



PRINCIPI DI TRASMISSIONE DELL' INFORMAZIONE

INTRODUZIONE AL CORSO

Prof. Sergio Benini

Department of Information Engineering
University of Brescia
Via Branze, 38 – 25123 Brescia - ITALY

Info

- Sergio Benini
- www.ing.unibs.it/~sbenini/
- Ricevimento: prenotazione via email
- Libri consigliati
 - S. Haykin, M. Moher, Communication Sytems, International Student Version, 5th edition, Wiley
 - S. Haykin, M. Moher, Introduzione alle telecomunicazioni analogiche e digitali, Casa Editrice Ambrosiana, 2007
 - G. Tartara, Introduzione ai sistemi di comunicazione, Etas libri, 1996 (Ristampa 2001)

Cenni storici

- Storia dei sistemi di comunicazione:
 - 1837 - Telegrafo (MORSE era un pittore...): trasmissione numerica con codice a lunghezza variabile (è quasi ottimo!)
 - 1875 – Telescrivente (BAUDOT): codice a lunghezza fissa “1” e “0”
 - 1864 – Equazioni delle onde elettromagnetiche (MAXWELL)
 - 1887 – Sperimentazioni su onde radio (HERTZ)



Cenni storici

- Storia dei sistemi di comunicazione:
 - 1894 – Prima trasmissione radio a distanza ridotta (LODGE)
 - 1901 – Prima trasmissione radio a lunga distanza (TESLA, poi “derubato” da MARCONI a cui viene assegnato Nobel)
 - 1875 – Invenzione del telefono (BELL - MEUCCI): primo sistema di comunicazione interattivo real-time
 - 1913 – Prima telefonata transcontinentale grazie al tubo a vuoto (FLEMING)
 - 1933 – Modulazione di frequenza (AMSTRONG)

Cenni storici

- Storia dei sistemi di comunicazione:
 - 1928 – TV elettronica (FARMSWORTH)
 - 1939 – Prime trasmissioni televisive (BBC)
 - 1928 – Trasmissione numerica di segnali su canali dispersivi (NYQUIST)
 - 1937 – Codifica PCM per segnali vocali (REEVES)
 - 1943 – Filtro adattato (NORTH)

Cenni storici

- Storia dei sistemi di comunicazione:
 - 1947 – Rappresentazione geometrica dei segnali (KOTEL'NIKOV)
 - 1948 – Teoria matematica dell'informazione (SHANNON)
 - 1949 – Primi codici correttori (HAMMING, GOLAY)
 - 1993 – Turbo codici (BERROV, ...)
 - 1948 – Transistor (SHOCKLEY, ...)

Cenni storici

- Storia dei sistemi di comunicazione:
 - 1965 – Equalizzazione adattativa (LUCKY)
 - 1982 – Modulazioni codificate (Ungerboeck)
 - 1943 – Primo calcolatore elettronico Eniac (Univ. Pennsylvania)
 - 1950 - 1970 – Comparsa delle reti di calcolatori
 - 1971 – Primi studi su LAN, MAN, WAN, Arpanet
 - 1974 – Stack TCP/IP (CERF, KAHN)

Cenni storici

- Storia dei sistemi di comunicazione:
 - 1971 – Microprocessore (INTEL 4004)
 - 1981 – PC (IBM)
 - 1985 – Internet
 - 1990 – www (BERNERS, LEE)
 - 1955 – Prime comunicazioni satellitari (PIERCE)

Cenni storici

- Storia dei sistemi di comunicazione
 - 1960 – Laser (MAIMAN)
 - 1966 – Prima fibra ottica
 - 1978 – Telefonia cellulare
 - 1978 – GPS
 - 1991 – GSM
 - 1994 – CDMA per telefonia cellulare

Sistema di comunicazione

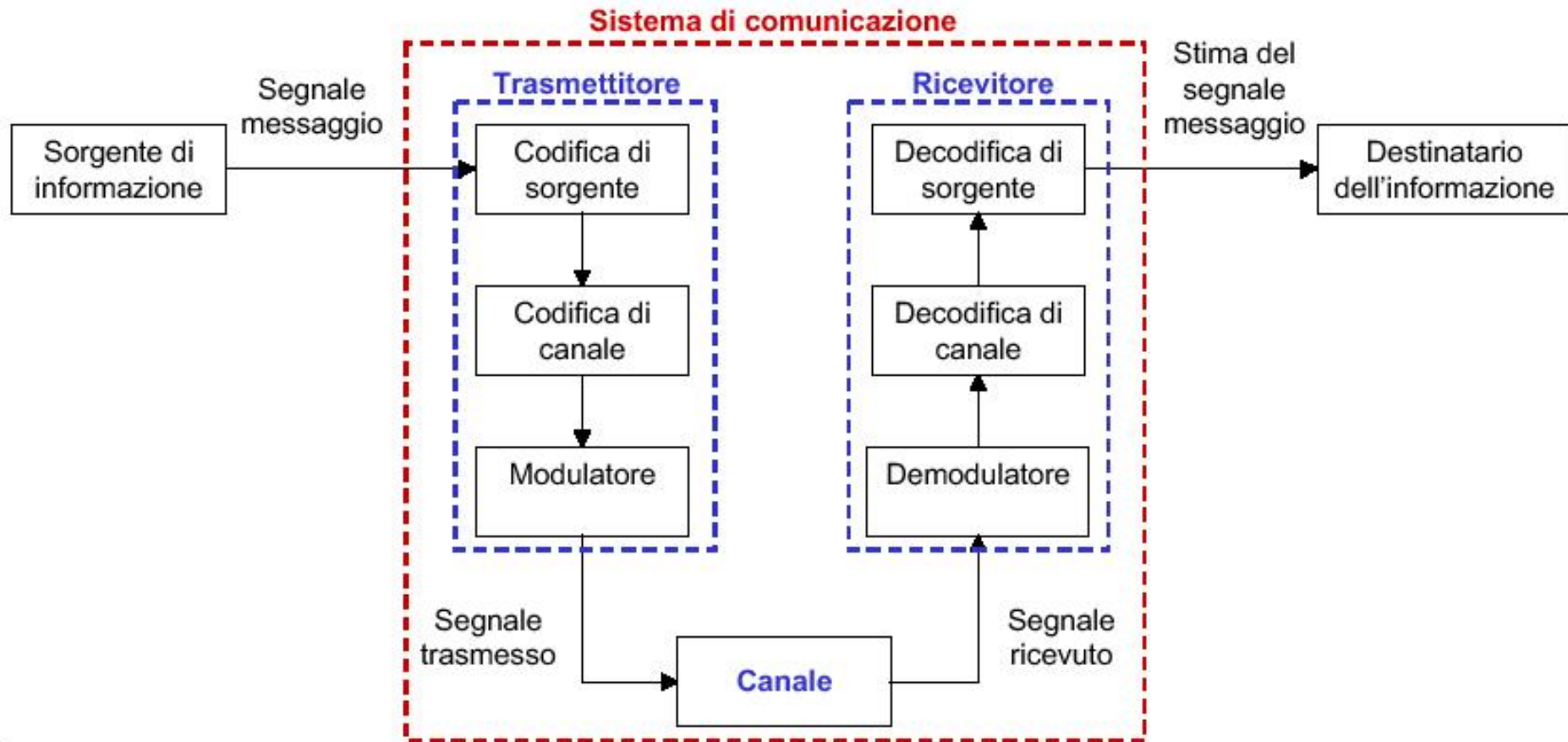
- Trasmissione di informazione da un mittente ad un destinatario attraverso una successione di processi:
 - La *sorgente* genera un *messaggio* (voce, musica, immagini, dati, video, etc.) sottoforma di segnale fisico (ad. Es. tensione, corrente, pressione)
 - Il *segnale* viene *codificato* in una forma adatta alla trasmissione sul mezzo fisico trasmissivo (*canale*)

Sistema di comunicazione

- Il segnale viene inviato sul *canale* e ricevuto dal *destinatario*
- Il segnale viene *decodificato* per riprodurre il segnale originale
- Il messaggio è ricostruito a meno di eventuali degradazioni causate da disturbi ed imperfezioni presenti nel sistema (*rumore*)

Schema: sistema di comunicazione

Il **sistema di comunicazione** consta di un trasmettitore, un canale e un ricevitore.



Cosa serve?

- Un sistema di comunicazione deve trasportare una informazione da una sorgente ad una destinazione distante dalla sorgente stessa
- In generale tale concetto implica considerazioni di carattere filosofico e semantico

Cosa serve?

- Per superare queste difficoltà verranno considerati i “messaggi”, definiti come la manifestazione fisica dell’informazione così come viene emessa dalla sorgente
- Il compito di un sistema di comunicazione è quindi quello di riprodurre alla destinazione una replica il più fedele possibile del messaggio emesso dalla sorgente

Messaggi analogici/digitali

- Categorie di messaggi: analogici e digitali
 - Un messaggio analogico è una quantità fisica variabile nel tempo in forma continua (pressione, luminosità, ...)
 - Poiché l'informazione risiede nella forma d'onda, un sistema analogico dovrà garantire una certa fedeltà nella riproduzione al destinatario della forma d'onda stessa

Messaggi analogici/digitali

- Un messaggio digitale è una sequenza ordinata di simboli scelti in un insieme finito di elementi discreti (lettere, numeri,..)
- Un sistema di comunicazione digitale dovrà consegnare i vari simboli con uno specifico grado di accuratezza ed entro un tempo specifico
- Dei trasduttori convertono il messaggio all'ingresso in un segnale elettrico (il contrario avviene in ricezione)

Obiettivo del ricevitore

– TRASMISSIONE ANALOGICA:

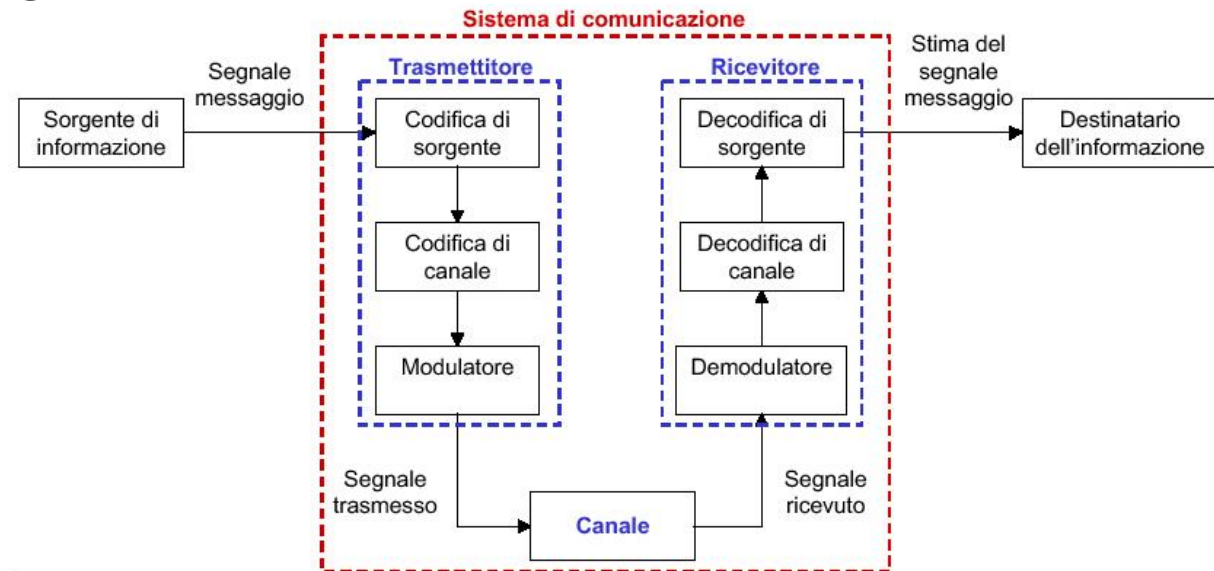
- Massimizzare il rapporto segnale/rumore, cioè fare in modo che la forma d'onda ricevuta sia massimamente simile a quella trasmessa

– TRASMISSIONE DIGITALE:

- Minimizzare la probabilità di errore sul bit, cioè cercare di minimizzare i bit riconosciuti come "1" che erano in realtà degli "0" e viceversa

Elementi

- Tre elementi essenziali
 - Trasmettitore
 - Canale
 - Ricevitore



Trasmittitore

- Il TRASMETTITORE trasforma il segnale di ingresso in un segnale adatto alle caratteristiche del canale. Le operazioni eseguite nel trasmettitore sono solitamente la modulazione e la codifica del segnale

Canale

- Il CANALE di trasmissione rappresenta il mezzo fisico che trasporta il segnale dal trasmettitore al ricevitore. Il canale può essere, ad esempio un doppino telefonico, un cavo coassiale, una fibra ottica, l'etere. etc.

Ricevitore

- Il RICEVITORE opera sul segnale in uscita dal canale e genera il segnale che verrà consegnato al destinatario. Operazioni:
 - l'amplificazione, che compensa le perdite del canale
 - la de-modulazione e la de-codifica
 - filtraggio del segnale ricevuto per ridurre il RUMORE.

Disturbi

- Nel corso della trasmissione si hanno dei fenomeni indesiderati che influiscono sulla potenza e sulla forma del segnale trasmesso:
 - distorsione
 - interferenza
 - rumore

Distorsione

- **DISTORSIONE:** la perturbazione della forma del segnale dovuta alla risposta non ideale del sistema di trasmissione

Interferenza

- L'INTERFERENZA rappresenta la contaminazione del segnale trasmesso dovuta a segnali esterni al sistema stesso (altri Tx, ...). Opportuni filtraggi riducono l'effetto interferente nella misura in cui questi avvengono in bande di frequenza diversa da quella del segnale

Rumore

- Il RUMORE si riferisce al contributo di diversi segnali elettrici casuali prodotti da processi naturali interni ed esterni al sistema (rumore termico degli elettroni, rumore cosmico,...). Il rumore si sovrappone al segnale trasmesso e costituisce una delle principali limitazioni di un sistema di comunicazioni

Modulazione

- Lo scopo: generare un segnale adatto per il canale di trasmissione
- La modulazione richiede due segnali:
 - il segnale “modulante” che rappresenta il messaggio che deve essere trasmesso
 - un’onda “portante” che consente al segnale modulato di transitare nel canale

Codifica

- La codifica è effettuata su un segnale DIGITALE (di solito sequenze di “1” e “0”):
 - per migliorare la qualità della trasmissione
 - trasforma un messaggio digitale in una nuova sequenza di simboli
 - più “compatta” (codifica sorgente)
 - più “robusta” rispetto agli errori di trasmissione (codifica di canale)

Canali trasmissivi

- Per CANALE trasmissivo si intende l'insieme di
 - **mezzo fisico** (mezzo trasmissivo) lungo il quale avviene la propagazione dei segnali
 - **dispositivi per l'interfacciamento** tra esso e gli apparati di trasmissione e di ricezione



I mezzi trasmissivi

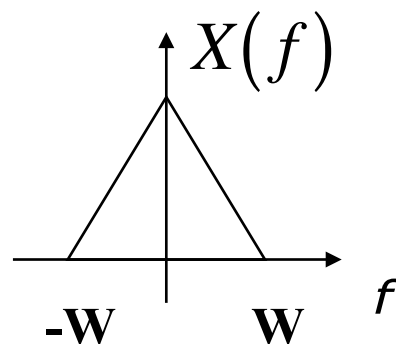
- Nei sistemi di comunicazione normalmente il mezzo trasmissivo è caratterizzato dalla propagazione di onde elettromagnetiche
 - nello spazio libero (canale radio)
 - guidata da conduttori metallici (cavi coassiali)
 - guidata da dielettrici (fibre ottiche)



Traslazione in frequenza



- Il segnale $s(t)$ ha spesso un andamento passa-basso

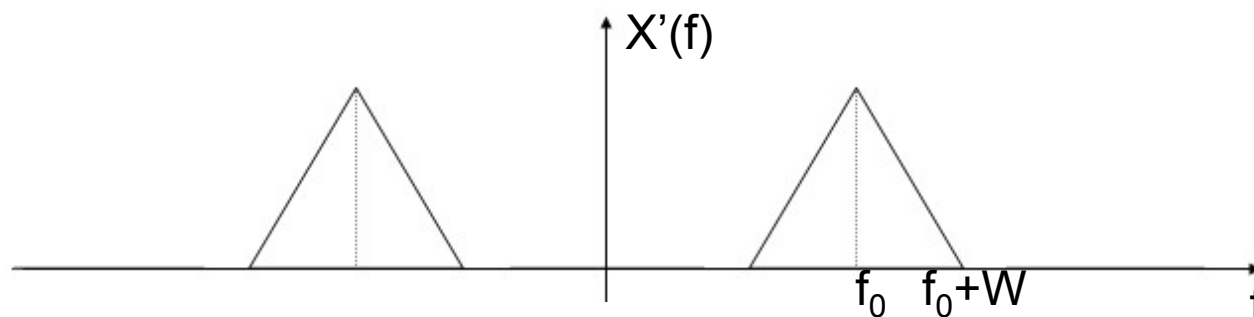


- Su molti canali trasmissivi tali segnali non si propagano efficacemente

Modulazione



- MODULATORE effettua una traslazione in frequenza dei segnali di interesse.
 - la trasformata non sarà più di tipo passa-basso attorno a $f=0$, bensì sarà di tipo passa-banda, centrata in $+f_0$ e $-f_0$



- DEMODULATORE al RX effettua l'operazione inversa

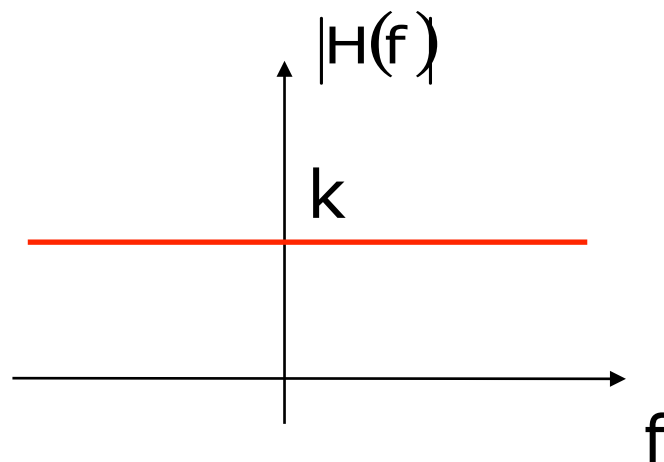
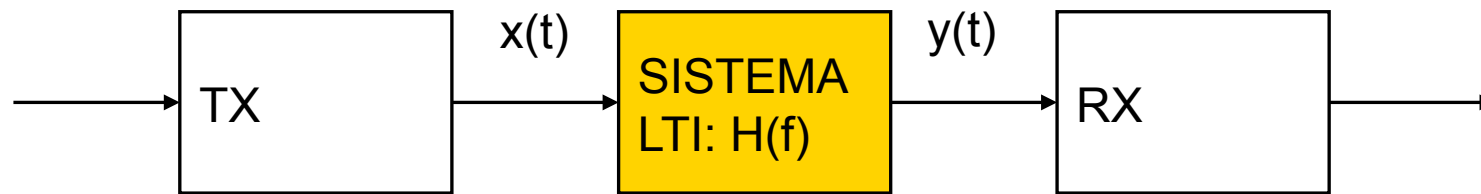
Canale



- Proprietà

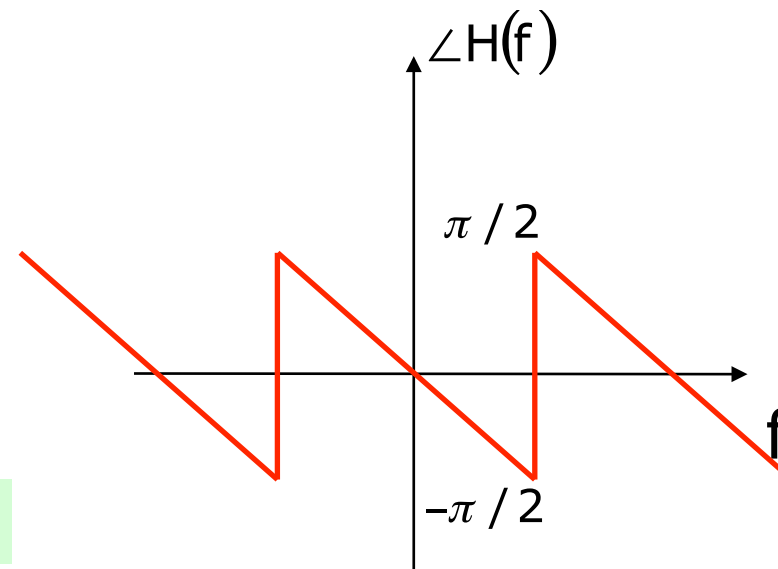
- LINEARITÀ
- TEMPO INVARIANZA
 - Se Canale LTI → funzione di trasferimento $H(f)$
- LIMITATO IN BANDA (es. canale radio)
- LIMITATO IN POTENZA (es. sonda spaziale)

Canale trasmissivo "ideale"



$$H(f) = K \cdot \exp(-j2\pi f t_0)$$

$$y(t) = K \cdot x(t - t_0)$$



$$Y(f) = X(f) \cdot H(f)$$

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

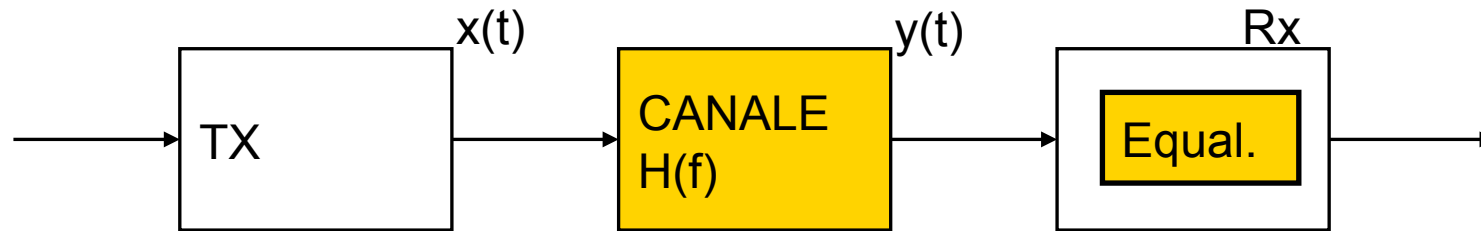
Canale "reale"



- LTI

- Però con $|H(f)| \neq \text{cost}$ e/o $\angle H(f) \neq \text{retta}$
- Sistema con distorsione lineare
- Compensato con equalizzatore
- Approx. le trasmissioni via cavo (doppino, coax, fibra)

Equalizzazione



- Lo scopo dell'EQUALIZZATORE è quello di garantire nella banda di interesse che il **“Canale Trasmissivo Equivalente”** dato dal CANALE + EQUALIZZATORE sia quanto più ideale possibile

Canale "reale"



- Non LTI
 - Lineare-Tempo Variante
 - Compensata con equalizzazione ADATTATIVA
 - Telefonia mobile, ponti radio
- Non Lineare
 - Compensato con sistemi di COMPANDING
 - Trasmettitori a transistor, antenne

Distorsioni del canale

- Nella banda di interesse gli scostamenti dalla funzione di trasferimento ideale si dicono
 - **Distorsioni di Ampiezza**
 - **Distorsioni di Fase**
- **Distorsioni Non Lineari** sono legate alla non completa rappresentabilità del canale attraverso sistema lineare
 - **Distorsioni armoniche** (nuove componenti a multipli di frequenze già esistenti)
 - **Distorsioni di intermodulazione** (nuove armoniche che nascono da interazioni tra gli spettri)

Rapporti tra ampiezze e potenze



- La variabilità dei rapporti fra le ampiezze dei segnali di ingresso e uscita dei blocchi funzionali che compongono i sistemi di comunicazione è estremamente grande
 - Es: l'attenuazione introdotta da molti mezzi trasmissivi cresce in modo esponenziale rispetto alla lunghezza del collegamento
- Risulta quindi comodo esprimere i rapporti tra ingresso e uscita dei blocchi funzionali in **forma logaritmica**

Rapporti in decibel (dB)

- Se le quantità A e B rappresentano delle AMPIEZZE, il rapporto R in dB vale

$$R_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{A}{B} \right)$$

- Se le quantità A e B rappresentano delle POTENZE, il rapporto R in dB vale

$$R_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{A}{B} \right)$$