

Francesca Cuomo

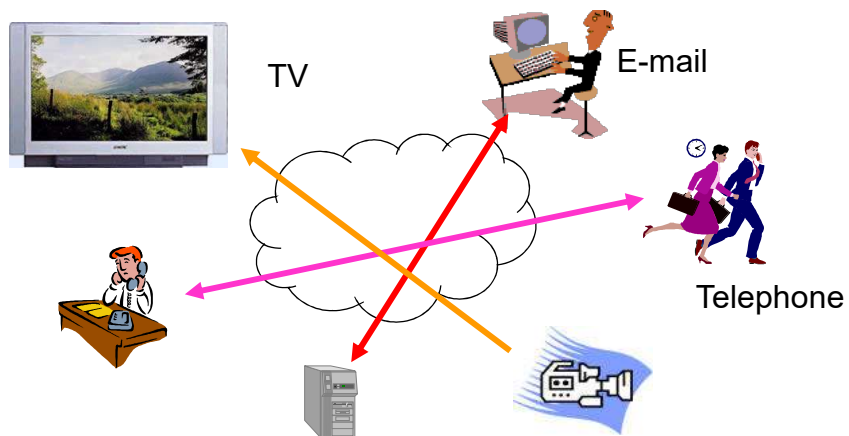
# Lo strato Fisico

## Parte 1

### Rappresentazione digitale dell'informazione

## Digital Networks

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



3

## Obiettivi e problemi

- **Come ridurre il tempo di trasmissione di un "messaggio" (testo, immagine) ?**
  - Qual è la lunghezza di un "messaggio" ?
  - Quali sono i 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.) ?**

4

## Informazione a Blocchi vs. Stream

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>Informazione a blocchi</b></li> <li>■ <b>L'informazione è naturalmente strutturata in unità indipendenti (blocchi)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Text message</li> <li>■ Data file</li> <li>■ JPEG image</li> <li>■ MPEG file</li> </ul> </li> <li>■ <b>Dimensione (size)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ numero di bit (byte) per blocco</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>Informazione Stream</b></li> <li>■ <b>Informazione prodotta e trasmessa in modo continuo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Real-time voice</li> <li>■ Streaming video</li> </ul> </li> <li>■ <b>Bit rate</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ misura la quantità di bit prodotti dalla sorgente in una unità di tempo</li> </ul> </li> </ul> |
|--|---|

5

## 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  
( $3 \times 10^8$  m/s nel vuoto,  $2 \times 10^8$  m/s nei mezzi guidati)

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

- $L$  si riduce mediante **tecniche di compressione**
- $R$  si aumenta mediante **tecniche di trasmissione**
- $d$  si riduce avvicinando sender e receiver

6

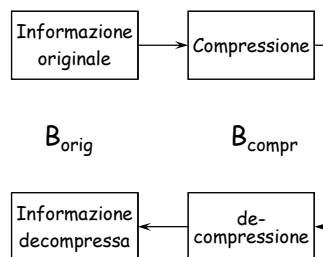
## Compressione

### ■ 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) ( $R_c$ )

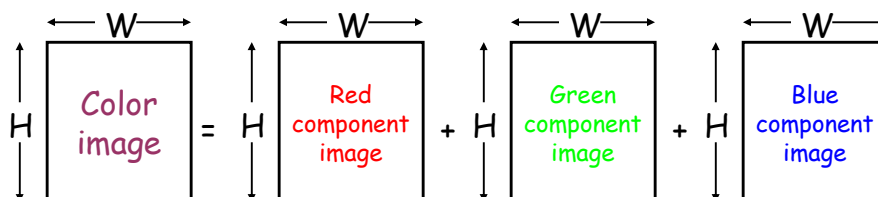
- $R_c = B_{orig}/B_{compr}$  (#bits file originale / #bits file compresso)
- Compromesso tra numero di bit e qualità



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

7

## Immagine a colori



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

Esempio:  $8 \times 10$  inch picture a  $400 \times 400$  pixel per inch<sup>2</sup>

$$400 \times 400 \times 8 \times 10 = \text{12.8 million pixels}$$

8 bits/pixel/color

$$12.8 \text{ megapixel} \times 3 \text{ byte/pixel} = \text{38.4 megabyte}$$

8

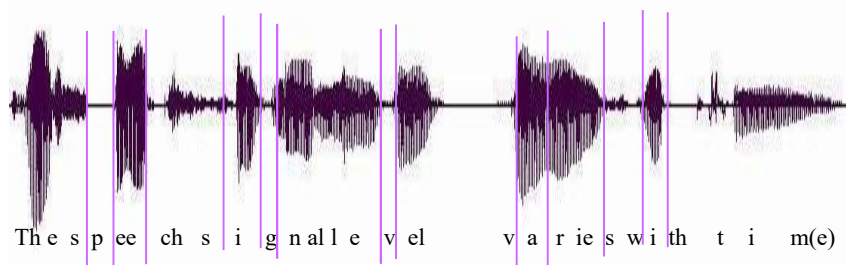
## Esempi di informazione a blocchi

| Tipo              | Metodo        | Formato   | Originale     | Compressed Ratio                 |
|-------------------|---------------|---|---------------|----------------------------------|
| Text              | Zip           | ASCII   | Kbyte-Mbyte   | $2 < R_c < 6$                    |
| Fax               | CCITT Group 3 | A4 page<br>200x100<br>pixel/in <sup>2</sup>                                   | 256<br>kbyte  | 5-54 kbyte<br>( $5 < R_c < 50$ ) |
| Immagine a Colori | JPEG          | $8 \times 10$ in <sup>2</sup> photo<br>400 <sup>2</sup> pixel/in <sup>2</sup> | 38.4<br>Mbyte | 1-8 Mbyte<br>( $5 < R_c < 30$ )  |

9

## Stream Information

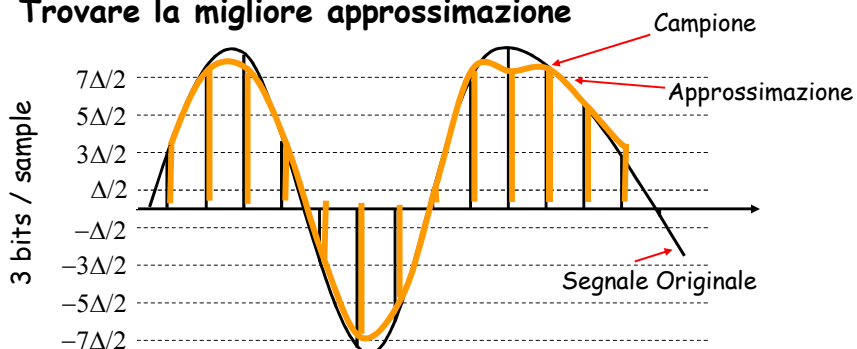
- Un segnale vocale nella forma originale è di tipo analogico
- Un segnale vocale deve essere digitalizzato e trasmesso in tempo reale
- Il livello del **segnale analogico** varia nel tempo



10

## Digitalizzazione di segnali analogici

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



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

11

## 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  $F_c = 2 \times W_s$
- **Accuratezza della rappresentazione**
  - Maggiore accuratezza
    - → minore spaziatura tra approssimazione dei campioni
    - → numero maggiore di bit per campione

12

## Esempio: Voce & Audio

### Codifica vocale (Telefonia)

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

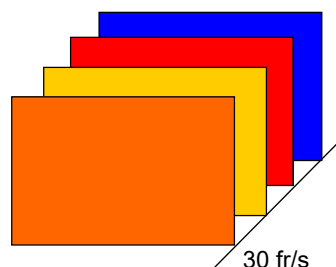
### CD Audio

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

13

## 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



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

14

## Frame Video

|                      |  |  |
|----------------------|--|--|
| QCIF videoconferenza |  | a 30 frame/sec =<br>= 760,000 pixel/sec            |
| Broadcast TV         |  | a 30 frame/sec =<br>= $10.4 \times 10^6$ pixel/sec |
| HDTV                 |  | a 30 frames/sec =<br>= $67 \times 10^6$ pixels/sec |

15

## Digital Video Signals

| Tipo             | Metodo | Formato                               | Originale   | Compresso      |
|------------------|--------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Video Conferenza | 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   |

16

## Tipologia di informazioni stream

### ■ Constant bit-rate

#### ■ 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



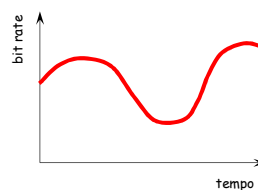
### ■ Variable bit-rate

#### ■ 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





17

## Parametri di qualità per servizi di tipo Stream

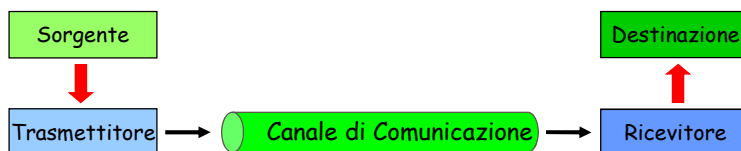
- Possibili problemi introdotti dal transito in rete (**Network Impairment**)
  - Ritardo (**Delay**)
    - Per ogni servizio occorre individuare il vincolo sul ritardo massimo di attraversamento della rete
  - Variabilità del ritardo (**Jitter**)
    - Per ogni servizio occorre individuare il vincolo 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

18

## Introduzione alle trasmissioni numeriche

19

## Schema di un sistema di trasmissione



### ■ Trasmittitore

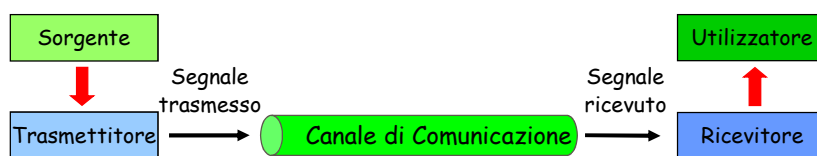
- Converte il flusso informativo prodotto da una sorgente in un **segnale** adatto alla trasmissione
- Trasmette il segnale nel mezzo trasmissivo/canale di comunicazione

### ■ Ricevitore

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

20

## 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

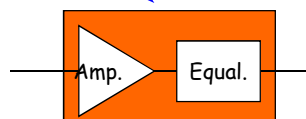
- **Limitano la lunghezza del collegamento**

21

## Trasmissioni analogiche a lunga distanza



- 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



22

## Analog vs. Digital Transmission

### ■ Trasmissioni analogiche

- tutti i dettagli del segnale devono essere ricostruiti accuratamente



### ■ Trasmissioni numeriche

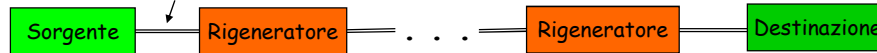
- devono essere ricostruiti solo i livelli discreti del segnale
- l'impulso originale era positivo o negativo ?



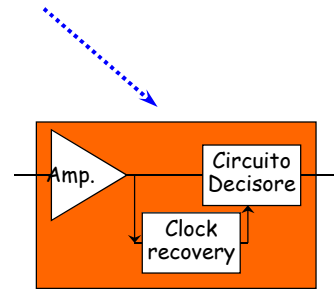
23

## Trasmissione numeriche a lunga distanza

Tratta Trasmissiva

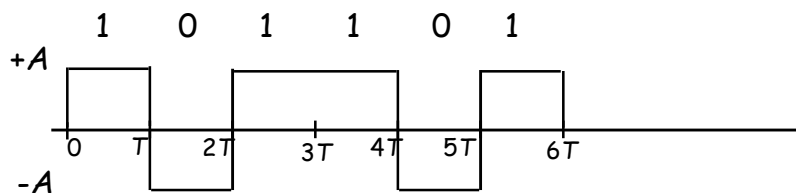


- **Un rigeneratore ricostruisce la sequenza iniziale di bit e la ritrasmette sulla tratta successiva**
  - E' possibile progettare un rigeneratore in modo che la probabilità di errore sia piccola
  - Il segnale rigenerato è in pratica identico a quello originale
- **Analogia**
  - copie multiple di 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, moltiplicazione, codifica, ecc.



24

## Segnale numerico binario



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

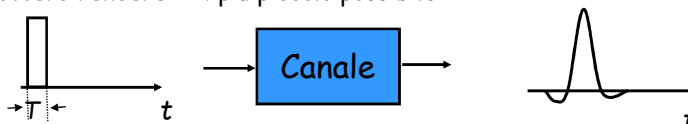
- **Per uno specifico mezzo trasmissivo**
  - Come possiamo aumentare il bit rate in trasmissione ?
  - Come possiamo ottenere un trasferimento affidabile ?
  - Ci sono limiti al bit rate e all'affidabilità della trasmissione ?

25

## Trasmissione ad impulsi

### ■ Obiettivo

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



- Se l'ingresso è 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

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

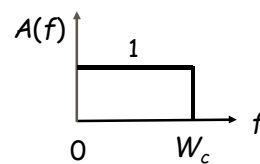
26

## 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 da  $f$
- $A(f) \approx 1$ , 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

27

## 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  $\times$   $2W_c$  impulsi/sec =  $2W_c$  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  $\times$   $2W_c$  impulsi/sec =  $4W_c$  bit/s
- Se il segnale può assumere  $M = 2^m$  livelli, si ha
  - Bit Rate =  $m$  bit/impulso  $\times$   $2W_c$  impulsi/sec =  $2mW_c$  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

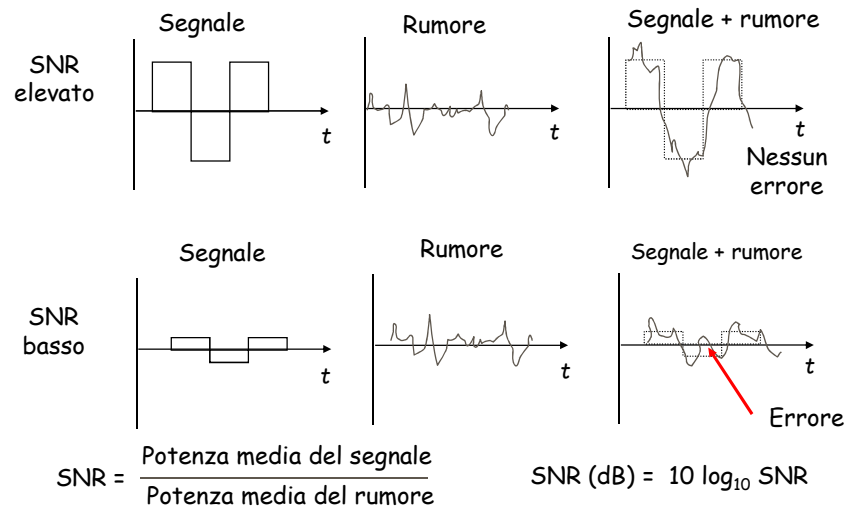
28

## 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
- 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 il **rapporto segnale-rumore (signal-to-noise ratio)**
- 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

29

## Signal-to-Noise Ratio



30

## Limite di Shannon alla capacità di un canale

$$C = W_c \log_2 (1 + SNR) \text{ bit/s}$$

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

31

## Esempio

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

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

Si osservi che  $SNR = 10000$  corrisponde a

$$SNR \text{ (dB)} = 10 \log_{10}(10000) = 40 \text{ dB}$$

32

## 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 |