



Marco Listanti

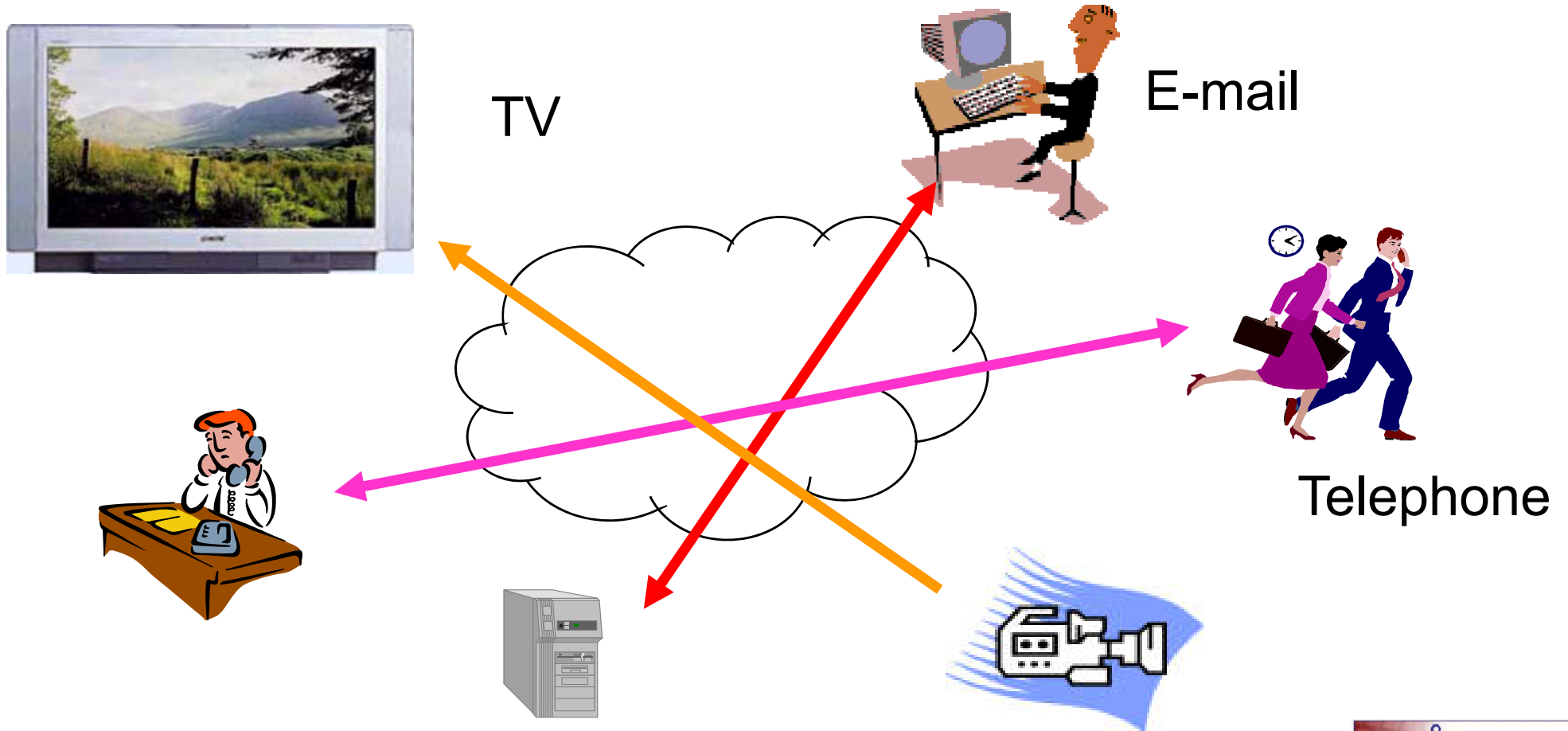
Lo strato Fisico

Parte 1

Rappresentazione digitale dell'informazione

Digital Networks

- La tecniche di trasmissione digitale abilitano la rete al trattamento di qualsiasi flusso informativo



Obiettivi e problemi

- **Come ridurre il tempo di trasmissione di un "messaggio" (testo, immagine) ?**
 - Qual è la lunghezza di un "messaggio" ?
 - Quali vincoli che devono essere rispettati nella trasmissione di un "messaggio" ?

- **Può una rete gestire chiamate vocali o video ?**
 - Qual è la banda richiesta per il supporto di una chiamata vocale o video ?
 - Quali sono i vincoli di qualità che devono essere soddisfatti ?

- **Qual è il tempo necessario a trasferire un messaggio senza errori ?**
 - Per quale motivo si verificano errori in trasmissione ?
 - come è possibile rivelare e correggere gli errori in trasmissione ?

- **Qual è la banda disponibile nei vari mezzi trasmissivi (rame, fibra, radio, ecc.) ?**

Informazione a Blocchi vs. Stream

■ Informazione a blocchi

- L'informazione è naturalmente strutturata in unità indipendenti (blocchi)

- Text message
- Data file
- JPEG image
- MPEG file

■ Dimensione (size)

- numero di bit (byte) per blocco

■ Informazione Stream

- Informazione prodotta e trasmessa in modo continuo

- Real-time voice
- Streaming video

■ Bit rate

- misura la quantità di bit prodotti dalla sorgente in una unità di tempo



Delay di trasferimento di un messaggio

- L numero di bit in un messaggio
 - R velocità del sistema di trasmissione (bit/s)
 - t_{prop} tempo di propagazione lungo il mezzo trasmissivo
 - d lunghezza del collegamento
 - c velocità di propagazione sul mezzo trasmissivo (3×10^8 m/s nel vuoto, 2×10^8 m/s nei mezzi guidati)
-
- L si riduce mediante **tecniche di compressione**
 - R si aumenta mediante adeguate **tecniche di trasmissione**
 - d si riduce riducendo la lunghezza del collegamento (spesso impossibile...)

$$\text{Delay minimo} = t_{prop} + L/R = d/c + L/R$$

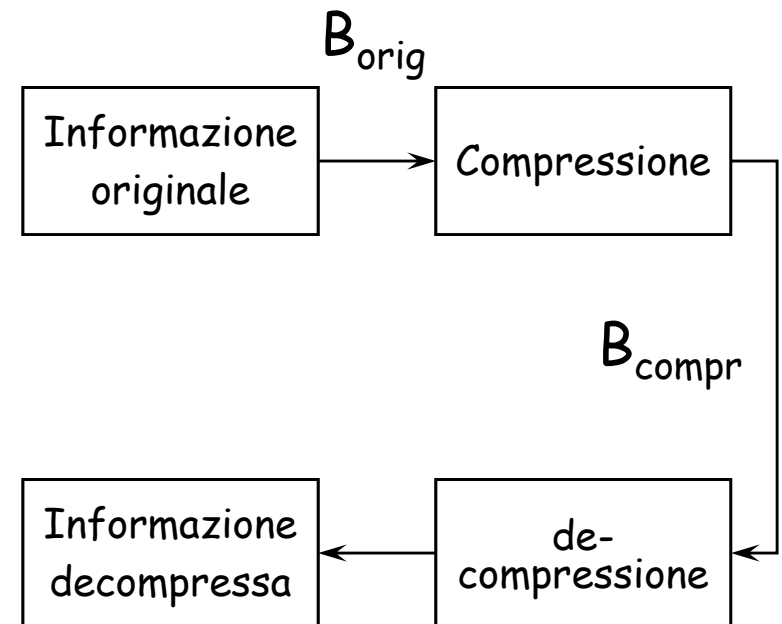
Compressione

■ Algoritmi di compressione dati

- Riducono il numero di bit necessari alla rappresentazione dell'informazione riducendo la ridondanza
- **Senza perdita** (Lossless): l'informazione originale è ricostruita esattamente
 - zip, GIF, fax
- **Con perdita** (lossy): l'informazione decompressa non è identica all'originale
 - JPEG

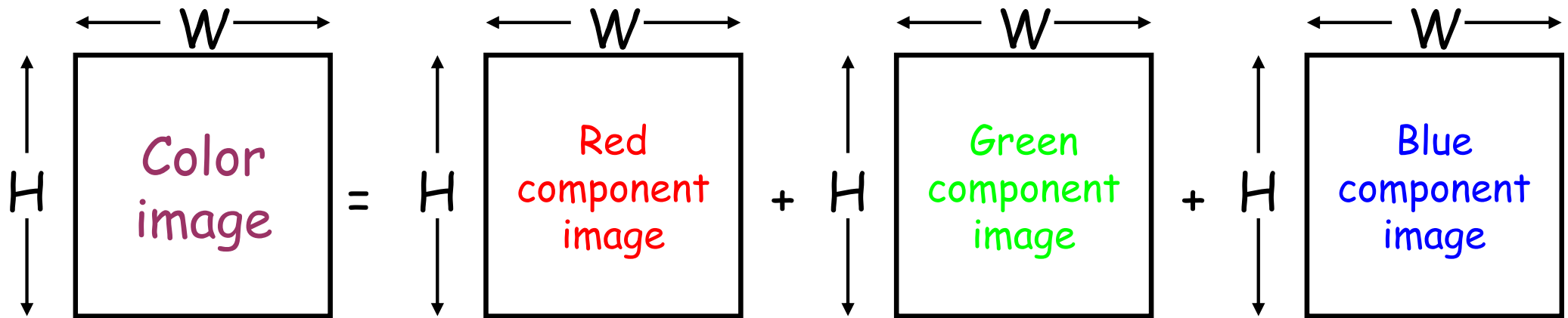
■ Rapporto di compressione (Compression Ratio) (R_c)

- $R_c = B_{orig} / B_{compr}$ (#bits file originale / #bits file compresso)
- Compromesso tra numero di bit e qualità



$$R_c = \frac{B_{orig}}{B_{compr}} > 1$$

Immagine a colori



$$B_{\text{orig}} = 3 \times H \text{ pixel} \times W \text{ pixel} \times B \text{ bit/pixel} = 3 \cdot H W B \text{ bit}$$

Esempio: 8 × 10 inch picture a 400 × 400 pixel per inch²

$$400 \times 400 \times 8 \times 10 = 12.8 \cdot 10^6 \text{ pixels}$$

8 bits/pixel/color

$$12.8 \cdot 10^6 \text{ pixel} \times 3 \text{ byte/pixel} = 38.4 \text{ megabyte}$$

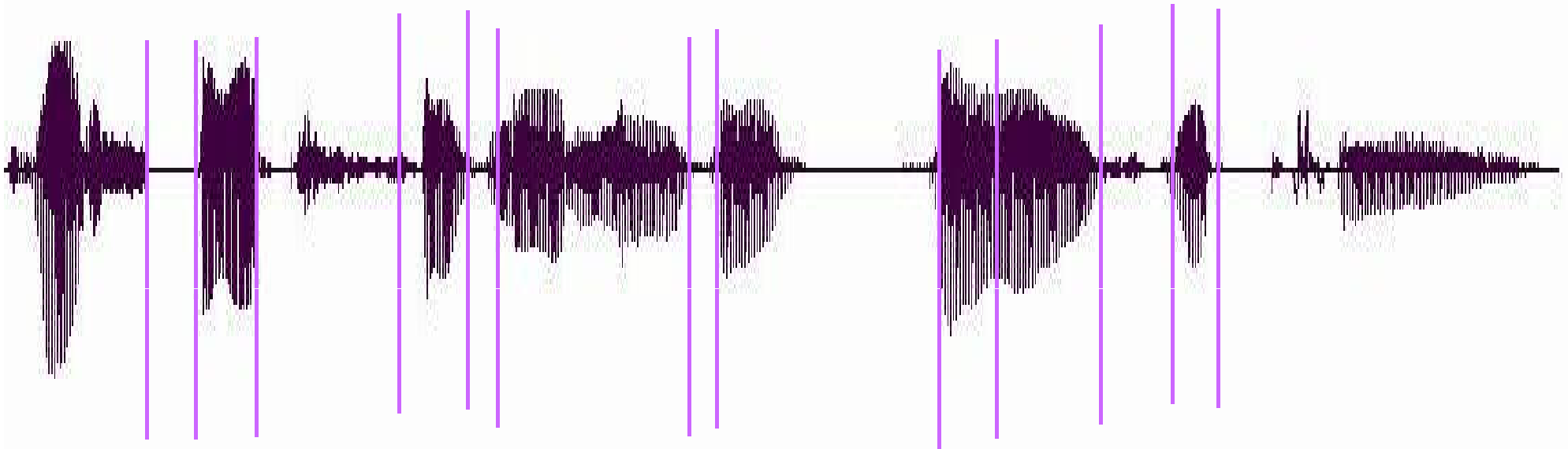


Esempi di informazione a blocchi

Tipo	Metodo	Formato	Originale	Compressed Ratio
Text	Zip	ASCII	Kbyte-Mbyte	$2 < R_c < 6$
Fax	CCITT Group 3	A4 page 200x100 pixel/in ²	256 kbyte	5-54 kbyte ($5 < R_c < 50$)
Immagine a Colori	JPEG	8x10 in ² photo 400 ² pixel/in ²	38.4 Mbyte	1-8 Mbyte ($5 < R_c < 30$)

Stream Information

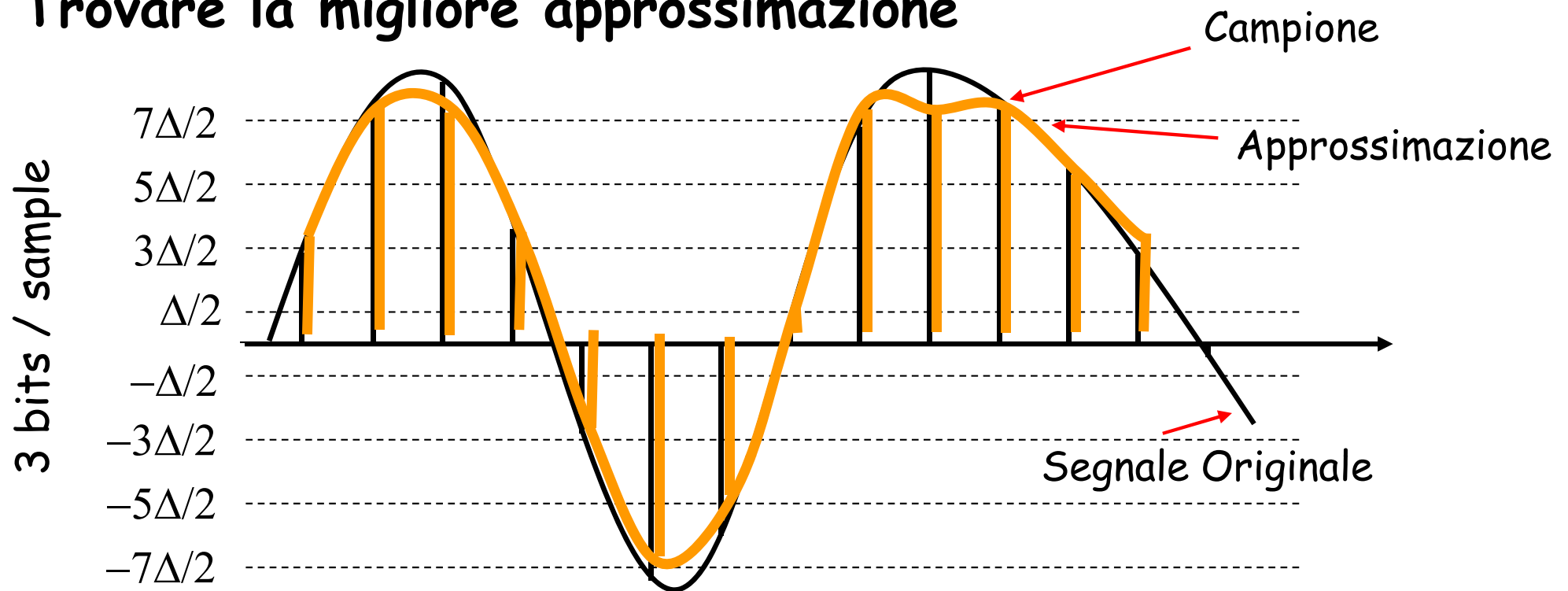
- Un segnale vocale nella forma originale è di tipo analogico
- Un segnale vocale deve essere digitalizzato e trasmesso in tempo reale : **Campionamento e Codifica** (Sampling and Coding)
- Il livello del **segnale analogico** varia nel tempo



The speech signal level varies with time

Digitalizzazione di segnali analogici

- **Campionamento** (sampling) del segnale analogico nel tempo e **codifica** (coding) dell'ampiezza dei campioni
- Trovare la migliore approssimazione



$$R_s = \text{Bit rate} = \# \text{ bit/sample} \times \# \text{ sample/second}$$

Bit rate dei segnali digitalizzati

- **Larghezza di banda (Bandwidth) W_s (Hz)**
 - indica quanto "velocemente" il segnale varia nel tempo
 - Maggiore bandwidth → campioni più frequenti
 - Frequenza di campionamento minima → $F_c = 2 \cdot W_s$
- **Accuratezza della rappresentazione**
 - Maggiore accuratezza → numero maggiore di bit per campione (minore rumore di quantizzazione)

Esempio: Voce & Audio

Codifica vocale (Telefonia)

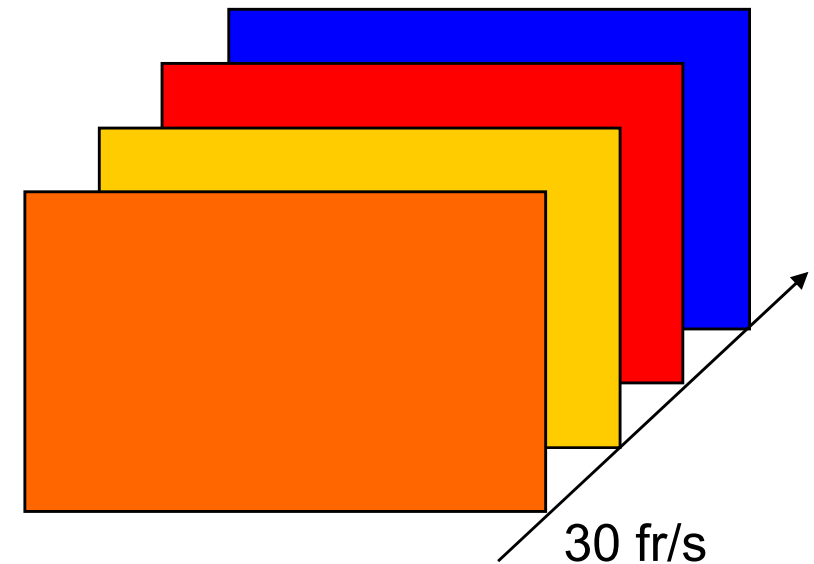
- $W_s = 4 \text{ kHz} \rightarrow 8000 \text{ samp./sec}$
- 8 bit/sample
- $R_s = 8 \times 8000 = 64 \text{ kbit/s}$
- Nella telefonia mobile si usano codifiche con maggiore rapporto di compressione
 - $R_s = 8-12 \text{ kbit/s}$

CD Audio

- $W_s = 22 \text{ kHz} \rightarrow 44000 \text{ samp./sec}$
- 16 bit/sample
- $R_s = 16 \times 44000 = 704 \text{ kbps per canale}$
- MP3 usa una codifica con maggiore rapporto di compressione
 - $R_s = 50 \text{ kbit/s per canale audio}$

Segnale video

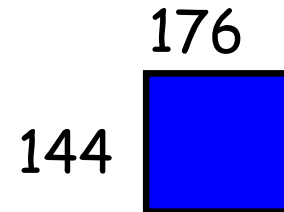
- Sequenza di “quadri” (**picture frame**)
 - ogni picture è digitalizzata e compressa
- Frequenza di ripetizione delle frame
 - 10-30-60 frame/sec in relazione all'obiettivo di qualità
- Risoluzione di ogni picture (**Frame resolution**)
 - Bassa risoluzione per servizio di videoconferenza
 - Risoluzione maggiore per servizio broadcast TV
 - HDTV frames



$$\text{Rate} = M \text{ bits/pixel} \times (W \times H) \text{ pixel/frame} \times F \text{ frame/second}$$

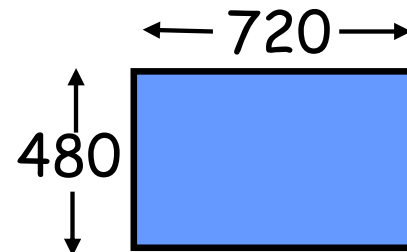
Frame Video

QCIF videoconferenza



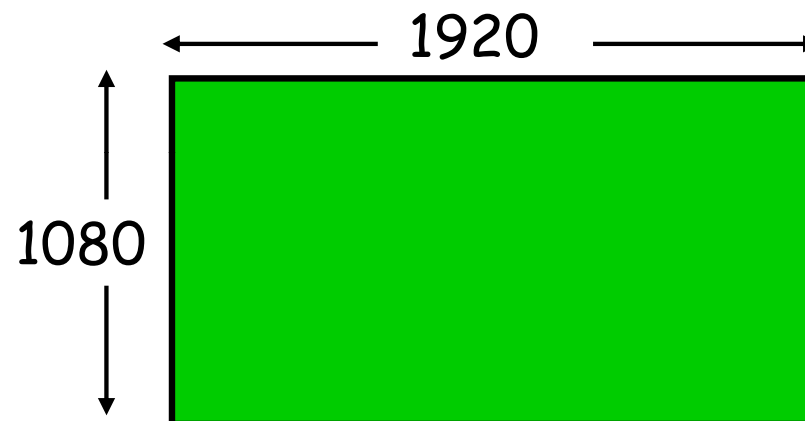
$$\begin{aligned} 30 \text{ frame/sec} &= \\ &= 760,000 \text{ pixel/sec} = \\ &= 0.760 \cdot 10^6 \text{ pixel/sec} \end{aligned}$$

Broadcast TV



$$\begin{aligned} 30 \text{ frame/sec} &= \\ &= 10.4 \times 10^6 \text{ pixel/sec} \end{aligned}$$

HDTV



$$\begin{aligned} 30 \text{ frames/sec} &= \\ &= 67 \times 10^6 \text{ pixels/sec} \end{aligned}$$

Digital Video Signals

Tipo	Metodo	Formato	Originale	Compresso
Video Confer-enza	H.261	176x144 or 352x288 pix a 10-30 fr/sec	2-36 Mbit/s	64-1544 kbit/s
Full Motion	MPEG2	720x480 pix a 30 fr/sec	249 Mbit/s	2-6 Mbit/s
HDTV	MPEG2	1920x1080 a 30 fr/sec	1.6 Gbit/s	19-38 Mbit/s

Tipologia di informazioni stream

■ Constant bit-rate (CBR)

■ Flussi informativi a bit rate costante

- Es. sorgente telefonica produce un flusso stream a rate costante 64 kbit/s

■ La rete deve fornire un canale di comunicazione con banda almeno uguale al bit rate della sorgente

- Es. Rete telefonica: canali di comunicazione (circuiti) a 64 kbit/s



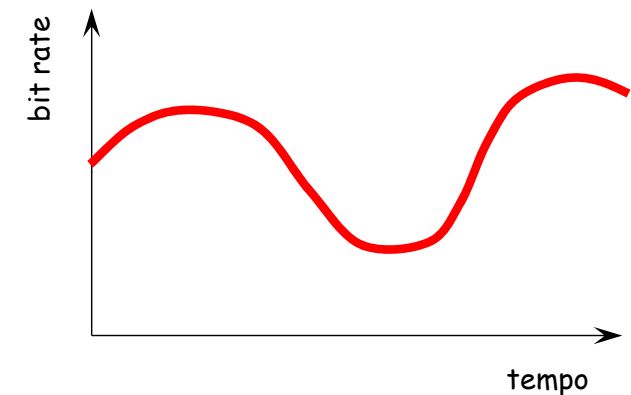
■ Variable bit-rate (VBR)

■ Flussi informativi con bit rate variabile nel tempo

- Es. sorgente video a qualità costante produce un flusso in cui il bit rate varia in funzione del movimento tra due picture consecutive

■ La rete deve supportare in modo efficiente la variabilità del bit rate

- Es. commutazione di pacchetto o rate-smoothing



Parametri di qualità per servizi di tipo Stream

- Possibili problemi introdotti dal transito in rete (**Network Impairments**)
 - Ritardo (**Delay**)
 - Per ogni servizio occorre individuare il vincolo sul ritardo massimo di attraversamento della rete
 - Variabilità del ritardo (**Jitter**)
 - Per ogni servizio occorre individuare il vincolo sulla variabilità massima consentita del ritardo di attraversamento della rete
 - Perdita di informazioni (**Loss**)
 - Per ogni servizio occorre individuare il vincolo sul percentuale massima di bit persi (per errori o congestione) sul totale dei bit trasmessi (**Probabilità di perdita**)
 - I protocolli di trasferimento sono progettati per gestire questi problemi



Introduzione alle trasmissioni numeriche

Schema di un sistema di trasmissione



■ Trasmettitore

- Converte il flusso informativo prodotto da una sorgente in un **segnale** adatto alla trasmissione
- Trasmette il segnale nel mezzo trasmissivo/canale di comunicazione

■ Ricevitore

- Riceve il segnale dal mezzo trasmissivo/canale di comunicazione
- Converte il segnale ricevuto in una forma utilizzabile dall'utente finale (destinazione)

Transmission Impairments



■ Canale di Comunicazione

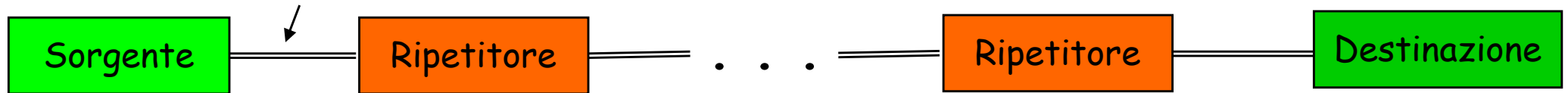
- Coppie simmetriche
- Cavi coassiali
- Radio
- Fibra ottiche
- Light in air
- Infrarossi

■ Transmission Impairments

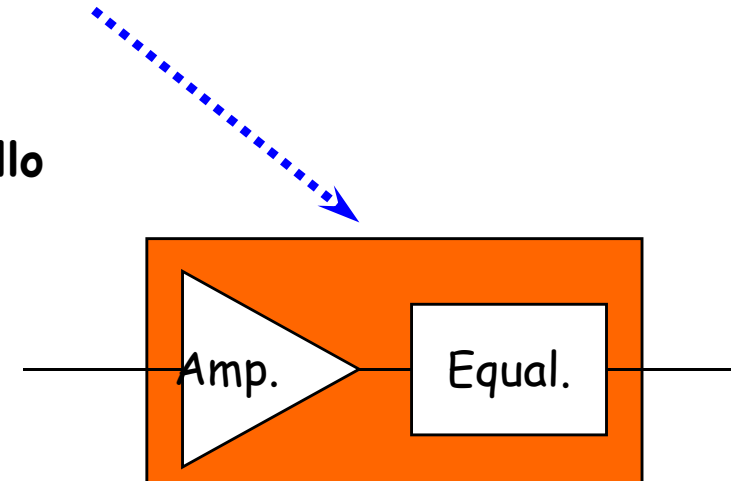
- Attenuazione del segnale
 - Distorsione del segnale
 - Rumore additivo
 - Interferenza con altri segnali
- I transmission impairments limitano la lunghezza del collegamento

Trasmissioni analogiche a lunga distanza

Tratta Trasmissiva



- Ogni ripetitore ha lo scopo di rigenerare il segnale in uscita in modo che sia quanto più possibile simile a quello ricevuto in ingresso
- La rigenerazione è non ideale
 - Le distorsioni non sono completamente eliminate
 - Il rumore e le interferenze sono solo parzialmente rimosse
- La qualità del segnale diminuisce al crescere del numero di ripetitori
- Le comunicazioni analogiche sono **distance-limited**
- Analogia
 - Copie multiple di una cassetta musicale



Analog vs. Digital Transmission

Trasmissioni analogiche

- tutti i dettagli del segnale devono essere ricostruiti accuratamente



Trasmissioni numeriche

- devono essere ricostruiti solo i livelli discreti del segnale
- l'impulso originale era positivo o negativo ?

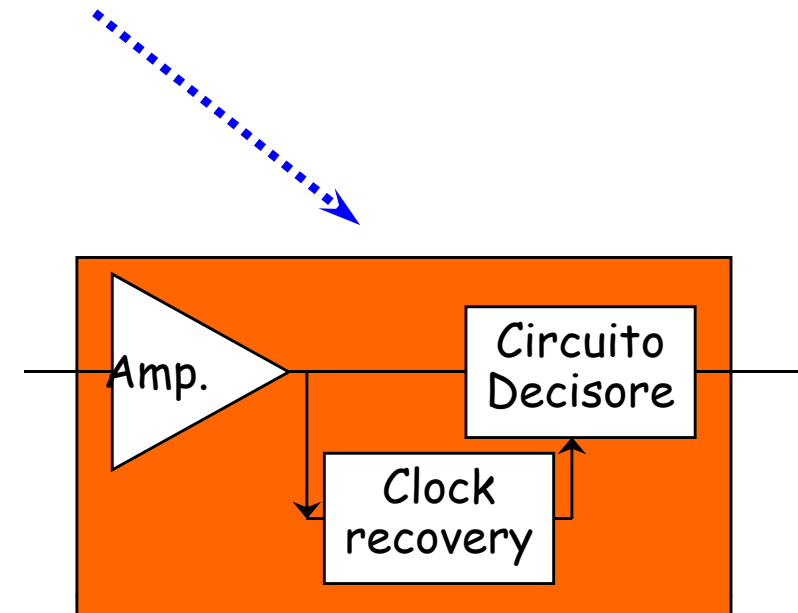


Trasmissione numeriche a lunga distanza

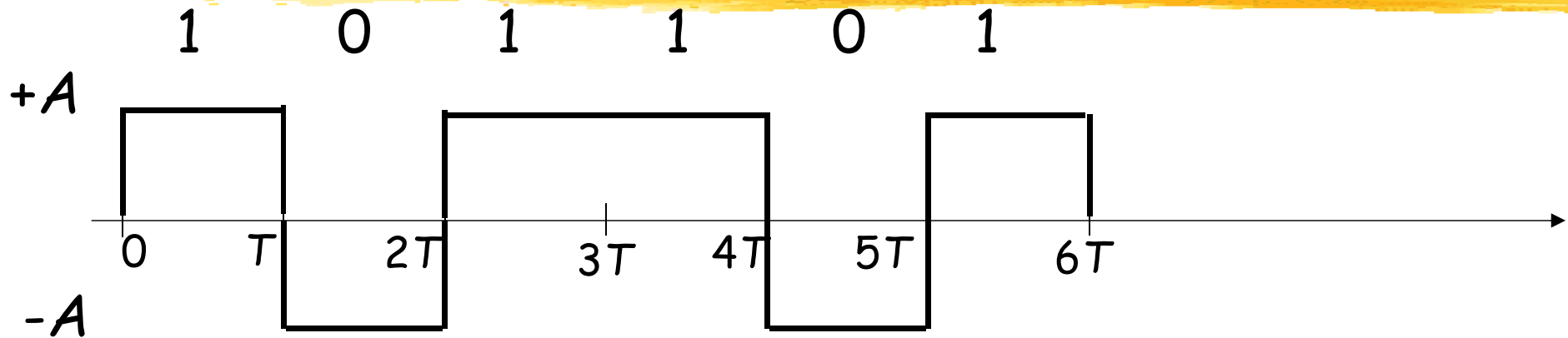
Tratta Trasmissiva



- **Un rigeneratore ricostruisce la sequenza iniziale di bit e la ritrasmette sulla tratta successiva**
 - E' possibile progettare un rigeneratore in modo che la probabilità di errore sia piccola
 - Il segnale rigenerato è in pratica identico a quello originale
- **Analogia**
 - copie multiple di un file MP3
- **Le comunicazioni numeriche sono possibili anche a lunghissima distanza**
- **Sistemi numerici vs. sistemi analogici**
 - Minore potenza, distanze maggiori, costi ridotti
 - Funzioni più semplici di monitoraggio, multiploazione, codifica, ecc.



Segnale numerico binario



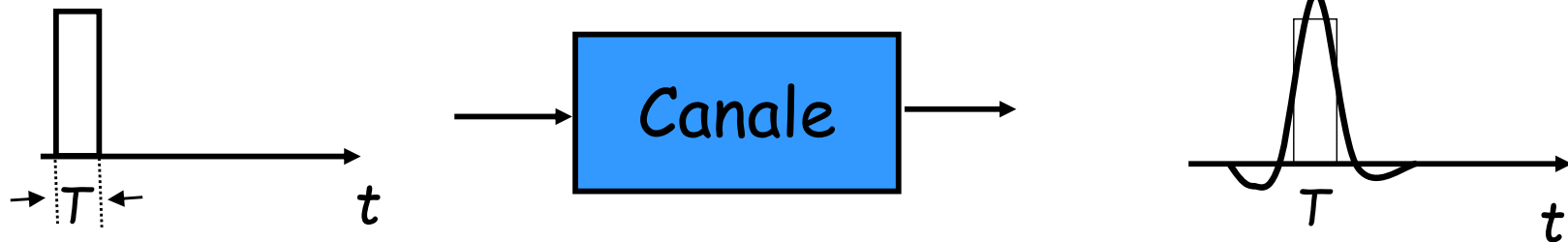
$$\text{Bit rate} = 1 \text{ bit} / T \text{ seconds} = 1/T$$

- Per uno specifico mezzo trasmissivo
 - Come possiamo aumentare il bit rate in trasmissione ?
 - Come possiamo ottenere un trasferimento affidabile ?
 - Ci sono limiti al bit rate e all'affidabilità della trasmissione ?

Trasmissione ad impulsi

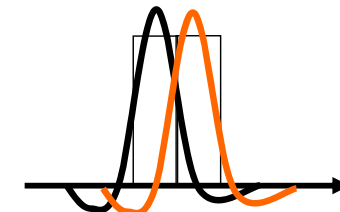
Obiettivo

- Rendere massimo il rate di trasmissione degli impulsi in un canale, ovvero rendere T il più piccolo possibile



Se in ingresso è trasmesso un impulso di breve durata, l'uscita sarà un impulso **allargato** e **arrotondato**

- due impulsi consecutivi possono sovrapporsi tra loro



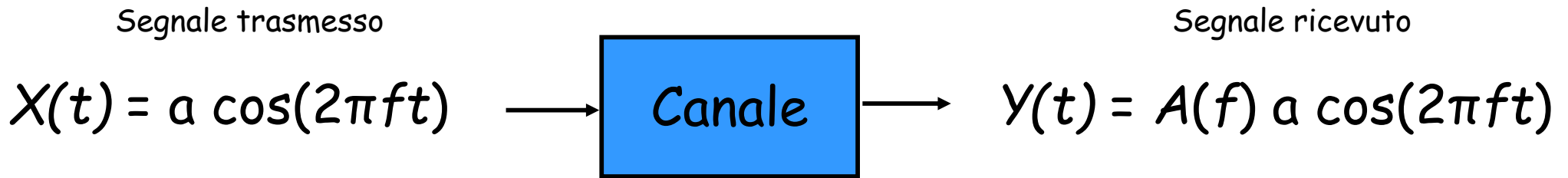
Domanda

- qual è la frequenza massima F di trasmissione degli impulsi in modo che non ci sia interferenza tra loro ?

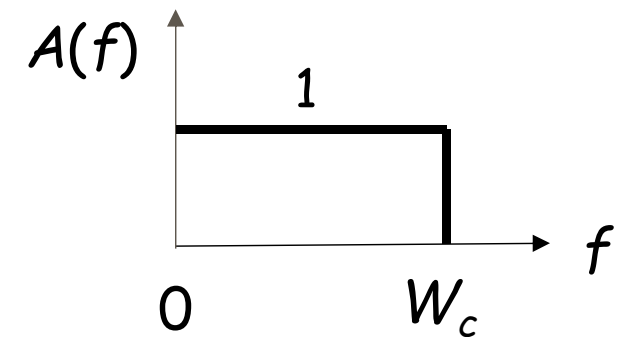
Risposta

- $F = 2 \cdot W_c$ impulsi/secondo
- dove W_c è la larghezza di banda del canale (**Bandwidth**)

Larghezza di banda di un canale trasmissivo



- Se il segnale di ingresso ad un canale è una sinusoide di frequenza f allora
 - l'uscita sarà una sinusoide della stessa frequenza f
 - attenuata di un fattore $A(f)$ che dipende dalla frequenza f
 - $A(f) \approx 1$, il segnale transita inalterato
 - $A(f) \approx 0$, il segnale è bloccato
- La larghezza di banda W_c è definita come l'intervallo di frequenze per cui $A(f) \approx 1$



Canale passa
basso ideale

Trasmissione ad impulsi multilivello

- Si consideri un canale con larghezza di banda W_c e una trasmissione ad un rate $2W_c$ impulsi/s (senza interferenza)
- Se l'ampiezza degli impulsi può assumere due valori ($-A$ o $+A$), ogni impulso può rappresentare un solo bit informativo, quindi
 - Bit Rate = 1 bit/impulso $\times 2 \cdot W_c$ impulsi/sec = $2 \cdot W_c$ bit/s
- Se l'ampiezza degli impulsi può assumere valori appartenenti all'insieme $\{-A, -A/3, +A/3, +A\}$, ogni impulso può rappresentare 2 bit quindi
 - Bit Rate = 2 bit/impulso $\times 2 \cdot W_c$ impulsi/sec = $4 \cdot W_c$ bit/s
- Se il segnale può assumere $M = 2^m$ livelli, si ha
 - Bit Rate = m bit/impulso $\times 2 \cdot W_c$ impulsi/sec = $2 \cdot m \cdot W_c$ bit/s
- In assenza di rumore il bit rate può essere incrementato aumentando il valore di m (livelli del segnale)
 - Attenzione: aumentando m si riduce la distanza tra livelli adiacenti



Trasmissione multilivello (PAM)

- **Raggruppa i bit in parole di dimensione $N=\log_2 M$**
 - M: numero di livelli
 - N: numero di bit trasmessi in un unico impulso
- **Assegna ad ogni parola di N bit un livello tra gli M disponibili**
 - I livelli adiacenti corrispondono a parole di codice che differiscono per un solo bit (Codifica di Gray)
 - Un errore tra due livelli adiacenti comporta un errore su un solo bit
- **Esempio**
 - N=3 000; 001; 011; 010; 110; 111; 101; 100



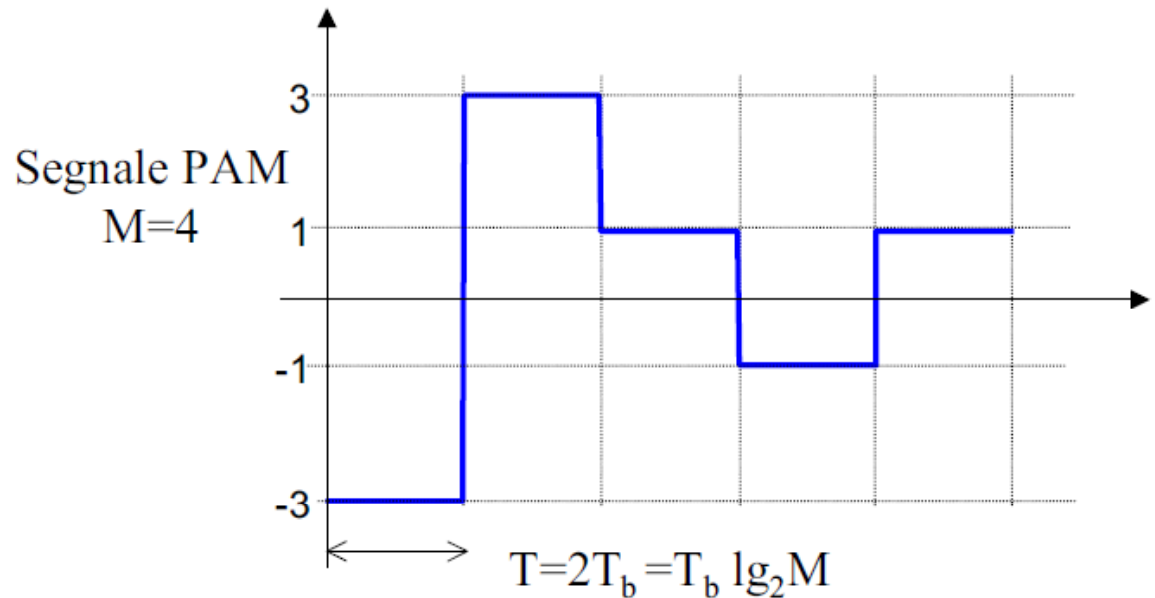
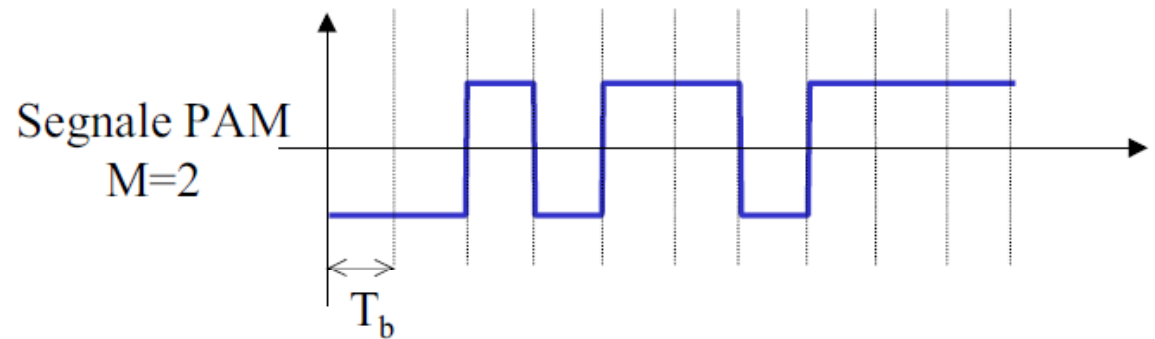
Trasmissione multilivello (PAM)

■ Esempio

- Immaginiamo di voler trasmettere la sequenza binaria [0010110111], utilizzando un sistema PAM a $M=4$ livelli

$b_{k-1}b_k$	a
0 0	-3
0 1	-1
1 1	+1
1 0	+3

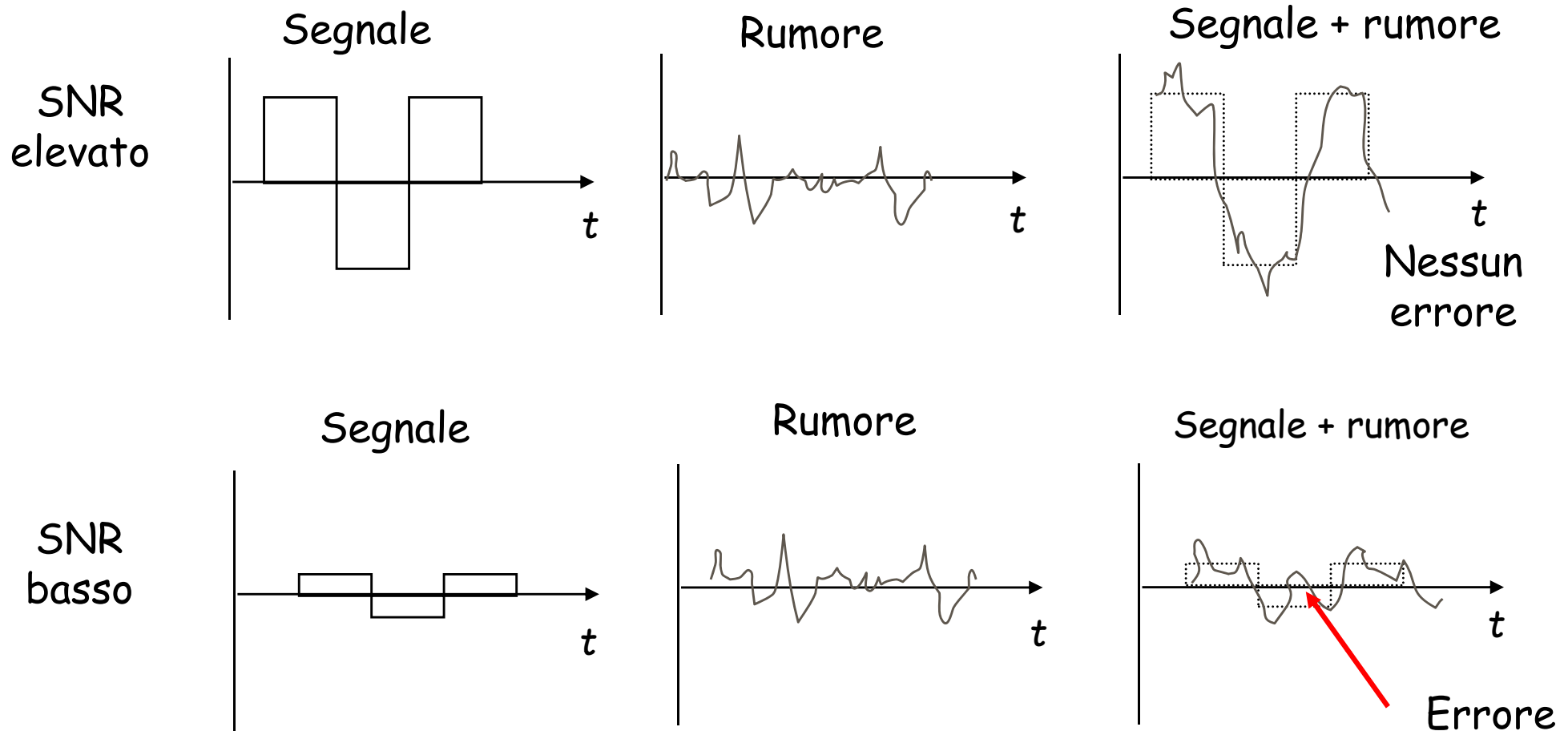
b_k 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1



Rumore

- Tutti i sistemi fisici introducono rumore
 - Gli elettroni vibrano a temperature superiori allo zero assoluto, il moto degli elettroni introduce rumore
- La presenza di rumore limita l'accuratezza della misura dell'ampiezza del segnale ricevuto
- L'effetto del rumore è modellabile come un segnale additivo rispetto al segnale utile
- Una misura del rumore consiste nel rapporto segnale-rumore (signal-to-noise ratio) (SNR)
- Gli errori nella rivelazione del segnale ricevuto appaiono quando la separazione tra i livelli del segnale è comparabile con il livello di rumore
- Il Bit Error Rate (BER) aumenta quando diminuisce l'SNR
- Il rumore pone un limite al numero di livelli che possono essere utilizzati nella trasmissione di impulsi e quindi un limite al bit rate in trasmissione

Signal-to-Noise Ratio



$$\text{SNR} = \frac{\text{Potenza media del segnale}}{\text{Potenza media del rumore}}$$

$$\text{SNR (dB)} = 10 \log_{10} \text{SNR}$$

Limite di Shannon alla capacità di un canale

$$C_{max} = W_c \cdot \log_2 (1 + SNR) \quad \text{bit/s}$$

- C_{max} (capacità massima di canale) è una funzione della larghezza di banda e del rapporto segnale rumore
- Se il bit rate di trasmissione R è inferiore a C_{max} ($R < C_{max}$) è possibile ottenere un BER arbitrariamente piccolo
 - è necessario introdurre una codifica di linea opportuna
- Se $R > C_{max}$, non è possibile ridurre il BER a valori arbitrariamente piccoli
- La capacità C_{max} può essere utilizzata come una misura di riferimento per stabilire quanto un sistema di trasmissione reale è vicino alle migliori prestazioni possibili

Esempio

- Calcolare la capacità limite di Shannon per un canale di comunicazione telefonico con $W_c = 3400$ Hz and $SNR = 10000$

$$\begin{aligned} C &= W_c \log_2 (1 + SNR) = 3400 \log_2 (1 + 10000) = \\ &= 3400 \log_{10} (10001) / \log_{10} 2 = 45200 \text{ bit/s} = \\ &= \mathbf{45.2 \text{ kbit/s}} \end{aligned}$$

Si osservi che $SNR = 10000$ corrisponde a
 $SNR \text{ (dB)} = 10 \log_{10}(10000) = \mathbf{40 \text{ dB}}$



Bit rate in sistemi di trasmissione numerici

Sistema	Bit Rate	Osservazioni
Telephone twisted pair	33.6-56 kbit/s	4 kHz telephone channel
Ethernet twisted pair	10 Mbps, 100 Mbit/s	100 meters of unshielded twisted copper wire pair
Cable modem	500 kbps-4 Mbps	Shared CATV return channel
ADSL twisted pair	64-640 kbps in, 1.536-6.144 Mbit/s out	Coexists with analog telephone signal
2.4 GHz radio	2-11 Mbit/s	IEEE 802.11 wireless LAN
28 GHz radio	1.5-45 Mbit/s	5 km multipoint radio
Optical fiber	2.5-40 Gbit/s	1 wavelength
Optical fiber	>1600 Gbit/s	Many wavelengths

Esempi di canali trasmissivi

Channel	Bandwidth	Bit Rate
Canale telefonico	3 kHz	33 kbit/s
Coppia simmetrica	1 MHz	1-6 Mbit/s
Cavo coassiale	500 MHz (6 MHz per canale)	30 Mbit/s/ channel
5 GHz radio (IEEE 802.11)	300 MHz (11 channels)	54 Mbit/s / channel
Fibra ottica	Molti TeraHertz	40 Gbit/s / wavelength