

## Fondamenti di Telecomunicazione

### -Preparazione Esame-

È proibita qualunque riproduzione di questo fascicolo, anche parziale, in libri,

pubblicazioni anche telematiche, cd, dvd, siti web e ogni altra forma di pubblicazione

senza il consenso scritto dell'autore.

In particolare, è proibita la vendita di questo fascicolo o di parti di esso in qualunque forma.

## Fondamenti di Telecomunicazione

### SISTEMI TLC

Sintesi  
2/6

Le telecomunicazioni sono l'attività di comunicazione a distanza (tele) tra due o più persone per mezzo di dispositivi e/o infrastrutture implementanti particolari tecniche di trasferimento delle informazioni, oggetto della comunicazione attraverso segnali.

- Le telecomunicazioni fondamentalmente offrono tre tipi di servizio all'utente:
- 1) fonia cioè trasferimento di dati vocali in una comunicazione real-time
  - 2) audio-video real-time (ex: radio, TV, videoconferenze)
  - 3) comunicazione dati cioè il trasferimento di dati non vocali, testuali o audio-video non real-time

a seconda del numero di utenti destinatari di una trasmissione, una comunicazione può essere:

- ↳ UNICAST: point to point, cioè da un utente ad un altro singolo utente
- ↳ MULTICAST: cioè da un mittente a molti destinatari
- ↳ BROADCAST: cioè inviata a tutti gli utenti aderenti alla ricezione di un certo servizio

Dal punto di vista del trasporto delle informazioni, sul canale una comunicazione può essere:

- SIMPLEX: ovvero monodirezionale
- HALF-DUPLEX: ovvero bidirezionale, ma solo un utente alla volta
- FULL-DUPLEX: ovvero bidirezionale contemporanea tra due utenti

In generale tutte queste forme di comunicazione possono essere realizzate attraverso trasmissioni di tipo 1) ANALOGICO 2) DIGITALE

Ciascuna di queste può a sua volta viaggiare a distanza su diversi mezzi trasmissivi che rappresentano a livello fisico il canale di comunicazione e quindi possono essere:

- CABLE: ee quali si suddividono a loro volta in ottiche e radio-comunicazioni che a sua ed elettriche
- WIRELESS: ee quali si suddividono a loro volta in comunicazioni-radio che a sua volta si suddividono in comunicazioni terrestri e comunicazioni satellitari

Ad oggi nelle telecomunicazioni, ovvero nella fornitura/fruizione di servizi finali all'utente si individuano essenzialmente due fasce di mercato ovvero due diverse tipologie di clientela:

- BUSINESS: Le offerte ovvero le tipologie di servizi e costi imposti, dei vari gestori di telecomunicazioni si differenziano a seconda di queste due categorie di utenti
- PRIVATE

INFRASTRUTTURA per implementare una telecomunicazione tra due utenti è chiamata SISTEMA DI TELECOMUNICAZIONE, mentre ee telecomunicazioni tra più di due persone situate in più punti spaziali sono implementate attraverso la RETE DI COMUNICAZIONE.

→ Gli elementi base di un sistema di TELECOMUNICAZIONE sono:

- TRASMETTITORE: prende l'informazione e la converte in un segnale da trasmettere
- CANALE o MEZZO DI TRASMISSIONE: su cui il segnale è trasmesso e costituisce il canale di trasmissione
- RICEVITORE: riceve e converte il segnale in informazione utile

**TRASMETTITORE E RICEVITORE**: ex consideriamo un sistema di trasmissione radio. In questo caso l'antenna della stazione è il trasmettitore, la radio è il ricevitore ed il mezzo trasmissivo è lo spazio libero. Spesso i sistemi di telecomunicazione ed i canali di trasmissione sono bidirezionali (full-duplex) ed i dispositivi che li compongono si comportano sia come trasmettitori che come ricevitori → sono RICE-TRASMETTORI ex cellulari

**SEGNALI**: sono grandezze fisiche che variano nel tempo e a cui è affidato il trasporto di informazione a distanza sul canale

→ ANALOGICI: possono assumere con continuità qualunque valore e l'informazione viene direttamente impressa su una qualche grandezza caratteristica del segnale

→ DIGITALI: l'informazione è codificata mediante un insieme di valori discreti che il segnale può assumere. In particolare sono segnali che trasportano informazione i segnali che variano in maniera aleatoria nel tempo senza apportare informazione da trasmettere.

**CANALI**: i dispositivi per ee telecomunicazioni convettono diversi tipi di informazione come voce e immagini in

- segnali elettrici: sono tipicamente trasportati attraverso un mezzo come il rame o lo spazio libero mediante trasmissione in onde radio
- segnali ottici: di solito nei canali mediante fibre ottiche, dispositivi wireless ottici

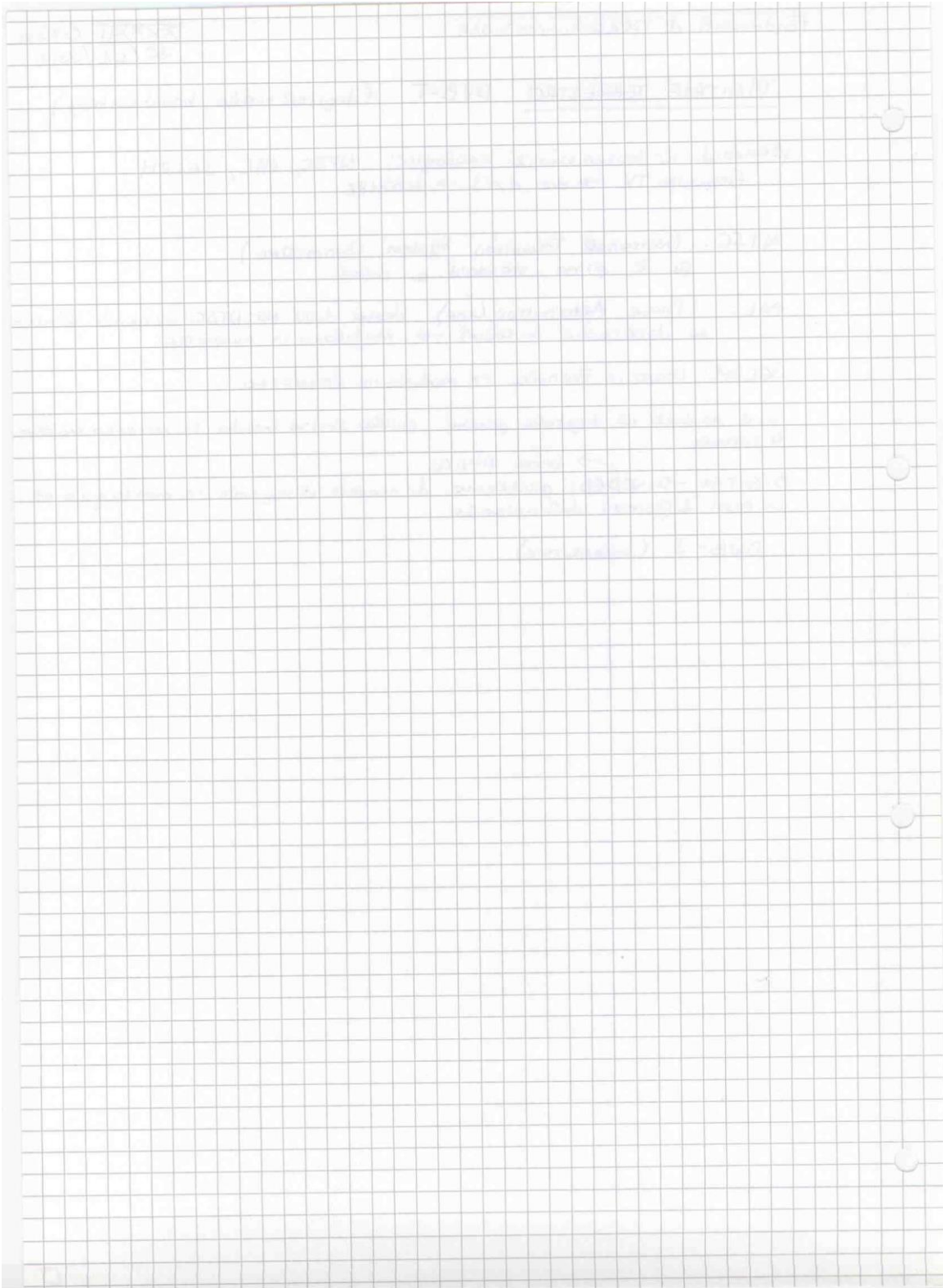
Quando un segnale raggiunge la destinazione, il dispositivo al terminale di arrivo converte il segnale in un messaggio comprensibile

→ Il canale è l'unità fondamentale utilizzata per far propagare il segnale dal mittente al destinatario.

Si è soliti suddividere ee risorse del mezzo di trasmissione in modo che più flussi di informazione possano propagarsi.

Sorgente : <http://holisi.hasanaj.com/>  
Autore : Holsi Hasanaj  
Professore: Benedetto

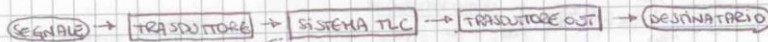
Corso di Ingegneria Informatica Roma Tre  
Anno di produzione: 2012-2013



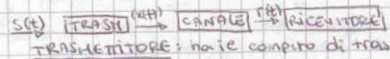
Fondamenti di Telecomunicazione

Sintesi  
 2/6

SISTEMI TLC



Il sistema TLC migliore è quello che riesce a rendere  $y(t)$  (segnale in uscita) più uguale possibile a  $x(t)$ , ovvero al segnale in entrata



TRASMETTITORE: ha il compito di trasmettere il segnale e sa inoltre come il canale andrà a modificare il segnale

- ↳ CODIFICA: ci sono due tipi di codifica una di sorgente che effettua una sorta di compressione, ed una di canale adibita a proteggere il segnale
- ↳ MODULAZIONE: ha due compiti fondamentali ① imprimere l'informazione associata ad un segnale su un altro ② aumentare inoltre la frequenza di un segnale
- ↳ FILTRAGGIO: è una sorta di troncamento che cerca di trasportare solo il segnale utile

CANALE: è adibito a trasportare il segnale dal mittente al destinatario

↳ RUMORI: colpisce il segnale viene spesso somministrato in maniera additiva, in grado di alterare il corretto flusso informativo. Possedere di 3 tipi

- 1) disturbi alle distorsioni -> risposte non ideali del sistema
- 2) INTERFERENZE dovuti ad altri segnali presenti nel sistema
- 3) RUMORE TERMICO: movimento degli elettroni dovuti alla corrente di spostamento

FORMULE DI GIORDANO

$$\begin{aligned} e^{j\omega t} &= \cos \omega t + j \sin \omega t \\ e^{-j\omega t} &= \cos \omega t - j \sin \omega t \\ \cos \omega t &= \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2} \\ \sin \omega t &= \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j} \end{aligned}$$

TRASFORMATA DI FOURIER: ci permette di passare da un segnale espresso in tempo a quello espresso in frequenza. Un segnale si dice FOURIER TRASFORMABILE se e solo se la sua energia è finita

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt < +\infty$$

Iniettare un segnale eimitato nel tempo è un segnale di energia

$$\left\{ \begin{aligned} X(p) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi p t} dt & x(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} X(p) e^{j2\pi p t} dp \\ \text{TRASFORMATA DI FOURIER} & & \text{ANTI-TRASFORMATA} & \end{aligned} \right.$$

PROPRIETA:

- $x(p) \Big|_{p=0} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) dt \rightarrow$  AREA DI  $x(t)$
- $x(t) \Big|_{t=0} =$  AREA DI  $x(p)$

dimostrazione:

$$\begin{aligned} x^*(p) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi p t} dt \\ x^*(p) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi p t} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi p t} dt \end{aligned}$$

osservazione: se il segnale  $x(t)$  è pari ottengo uno spettro reale puro, altrimenti se è dispari ottengo uno spettro immaginario puro

SEGNALE RETTANGOLARE:  $x(t) = \text{Rect}_T(t)$  } qualunque segnale limitato nel tempo presenta una porzione di banda infinita

SEGNALE CAUSALE:  $x(t) = e^{t-t_0}$  } i segnali causali sono tutti quelli che si estendono da  $(0, +\infty)$

FUNZIONE SEGNO:  $x(t) = \text{sgn}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ -1, & t < 0 \end{cases}$  FUNZIONE GRADINO:  $U_1(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$

SEGNALE TRIANGOLARE:  $y(t) = \text{TRI}_T(t) = \begin{cases} 1 + \frac{t}{T}, & -T \leq t \leq 0 \\ 1 - \frac{t}{T}, & 0 \leq t \leq T \end{cases}$

SEGNALE IMPULSO: (DELTA DI DIRAC)  $\delta(t)$  } proprietà: ①  $y(t) = x(t) \cdot \delta(t) = x(0) \cdot \delta(t)$

TRASFORMATE NOTEVOLI

$$\begin{aligned} \left\{ \begin{aligned} x(t) &= A \text{Rect}_T(t) \\ x(p) &= AT \text{sinc}(pT) \end{aligned} \right. & \left\{ \begin{aligned} x(t) &= \delta(t) \\ x(p) &= 1 \end{aligned} \right. & \left\{ \begin{aligned} x(t) &= x(t-t_0) \\ x(p) &= \frac{1}{|x|} x\left(\frac{p}{x}\right) \end{aligned} \right. & \left\{ \begin{aligned} y(t) &= x(t-t_0) \\ y(p) &= x(p) \cdot e^{-j2\pi p t_0} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

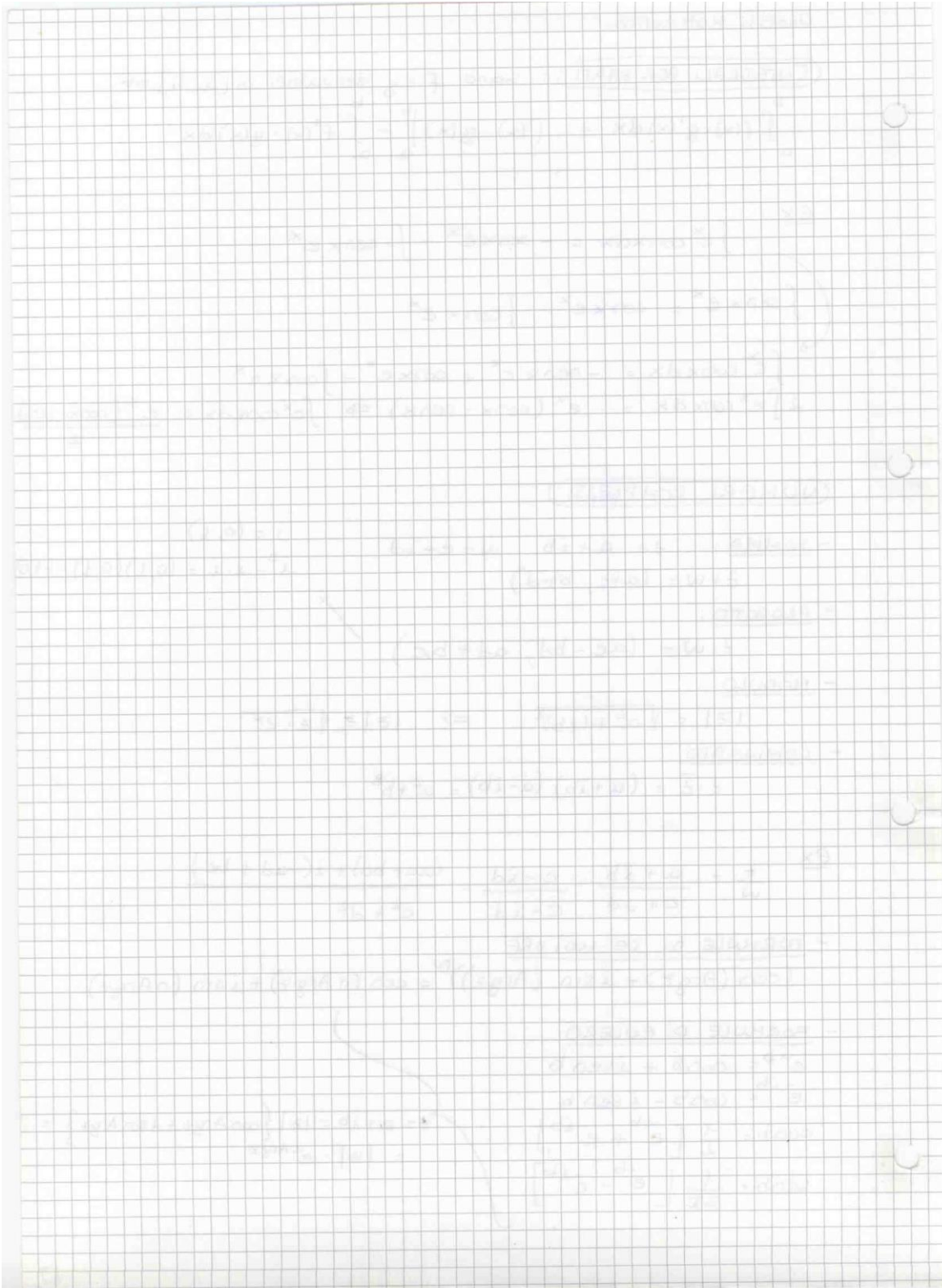
$$\left\{ \begin{aligned} x(t) &= \delta(t-t_0) \\ x(p) &= e^{-j2\pi p t_0} \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} x(t) &= e^{-j2\pi p t} \\ x(p) &= \delta(p+p_0) \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} x(t) &= e^{-t} \cdot u_1(t) \\ x(p) &= \frac{1}{1+j2\pi p} \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} y(t) &= \cos(2\pi p_0 t) \\ x(p) &= \frac{1}{2} [\delta(p-p_0) + \delta(p+p_0)] \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} y(t) &= \sin(2\pi p_0 t) \\ y(p) &= \frac{1}{2j} [\delta(p-p_0) - \delta(p+p_0)] \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} x(t) &\rightarrow x(p) \\ y(p) &= \frac{d}{dt} [x(t)] / dt \\ y(p) &= j2\pi p \cdot x(p) \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} z(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda) d\lambda \\ z(p) &= x(p) / j2\pi p \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} x(t) &= A \cdot \text{TRI}_T(t) \\ x(p) &= AT \text{sinc}^2(pT) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} x(t) &\rightarrow x(p) \\ x^*(t) &\rightarrow x^*(-p) \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} x(t) &= \text{sgn}(t) \\ x(p) &= (1/j2\pi p) \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} x(t) &= U_1(t) \\ x(p) &= (1/j2\pi p) + \frac{1}{2} \delta(p) \end{aligned} \right.$$

$$v(t-t_0) \Leftrightarrow v(f) \cdot e^{-j2\pi f t_0} \quad v(kt) \Leftrightarrow \frac{1}{|k|} v\left(\frac{f}{k}\right) \quad v(t) \cdot e^{-j2\pi f t} \Leftrightarrow v(f-f_0)$$

$$\frac{d^n}{dt^n} v(t) \Leftrightarrow (j2\pi f)^n \cdot v(f) \quad \int_{-\infty}^{+\infty} v(\lambda) d\lambda \Leftrightarrow \frac{1}{j2\pi f} \cdot v(f) \quad t^n v(t) \Leftrightarrow \frac{1}{(-j2\pi f)^n} \cdot \frac{d^n}{df^n} v(f)$$



Fondamenti di Telecomunicazione

Sintesi

SISTEMI TLC

3/6

PROPRIETA' NEL TEMPO (DELTA DI DIRAK)  $\delta(t)$

- ①  $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$  e' impulso matematico  $f(t)$  ha area unitaria solo in  $t=0$
- ②  $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$
- ③ CAMPIONAMENTO:  $\int_{-\infty}^{+\infty} v(t) \cdot \delta(t-T) dt = v(T)$   $v(t) \cdot \delta(t-T) = v(T) \cdot \delta(t-T)$
- ④  $v(t) * \delta(t-T) = v(t-T)$

PROPRIETA' IN FREQUENZA  $\omega$

- ①  $A \Leftrightarrow A \cdot \delta(t)$ , la trasformata di una costante nel tempo è un impulso in frequenza  $f=0$
- ②  $A \cdot \delta(t) \Leftrightarrow A$ , la trasformata di un impulso nel tempo ha ampiezza costante
- ③  $A \cdot e^{j2\pi f t} \Leftrightarrow A \cdot \delta(f-f_c)$ , la trasformata di un esponenziale complesso  $\rightarrow \delta$  traslocato di  $f_c$
- ④  $A \cos(2\pi f_c t + \varphi) \Leftrightarrow \frac{A}{2} [\delta(f-f_c) \cdot e^{j\varphi} + \delta(f+f_c) \cdot e^{-j\varphi}]$  la trasformata del coseno è un segnale pari costituito da due  $\delta$
- ⑤  $A \sin(2\pi f_c t + \varphi) \Leftrightarrow \frac{A}{2j} [\delta(f-f_c) \cdot e^{j\varphi} - \delta(f+f_c) \cdot e^{-j\varphi}]$  la trasformata di un segnale seno è un segnale immaginario puro

Sviluppo in serie di FOURIER

SEGNALE PERIODICO: di periodo  $T_0$ , se soddisfa la seguente relazione  $x(t) = x(t+T_0) \forall t$  ed inoltre  $T_0$  è il più piccolo valore temporale per cui la precedente risulta soddisfatta

Un segnale periodico può essere sviluppato in serie di FOURIER se soddisfa le seguenti condizioni CONDIZIONI DIRICHLET: ①  $\int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) dt < +\infty$  ② Per  $t$  compreso in  $[-T_0/2; T_0/2]$   $x(t)$  presenta un numero

di massimi e minimi ③ Per  $t$  compreso in  $[-T_0/2; T_0/2]$   $x(t)$  presenta un numero finito di curve

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n e^{j2\pi n f_0 t} \quad \text{dove } f_0 = 1/T_0 \quad c_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) \cdot e^{-j2\pi n f_0 t} dt \quad n=0, \pm 1, \pm 2$$

CONVOLUZIONI: la convoluzione si integra a fissare

- ①  $z(t) = v(t) * w(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} v(\lambda) \cdot w(t-\lambda) d\lambda = \int_{-\infty}^{+\infty} v(\lambda) \cdot v(t-\lambda) d\lambda$  ② PROPRIETA' COMMUTATIVA:  $z(t) = v(t) * w(t) = w(t) * v(t)$
- ③ PROPRIETA' ASSOCIATIVA:  $v(t) * [w(t) * y(t)] = [v(t) * w(t)] * y(t)$
- ④ PROPRIETA' DISTRIBUTIVA:  $v(t) * [w(t) + y(t)] = [v(t) * w(t)] + [v(t) * y(t)]$
- ⑤ TEOREMI DI CONVOLUZIONE:  $\int v(t) * w(t) dt \Leftrightarrow V(f) \cdot W(f)$   
 $\int \delta(t) * w(t) dt \Leftrightarrow V(f) * W(f)$

CORRELAZIONI

È un'operazione fondamentale poiché fornisce un'indicazione di quanto due segnali siano tra loro simili  $\rightarrow$  misurare il grado di similitudine tra due segnali  
 $\rightarrow$  è un'operazione di correlazione diversa come dicavamo fondamentalmente nei sistemi TLC all'atto della ricezione in quanto tanto maggiore sarà il grado di correlazione

AUTO-CORRELAZIONE: è una operazione di correlazione realizzata con due segnali identici  
 (L'ENERGIA dell'auto-correlazione dovrà essere massima nell'origine)

$$C_{xy}(T) = x(t) \otimes y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(\lambda) \cdot y(\lambda+T) d\lambda = x^*(-T) * y(T)$$

• non gode delle proprietà commutative  $C_{xy}(T) \neq C_{yx}(T)$

PROPRIETA' •  $C_{xy}(T) = C_{yx}^*(-T)$

- ① massima nell'origine  $C_{xy}(T) = C_{yx}^*(-T)$  ② simmetria coniugata rispetto all'asse delle ordinate  $C_{xx}(T) = \max_{\tau} C_{xx}(T) = C_{xx}^*(T)$  ③ simmetria se  $x(t)$  è reale  $C_{xx}(T) = C_{xx}(-T)$

④ DISUGUAGLIANZA DI SCHWARZ:  $C_{xy} \leq \sqrt{C_{xx}(0) C_{yy}(0)}$

- ⑤  $v(t) \otimes w(t) \Leftrightarrow V^*(f) \cdot W(f)$   
 $v(t) \otimes v(t) \Leftrightarrow V^*(f) \cdot V(f) = |V(f)|^2$

① La trasformata di Fourier della funzione di autocorrelazione è pari alla densità spettrale

- ⑥  $C_{vv}(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} |V(f)|^2 df = E_v$  è l'auto-correlazione calcolata nell'origine corrisponde all'energia del segnale (area sotto alla densità spettrale d'energia)

SISTEMI LINEARI TEMPO INVARIANTI

$\rightarrow$  e inoltre, se vale il principio di sovrapposizione degli effetti  $x(t) = \sum_k a_k x_k(t) \Leftrightarrow y(t) = \sum_k a_k F[x_k(t)]$   
 $\rightarrow$  TEMPO INVARIANTE: le caratteristiche del sistema non variano con il tempo

$$F[x(t-t_d)] = y(t-t_d)$$

RISPOSTA IMPULSIVA:  $h(t) = F[\delta(t)]$   $x(t) = x(t) * \delta(t)$

$$y(t) = F\left[\int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda) \cdot \delta(t-\lambda) d\lambda\right] = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda) \cdot F[\delta(t-\lambda)] d\lambda$$

perché è invariante  $F[\delta(t-\lambda)] = h(t-\lambda)$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda) \cdot h(t-\lambda) d\lambda = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\lambda) \cdot x(t-\lambda) d\lambda = x(t) * h(t) \Rightarrow Y(f) = X(f) \cdot H(f)$$

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

**MODULAZIONE**: tecnica di variare un segnale per trasmettere informazione. La modulazione è frequentemente usata per imprimere e informazione associata ad un segnale su un altro. Nel campo delle comunicazioni digitali la modulazione numerica è usata per rappresentare su un segnale analogico un segnale digitale.

↳ La modulazione svolge inoltre anche un'altra importante funzione, ossia quella di aumentare la frequenza di un segnale analogico. Questo si rende necessario poiché un segnale tipicamente non è adatto ad essere trasmesso per lunghe distanze a bassa frequenza.

**AMPLIFICAZIONE**: sistemi deputati alla pulizia del segnale da componenti non desiderate come le risonanze introdotte dal canale e dagli operatori di ricezione, oppure alla sintonia ovvero i filtri convenzionali di frequenza ed infine sistemi anti-distorsione del segnale lungo le linee tramite equalizzatori.

**CODIFICA DELL'INFORMAZIONE**: nelle trasmissioni digitali, pur rimanendo il canale di comunicazione di tipo analogico, il segnale sorgente viene convertito in formato digitale e successivamente trattato con elaborazioni particolari, quali codifica di sorgente, codifica di canale e la codifica cartografica prima della conversione in formato analogico da parte del modulatore numerico per la trasmissione sul canale ad onde continue. In ricezione il ricevitore opera come al solito in maniera duale ovvero inversa, ricostruendo il segnale digitale tramite una demodulazione numerica per poi applicare una decodifica di canale, una decodifica di sorgente ed una decodifica fino alla conversione.

**RUMORE E INTERFERENZA**: è tipicamente presente nel canale di comunicazione e nei dispositivi elettronici di ricezione ed elaborazione a valle della trasmissione. Tale rumore compromette il segnale utile spesso sommandovisi in maniera additiva, in grado dunque di alterare il corretto flusso informativo tra mittente e destinatario. Altro fattore di disturbo può essere l'interferenza dovuta ad altri segnali informativi non utili.

**RETE**: un insieme di più trasmettitori, ricevitori o ritrasmettitori che comunicano tra loro prende il nome di rete. Una rete di telecomunicazioni a commutazione di circuito consiste di almeno due terminali interconnessi tramite uno o più nodi intermedi (switch) che stabiliscono una connessione punto-punto creando un circuito fisico dedicato (RETE TELEFONICA GENERALE).

↳ Le reti di telecomunicazione a commutazione di pacchetto consistono invece di due o più nodi terminali interconnessi tramite nodi intermedi (Ex: Router) → necessari per indirizzare l'informazione verso il giusto destinatario (Reti di dati). Entrambe le tipologie fanno uso di ripetitori per amplificare e rigenerare il segnale.

CORRELAZIONE → INGRESSO/USCITA

$$x(t) \rightarrow \boxed{h(t)} \rightarrow y(t) \quad R_{yy}(t) = R_{xx}(t) * \left[ h^*(-t) * h(t) \right]$$
$$P_{yy}(f) = |y(f)|^2 = y(f) \cdot y^*(f) = x(f) \cdot H(f) \cdot x^*(f) \cdot H^*(f) = |x(f)|^2 \cdot |H(f)|^2$$

Fondamenti di Telecomunicazione

SISTEMI TLC

Sintesi

4/6

**CODIFICA DI CANALE**: è l'operazione, mediante cui una trasmissione, in forma numerica, può essere protetta dagli effetti dei disturbi (soprattutto le rumore termici) introdotti dal canale e dagli apparati che elaborano le segnalazioni.

Il codificatore di CANALE è un blocco che prende in ingresso  $k$  cifre di simboli e restituisce in uscita  $n$  cifre BINARIE che vengono poi trasmesse sul canale con un RATE pari a  $R = K/n$ .

**TEOREMA FONDAMENTALE DELLA CODIFICA**  $P_w(e) \leq e^{-nE/R}$

Si può ottenere migliore la prestazione del sistema in termini di prob. errore:

- 1) diminuire  $R \rightarrow$  aumenta la ridondanza del codice, utilizzando più spazio del canale
- 2) incrementare la capacità di canale
- 3) si aumenta solo il valore di  $n$ , mantenendo costante il rapporto  $R = K/n$ , non si agisce ne sulla banda ne sul costo  $\rightarrow$  si aumenta però la complessità computazionale.

La codifica di canale è quindi volta a garantire che i bit da trasmettere arrivino a destinazione senza errori durante l'attraversamento del mezzo trasmissivo  $\rightarrow$  si realizza con l'aggiunta di BIT ridondanti.

**RIDONDANZA**: deve essere aggiunta in modo da rendere efficiente la codifica: ovvero deve essere tale da differenziare i messaggi trasmessi sul canale senza appesantire troppo la trasmissione in termini di occupazione di banda.

**TRASMISSIONI DIGITALI IN BANDA-BASE** il metodo PAM o onda PAM si utilizza ogni volta che si converte un segnale continuo in un segnale ad impulsi, dove l'ampiezza degli impulsi rappresenta l'informazione analogica  $\rightarrow$  lo scopo di un'onda PAM è quello di costruire un segnale costituito da un treno di impulsi che contiene tutta l'informazione presente nel segnale d'ingresso.

$x(t) = \sum_k a_k \cdot p(t - kD)$  ampiezze appartenono ad un set di  $M$  diversi valori discreti  
 questa condizione assicura la possibilità di recuperare il messaggio campionando  $x(t)$  agli istanti  $t = kD$  con  $k = 0, \pm 1, \pm 2$   
 dove  $D$  è l'intervallo tra un impulso e il successivo Rate =  $1/D$

**CODIFICA DI LINEA**  $\rightarrow$  obiettivo di organizzare i simboli dell'informazione da trasmettere in una forma tale da essere efficientemente trasmessi sul mezzo trasmissivo, scelto per la comunicazione, la trasformazione può essere: 1) BANDA BASE (pb) ovvero i simboli codificati sono trasmessi direttamente 2) BANDA PASSANTE: si utilizza una forma d'onda non portante per la trasmissione;

- REQUISITI CODIFICA DI LINEA EFFICIENTE**
- a) temporizzazione: facile sincronizzazione
  - b) assenza della componente in continua: trasmissione in AC
  - c) controllo errori: poss. rilevata error detection
  - d) complessità: bassa per ridurre i costi
  - e) bassa probabilità d'errore
  - f) minima occup. di banda
  - g) trasparenza: deve funzionare su ogni tipo di canale
  - h) unicità: mappare ai dati originali

Esistono differenti tipi di codifica che utilizzano dei codici differenti:

- CODICI A LIVELLI**: l'informazione viene inventa nel livello del segnale  $\rightarrow$  che diff. MODALITÀ:
- 1) NRZ (non ritorno a 0): il segnale rimane costante per tutta la durata del simbolo
  - 2) RZ (ritorno a 0): torna a 0 alla fine dell'ax

**CODICI A TRANSIZIONI**: l'informazione è associata alla transizione che il segnale subisce nel cambiamento

**CODICI UNIPOLARI**: codici che fanno corrispondere ad un valore dei bit a un segnale costante, mentre nessun segnale per il bit 0  $\rightarrow$  la codifica NRZ presenta lo svantaggio che in presenza di lunghe sequenze di 1 e 0 si genera un segnale costante  $\rightarrow$  prob. scelta nella codifica RZ.

si possono avere variazioni del segnale solo alla fine di un intero clock

$\rightarrow$  la frequenza di clock può essere recuperata dal segnale trasmesso nel caso RZ mentre non è recuperabile nel caso NRZ. La dipendenza della frequenza di clock è importante in quanto per poter sincronizzare gli apparati di ricezione.

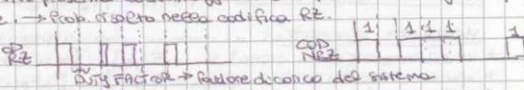
**CODIFICA MANCHESTER**: introduce una transizione ad ogni intervallo, fronte costante quando il bit è a 0 e in fronte discendente in caso contrario. VANTAGGI: il non passaggio per 0, che rende comunque possibile il rilevamento da parte del ricevente di un segnale.  $\rightarrow$  Uno svantaggio che occupa una banda larga.

La codifica MANCHESTER è utilizzata nelle reti LAN.

**CODICI MULTILIVELLO**: la struttura della codifica è tale da trasportare più bit per simbolo, è possibile trasmettere simboli diversi non scelti fra due tipi soltanto, ma fra molti.

in questi segnali la durata dei bit è costante mentre la velocità di simbolo  $R$  (velocità bit-rate)  $D$  (velocità di simbolo)  $R = |D| \cdot \log_2(L)$ , essendo  $L$  il numero dei livelli  $\rightarrow$  la banda di un segnale multilivello ad  $L$  livelli è pari ad un  $(L-1)$ -esimo della banda del corrispondente segnale binario  $\rightarrow$  dovuta al fatto che la velocità di simbolo del segnale multilivello si riduce di un fattore  $L$  rispetto a quello del segnale binario.

1) aumentando il numero dei livelli, a parità di tensione massima, comporta che il simbolo avendo diversi livelli più piccoli, finché in ricezione non ha più distinguibile dal rumore.





**TEOREMA DI DUPLA**: nota una coppia di trasformate-antitrasformate, permette di scrivere la trasformata di FOURIER di quel segnale  $x(t) \rightarrow X(f)$   
 $y(t) = x(t) \Rightarrow Y(f) = X(-f)$

**TEOREMA DI PARSEVAL**: teorema che lega l'energia alla frequenza

dimostrazione:  
 $E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(f)|^2 df$   
 $E = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot x^*(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(f) e^{-j2\pi ft} x(t) df dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(f) \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \right] df = \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(f) X(f) df = \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(f) \cdot X(f) df = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(f)|^2 df$

densità spettrale:  $E_{xx}(f) = |x(f)|^2$

**SERIE DI FOURIER**: Fourier dimostrò che qualunque segnale periodico (di potenza) è esprimibile come un'infinita combinazione di linee di funzioni complesse  $T_0/2$

(compresse)  
 $x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n e^{j2\pi n f_0 t}$  dove  $f_0$  è la frequenza fondamentale ed  $e$  in base del periodo  
 POTENZA:  $P = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} |x(t)|^2 dt$

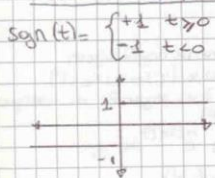
$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \delta(f - n f_0)$   
 - la serie di Fourier si applica soltanto ai segnali di potenza  
 - la trasformata di Fourier si applica solo ai segnali di energia

**TEOREMA DI PARSEVAL**

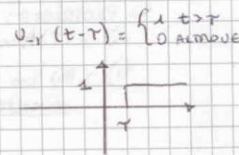
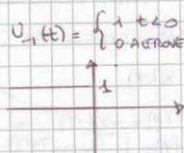
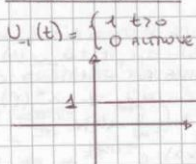
dimostrazione:  $P = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x^*(t) \cdot x(t) dt = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n^* e^{-j2\pi n f_0 t} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} C_m e^{j2\pi m f_0 t} dt = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n^* \cdot C_n = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} |C_n|^2$

La misura di quanto accettabile sia il segnale ricevuto, è rappresentata dalla fedeltà della trasmissione (sorgenti analogiche), ACCURATEZZA della trasmissione (sorgenti discrete)  
**LIMITI SISTEMA TLC**: ① limiti fisici (larghezza di banda) rumore ② limiti tecnologici (disponibilità hardware)  
 ③ rumore termico  $\rightarrow$  TEOREMA SULLA CAPACITÀ DI CANALE (SHANNON-HARTLEY)  
 $C = B \log_2(1 + SNR)$   $SNR = \frac{P_{segnale}}{P_{rumore}}$   $SNR_{dB} = 10 \log_{10} SNR$

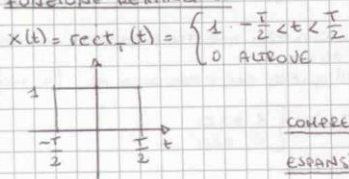
**FUNZIONE SEGNO**



**FUNZIONE GRADINO**



**FUNZIONE RETTANGOLO**

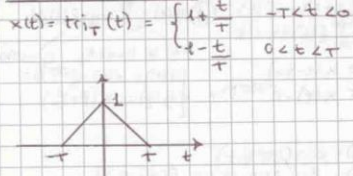


$\text{rect}_2\left(\frac{t}{\alpha}\right) = \text{rect}_{2\alpha}(t) = \begin{cases} 1 & -\alpha < t < \alpha \\ 0 & \text{altrouve} \end{cases}$   
 $\text{rect}_2\left(\frac{t}{\alpha}\right) = \text{rect}_{\frac{2}{\alpha}}(t) = \begin{cases} 1 & -\frac{\alpha}{2} < t < \frac{\alpha}{2} \\ 0 & \text{altrouve} \end{cases}$

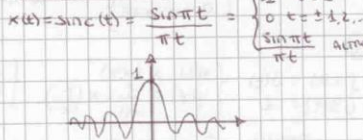
COMPRESIONE:  $z_1(t) = y(\alpha t) = \text{rect}_2(2t - 1) = \text{rect}_1\left(t - \frac{1}{2}\right) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 1 \\ 0 & \text{altrouve} \end{cases}$

ESPANSIONE:  $z_2(t) = y\left(\frac{t}{2}\right) = \text{rect}_2\left(\frac{t}{2} - 1\right) = \text{rect}_4(t - 2) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 4 \\ 0 & \text{altrouve} \end{cases}$

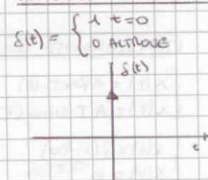
**FUNZIONE TRIANGOLO**



**FUNZIONE SINUS**



**FUNZIONE S. DI DIRAK**



$\rightarrow$  La delta di Dirak, non esiste fisicamente, esistono numerose funzioni che hanno le stesse proprietà secondo le equazioni  $\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{+\infty} \delta_\epsilon(t) f(t) dt = f(0)$   $\Rightarrow \delta_\epsilon(t) = \frac{1}{\epsilon} \text{rect}\left(\frac{t}{\epsilon}\right) = \frac{1}{\epsilon} \text{rect}_\epsilon(t) \Rightarrow \delta_\epsilon(t) = \frac{1}{\epsilon} \sin c\left(\frac{t}{\epsilon}\right) = \frac{1}{\epsilon} \frac{\sin\left(\frac{\pi t}{\epsilon}\right)}{\frac{\pi t}{\epsilon}}$

- se  $x(t)$  è reale e pari, la sua trasformata di Fourier è reale e pari
- se  $x(t)$  è dispari, la sua trasformata di Fourier è immaginaria pura e dispari
- se  $x(t)$  è reale e causale/anticasuale, la sua trasformata è complessa

esponenziale in  $f \rightarrow$  delta ha segno concorde  
 esponenziale in  $t \rightarrow$  delta ha segno opposto  
 delta in  $t \rightarrow$  esponenziale ha segno concorde  
 delta in  $f \rightarrow$  esponenziale ha segno opposto

⚠ per vedere se è potenza oppure Energia lo vedi nel tempo

Fondamenti di Telecomunicazione

Gines

SYSTEMI TLC

5/6

TEORIA DELLA PROBABILITÀ

- SOMMA DI A INDIPENDENTI:  $x, y$  variabili aleatorie  $\rightarrow f_x(x), f_y(y)$   $z = x+y \rightarrow f_z(z) = f_x(x) * f_y(y)$   
 La ddp cercata risulterà essere pari alla convoluzione delle singole ddp
- CAMBIO DI SCALA:  $y = ax \rightarrow f_y(y) = \frac{1}{a} f_x(\frac{y}{a})$
- TRASFORMAZIONI NON LINEARI:  $f_x(x) = f_y(y) \cdot \left| \frac{dy}{dx} \right|$   $f_x(x) = f_y(y) \cdot \left| \frac{dy}{dx} \right|$   $\rightarrow$  e sempre applicabile per utilizzazione questa formula deve prima vedere se è invertibile  
 Se non è invertibile si suddivide in sotto-intervalli in cui lo è

RICEZIONE BINARIA:  $r = s + n$  dove  $r$  rappresenta il segnale ricevuto in un sistema TLC ottenuto come la somma della componente del segnale utile  $s$ , e del rumore  $n$

• REGOLA MASSIMA SENSIBILITÀ: associare il simbolo ricevuto a quello che gli è più vicino

$P(s) = \frac{1}{2} [d(s-1) + d(s+1)]$

$f(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}}$

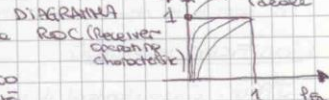
Risò una soglia  $n=0 \rightarrow$  caso ideale o probabilità di prestazioni del ricevitore

① PROBABILITÀ FALSO ALLARME: decidere che sia presente segnale quando esso è realmente assente

② PROBABILITÀ DETECTION: decidere che sia presente il segnale quando esso è realmente presente

③ PROBABILITÀ DI MANCATA RILEVAZIONE: identificare il segnale quando esso è realmente presente

CONTENUTO INFORMATIVO: è la misura del contenuto informativo si ha a partire dalla conoscenza della sorgente ed è rappresentato dalla scelta della sorgente di trasmettere uno tra i tanti messaggi. Per il ricevitore è ausiliario alla prova di ricevere quel messaggio



• Il contenuto informativo è strettamente collegato al concetto di probabilità  
 → mi interessa solamente agli eventi meno probabili: in quanto sono più importanti

- ENTROPIA: numero medio minimo di bit con cui posso codificare i simboli della sorgente che può trasmettere → pesata in base alla probabilità

$H(x) = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i$  con 2 bit per simbolo

$L_{MIN} = \frac{H(x)}{\log_2 2}$   $L_{AVG} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i$   $0 \leq H(x) \leq 1 \rightarrow \log_2 2$

efficienza della codifica  $\rightarrow$  quanto migliore in quanto a cosa che deve trasmettere sono equiprobabili

$P = 1 - N$  ripartizione

CODIFICA NATURALE: assegna  $2^x - n = 0$  dove  $n$  sono le numero di simboli,  $x \rightarrow$  bits

CODIFICA DI GRAY: la codifica di GRAY differisce da quella naturale e non possiede proprietà di un bit tra due simboli. L'unicità

CODIFICA DI HUFFMANN: assegnano meno bits ai simboli meno probabili, mentre a quelli più probabili, vengono assegnati più simboli. Questa assegnazione viene fatta seguendo la regola: no-prefix, questo la codifica di un simbolo non può essere un prefisso di un altro.

TEOREMA DEL LIMITE CENTRALE: La somma di 3 o più variabili aleatorie risulta essere una GAUSSIANA CENTRATA IN  $\mu$  e di deviazione standard  $\sigma$

CODIFICHE AUDIO: il segnale audio  $\rightarrow$  segnale analogico, varia in modo continuo nel tempo. Bisogna rappresentare un segnale audio con un segnale digitale, preservando l'informazione  $\rightarrow$  bisogna campionare il segnale ad intervalli regolari  $\rightarrow$  aumento di risoluzione diminuisce l'errore di conversione

$\rightarrow$  QUALITÀ CD: 44.100 campionamenti  $\rightarrow$  ogni campione quantizzato con 16 bit

un certo livello di degradazione è un compromesso accettabile per diminuire l'occupazione della banda richiesta

① CODIFICHE NEL DOMINIO DEL TEMPO: elaborano il segnale campionato direttamente  $\rightarrow$  è obbiettivo e quello di trovare correlazioni tra campioni e/o proprietà della sorgente e della destinazione, int permettono di ridurre le numero di bit usati per descrivere il valore di un campione audio (LOSSLESS)

② CODIFICHE PER VOCE: (LPC)  $\rightarrow$  Engage ad una particolare sorgente sonora che si tenta di emulare. Le corde vocali e la gola hanno ben precise caratteristiche fisiche, il loro comportamento sarà prevedibile. Il modello  $\rightarrow$  scelta ottimale per la compressione della voce

• LPC: linear predictive coding  $\rightarrow$  ENCODER: analisi della caratteristiche del segnale audio ed invio al DECODER: uso di un sintetizzatore audio. (l'orecchio è sensibile ad 2-5KHz)

③ CODIFICHE IN FREQUENZA: eliminano le frequenze nel dominio della frequenza  $\rightarrow$  lavorando sulla impronta spettrale caratteristica sostituite da una combinazione di frequenze e possibile compressione il segnale in misure molto maggiori che nel dominio del tempo

- MODELLO PERCETTIVO: bisogna eliminare tutte quelle componenti frequenziali non udibili (mantenere 2-4 KHz). La perceibilità del suono non è costante nel tempo  $\rightarrow$  un tono forte copre i suoni d'intensità minore, anche quelli vicini

CODIFICHE MPEG-1 ① a canale singolo ② a due canali ③ stereo temporale ④ stereo congiunta. Le frequenze di campionamento possono essere di 32 KHz, 44.1 KHz, 48 KHz se bit rate sono da 16 a 320 Kbit/s

Un segnale di ingresso  $x(t)$  definiamo l'uscita del sistema  $y(t)$  priva di distorsioni se e solo se c'è stato di fase e di ampiezza per un fattore d'ampiezza ed uno di ritardo temporale.  
 $y(t) = K x(t - t_d)$   
 $Y(p) = K \cdot e^{-j2\pi f t_d} \cdot X(p)$

- Privo di distorsioni:  $|H(p)| = K$  &  $\arg H(p) = -2\pi f t_d = -180^\circ m$
  - Distorsioni di ampiezza:  $|H(p)| \neq K$
  - Distorsioni di fase:  $\arg H(p) \neq -2\pi f t_d + m \cdot 180$
- Distorsioni non lineari: occorrono ogni volta che il sistema include elementi non lineari
- Sono estremamente dannose per i segnali audio - e per distorsioni di fase sono estremamente per i contenuti video.

**EQUALIZZAZIONE**: se distorsioni lineari sono teoricamente perfettamente ricostruibili tramite un SUT eguale  
 $H_{eq}(p) = \frac{K \cdot e^{j2\pi f t_d}}{H_c(f)}$  ovvero compensa gli effetti dovuti al multipath

**TEOREMA DEL CAMPIONAMENTO** mi aiuta a capire da un segnale, quanti e quali campioni devo prendere per passare da un segnale analogico a digitale discreto.  
 $x_s =$  versione campionato  $x_s(t) = x(t) \cdot S(t)$   
 $S(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \text{Rect}_T(t - kT_s) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n \cdot e^{j2\pi n f_s t}$   
 CONDIZIONI DI CAMPIONAMENTO: (1) la frequenza che sceggo è maggiore del doppio della larghezza di banda del segnale  $f_s \geq 2W$   
 (2) segnale a banda limitata  $X(f) = 0$  per  $|f| \geq B$   
 $S(f) = C_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} 2C_n \cdot e^{j2\pi n f_s t}$  **FREQUENZA NYQUIST**  
 $f_s = 2W$   
 $S(p) = C_0 f(p) + \sum_{n=1}^{+\infty} C_n \cdot \cos(2\pi n f_s p)$

Dalle analisi in frequenza del campionamento segue che, se il segnale è a banda limitata ed è soddisfacibile la condizione di NYQUIST, allora  $x(t)$  può essere ricostruito dalla sua versione campionata.

**CAMPIONAMENTO IDEALE**: se  $t$  è molto piccolo  $x_s(t)$  approssima una stringa di punti di campionamento istantanei che corrispondono ad un campionamento ideale.  
 $S_s(f) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_s) \Rightarrow X_s = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(kT_s) \cdot \delta(t - kT_s)$   
 $X_s(f) = f_s \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(kT_s) \cdot \delta(f - k f_s)$

$x_s(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(kT_s) \cdot \text{sinc}(f_s t - k)$ , ovvero il segnale  $x(t)$  può ora essere ricostruito attraverso l'utilizzo di una funzione interpolante, ovvero moltiplicando lo spettro  $X_s(f)$  per un rettangolo in frequenza esteso tra  $-f_s/2$  ed  $f_s/2$ .

$X(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(kT_s) \cdot \text{sinc}(f_s t - k)$   
 (1) se il segnale non soddisfa le condizioni la ricostruzione non è più possibile  
 (2) IL SEGNALE È AFFETTO DA ALIASING: sovrapposizione delle repliche che sposta  $f_s$ , mi distrugge il segnale

**ELEMENTI TEORIA DELL'INFORMAZIONE**  
 La nascita della teoria dell'informazione risale al 1948  $\rightarrow$  "A MATHEMATICAL THEORY OF COMMUNICATIONS" collegata a 3 concetti fondamentali: (1) la misura dell'informazione di una sorgente (2) la capacità di un canale a trasmettere informazione (3) la codifica intesa come un mezzo per utilizzare la capacità del canale al meglio per trasmettere l'informazione voluta.

**Entropia**: se il tasso di informazione di una sorgente non eccede la capacità del canale, allora esiste una tecnica di codifica tale che l'informazione possa essere trasmessa sul canale con una probabilità d'errore piccola a piacere, indipendentemente dal rumore presente.

**FILTRAGGIO REALE**: un filtro reale oltre una banda maggiore  $\rightarrow$  FILTRI A COSENO RIDOTTO  $\rightarrow$  il parametro che pesa la potenza, prende il nome di roll-off  $\delta$ , rende l'analisi più realistica possibile  
 $\delta \in [0, 1]$   $\rightarrow$  quando il roll-off è 0 filtro ideale, 1 quando la banda è di 2B

**MISURA DELL'INFORMAZIONE**: quando una sorgente può scegliere liberamente uno tra tanti messaggi l'utente destinatario avrà una grande incertezza su quale messaggio sarà selezionato, la quantità di informazione associata al messaggio  $\rightarrow$  strettamente legata al valore della probabilità.

$I_s = -\log_2(p_i) = \log_2(\frac{1}{p_i})$   $\rightarrow$  se la base del logaritmo è  $b=2$  allora l'unità informativa è il bit  
 se dovessi trasmettere due simboli indipendenti prodotti da una sorgente  $\rightarrow$  ovvero l'informazione totale è semplicemente la somma dei contributi dei singoli messaggi.

**ENTROPIA** -  $H(X)$ : una sorgente discreta  $X$  che emette  $N$  simboli, ciascun simbolo associato da un valore di probabilità  $p_i$   
 $H(X) = -\sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2(p_i)$  misurata in bit/sec  $\rightarrow 0 \leq H(X) \leq \log_2 N$

presuppone la rappresentazione dei messaggi attraverso dei codici che siano univocamente ed istantaneamente decodificabili.

**CODIFICA DELL'INFORMAZIONE**: scelta del codificatore più efficiente, ovvero quello che riesce a trasmettere lo stesso contenuto di informazione, ma con meno bit  $N = L_{min}/L_{avg}$   $\rightarrow$  minima lunghezza delle parole di codice ( $L_{min}$ ) e la lunghezza media ( $L_{avg}$ )  
 $L_{min} = H(X)/\log_2 D$ , dove  $D$  è il numero di simboli nell'alfabeto di sorgente. Inoltre il codificatore è tanto più efficiente quanto più la lunghezza media delle parole di codice coincide con l'entropia della sorgente  $L_{avg} = \sum_{i=1}^N l_i \cdot p_i$   
 $\rightarrow$  **Ridondanza**  $[P = 1 - N]$

Si comprende come i termini codifica di sorgente e compressione siano sinonimi. In particolare esistono diversi tipi di compressione: quelle **LOSSLESS**, ovvero entropiche, quelle **LOSSY** (con perdite) attraverso codifiche differenziali.

Fondamenti di Telecomunicazione

Sintesi  
 6/6

SISTEMI TLC

CODIFICHE VIDEO

H.264 - 4 : standard che porta l'audio video sulle reti a basso bitrate → è stato scelto come standard di riferimento per la diffusione di contenuti audio video sulle reti mobili di nuova generazione → rappresentazione video basata sul' oggetto

- codifica divisa a seconda dei frame:
- 1- INTER-FRAME: con riferimento alle immagini precedenti
  - 2- INTRA-FRAME: indipendente dagli altri frame
    - PREDIZIONE: consiste nel fornire un vettore di movimento → documenti come gli oggetti si sono sposti dal quadro I al quadro P (predizione in base alle altre frame moto-compensate)
    - il flusso video è organizzato con una struttura gerarchica con strutture gerarchiche date' alto in basso, la video sequenza è partizionata in gruppi multipli di immagini (GOPs)
      - \* per ottenere un alto rapporto di compressione si deve eliminare sia le ridondanze spaziali che temporali
    - dopo essere stati sotto-compressati i macro blocchi vengono poi ordinati secondo una scala di priorità e ZIG-ZAG in questo modo i coefficienti quantizzati delle basse frequenze prima di quelli delle alte frequenze, si aumenta la possibilità di ottenere lunghe sequenze di 0
  - 3- codifica Interframe a doppia predizione una nel passato e una nel futuro

! H.264 considera una scena come fosse composta da video oggetti (VO) ognuno con proprietà particolari - FORMA - MOVIMENTO - TESTURA.

In questo modo si permette all'utente la manipolazione degli oggetti su 4 livelli:

- 1- CODIFICA: l'utente decide la distribuzione del bit rate disponibile tra i suoi VO
- 2- MULTIPLICAZIONE: l'utente può alterare la descrizione della scena
- 3- DEMULTIPLICAZIONE: l'utente può richiedere la natura di una sola parte del bit-stream
- 4- DECODIFICA: l'utente può agire sulla composizione degli oggetti

DIGITALE TERRESTRE

Standard di trasmissione analogici NTSC, PAL, SECAM. → digitali: DVB-T (terrestre), DVB-S (satellite), DVB-H (mobile)

NTSC: National Television System Committee, primo standard di tv a colori

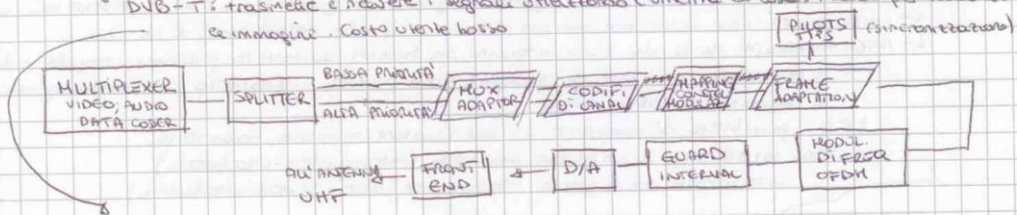
PAL: Phase Alternation Line → sviluppato in Germania deriva dall'NTSC ed elimina la distorsione

SECAM: Sequential Couleur Avec Memoire → in Francia → modula in frequenza → più complex

- Necessario analogico: 1 frequenza 1 programma
- se dovessi passare da NTSC a quello PAL non posso farlo perché hanno un frame rate diverso se lo volessi fare dovrei usare un interpolatore e un decimatore (cambia quindi le componenti)
- Nel digitale nella stessa banda posso trasmettere le canali → ci sono alcuni problemi dovuti al fatto che si utilizzano le stesse linee dell'analogico (non è ottimizzata)

DVB: è basato su MPEG-2 perché la banda è larga → alta qualità → gerarchica

- DVB-S: trasmissione mediante satelliti geostazionari. L'emittente invia i dati video ad un satellite posto in orbita geostazionaria il quale ritrasmette il segnale ad un'area ampia quanto il cono d'ombra proiettato dalla terra dal satellite. Parabolica satellitare per ricevere il segnale. Decoder per visualizzatore e trasmissione
- DVB-C: Tecnologia di trasmissione televisiva basata sui cavi (fibre ottiche) → alta velocità della banda larga. Costi ridotti per l'utente
- DVB-T: trasmette e riceve i segnali utilizzando l'antenna di casa. Decoder per visualizzatore e immagini. Costo utente basso



una televisione è composta da uno o più flussi es. mentore 1) video 2) audio 3) sottotitolo

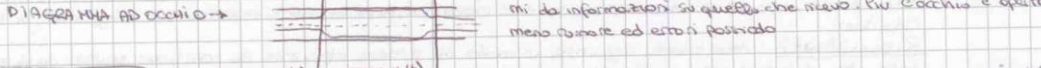
- H.264 coprono tutte le questioni relative a realizzazione, trasmissione, oggetto (MULTIMEDIA MOBILE PLATFORM)
- DVB-H: dispositivi mobili → si introduce nei servizi esistenti di DVB-T

**INTERFERENZA INTER-SIMBOLICA (ISI)**: (ISI) Si ha quando un segnale numerico, si trova a transitare attraverso un filtro che verrà inevitabilmente distorto. Tolleranza di un fenomeno indesiderato di interazione tra simboli → INTERF. INTER-SIMB.

Ex:  $y(t) = \sum a_k \cdot p_f(t - t_k - kD)$ , dove  $p_f$  rappresenta l'impulso rettangolare filtrato attraverso il pass-basso, mentre  $t_k$  è il ritardo di trasmissione. Ricostruire il messaggio digitale da  $y(t)$  è il compito del ricevitore. Un sincronizzatore ausiliario può aiutare il processo di rigenerazione.  $t_k = TD + t_d$  in cui il primo termine è il messaggio desiderato, mentre il secondo termine rappresenta l'ISI.

Si ha bisogno quindi di un segnale  $p(t)$  con le seguenti condizioni: ①  $p(t) \geq 0$  per  $t \in [0, 2B]$   
 ② in frequenza il filtro deve essere banda limitata:  $P(f) = 0$  per  $|f| > B$   
 ! è l'idea di avere forme d'onda che non siano nulle agli istanti di campionamento, ma una nello stesso tempo, decresca più velocemente di  $1/x$ , in modo che la coda non causi troppa ISI

**TRASMISSIONE-RICEZIONE**:  $y(t) = p(t) * h_c(t) * h_r(t)$  con un unico filtro del trasmettore e ricevitore deve esserci la scelta  $g(p) = P(p) \cdot H_r(p)$   
 → scelta il canale adattato poiché nell'intervallo in cui deve campionare è più ripido



**FILTRO ADATTATO**  $X(f) \otimes H(f) \rightarrow y(t)$  con il filtro si elimina il rumore ottenendo massima energia del segnale. In una trasmissione reale sono presenti sia ISI che contributi di rumore in forma additiva → Il ricevitore deve essere in grado di filtrare gli effetti dell'ISI anche quando il rumore con un opportuno filtraggio + filtro adattato.

① il rumore  $n(t)$  può essere filtrato solo se è di banda limitata ma non se è il rumore termico. Filtro in pratica non è perfetto.  
 dobbiamo quindi accettare che il segnale avrà forma totalmente diversa da quella trasmessa  $H^{opt}(f) = K \cdot P^*(f) \cdot e^{-2\pi f T_D}$   
 → il filtro adattato con il rumore bianco massimizza SNR in uscita al filtro.  
 $H^{opt}(f) = K \cdot P^*(f) \cdot e^{-2\pi f T_D}$  con  $K$  è cost. di normalizzazione e  $T_D$  è il ritardo per rendere il filtro causale ovvero fisicamente realizzabile.

SEGNALI ANALOGICI: quanti più amplificatori introduce nel sistema TLC tanto più sono un degrado del segnale.  
 SEGNALI DIGITALI: più amplificatori meno aumento la probabilità di sbagliare simbolo, però quest'ultima è talmente bassa

**TEORIA DELLA PROBABILITÀ**

non conosciamo le singole variabili di rumore ma conosciamo una stima probabilistica. Teoria della probabilità.  $P(A) = \frac{\text{casi favorevoli}}{\text{caso totale}}$ . Teoria della probabilità.  $P(A) = \frac{\text{caso favorevoli}}{\text{caso totale}}$ .  
 La probabilità di un simbolo si ripartisce alla frequenza di occorrenza con cui esso avviene.  
 $P(A, B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A \cup B)} = P(A) \cdot P(B)$  se gli eventi sono mutuamente esclusivi → probabilità congiunta è 0.

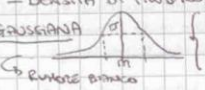
$P(A, B) = P(A|B) \cdot P(B)$  TEOREMA BAYES:  $P(A|B) \cdot P(B) = P(B|A) \cdot P(A)$  → mi permette di sapere come esagerano i trasmettitori sono collegati tra loro.  
 Se eventi statisticamente indipendenti  $P(A, B) = P(A) \cdot P(B)$   $P(A|B) = P(A)$   $P(B|A) = P(B)$

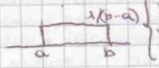
SEGNALI ALEATORI: ovvero segnali il cui comportamento non può essere descritto a priori. I segnali aleatori nella teoria della comunicazione occorrono solo forma di rumore e di segnale utile.

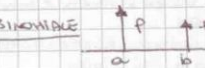
→ **VARIABILI ALEATORIE**: associa ad ogni simbolo della sorgente un valore numerico  $x_i$  di un asse  $x_1, x_2, x_3, \dots$   
 → indica una vera e propria variabile che indica come vanno gli eventi considerati.  
**FUNZIONE DI DISTRIBUZIONE CUMULATIVA**:  $D_X(x) = \begin{cases} D_X(+\infty) = P(X \leq +\infty) = 1 \\ D_X(-\infty) = P(X \leq -\infty) = 0 \end{cases}$   
**FUNZIONE DI DENSITA' DI PROBABILITA'**:  $P_X(x) = \frac{d[D_X(x)]}{dx}$   $\int_{-\infty}^{+\infty} P_X(x) dx = 1$  ovvero da  $-\infty$  a  $+\infty$  la probabilità non negativa ricade in questo intervallo (ecco perché prende il nome di derivata di probabilità).  
**FUNZIONE CARATTERISTICA**:  $P_X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_X(x) \cdot e^{-j2\pi f x} dx$   $P_X(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_X(x) dx = 1$


**MOMENTI STATISTICI**: mi danno un modello della tendenza di probabilità.  
 → **VALORE ATTESO (VALORE MEDIO)**  $M_X = E[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot P_X(x) dx$  → mi dice dove è centrato quello che trasmetto.  
 → **VALORE QUADRATICO MEDIO**  $V_{M_X} = E[X^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \cdot P_X(x) dx$  → mi dice quanto è energia o la potenza associata alla variabile.  
 → **VARIANZA**  $\sigma_x^2 = E[(X - E[X])^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - E[X])^2 \cdot P_X(x) dx$  → mi dice quanto rumore è stato introdotto dal mio modello probabilistico.  
 (E  $\sigma_x^2 = V_{M_X} - M_X^2$ ) → rappresenta quanto le singole determinazioni si discostano dal valore medio.


**DENSITA' DI PROBABILITA'**

**GAUSSIANA**:   $\begin{cases} M_X = m \\ \text{Var} = \sigma^2 \\ \text{VAM} = m^2 + \sigma^2 \end{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$

**UNIFORME**:   $\begin{cases} M = \frac{a+b}{2} \\ \text{Var} = \frac{(b-a)^2}{12} \\ \text{VAM} = \frac{(a+b)^2}{4} + \frac{(b-a)^2}{12} \end{cases}$

**BINOMIALE**:   $\begin{cases} M_X = P \cdot a + (1-P) \cdot b \\ \text{Var} = P \cdot a^2 + (1-P) \cdot b^2 - [P \cdot a + (1-P) \cdot b]^2 \\ \text{VAM} = P \cdot a^2 + (1-P) \cdot b^2 \end{cases}$

**ESP. MONOTONO**:   $a \cdot e^{-at} \cdot U_+(t)$   $\begin{cases} M = \frac{1}{a} \\ \text{Var} = \frac{1}{a^2} \\ \text{VAM} = \frac{2}{a^2} \end{cases}$

**ESP. BILATERO**:   $\frac{1}{2} a \cdot e^{-a|t|}$   $\begin{cases} M = 0 \\ \text{Var} = \frac{2}{a^2} \\ \text{VAM} = \frac{2}{a^2} \end{cases}$

DISTRIBUZIONE VARIABILI ALEAT.

① Il punto di arrivo sarà il WIRELESS-BROADBAND ovvero una comunicazione diretta con la stazione radio-base

**SISTEMI DI TELELOCALIZZAZIONE**: sono nati per soddisfare le esigenze di tipo militare e di ricerca sono poi stati estesi ed utilizzati in campo civile. È stato privilegiato il GPS poiché più speso sul mercato ricevitori. Il GPS GLONASS → FDMA → accesso a divisione di frequenza → debito computazionale

- la comunicazione con i satelliti in generale è di tipo ondata (dal satellite all'utente)

GPS: utilizza un accesso al canale (di codice) CDMA. Questo accesso a divisione di codice è anche quello utilizzato dalla telefonia 3G → esplosione sul mercato

FUNZIONAMENTO: La determinazione della posizione richiede la risoluzione di un sistema non lineare di 4 equazioni indipendenti in 4 incognite: ① LATITUDINE ② LONGITUDINE ③ ALTITUDINE ④ TIME

- Per determinare la posizione si possono utilizzare solo segnali di retti LOS (Light of sight)
- Sono necessari tre segnali per determinare il punto in cui ci troviamo, il quarto serve perché il ricevitore non possiede un orologio atomico sincronizzato con quello dei satelliti
- Il ricevitore deve compensare alcuni errori come il tempo di propagazione proporzionale nella diverse zone dell'atmosfera
- Oltre ai segnali ha bisogno di acquisire il tempo perché il ricevitore deve costare poco

→ I segnali utilizzati sono PRN (Pseudo Random Noise) → numeri alle sequenze binarie ma in realtà sono deterministiche → si utilizza per permettere al ricevitore di distinguere i segnali provenienti dai diversi satelliti poiché questi ultimi trasmettono codici tutti diversi tra loro → devono obbedire alle ortogonalità → ortogonalità fra copie diverse

ERRORI: ① dovuti all'interferenza presente nel ricevitore e nel satellite ② dovuti all'effetto di multipath → causa una sovrapposizione della distanza che si riflette in un errore nella stima della ③ BIASES: errori dovuti alla polarizzazione → perché ha usato un modello semplificato per descrivere la realtà

Il segmento spaziale è composto da una costellazione di 24 satelliti, 24 operativi, altri 3 in riserva su 6 piani orbitali distanti fra loro di un angolo di  $60^\circ$

→ I satelliti GPS trasmettono due portanti a radiofrequenza:  $L_1$  ed  $L_2$ ; le portanti sono modulate mediante la combinazione di un codice a spettro espanso con i dati di navigazione

- sia i codici che le portanti sono soggette ad essere crittate per attivare la disponibilità selettiva "SA" → consiste in una perturbazione intenzionale dell'accuratezza dell'orologio → nel 2000 è stata tolta → boom GPS nel commercio

**GALEO** è un sistema di posizionamento satellitare che nasce e si sviluppa per gli utenti civili e fa cessare la dipendenza dagli Stati Uniti

- prevede 30 satelliti - di cui 24 operativi e 3 di riserva

① garantisce anche un'interoperabilità con GPS

- Centro di controllo GALEO: è il cuore del sistema ed includerà tutte le funzioni di controllo ed elaborazione
- STATIONI RETORE: raccoglieranno le informazioni inviate dai satelliti GALEO come anche informazioni meteorologiche - ambientali
- RETE DI COMUNICAZIONI: collegamento con LAN in fibra ottica

a differenza del GPS trasmetterà su 3 portanti fondamentali → offrirà un servizio aggiuntivo → "SAR" servizio di emergenza sempre attivo

Inoltre visto che il GALEO è stato progettato per segnali che garantiscono l'interoperabilità / compatibilità

- 1- COMPATIBILITÀ: deve assicurare che non ci siano reciproche degradazioni di servizio
- 2- INTEROPERABILITÀ: fa sì che è via congiunto dei sistemi aumenti la precisione, integrità e disponibilità

↳ è realizzata mediante la sovrapposizione parziale in frequenza utilizzando segnali diversi e sequenze di codice diverse

PRO: possibilità di progettare un ricevitore semplice, basso costo,

CONTRO: interferenza di un sistema sull'altro (inter-system-interference)

interferenza che si genera internamente (intra-system-interference)

I valori massimi relativi alle due interferenze non potranno essere regolati nello stesso momento anzi con buona approssimazione quando una interferenza sarà massima l'altra sarà attorno al valore minimo (sono quindi in opposizione di fase)

**LAYER I**: è la più semplice, studiato per avere le migliori prestazioni con bitrate sopra 128 Kbit/s → fattore compressione tali

**LAYER II**: adatto per bitrate 128 Kbit/s → fattore di compressione 1 a 8

**LAYER III**: (MP3) ottime prestazioni con bitrate di circa 64 Kbit/s → compressione fissa a 12 volte

Processo: PCH → ANALISI (segnale D/A) → CODIFICA (aumento/decrea. bit, scelta di ogni campione / info. per decod.) → CREAZIONE BITSTREAM → MPEG → DECODIFICA BITSTREAM → DEQUANTIZZ. → SINTESI → PCH

**MP3**: per ogni delle sottobande viene calcolata l'entità del mascheramento causata dalle bande adiacenti, se la potenza in una sottobanda è sotto la soglia di mascheramento, allora non viene codificata l'informazione

**CODIFICHE MPEG-2**: introdotto per permettere la codifica multicanale → necessità richieste nel settore cinematografico. Il progetto MPEG-2 si articola in 4 privilegiata la compatibilità con standard precedenti. ② abbandonare la compatibilità per ottenere notevole incremento delle prestazioni → MPEG-2 (AAC, Advanced audio Coding) → codificatore fino a 18 canali con freq. di campionamento che va da 8 a 96 kHz per canale

**CODIFICHE MPEG-4**: introduce il concetto di "oggetto" nel settore audio-visivo. Ogni file multimediale è una collezione di diversi oggetti che per poter esistere separatamente, sono armonizzati per ottenere l'effetto complessivo → (MUSICAL INSTRUMENT DIGITAL INTERFACE)

**MIDI**: standard per la comunicazione tra strumenti musicali → contiene informazioni che comunicano allo scheda audio di modificare la frequenza → occupazione in memoria piccolissima qualche Kbyte

- ① Ricerca di compatibilità tra strumenti diversi e di diverse marche
- ② Crescente disponibilità di tecnologia digitale

Il protocollo ha lo scopo di studiare le specifiche sia hardware sia software che ogni apparecchiatura deve coprire se vuole essere MIDI compatibile

① le midi trasmette unicamente comandi che verranno eseguiti dall'apparecchiatura in ricezione

→ **Hardware**: il componente principale è UART → microprocessore appositamente costruito per la compressione e decodificazione MIDI che lavora in maniera asincrona → ovvero solo quando succede una trasmissione seriale → aumentare l'affidabilità → Asincronismo, ogni volta e l'inizio e la fine di ogni byte devono essere annunciati da due bit speciali "start bit" e "stop bit"

**CODIFICHE IMMAGINI**

**JPEG**: è uno standard di compressione per immagini, è stato progettato per comprimere sia immagini a colori che immagini a gradazioni di grigio. Si distinguono due tipi di compressione:

- **COMPRESSIONE LOSSY**: scarta delle informazioni delle immagini poco visibili all'occhio umano e comprime le rimanenti informazioni
- **COMPRESSIONE LOSSLESS**: comprime tutte le informazioni di un'immagine in modo tale che l'immagine prima compressa e poi decompressa sia identica bit per bit → senza alcuna perdita di informazioni

Lo standard JPEG deve soddisfare le seguenti istruzioni:

- ① ottenere elevati rapporti di compressione
- ② ricostruire l'immagine in modo totalmente reversibile oppure in modo irreversibile
- ③ parametrizzato → lasciare all'applicazione la possibilità di definire il meglio il rapporto di compressione

Il file immagine sorgente sono organizzati come 3 matrici nello spazio colore RGB (M x N) → l'img viene poi trasformata in YUV → dove è possibile ridurre autocorrelazione e informazione riguardante le componenti di saturazione visto che quelle di luminosità sono sensibili all'occhio umano. Ogni sottobanda 8x8 è applicata e trasformata DCT → (trasformata dominio tempo/frequenza)

- Una caratteristica della DCT è che l'angolo in alto a sinistra si trovano i dati relativi alle basse frequenze quindi quelli più rilevanti (occhio più basso) → in basso a dx quelle alte freq. non rilevanti
- La DCT è invertibile senza perdite di informazione

- **QUANTIZZAZIONE**: → divisione in arrotondamenti, è l'effetto della divisione è quello di arrotondare i prodotti della DCT portandoli a 0 quelli prossimi a 0 se si ricostruisce l'immagine considerando le basse freq. si perderebbe priva di dettaglio → zone sfocate se si considerassero quelle alte si evidenzerebbero i contorni e i dettagli, mentre le parti sfumate verrebbero eliminate

**HUFFMAN**: codifica entropica applicata ai dati è la tecnica codifica a lunghezza di codici variabile. I dati vengono suddivisi in stringhe di bit; viene assegnato un codice corto per le parole che appaiono frequentemente e una via codici più lunghi per quelle meno frequenti

**CODIFICHE VIDEO**:

**MPEG-1**: sistemi a banda larga video CD → codifica digitale deg. del segnale fino a 1,5 Mbit/s

Composto da 5 parti:

- ① System: descrive come sincronizzare diversi flussi audio e video e come trasportarli in canali digitali
- ② Video: descrive la sintassi del bitstream video (è semantica)
- ③ Audio: descrive la sintassi semantica per 3 classi di compressione LAYER I, II, III
- ④ Conformità: definisce l'insieme dei test di conformità ai bitstream e sui decodificatori
- ⑤ Simulazione software: contiene un linguaggio di un codificatore e di un decodificatore software

**MPEG-2** sistemi a banda larga DVD → codifica a 10 Mbit/s (mantiene i punti precedenti)

- ① DTM-CC → fornisce una sintassi per controllare l'evoluzione e l'accesso casuale come avviene nei video regulator
- ② descrive nuove estensioni della codifica audio
- ③ 10-Bit video extension → codifica su 10 bit dei coefficienti DCT → migliore archiviazione