



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

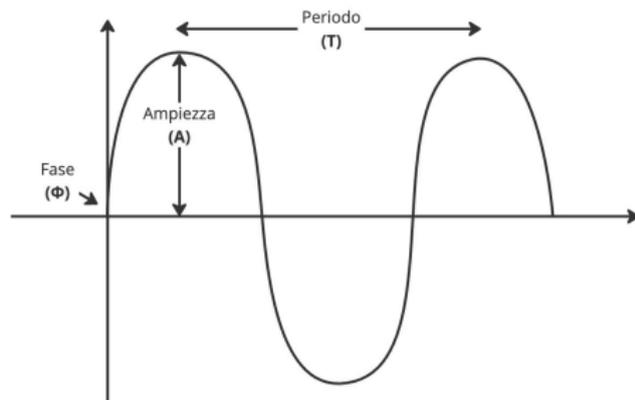
Il segnale

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 Δt

Il segnale

- **Ampiezza (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 (Φ):** 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

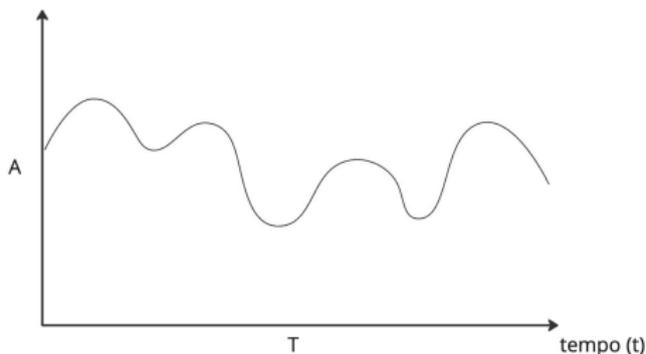
Una funzione $g(t)$, definita in un intervallo finito T , può essere considerata come una funzione periodica di periodo T , e quindi espressa come somma di un numero infinito di funzioni sinusoidali

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

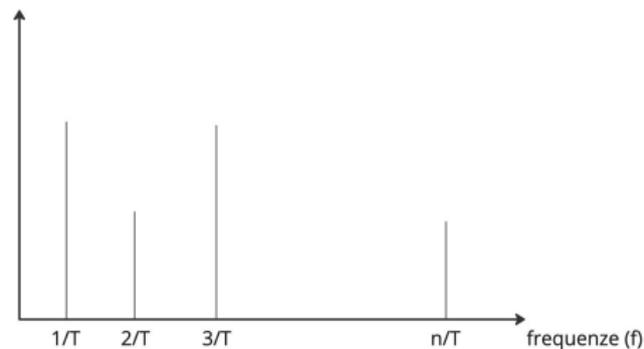
- Tale funzione può essere vista anche in base alla **frequenza fondamentale** $f = \frac{1}{T}$
- Un'armonica è un multiplo intero della frequenza fondamentale
- a_n e b_n sono le ampiezze dell'ennesima armonica che ha frequenza $n * f$
- c è detto **coefficiente di Fourier**

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 sinusoidi 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 numerosi 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
 - ▶ **Ampiezza 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

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

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**

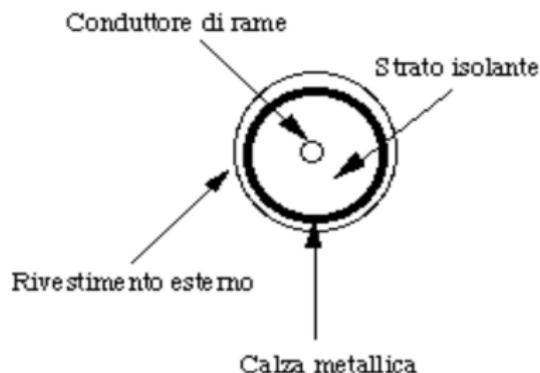
- ▶ attraverso opportune tecniche di **multiplazione** si effettuano contemporaneamente più trasmissioni distinte

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**

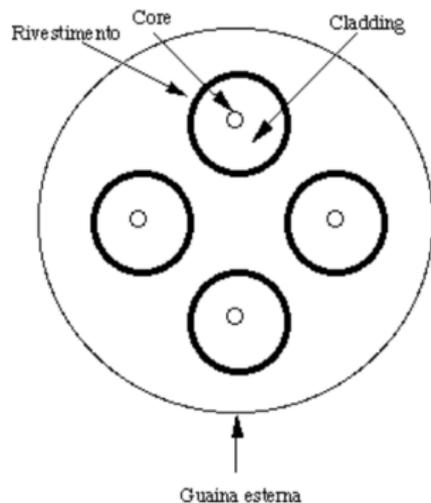
- fibra ottica

- 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)

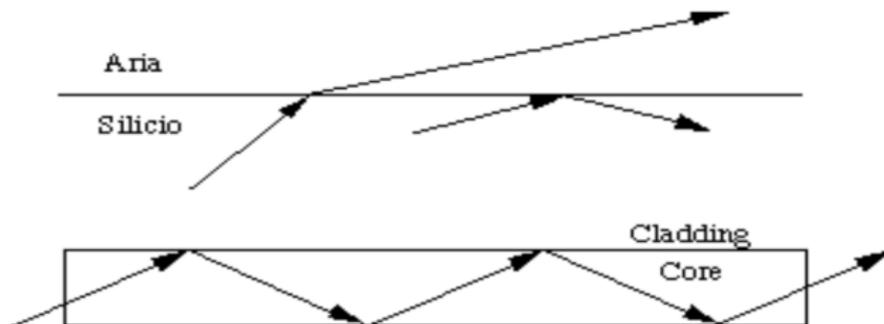
Composizione del cavo

- 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**

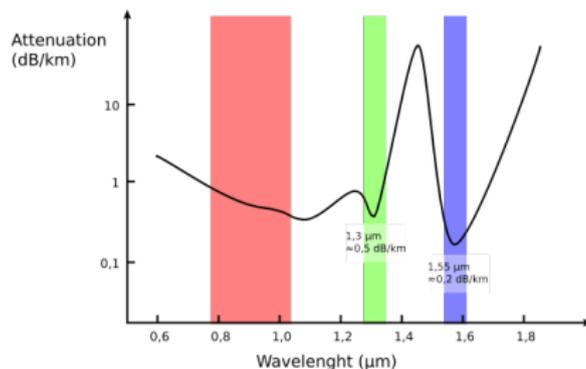
- ▶ Core di 8-10 micron
- ▶ La luce di un singolo raggio avanza nella fibra che si comporta come una guida d'onda. Sono più costose ma garantiscono distanze maggiori (fino a 30 km)

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**

Bande 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
 - 0.85μ , 1.30μ , 1.55μ
 - perdita di meno del 5% per Km



https://it.wikipedia.org/wiki/Fibra_ottica

Bande 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 > ~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)

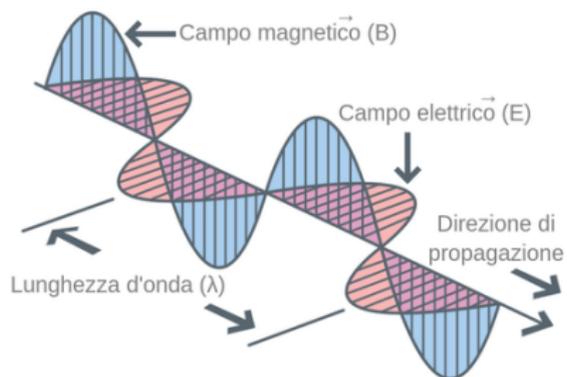
Definizione

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 λ : 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 (Φ)

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 ($10^{22} \div 10^{24}$ Hz)

Classificazione onde elettromagnetiche II

nome	f in Hz	λ in m	indicazione	esempi
bassa frequenza BF	3 Hz	10^{-1}		Oscillazioni di terremoti, maree, ponti, torri, grattacieli, pendoli di orologio
		10^0		telescriventi
		10^1		frequenze industriali 16 Hz ultrasuoni
		10^2		25 Hz 50 Hz 16 Hz 50 Hz  16 Hz (frequenze acustiche BF) (orecchio umano)
Very Low Frequencies VLF	3 kHz	10^3		300 Hz telefono
		10^4	onde miriametriche	3,4 kHz suoni percepibili
Low Frequencies LF	30 kHz	10^4		20 kHz ultrasuoni
		10^5	onde chilometriche	
Medium Frequencies MF	300 kHz	10^6		150 kHz onde lunghe
		10^7	onde decametriche	285 kHz onde medie
High Frequencies HF	3 MHz	10^8		1605 kHz radio
		10^9	onde metriche	3,95 MHz onde corte
Very High Frequencies VHF	30 MHz	10^{10}		26,1 MHz 40 MHz 47 MHz televisione
		10^{11}	onde ultracorte	223 MHz 30 MHz
Ultra High Frequencies UHF	300 MHz	10^0		790 MHz
		10^1	onde decimetriche	
Super High Frequencies SHF	3 GHz	10^2		ipersuoni
		10^3	onde centimetriche	
Extremely High Frequencies EHF	30 GHz	10^4		40 GHz ponti radio, radar
		10^5	onde millimetriche	
	300 GHz	10^{-3}		gamma infrarossi, luce e raggi x

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).