

## Reti di calcolatori

### Livello fisico

Prof.ssa Simonetta Balsamo  
Dipartimento di Informatica  
Università Ca' Foscari di Venezia  
balsamo@dsi.unive.it  
<http://www.dsi.unive.it/~reti>

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.1

## Livello Fisico mezzi trasmissivi

- L'informazione viene trasmessa a distanza variando una caratteristica fisica del mezzo scelto per la trasmissione
- I mezzi trasmissivi sono:
  - **Mezzi elettrici** (cavi): l'energia elettrica
  - **Mezzi wireless** (onde radio): una combinazione di campo elettrico e campo magnetico variabili, che si propaga nello spazio e che induce a distanza una corrente elettrica in un dispositivo ricevente (antenna)
  - **Mezzi ottici** (LED, laser e fibre ottiche): sono i mezzi più recenti, che hanno rivoluzionato il settore

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.2

## Livello Fisico tipo di trasmissione

- La trasmissione può avvenire con due modalità:
    - **Segnale analogico**: Varia **gradualmente** in un intervallo costituito da un **numero infinito** di possibili valori
    - **Segnale digitale**: Varia **bruscamente** fra valori in un **insieme molto piccolo** di valori (da due a qualche decina)
- Segnale **periodico** si ripete in un tempo misurabile (ciclo o periodo)  
Segnale **aperiodico**

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.3

## Livello Fisico rappresentazione dell'informazione

- Rappresentazione dell'informazione tramite una funzione  $g(t)$  che indica la variazione nel tempo di una proprietà fisica
- $g(t)$  può essere espressa come combinazione lineare di funzioni sinusoidali
- Una **funzione sinusoidale** è caratterizzata da alcuni parametri:
  - **Ampiezza**  $A$  (la differenza fra il valore massimo ed il minimo);
  - **Periodo**  $T$  (la quantità  $T$  di tempo trascorsa la quale la funzione si ripete)
  - **Frequenza**: l'inverso del periodo  $f = 1/T$ , misurata in **cicli al secondo** (Hz)
  - **Fase**: posizione rispetto al tempo 0

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.4

## Livello Fisico rappresentazione dell'informazione

■ **Periodo**  $T$  in unità di tempo

■ **Frequenza**  $f = 1/T$  in cicli al secondo (Hertz) Hz

Unità di periodo		Unità di frequenza	
Secondi	1s	Hertz (Hz)	1Hz
Millisecondi	ms=10 <sup>-3</sup> s	Kilohertz (kHz)	10 <sup>3</sup> Hz
Microsecondi	μs=10 <sup>-6</sup> s	Megahertz (MHz)	10 <sup>6</sup> Hz
Nanosecondi	ns=10 <sup>-9</sup> s	Gigahertz (GHz)	10 <sup>9</sup> Hz
Picosecondi	ps=10 <sup>-12</sup> s	Terahertz (THz)	10 <sup>12</sup> Hz

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.5

## Livello Fisico analisi di Fourier

■ [Jean Fourier]

Una funzione  $g(t)$ , definita in un intervallo  $T$ , può essere espressa come una somma di un numero anche infinito di funzioni sinusoidali:

$$g(t) = \frac{1}{2}c \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

■ dove

■  $f = 1/T$  è la **frequenza fondamentale**

■ i coefficienti  $a_n$  e  $b_n$  sono le ampiezze della  $n$ -sima armonica, che ha una frequenza  $n$  volte più grande della frequenza fondamentale

■  $c$ ,  $a_n$  e  $b_n$  sono calcolabili come integrali di  $g(t)$  in  $t$

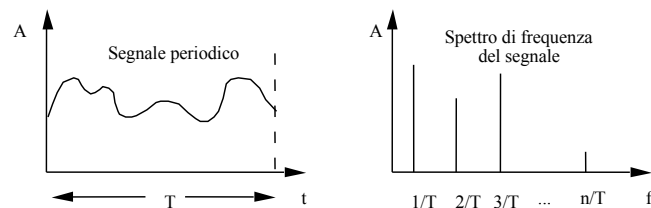
Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.6

## Livello Fisico esempio di Fourier

■ Esempio di rappresentazione di un segnale che varia nel tempo e della sua rappresentazione mediante l'analisi di Fourier:



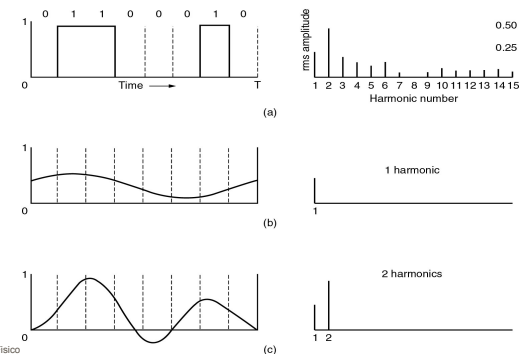
Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.7

## Livello Fisico esempio

■ Esempio di approssimazione del segnale originale

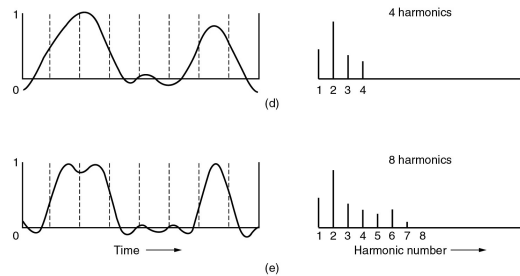


Livello Fisico

R3.8

## Livello Fisico esempio

### Esempio di approssimazione del segnale originale



Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.9

## Livello Fisico

**Banda** insieme di frequenze in un segnale composto  
(differenza fra frequenza massima e minima)

**Segnali digitali** rappresentati con livelli: 2 o più  
Un segnale rappresentato con L livelli richiede  $\log_2 L$  bit

**Bit rate** numero di bit inviati al secondo bps

**Lunghezza di un bit** (velocità di propagazione) x (durata di un bit)  
distanza che occupa un bit nella trasmissione

**Trasmissione digitale** *baseband* invio del segnale senza trasformarlo in analogico  
*broadband* modifica il segnale in analogico

Problemi di trasmissione: *attenuazione*  
*distorsione*  
*rumore*

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.10

## Livello Fisico - prestazioni

**Banda** in Hertz: insieme di frequenze del segnale o del canale  
in bps: velocità del canale/linea o rete *potenziale*

**Throughput** quanto velocemente i bit vengono effettivamente trasmessi sulla rete  
velocità *reale*

**Latenza (ritardo)** tempo per arrivare a destinazione

Latenza = tempo di *propagazione* + *distanza/(velocità di propagazione)*  
+ tempo di *trasmissione* + *(dimensione del messaggio)/banda*  
+ ritardo di attesa + *dovuta alla coda*  
+ ritardo di *elaborazione* + *dipendente dal nodo*

*Tempo di propagazione: dovuto ad un bit per propagarsi*

*Tempo di trasmissione: tempo tra primo e ultimo bit del messaggio*

**Banda x ritardo** numero di bit che possono riempire in canale (misurato in bit)

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.11

## Livello Fisico teoremi di Nyquist e di Shannon

### Teorema di Nyquist

- [Nyquist 1924] Un segnale analogico di banda  $h$  (da 0 ad  $h$  Hz) può essere completamente ricostruito mediante una campionatura effettuata  $2h$  volte al secondo
- Se il segnale ha  $V$  livelli discreti, allora la massima velocità dei dati è  $2h \cdot (\log_2 V)$  bps

### Teorema di Shannon

- [Claude Shannon] La massima velocità dei dati su di un canale rumoroso, con banda passante di  $h$  Hz e rapporto segnale/rumore pari a  $S/N$ , è data  $h \log_2 (1 + S/N)$
- Non conta il numero  $V$  di livelli del segnale, perché, a causa del rumore, aumentarne il numero può renderli indistinguibili

Esempio: Canale con banda 3kHz e  $S/N = 30\text{dB}$ , si può arrivare al massimo a 30.000 bps

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.12

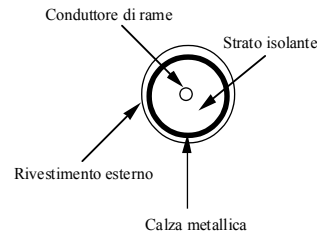
## Livello Fisico - materiale 1/11

- **Doppino intrecciato:** Coppia di conduttori in rame intrecciati elicoidalmente  
connessioni terminali del sistema telefonico, con larghezza di banda alcuni  
Mbps fino a qualche km



- **Cavo coassiale:** Miglior isolamento nel sistema telefonico per lunghe distanze

Due conduttori in rame concentrici  
Bidirezionale  
Sezione di un cavo coassiale



Livello Fisico

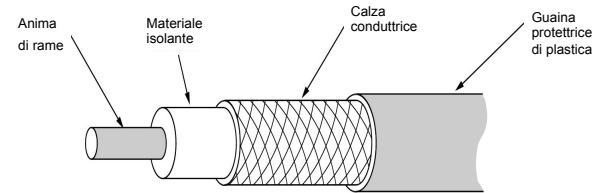
S.Balsamo A.A. 2010

R3.13

## Livello Fisico - materiale 2/11

- **Cavo coassiale**

Spesso sostituita dalla fibra ottica  
Usata per LAN e per TV via cavo



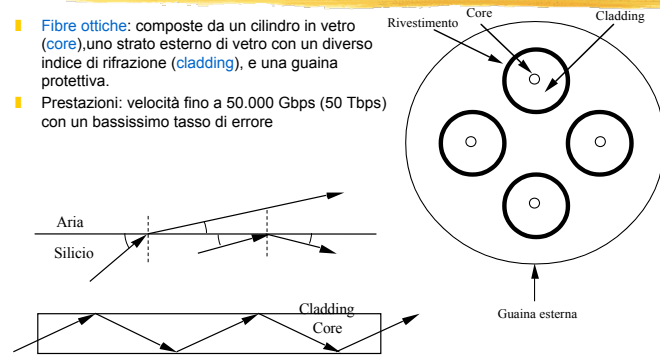
Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.14

## Livello Fisico - materiale 3/11

- **Fibre ottiche:** composte da un cilindro in vetro  
(**core**), uno strato esterno di vetro con un diverso  
indice di rifrazione (**cladding**), e una guaina  
protettiva.
- Prestazioni: velocità fino a 50.000 Gbps (50 Tbps)  
con un bassissimo tasso di errore



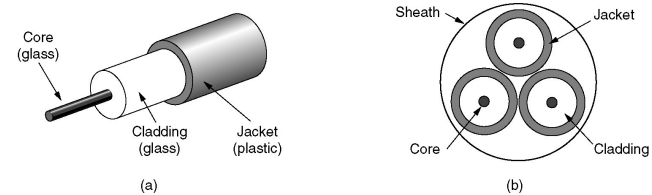
Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.15

## Livello Fisico - materiale 4/11

- **Fibre ottiche:** esempi



Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.16

## Livello Fisico - materiale 5a/11

- Due tipi di fibre ottiche
  - **multimodali** raggi diversi seguono diversi cammini, colpendo la superficie con diversi angoli (*mode*) - core di 50 micron
  - **monomodali** core di 8-10 micron, come una guida d'onda, la luce non rimbalza - adatte per distanze maggiori (fino a 30km)
- problemi: conversione segnale elettrico - luminoso
- attenuazione della luce (del segnale) limitata, vetro trasparente e
- lunghezza d'onda su bande di 25.000-30.000 GHz

### Sistema di trasmissione ottica



da segnale elettrico a luminoso

da segnale luminoso a elettrico

t.r. 1 nsec

Livello Fisico

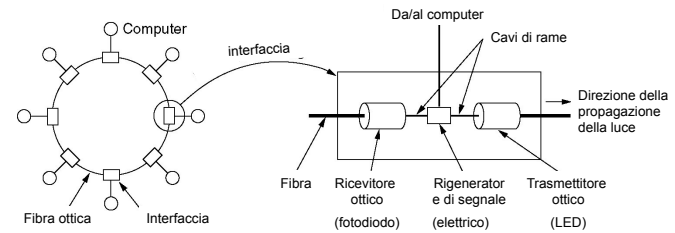
S.Balsamo A.A. 2010

R3.17

## Livello Fisico - materiale 5b/11

### ■ Topologie più usate per le reti a fibra ottica:

- **anello**
- **stella passiva**



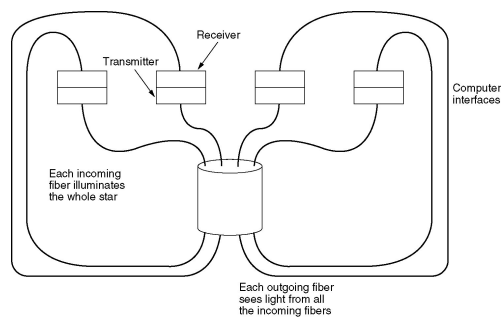
Anello di fibra ottica con ripetitori attivi

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.18

## Livello Fisico - materiale 5c/11



Stella passiva in una rete con fibra ottica

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.19

## Livello Fisico - materiale 6/11

### ■ Fibre ottiche vs connessione basata su rame:

#### ■ Vantaggi delle fibre ottiche

- leggerezza a parità di banda (due fibre sono più capaci di 1.000 doppini, 100 kg/km contro 8.000 kg/km)
- totale insensibilità a disturbi elettromagnetici
- maggiore sicurezza

#### ■ Svantaggi delle fibre ottiche

- costo delle giunzioni (dispersione)
- comunicazione unidirezionale (due fibre sono necessarie per una comunicazione bidirezionale)

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.20

## Livello Fisico - materiale 7/11

- **Wireless:** Le onde elettromagnetiche, create dal movimento degli elettroni, viaggiano nello spazio (anche vuoto) alla velocità della luce e possono indurre una corrente in un dispositivo ricevente (antenna)
- Porzioni dello spettro elettromagnetico utilizzate per la trasmissione
  - onde radio
  - microonde
  - raggi infrarossi
  - luce visibile
  - raggi ultravioletti
- Alcune allocazioni di onde gestite da un'autorità statale (es. onde radio)

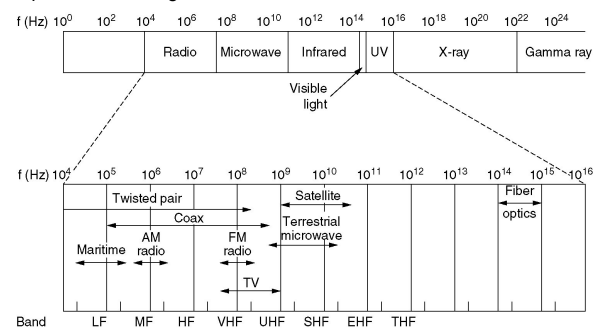
Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.21

## Livello Fisico - materiale 8/11

### Spettro elettromagnetico e comunicazione



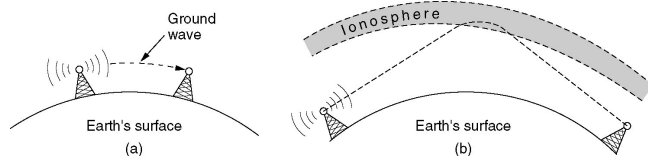
Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.22

## Livello Fisico - materiale 9/11

### Trasmissione radio



- (a) Con bande ad onde medie e corte, le onde seguono la curvatura terrestre
- (b) Con banda ad alta frequenza, rimbalzano sulla ionosfera.

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.23

## Livello Fisico - materiale 10a/11

### Comunicazione satellitare:

- GEO Satelliti geostazionari - fino a 35.000 km
- MEO Satelliti orbitali medi - 15.000 km
- LEO Satelliti orbitali bassi - 5.000 km

Altezza (km)	Tipo	Tempo di latenza (ms)	Numero di satelliti necessari
35,000	GEO	270	3
10,000 - 15,000	MEO	35-85	10
0 - 5,000	LEO	1-7	50

The diagram also shows the Van Allen radiation belts: Fascia di Van Allen superiore (around 10,000-15,000 km) and Fascia di Van Allen inferiore (around 0-5,000 km).

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.24

## Livello Fisico - materiale 10b/11

■ Varia il numero di satelliti necessari per la copertura totale

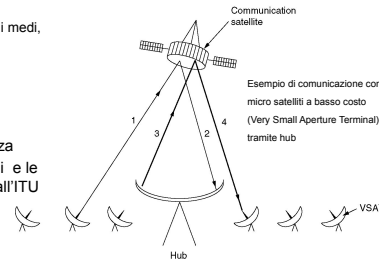
- (3 per i geostazionari, 10 per i medi, 50 per i bassi)

■ Varia la banda utilizzata

- Da 15 a 3500 MHz
- Downlink 1.5-20 GHz
- Uplink 1.6-30 GHz

■ Diversi problemi di interferenza

■ L'allocazione degli slot orbitali e le frequenze sono assegnate dall'ITU



■ Satelliti rispetto a fibre ottiche :

- Mobilità, broadcast, situazioni critiche, rapida installazione
- Velocità delle fibre

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

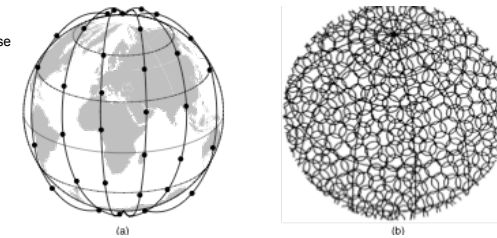
R3.25

## Livello Fisico - materiale 10c/11

Esempio

Satelliti su orbite basse (LEO)

Iridium



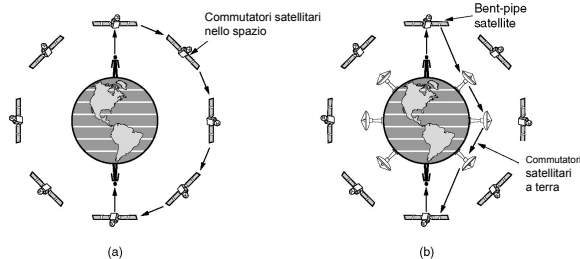
- I satelliti Iridium su sei catene attorno alla terra
- Ogni satellite ha fino a 68 celle, per un totale di 1628 che si muovono e coprono l'intera superficie

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.26

## Livello Fisico - materiale 10d/11



(a) Comunicazione con transito nello spazio

(b) Comunicazione con transito via terra (Globalstar)

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.27

## Livello Fisico - materiale 11/11

- Influenza delle interferenze elettromagnetiche
- Trasmissione inerentemente broadcast

■ Velocità di trasmissione funzione dell'ampiezza della banda utilizzata

- Modulazione di ampiezza
- Modulazione di frequenza
- Modulazione di fase dell'onda

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.28

## Livello Fisico - modulazioni 1/5

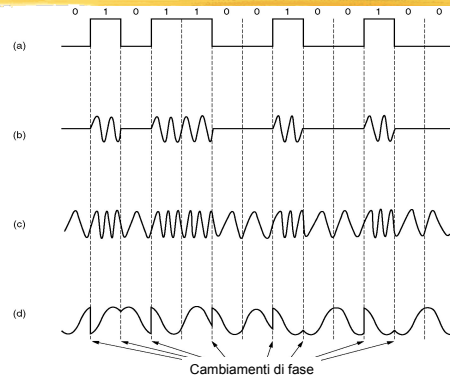
### Modulazioni del segnale (a) Segnale binario

### (b) Modulazione di ampiezza

### (c) Modulazione di frequenza

### (d) Modulazione di fase dell'onda

Modem (modulatore-demodulatore) da digitale a analogico



Livello Fisico

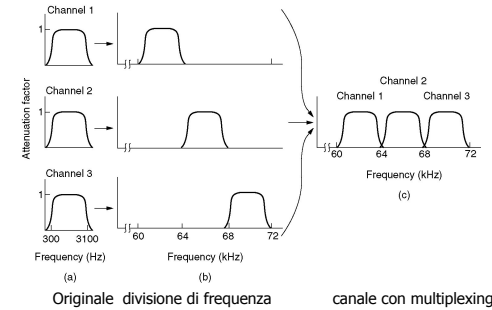
S. Balsamo A.A. 2010

R3.29

## Livello Fisico - modulazioni

2/5

### Modulazione di frequenza: moltiplicazione



Originale divisione di frequenza

canale con multiplexing

Livello Fisico

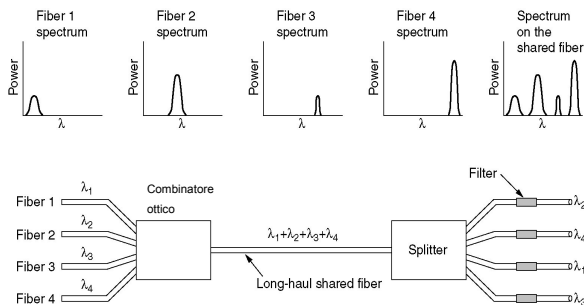
S. Balsamo A.A. 2010

R3.30

## Livello Fisico - modulazioni 3/5

3/5

### Multiplicazione con divisione di lunghezza d'onda



Livello Fisico

S. Balsamo A.A. 2010

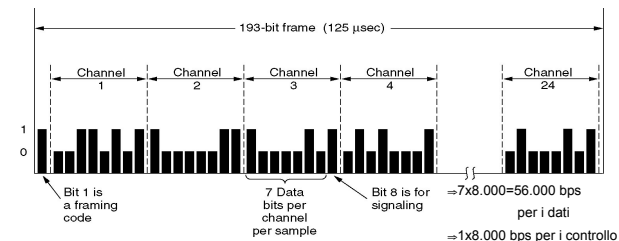
R3.31

## Livello Fisico - modulazioni

4/5

### Multiplicazione con divisione del tempo

- Co-dec (coder-decoder) da analogico a digitale genera sequenze di 8 bit
- Banda del canale telefonico 4 kHz, codec elabora 8.000 campioni/sec (125µs/campione) - tecnica PCM (Pulse Code Modulation)
- Esempio di portante T1: multiplexing di 24 canali



Velocità totale: 193 bit per 125µs: 1.544 Mbps

Livello Fisico

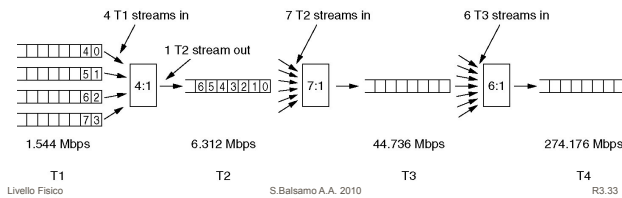
S. Balsamo A.A. 2010

R3.32



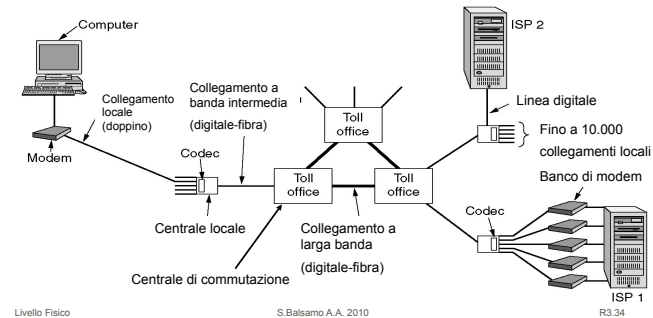
## Livello Fisico - modulazioni 5/5

- Altri esempi di portanti PCM
  - E1 velocità a 2,048 Mbps, T2 a 6,312 Mbps
- Altri tipi di modulazione
  - Differential pulse modulation code trasmette la differenza fra i valori successivi e non le ampiezze digitalizzate.
  - Altro esempio: *modulazione delta* se i campioni successivi differiscono di un solo bit, la differenza è binaria
- Modulazione di portanti T1 in portanti di ordine maggiore



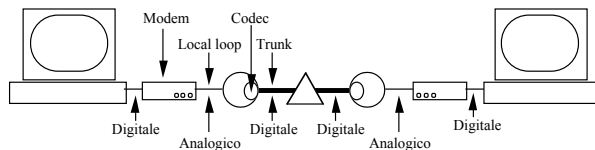
## Livello Fisico - doppino intrecciato

- Nato inizialmente per la fonia è tuttora utilizzato dalle reti di calcolatori
- Ad esempio un cavo fra computer con velocità pari a  $10^7 - 10^8$  ha un tasso di errore pari a 1 su  $10^{12} - 10^{13}$ . Invece una linea telefonica con velocità pari a  $10^4 - 10^5$  ha un tasso di errore pari a 1 su  $10^5$



## Livello Fisico - local loop

- Un local loop trasporta un segnale analogico con una larghezza di banda di 3 kHz (0-3 kHz)
- Modem: apparecchio per trasmettere dati digitali devono essere trasformati in analogici
- Codec: ritrasformazione da analogico a digitale nella centralina di commutazione
- Subiscono le conversioni inverse sul local loop di destinazione



## Livello Fisico

### Banda passante

dipende dal mezzo fisico di trasmissione  
intervallo di frequenze che passa attraverso il mezzo con una minima attenuazione

### Baud rate

numero di campioni (simboli, parti di informazione) raccolti al secondo  
equivale alla frequenza dei simboli

### Tecnica di modulazione

determina il numero di bit per simbolo

### Frequenza di bit

quantità di informazione inviata sul canale:  
(numero di simboli per sec) X (numero di bit per simbolo) => bps

## Livello Fisico - standard

- Gli standard per i modem emessi da ITU su linea a 2.400 baud:
  - V.32 velocità di 9.600 bps - 4 bit per baud
  - V.32 bis 14.400 bps - 6 bit per baud
  - V.34 28.800 bps - 12 bit per baud
  - V.34 bis 33.600 bps - 14 bit per baud

- Per velocità superiori: possibili compressioni
- Per garantire la qualità della connessione: possibile rallentamento
- Gli standard con compressione dei dati:
  - V.42 bis emesso da ITU
  - MNP 5 de facto (Microcom Network Protocol)

**baud** numero di campioni al secondo

In ogni baud viene trasmesso un simbolo

- se il simbolo è rappresentato con un volt (e.g. 0,1) il baud corrisponde ai bps trasmessi
- se è rappresentato con 0,1,2,3 volt ogni simbolo è composto da 2 bit la linea trasmette lo stesso numero di simboli dei baud, quindi la velocità in bps è doppia (es: linea a 2.400 baud, in tal caso 2.400 simboli ps, da cui 4.800 bps)
- se è rappresentato con 4 cambiametri di fase, similmente ogni simbolo è composto da 2 bit e la velocità in bps è doppia (*QPSK: quadruple Phase Shift Key*)

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.37

## Livello Fisico - standard

Limiti alla velocità di trasmissione dei **modem standard**: 33.600 bps  
poiché dal teorema di Shannon il sistema telefonico è limitato circa a 35 kbps, dipendente anche dalla lunghezza media delle linee

Se la connessione è interamente digitale si può raggiungere la velocità di 70 kbps

**Modem a 56 kbps**

dal teorema di Nyquist, il canale telefonico ha un'ampiezza di circa  $h=4.000$  Hz

=> massimo numero di campioni indipendenti al sec:  $2h=8.000$

numero di bit per campione: 8 (di cui uno per controllo in US)

=> 56.000 bit/sec per i dati

Standard:

V.90 velocità di 33,6 kbps da utente a ISP, a 56 kbps da ISP a utente

- Maggiore velocità di ricezione

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.38

## Livello Fisico - standard

- Servizi a **banda larga**: richiedono un'ampiezza di banda superiore allo standard telefonico (e.g. xDSL - *Digital Subscriber Line*)

		downstream	upstream
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	1,5-6,1 Mbps	16-640 kbps
HDSD	High Bit Rate Digital Subscriber Line	1,5-2,0 Mbps	1,5-2,0 Mbps
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line	768 kbps	768 kbps
VDSL	Very High Bit Rate Digital Subscriber Line	25-55 Mbps	3,2 Mbps

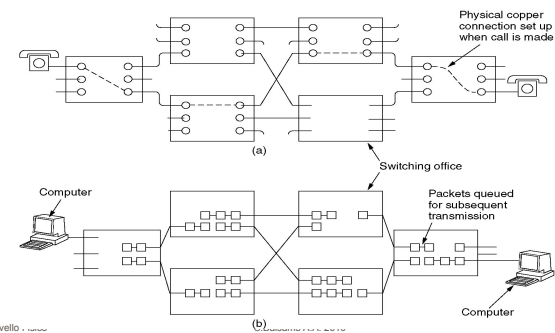
Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.39

## Livello Fisico - commutazioni

- Commutazione di circuito (a)
- Commutazione di pacchetto (b)

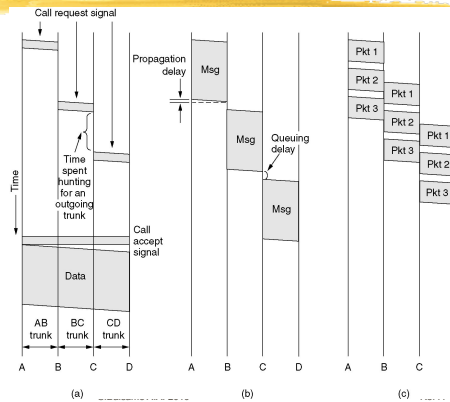


Livello Fisico

R3.40

## Livello Fisico - commutazioni

■ Commutazione di circuito (a), messaggio (b), pacchetto (c)



Livello Fisico

## Livello Fisico - commutazioni

■ Commutazione di pacchetto

| **Datagram** (senza connessione)

- Senza prenotazione di risorse
- Allocazione su domanda
- Routing con indirizzo di destinazione
- Ritardo anche elevato
- Buona efficienza di uso delle risorse
- Implementazione a livello 3 (network)
- Usata in Internet (suite TCP/IP)

| **Circuito Virtuale** (con connessione)

- Uso delle tre fasi: connessione-invio-disconnessione
- Risorse allocate o in setup o su domanda
- indirizzo parziale, non *end-to-end*
- Indirizzi di **circuiti virtuali**
- Tabella di connessione dei C.V. fra due *switch*
- Ritardi variabili
- Stessa strada dei pacchetti
- Implementazione a livello 2 (data-link)
- Usata in WAN a commutazione come *Frame Relay* e reti ATM

Livello Fisico

S.Balsamo A.A. 2010

R3.42