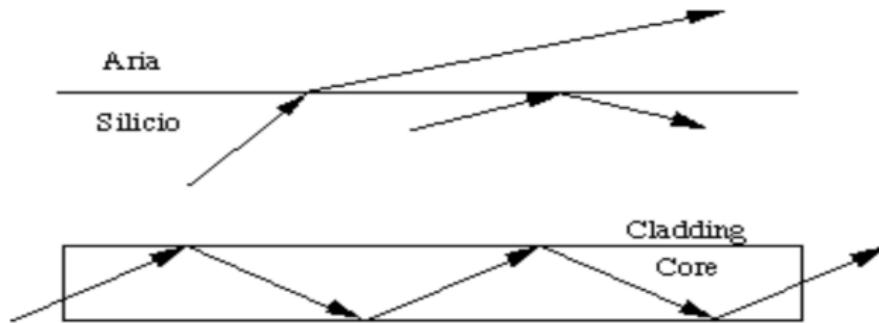
## Composizione del cavo

- 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
- Più coppie sono contenute insieme in una stessa guaina esterna



# Trasmissione delle informazioni

- 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



# Modalità di trasmissione

- **Multimodali**

- ▶ Core di 50 micron
- ▶ raggi diversi con diversi angoli (mode) possono contemporaneamente propagarsi nella stessa fibra

- **Monomodali**

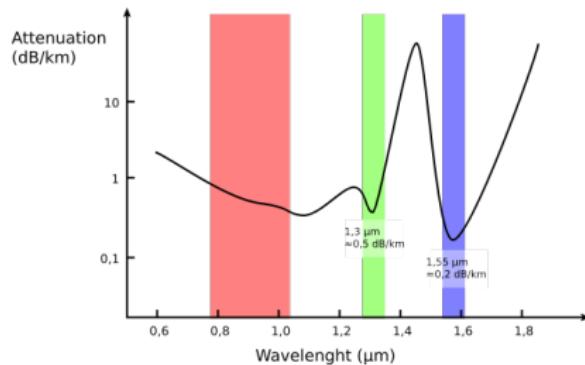
- ▶ Core di 8-10 micron
- ▶ La luce di un singolo raggio avanza nella fibra che si comporta come una guida d'onda. Sono più costose ma garantiscono distanze maggiori (fino a 30 km)

# Caratteristiche

- Nelle fibre ottiche un impulso luminoso rappresenta un **1** mentre la sua assenza uno **0**
- 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**

# Bandi di trasmissione I

- La bassa attenuazione nella trasmissione in fibra è dovuta
  - ▶ alla particolare trasparenza delle fibre ottiche
  - ▶ all'utilizzo di tre particolari bande (*finestre*) per la trasmissione
    - tutte tra infrarosso e UV
    - $0.85\mu$ ,  $1.30\mu$ ,  $1.55\mu$
    - perdita di meno del 5% per Km



[https://it.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_ottica](https://it.wikipedia.org/wiki/Fibra_ottica)

# Bandi di trasmissione II

## • Prima finestra

- ▶ 850nm
- ▶ sorgente LED
- ▶ multimodale
- ▶ distanze medio-piccole

## • Seconda finestra

- ▶ Due sotto-finestre
- ▶ 1300nm
  - sorgente LED
  - multimodale
  - distanze medie
- ▶ 1310nm
  - sorgente laser
  - monomodale
  - distanze medio-lunghe

## • Terza finestra

- ▶ 1550nm
- ▶ sorgente laser
- ▶ monomodale
- ▶ distanze lunghe

# Topologie di reti in fibra ottica

- **Anello**

- ▶ Concatenando più fibre ottiche si crea un anello
- ▶ Ogni singolo sistema può essere
  - *Passivo* - fa passare l'impulso luminoso nell'anello
  - *Attivo* - 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 una rete broadcast

# Confronto con il rame

## Fibra ottica

- ⊕ Alta capacità di banda  
(2 fibre >  $\sim 1000$  doppini)
- ⊕ 100kg/km
- ⊕ Totale insensibilità a disturbi elettromagnetici
- ⊕ Difficili intrusioni
- ⊖ Costo delle giunzioni
- ⊖ Comunicazione unidirezionale

## Rame

- ⊖ Bassa capacità di banda
- ⊖ 8000 kg/km
- ⊖ Sensibile ai disturbi elettromagnetici
- ⊖ Possibili intrusioni
- ⊕ Costi estensione ridotti
- ⊕ Comunicazione bidirezionale

# Trasmissione wireless

- Si utilizzano le onde elettromagnetiche
- Viaggiano nel vuoto alle velocità della luce ( $c = 3 * 10^8$  m/s)
  - ▶ Attraverso l'aria raggiungono circa i 2/3 della velocità nel vuoto
- Possono indurre una corrente nel dispositivo ricevente attivandolo (antenna)

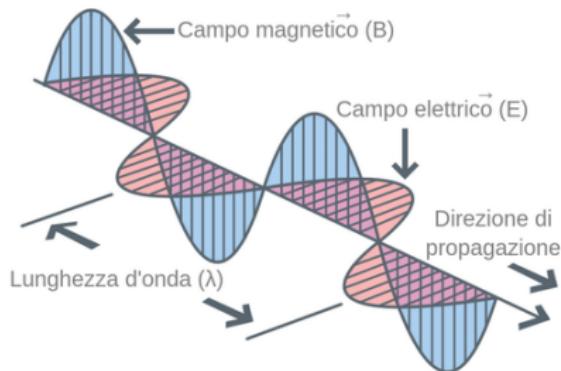
## Definizione

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

# Onde elettromagnetiche

- **Caratteristiche fondamentali:**

- ▶ Frequenza  $f$ : numero di oscillazioni al secondo. Si misura in Herz (Hz)
- ▶ Lunghezza d'onda  $\lambda$ : distanza tra due massimi o minimi consecutivi
- ▶ La velocità  $c$  è data dalla relazione  $c = f * \lambda$



<https://theory.labster.com/electromagnetic-waves-it/>

# Lunghezza d'onda

La lunghezza d'onda decresce al crescere della frequenza

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Esempi

$$f = 1 \text{ Mhz} \quad \lambda = 300\text{m}$$

$$f = 30\text{Ghz} \quad \lambda = 1 \text{ cm}$$

# Trasmissione e modulazione

## Cenni

- Le informazioni si trasmettono tramite **modulazione**
- Si possono modulare
  - ▶ Ampiezza ( $A$ )
  - ▶ Frequenza ( $f$ )
  - ▶ Fase ( $\Phi$ )

# Classificazione onde elettromagnetiche I

- 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)
- Oltre l'ultravioletto si hanno onde elettromagnetiche che sono **difficili** da produrre, modulare, non si propagano bene attraverso gli edifici e sono **pericolosi** per gli esseri viventi
  - ▶ Raggi X ( $10^{16} \div 10^{22}$  Hz)
  - ▶ Raggi Gamma ( $10^{22} \div 10^{2\cdots}$  Hz)

# Classificazione onde elettromagnetiche II

nome	$f$ in Hz	$\lambda$ in m	indicazione	esempi
bassa frequenza				Oscillazioni di terremoti, maree, ponti, torri, graticcielli, pendoli di orologio
BF	3 Hz	$10^6$	telescriventi	
	30 Hz	$10^5$	frequenze industriali	16 Hz (frequenze acustiche BF)
	300 Hz	$10^4$		300 Hz telefono (orecchio umano)
Very Low Frequencies <b>VLF</b>	3 kHz	$10^3$		3,4 kHz suoni percepibili
Low Frequencies <b>LF</b>	30 kHz	$10^2$	onde miriamicetiche	20 kHz ultrasuoni
Medium Frequencies <b>MF</b>	300 kHz	$10^1$	onde chilometriche	150 kHz onde lunghe 285 kHz 525 kHz onde medie 1605 kHz radio
High Frequencies <b>HF</b>	3 MHz	$10^{-2}$	onde ettometriche	3,95 MHz onde corte 26,1 MHz 40 MHz onde ultracorte 223 MHz televisione
Very High Frequencies <b>VHF</b>	30 MHz	$10^{-3}$	onde decametriche	47 MHz 30 MHz 790 MHz ipersuoni
Ultra High Frequencies <b>UHF</b>	300 MHz	$10^{-4}$	onde metriche	
Super High Frequencies <b>SHF</b>	3 GHz	$10^{-5}$	onde decimetriche	gammate gamma infrarossi, luce e raggi x
Extremely High Frequencies <b>EHF</b>	30 GHz	$10^{-6}$	onde centimetriche	
	300 GHz	$10^{-7}$	onde millimetriche	40 GHz ponti radio, radar

# Onde radio bassa frequenza

- Categoria: 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

- Categoria: HF, VHF
- Con 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 rispedite a terra.
- ⊖ Soggette a interferenze elettromagnetiche.

# Microonde

- Sopra i 100 Mhz le onde si propagano in linea retta
- 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)
- Usate per trasmissioni a grande distanza e come bande per applicazioni industriali-scientifiche-mediche
- 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
- 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).