

# SISTEMA DI COMUNICAZIONE DIGITALE

TRASFERISCE L'INFORMAZIONE DA UNA SORGENTE DIGITALE AD UN SINK

# SISTEMA DI COMUNICAZIONE ANALOGICO

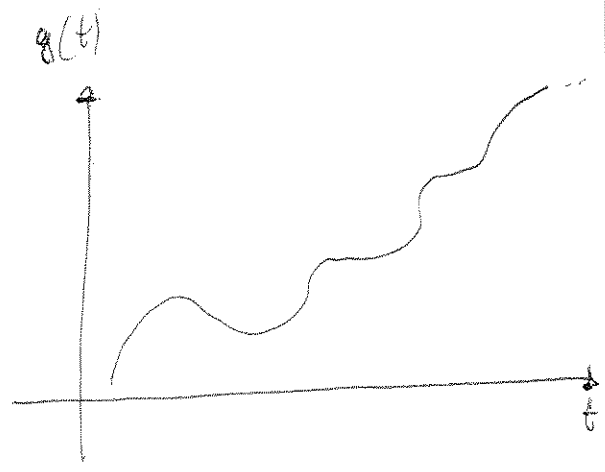
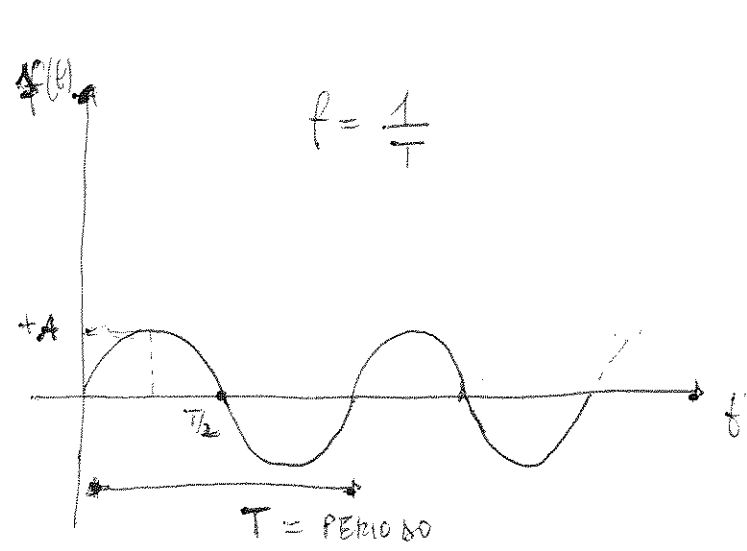
TRASFERISCE L'INFORMAZIONE DA UNA SORGENTE ANALOGICA AD UN SINK

## INFORMAZIONE

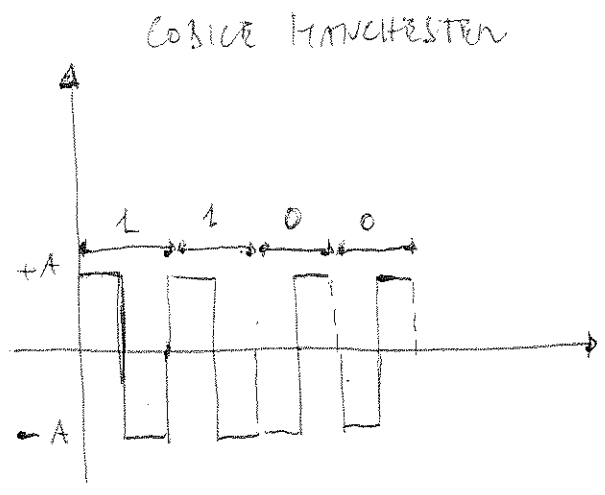
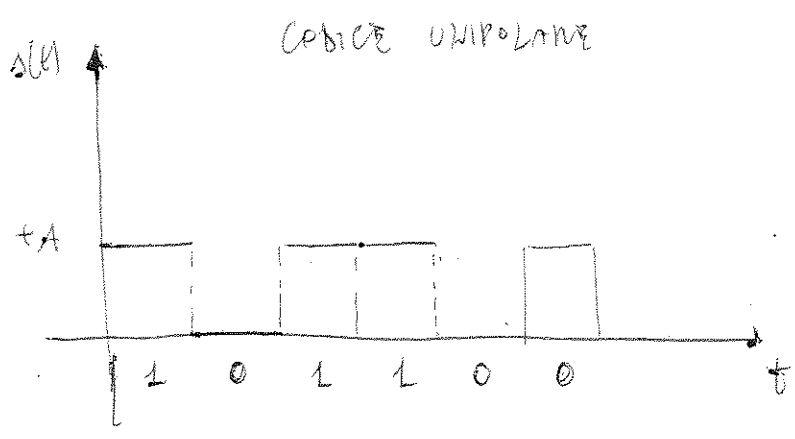
DA UN PUNTO DI VISTA ELETTRICO RAPPRESENTA UN CONTENUTO GENERATO ATTRAVERSO UNA FORMA D'ONDA (FUNZIONE DEL TEMPO)

INFORMATIVO  
SEGNALE CORRENTE  
SEGNALE TENSIONE

## FORMA D'ONDA ANALOGICA



## FORMA D'ONDA DIGITALE



## DIFFERENZA TRA SISTEMA ELETTRICO E SISTEMA DI COMUNICAZIONE

②

- NEL SISTEMA ELETTRICO, IN GENERALE, LE FORME D'ONDA SONO CONOSCIUTE A PRIORI E LA PROGETTAZIONE DEL SISTEMA TIRA A RIVOLVERE LA PERDITA DI EFFICIENZA
- NEL SISTEMA DI COMUNICAZIONE LA FORMA D'ONDA CHE ARRIVA AL RICEVITORE È SCONOSCIUTA (ALTRIMENTI NON CI SAREBBE SCAMBIO DI INFORMAZIONI) E IL SISTEMA PROGETTATO DEVE ESSERE ROBUSTO E CAPACE DI ADATTARSI ALLE ALTERNANZIIONI INTRODOTTE DAL RUMORE (DISTURBO)

## VANTAGGI COMUNICAZIONE DIGITALE

1. Circuiti digitali relativamente poco costosi
2. Privacy può essere offerta attraverso l'"ENCRYPTION"
3. Dati provenienti dalla voce, video e dati possono essere unificati e trasmessi sullo stesso sistema digitale (MULTIPLEXING)
4. Per sistemi di comunicazione a lunga distanza il rumore non si accumula da ripetitore a ripetitore
5. Gli errori sui dati rilevati possono essere piccoli anche in presenza di "GRANDE RUMORE" sul segnale ricevuto
6. Gli errori possono essere corretti attraverso l'uso della "CODIFICA" CODING.

## SVANTAGGI COMUNICAZIONE DIGITALE

1. IN GENERALE È RICHIESTA PIÙ BANDE RISPETTO AI SISTEMI ANALOGICI
2. È RICHIESTA LA SINCRONIZZAZIONE

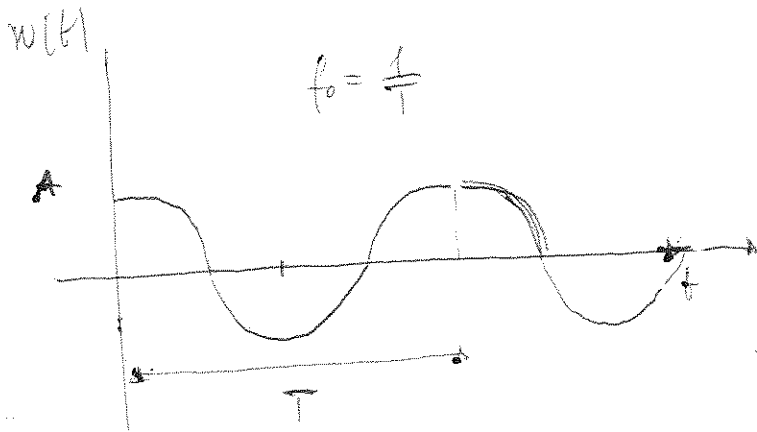
# Forma d'onda Deterministica

$$w(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

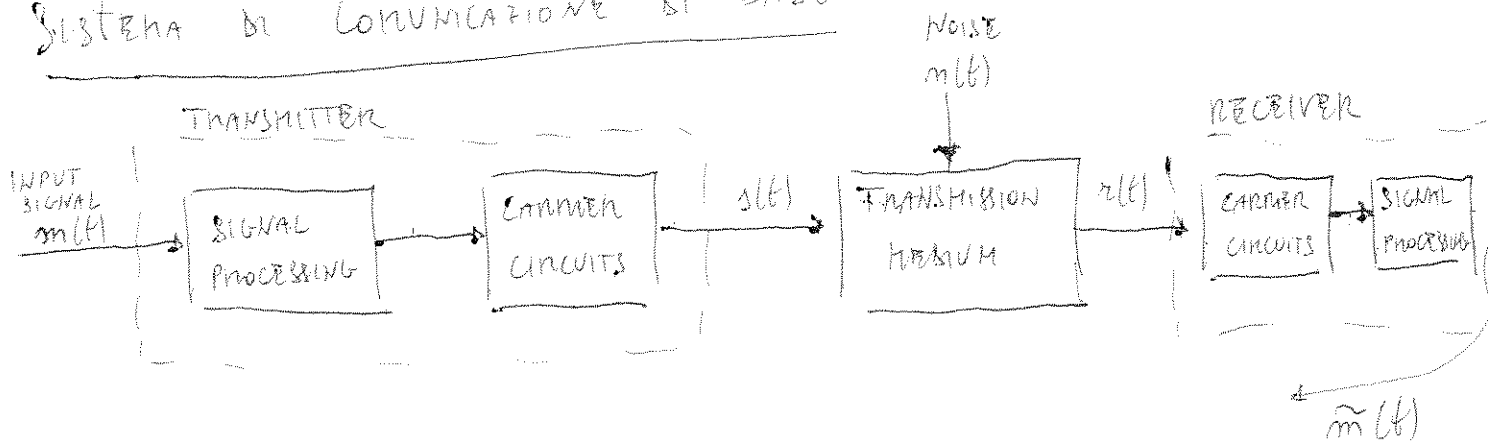
$\omega_0$  = pulsazione angolare

$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

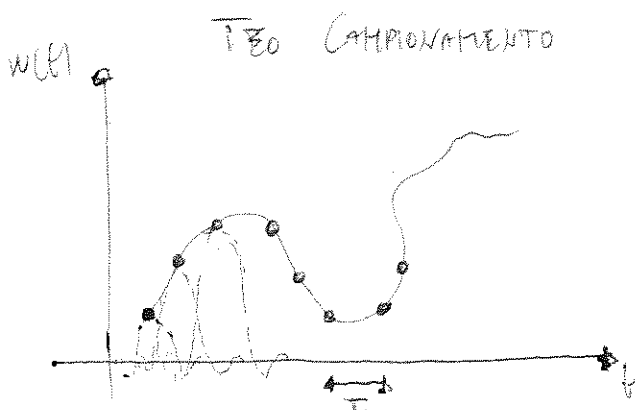
$\varphi_0$  = fase dell'onda



## SISTEMA DI COMUNICAZIONE DI BASE



## Contenuto Frequenziale di un Segnale



$$\Rightarrow w(t) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_m \frac{\sin[\pi f_s (t - \frac{m}{f_s})]}{\pi f_s (t - \frac{m}{f_s})}$$

$T_s$  = SAMPLING TIME

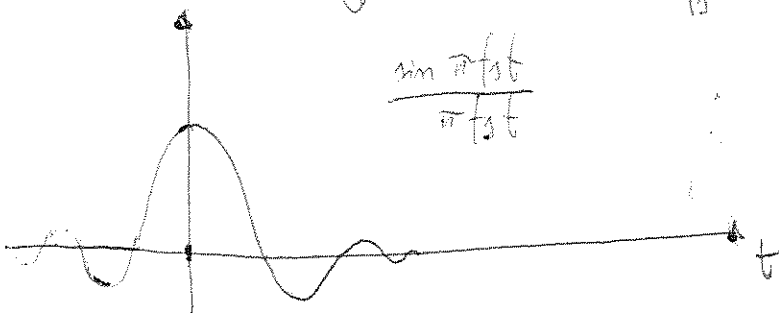
$$f_s = \frac{1}{T_s} = \text{freq. di campionamento}$$

$$\frac{\sin \pi f_s t}{\pi f_s t}$$

$$a_m = f_s \int_{-\infty}^{+\infty} w(t) \frac{\sin[\pi f_s (t - \frac{m}{f_s})]}{\pi f_s (t - \frac{m}{f_s})} dt$$

SE  $w(t)$  è A BANDA LIMITATA

$$a_m = w\left(\frac{m}{f_s}\right)$$

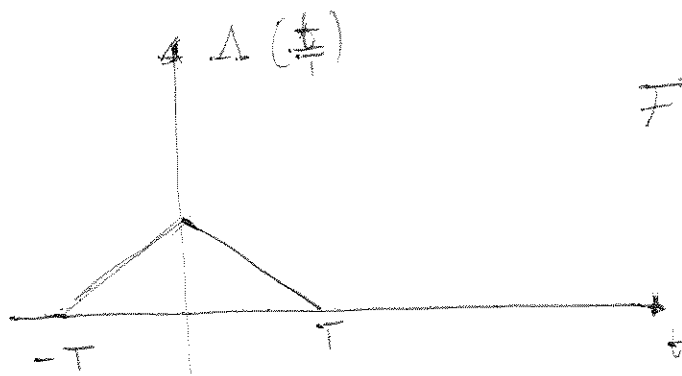
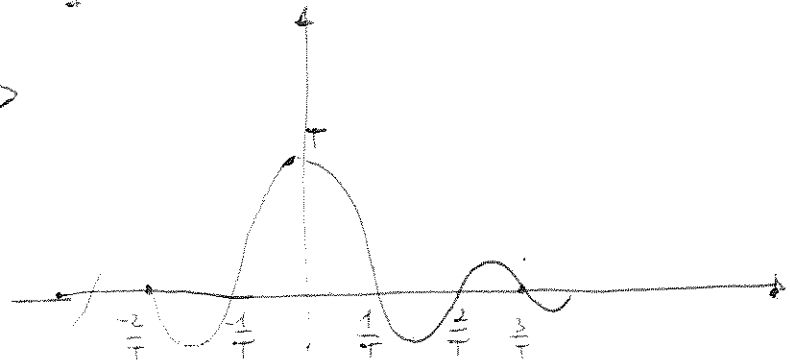
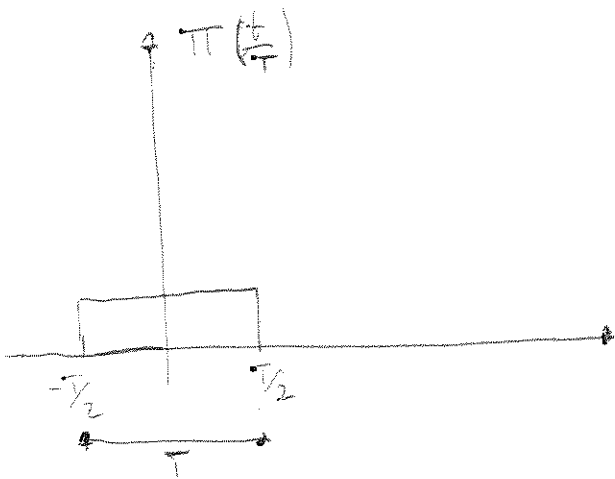


# Contenuto Frequenziale Forma d'onda

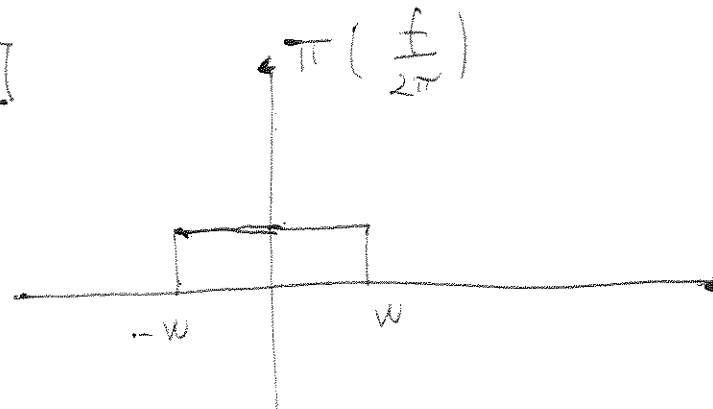
(4)

Trasformata di Fourier è uno strumento matematico che mappa le funzioni nel dominio del tempo in funzioni nel dominio della frequenza

$$\mathcal{F}\left[\pi\left(\frac{t}{T}\right)\right] = T \text{Sa}(\pi T f)$$



$$\mathcal{F}\left[\Delta\left(\frac{t}{T}\right)\right]$$



$$\pi\left(\frac{t}{T}\right) \triangleq \begin{cases} 1 & |t| \leq \frac{T}{2} \\ 0 & |t| > \frac{T}{2} \end{cases}$$

$$\Delta\left(\frac{t}{T}\right) \triangleq \begin{cases} 1 - \frac{|t|}{T}, & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$

La serie di Fourier è uno strumento matematico che mappa una periodica funzione nel dominio del tempo (segnale) in una serie di infinite onde armoniche:

$$w(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega_0 t) \quad \left. \begin{matrix} a_n \\ b_n \end{matrix} \right\} \begin{matrix} \text{coefficienti di} \\ \text{Fourier} \end{matrix}$$

## BANDE DI UN SEGNALE

(5)

IL CONTENUTO FREQUENZIALE DI UN SEGNALE CONSENTE DI VALUTARE LA BANDE (B) DEL SEGNALE STESSO. LA BANDE DEL SEGNALE IDENTIFICA QUEL RANGE DI FREQ. DOVE LO SPETTRO DEL SEGNALE HA VALORE NON NULLO (RANGE CHE RAPPRESENTA IL CONTENUTO FREQ. ESSENZIALE PER LA RICOSTRUZIONE DEL SEGNALE STESSO)  $\Rightarrow W(f) = \mathcal{F}[w(t)] = 0$  PER  $|f| \geq B$

## FREQUENZA DI Nyquist

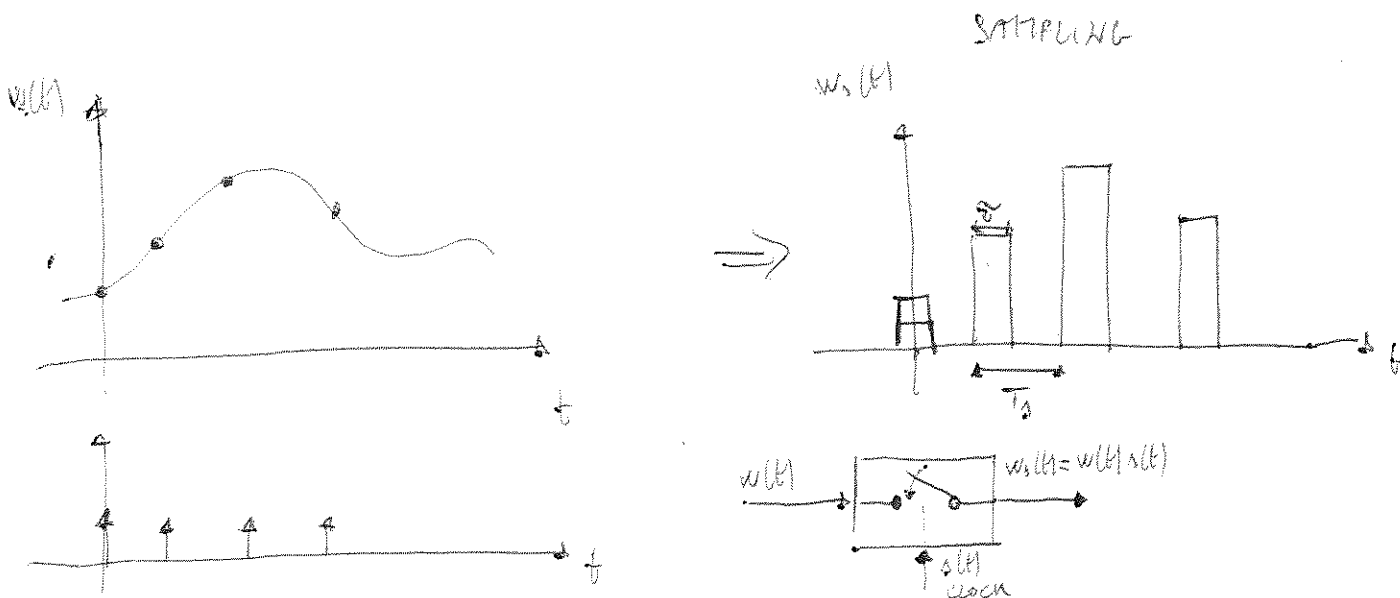
$$(f_s)_{\min} = 2B$$

SE LA FORMA D'ONDA E' DEFINITA NELL'INTERVALLO  $T_0$  IL NUMERO DI CAMPIONI MINIMI PER COSTRUIRE L'ONDA E' IL SEGUENTE

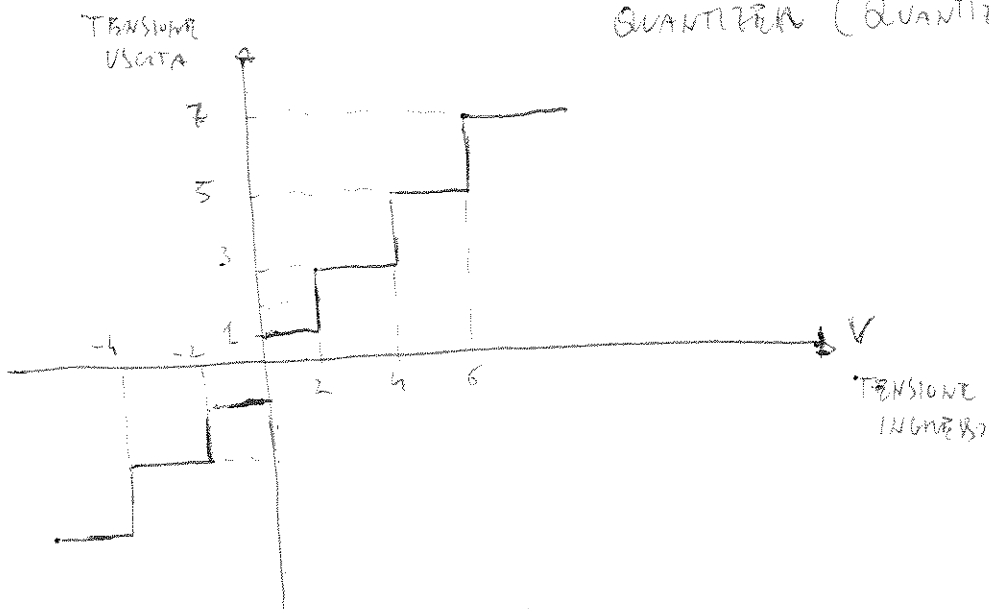
$$N = \frac{T_0}{1/f_s} = f_s T_0 \geq 2B T_0$$

$$N \geq 2B T_0$$

## TRASFORMAZIONE DA SEGNALE ANALOGICO A SEGNALE DIGITALE



# QUANTIZZAZIONE (QUANTIZATION)

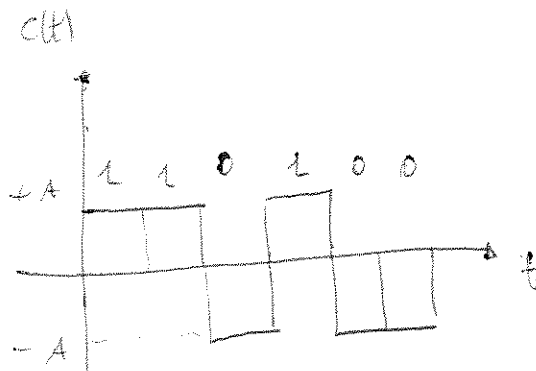
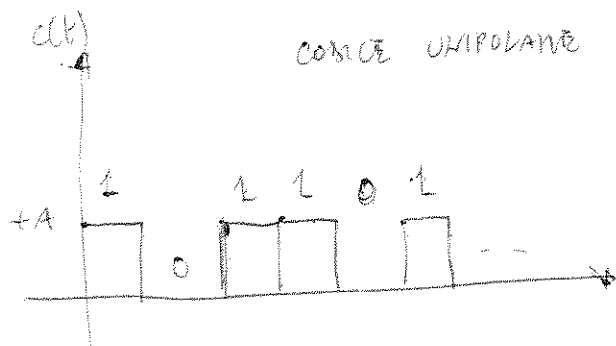


## CODING

+7	110	-1	000
+5	111	-3	001
+3	101	-5	011
+1	100	-7	010

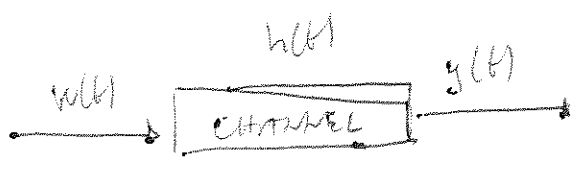
## COME RAPPRESENTARE I BIT ??

IL MODO IN CUI RAPPRESENTARE "1" E "0" E' DEFINITO NELLA "CONSEGNA DI LINEA"



IL CANALE COME FILTRO

SISTEMI DINAMICI LINEARI STAZIONARI



$$y(t) = w(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} w(\tau) h(t-\tau) d\tau$$

CONVOLUZIONE NEL CONTINUO

$h(t)$  = RISPOSTA ALL' IMPULSO (RISPOSTA DEL SISTEMA A SEGUITO DI UNA SOLLECITAZIONE IMPULSIVA)

$\mathcal{F}\{h(t)\}$  = FUNZIONE DI TRASFERIMENTO =  $H(f)$

CONVOLUZIONE DISCRETA

$$w(n) * h(n) \triangleq \sum_{m=-\infty}^{+\infty} w(m) h(n-m)$$

se  $w$  e  $h$  sono DISCRETE

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

$H(f)$  DETERMINA LA DINAMICA DEL SISTEMA. SE IL SISTEMA È CARATTERIZZATO DA UN CANALE DI COMUNICAZIONE  $H(f)$  DETERMINA LA DINAMICA DEL CANALE (COME IL CANALE RISPONDE ALLE SOLLECITAZIONI O SEGNALI IN INGRESSO)

BANDA BASE E BANDA PASSANTE

I SEGNALI PRESENTI IN NATURA (UNA GRAN PARTE DI ESSI) HA CONTENUTI FREQUENZIALI IN BANDA BASE. TUTTAVIA PUÒ CONVENIRE TRASLARE I SEGNALI A DELLE FREQUENZE LONTANE DALL'ORIGINE (BANDA PASSANTE)

# Spettro di Frequenze

3-30 kHz	VLF (Very Low Frequency)	GROUND WAVE	COMUNICAZIONE SOTTOACQUA LONG RANGE NAVIGATION
30-300 kHz	LF (Low Frequency)	ASSORBIMENTO SOTTO IL GIORNO	II RADIO BEACONS
300-3000 kHz	MF (Medium Frequency)	MIGHT SKY WAVE	AM BROADCASTING
3-30 MHz	HF (High Freq.)		RADIO AMATORI, COMUNICAZIONI MILITARI, COMUNICAZIONI NAVI, TELEFONO, TELEGRAFIO
30-300 MHz	VHF (Very High Freq.)		VHF TELEVISION, FET AM AIRCRAFT COMMUNICATION
0,5 - 3 GHz	UHF (Ultra High freq.)	LOS	UHF TELEVISION, TELEFONO CELLULARE, RADAR, MICROONDE
Etc. ....			SISTEMI DI COMUNICAZIONI PERSONALI

# Spettro di Frequenze

$x(t) \xrightarrow{FT} W(f)$ 

$$W(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x(t)] e^{-j\omega t} dt \quad \text{con } \omega = 2\pi f$$

$$W(f) = X(f) + j Y(f)$$

RAPPRESENTAZIONE CARTESIANA

$$W(f) = |W(f)| e^{j\theta(f)}$$

$$|W(f)| = \sqrt{X^2(f) + Y^2(f)} \quad \theta(f) = \tan^{-1} \left( \frac{Y(f)}{X(f)} \right)$$

Antitrasformata di Fourier  $\Rightarrow x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} W(f) e^{j\omega t} df$



# Segnale impulsivo $\delta(t)$

$$x(t) = \sum_{i=1}^N a_i \delta(t - \tau_i) \Rightarrow y(t) = \sum_{i=1}^N a_i h(t - \tau_i)$$



$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \delta(t - \tau) d\tau \Rightarrow y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

## Densità Spettrale di ~~Potenza~~ Energia

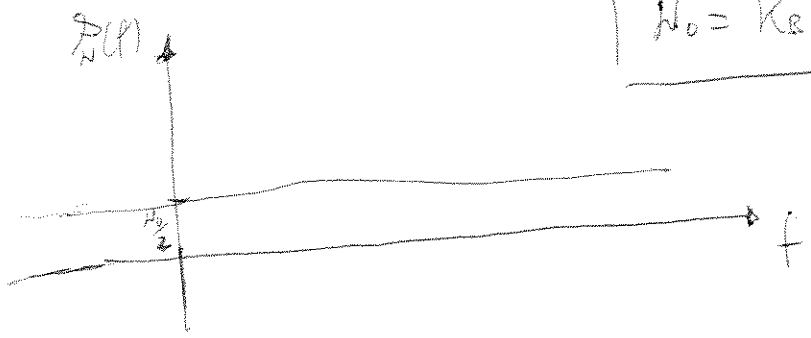
$$E(f) = |W(f)|^2 \Rightarrow E = \int_{-\infty}^{+\infty} E(f) df$$

Energia associata al segnale importante per capire contenuto energetico del segnale

Densità Spettrale di Potenza  $\Rightarrow P_w(f) \triangleq \lim_{T \rightarrow \infty} \left( \frac{|W_T(f)|^2}{T} \right)$

## Rumore Bianco Gaussiano

$$P_w(f) = \frac{N_0}{2}$$



$N_0 = k_B T_e$   $\Rightarrow$  costante di Boltzmann  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Joule/Kelvin}$   
 $T_e \approx 4K$

## Filtri Lineari (Canali senza distorsione)



$$y(t) = A x(t - T_d) \quad T_d = \text{propagation delay}$$

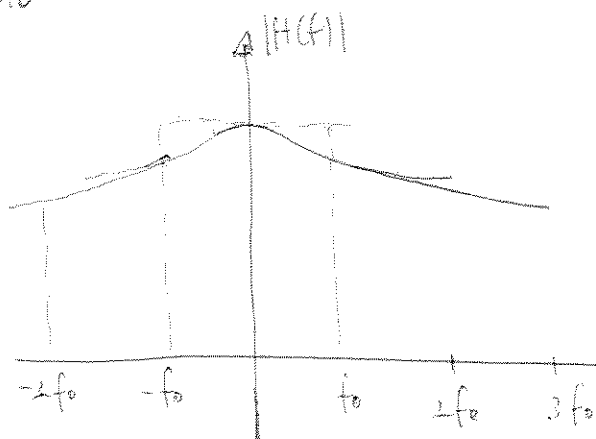
### CONDIZIONI DI LINEARITA' DEL FILTRO

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = A e^{-j\omega T_d}$$

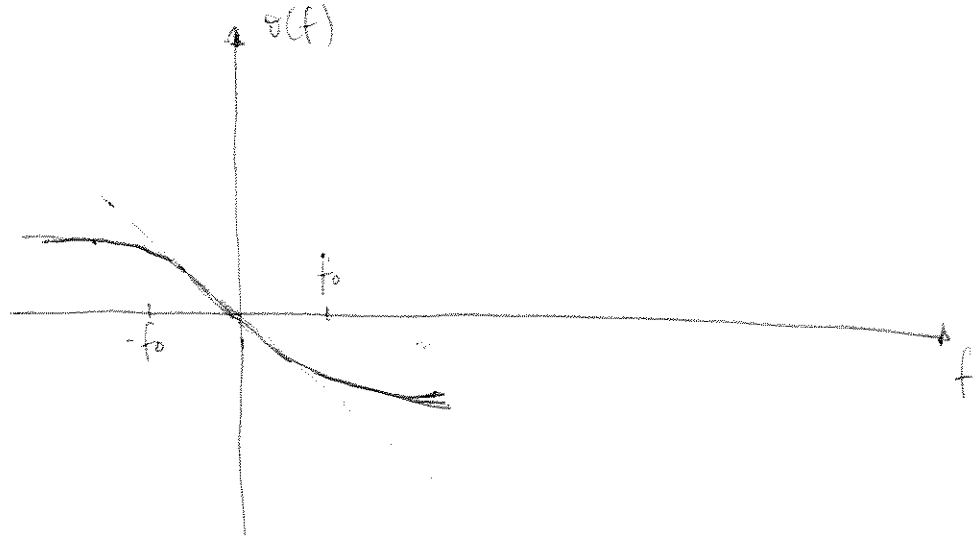
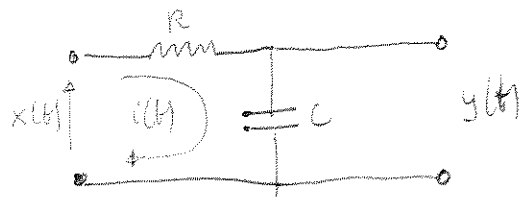
1.  $H(f) = \text{costante} = A$

2.  $\theta(f) = \angle H(f) = -\underbrace{2\pi f T_d}_\omega$  FUNZIONE LINEARE DELLA FREQUENZA

### ESEMPIO



CIRCUITO RC



### Effetti del canale di comunicazione

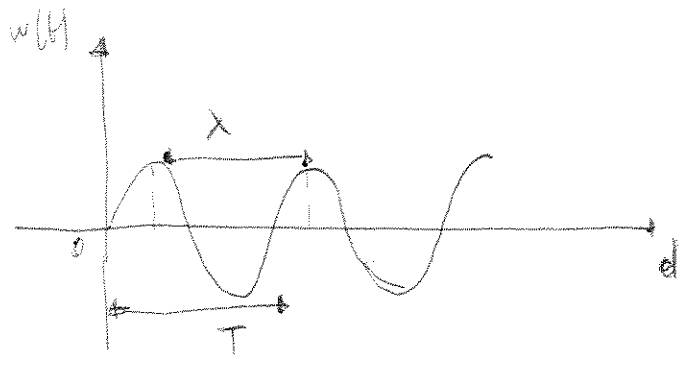
1. INTRODUZIONE DI RITARDO DI PROPAGAZIONE  $D_p$
2. INTRODUZIONE FATTORE DI GUADAGNO  $A$  (POTREBBE RIBUNNE LA FORMA D'ONDA)
3. ~~TRASLAZIONE~~ <sup>ALTERAZIONE</sup> FREQUENZIALE  $f + \Delta f$
4. Effetto Doppler (Shift di FREQUENZA)

- 5. DISTORSIONE DEL SEGNALE IN AMPIEZZA E FREQUENZA (LINEARE E NON LINEARE)
- 6. ALTERNANZA DELLA FASE DEL SEGNALE
- 7. RITARDO DI TRASMISSIONE  $D_t$  (E' LEGATO ALLA BANCA DEL CANALE E ALLE RISORSE ALLOCATE)
- 8. ~~Multi~~ Path Loss (DECADIMENTO DI POTENZA)
- 9. Multipath FADING (SEPARAZIONE DEL SEGNALE IN MOLTEPLICI COMPONENTI)

DEFINIZIONE LUNGHEZZA D'ONDA

$\lambda = \frac{c}{f}$        $c =$  VELOCITA' LUCE NEL MEZZO

LE DIVERSE CARATTERISTICHE DEI MEZZI TRASMISSIVI DETERMINA DIVERSE VELOCITA' DELLA LUCE NEL MEZZO  $c_i$



DECADIMENTO DI POTENZA

LEGGE DI FRIS

$P_{RX}(d) = P_{TX} G_{TX} G_{RX} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$

$\left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 =$  FATTORE DI PERDITA (PATH LOSS)

$G_{TX}$  e  $G_{RX}$  = RISPETTIVAMENTE GUADAGNI ANTENNE IN TRASMISSIONE E RICEZIONE

NELLA LEGGE DI FRIS IL DECADIMENTO E' QUADRATICO MA NELLA REALTA' SI POSSONO AVERE DECADIMENTI PIU' SEVERI  $\sim d^{-4}, d^{-5}, \dots$

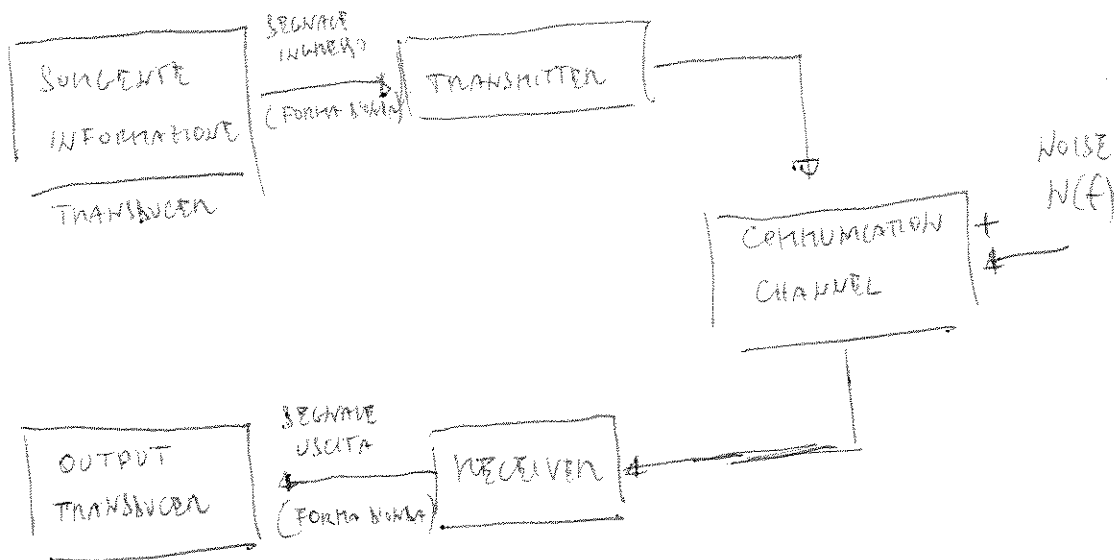
# TIPOLOGIE DI ANTENNA

ANTENNE OMNI DIREZIONALI, ARRAY DI ANTENNE, ANTENNE STENEABLE,  
ANTENNE PATCH, ANTENNE DI HORNE ETC.



DIVERSI GUADAGNI, DIVERSE DIMENSIONI, DIVERSE FREQ. SUPPORTATE  
DIVERSI PATTERN DI RADIATIONE

## SISTEMA IN TRASMISSIONE (COMUNICAZIONE)



QUANTI SEGNALE POSSONO ESSERE INVIATI SU UN CANALE? (MULTIPLEXING)

CHE DISTANZA DI COMUNICAZIONE PUO' ESSERE SUPPORTATA?

QUANTO VERRA' DEGRADATA LA COMUNICAZIONE?



RAPPORTO SEGNALE / RUMORE  $\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$

IMPORTANTE PER VALUTARE LE PERFORMANCE DEL SISTEMI DI COMUNICAZIONE (CASO ANALOGICO)

Bit Error Rate (TASSO PERDITA BIT)  $(E_b)_{dB}$

NEL CASO DIGITALE