

Corso di
RETI DI CALCOLATORI
(9 CFU)

a.a. 2020-2021
II anno / II semestre

Reti di calcolatori Prof. Gianni Fenu

1



Il Livello Fisico I - 3

Basi teoriche delle comunicazione dei dati

- Analisi di Fourier
- Segnali Bandwidth-Limited
- Maximum Data Rate di un Canale

Reti di calcolatori 02 Prof. Gianni Fenu

2

Basi teoriche delle comunicazione dei dati

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

Analisi di Fourier: una funzione periodica, con periodo T , può essere ottenuta sommando funzioni seno e coseno (serie di Fourier):

con a_n e b_n sono ampiezze della n -esima armonica.

Segnali a larghezza di banda limitata

0 1 1 0 0 0 1 0



- nessun mezzo trasmissivo e' in grado di trasmettere senza perdita di potenza;
- ogni componente di Fourier subisce attenuazioni differenti a seconda del mezzo trasmissivo impiegato.

la banda trasmissiva può derivare dal mezzo o può essere introdotta artificialmente.

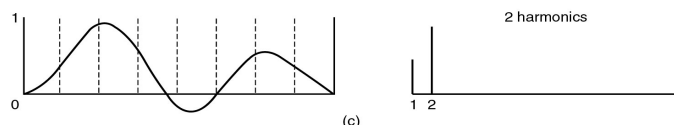
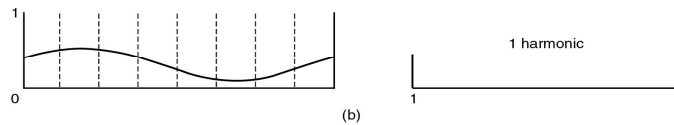
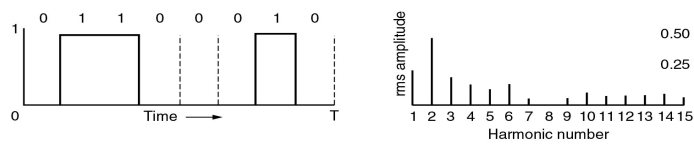
la trasmissione delle frequenze più basse può comportare la trasmissione della prima armonica (fondamentale).

all'aumentare della frequenza aumenta il numero delle armoniche trasmissibili

il segnale trasmesso e' in funzione dei cambiamenti al secondo (ad es. voltaggio) che si misurano in baud.

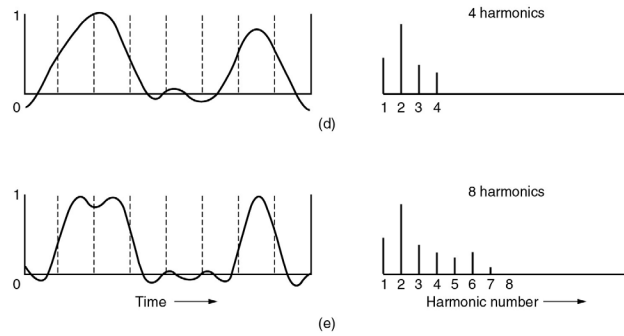
un baud, a seconda della quantita' di segnali rappresentati, puo' trasportare piu' bit alla volta .

5



Il segnale originale (a) e le sue successive approssimazioni.

6



Successive approssimazioni.

7

| Bps | T (ms) | Prima armonica (Hz) | Numero di armoniche trasmesse |
|--------|--------|---------------------|-------------------------------|
| 300 | 26,67 | 37,5 | 80 |
| 600 | 13,33 | 75 | 40 |
| 1.200 | 6,67 | 150 | 20 |
| 2.400 | 3,33 | 300 | 10 |
| 4.800 | 1,67 | 600 | 5 |
| 9.600 | 0,83 | 1.200 | 2 |
| 19.200 | 0,42 | 2.400 | 1 |
| 38.400 | 0,21 | 4.800 | 0 |

Relazione tra velocità dei dati e armoniche

8

Tasso di dati massimo per un canale

teorema di Nyquist (canale senza rumore)

massimo tasso di dati = $2H \log_2 V$ bit/s

H = larghezza di banda

V = livelli discreti

rapporto segnale/rumore S/N
 espresso con $10 \log_{10} \frac{S}{N}$ → S/N
 chiamato decibel **dB**

S/N = 10 → 10 dB

S/N = 100 → 20 dB

S/N = 1000 → 30 dB

formula di Shannon (canale con rumore)

numero massimo di bit/s = $H \log_2 (1+S/N)$

| Category | Typical Applications | Frequency Required | Tested to |
|----------|---|--------------------|-----------|
| Cat 3 | Voice | 16 MHz | 16 MHz |
| Cat 5 | Voice, Data (10/100 Mbps Ethernet) | 100 MHz | 100 MHz |
| Cat 5e | Voice, Data (10/100 Mbps/ Gigabit Ethernet) | 100 MHz | 200 MHz |
| Cat 6 | Voice, Data (10/100 Mbps/ Gigabit Ethernet) | 200 MHz | 500 MHz |

Mezzi di trasmissione

Non sottostimare la larghezza di banda di un camioncino che passa a razzo sull'autostrada

Doppino telefonico (twisted pair)

fili di rame isolati (1 mm)

fili diritti sono l'antenna della radio, intrecciati no

Legge di Joule

larghezza di banda e' funzione della sezione del conduttore e della distanza sorgente/destinatario

UTP Cat.5

UTP



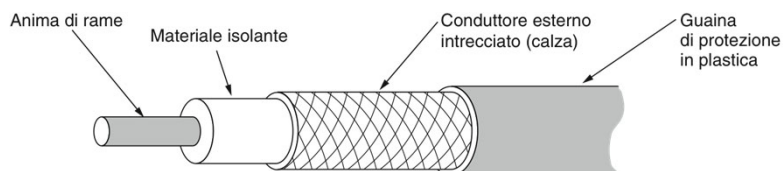
(a)



(b)

- (a) UTP cat3
- (b) UTP cat5

Cavo coassiale a banda base



50 Ω (trasmissioni digitali)
 su distanze di 1Km vengono raggiunte velocità fino a 2Gbps

Cavo coassiale a larga banda

75 Ω (trasmissioni analogiche)
 trasmissione analogica a larga banda e TV via cavo

un'interfaccia converte numerico in digitale

di norma esiste una relazione che equipara la frequenza alla velocità (ad esempio 300 MHz consente velocità di 300 Mbps)

in genere si impiegano sottocanali a 6MHz (tipico del canale TV via cavo)

gli amplificatori impiegano un refresh del segnale monodirezionale, conseguentemente esistono modalità trasmissive: a doppio cavo (con uno trasmetto con uno ricevo) e singolo cavo (bassa frequenza verso head-end, alta frequenza viceversa)

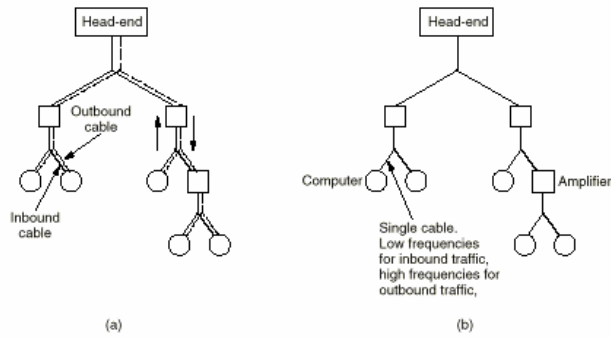


Fig. 2-4. Broadband networks. (a) Dual cable. (b) Single cable.

con singolo cavo:

- subsplit in 5-30MHz out 40-300MHz
- midsplit in 5-116 MHz out 168-300MHz

SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

STM-1

(Synchronous Transport Module)

$$9 \times 270 \times 8 \times 8000 = 155.52 \text{ Mbps}$$

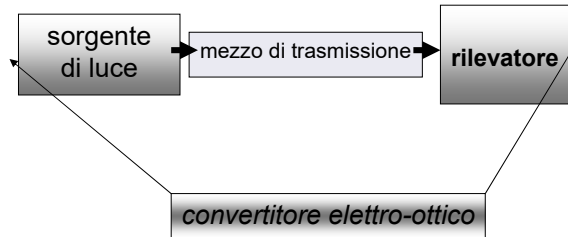


STM-4 622.08 Mbps

STM-16 2488.32 Mbps (2.5 Gbps)

Fibre ottiche

la velocità teorica massima (fibre monomodali) è di 100.000 Gbps (100Tbps) quella reale è di 10 Gbps (limite di conversione dei segnali elettrici in segnali ottici)

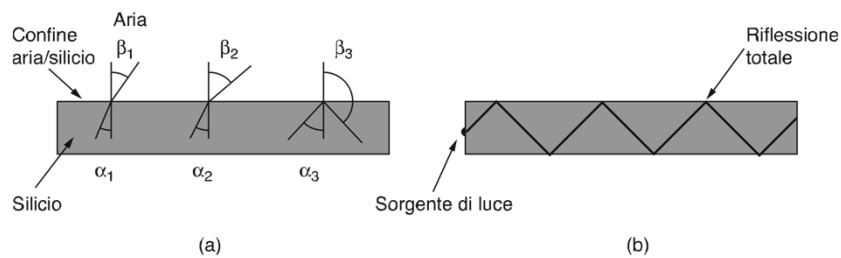


impulso di luce = bit 1
 assenza di luce = bit 0

sistema di trasmissione unidirezionale

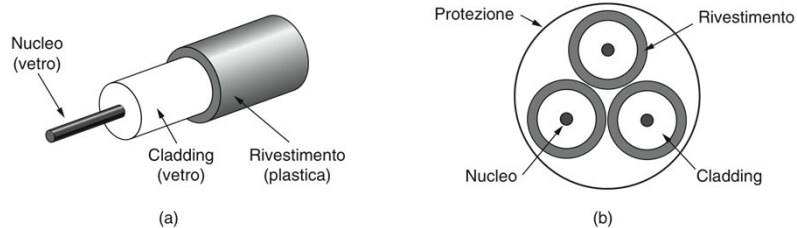
17

Rifrazione del mezzo



l'angolo di incidenza e la rifrazione determinano il *modo*
 fibre monomodali (fino a 100 Gbps) e fibre multimodali

18



terminazioni e giunzioni:

- connettorizzate (perdita del 10-20% di luce)
- giunzione meccanica (perdita del 10% di luce)
- giunzione a caldo (perdita del 5-10% di luce)

sorgenti luminose:

- LED
- laser semiconduttori

| Elemento | LED | Laser a semiconduttore |
|------------------------------|-------------|--------------------------|
| Cadenza dei dati | Bassa | Alta |
| Tipo di fibra | Multimodale | Multimodale o monomodale |
| Distanza | Breve | Lunga |
| Durata | Lunga | Breve |
| Sensibilità alla temperatura | Scarsa | Elevata |
| Costo | Basso | Alto |

- l'unità ricevente e' costituita da fotodiode con tempi di trasformazione di 0,5 ns e velocita' di 2 Gbps

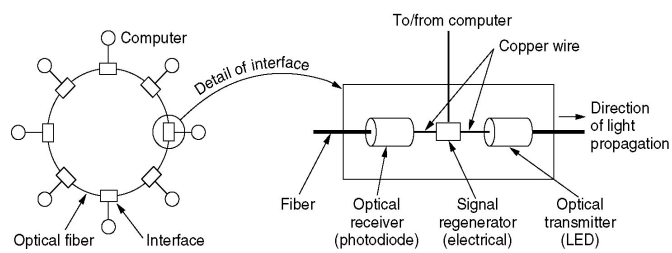
Reti di fibre ottiche

interfacce passive (non interrompono il circuito):

- per trasmettere un LED (o laser)
- per ricevere un fotodiodo

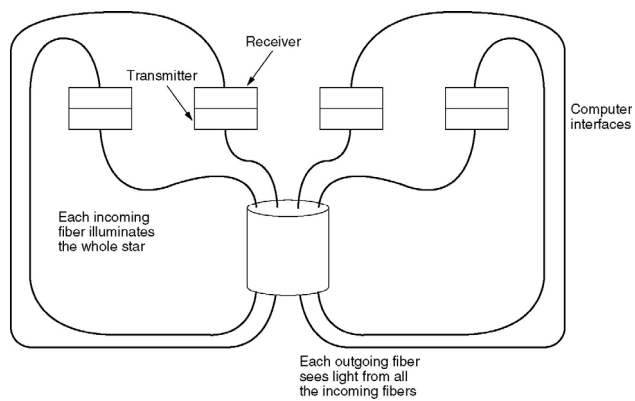
interfacce attive (possono interrompere il circuito):

- ingresso rigenerazione e reinvio (il collegamento al computer e' con conduttori in rame)

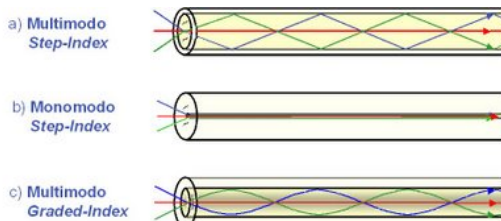


21

topologia ad anello o a stella passiva (broadcast)



22

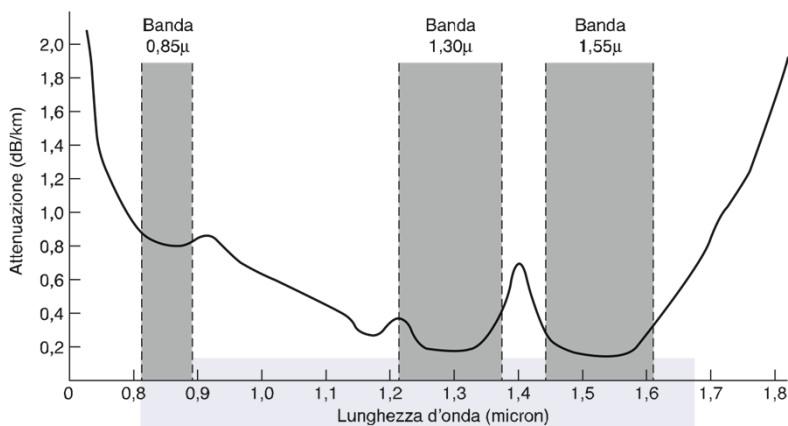


Fibra ottica multimodale

Fibra ottica monomodale

23

$$\text{attenuazione della luce} = 10 \log_{10} (E_{\text{trasmessa}}/E_{\text{ricevuta}})$$



24

Trasmissione senza fili

- Spettro elettromagnetico
- Trasmissioni radio
- Trasmissioni a microonde
- Onde nella gamma dell'infrarosso e del millimetrico
- Trasmissione nello spettro del visibile (onde luminose)

Spettro elettromagnetico

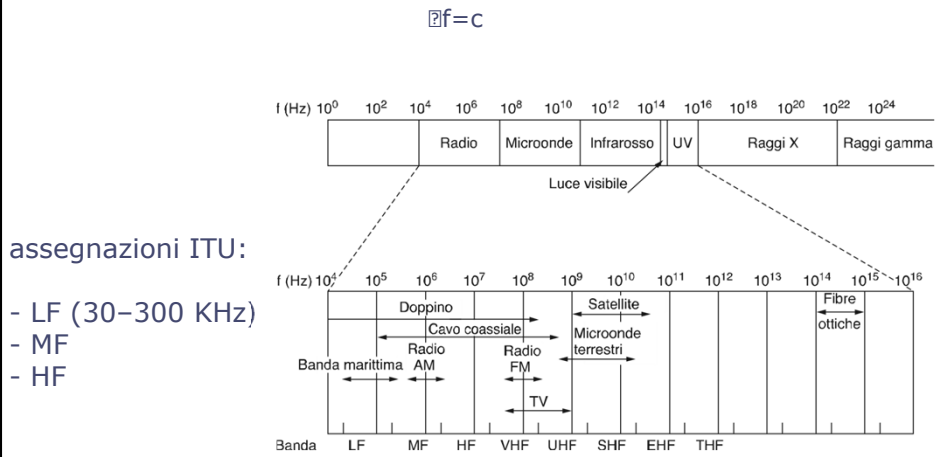
elettroni in movimento (Maxwell 1865, Hertz 1887)

definizioni:

- frequenza (f): il numero di oscillazioni al secondo di un'onda elettromagnetica (Hz);
- lunghezza d'onda (λ): distanza tra due massimi consecutivi

indipendentemente dalla frequenza, nel vuoto tutte le onde magnetiche viaggiano alla medesima velocità
($c = 3 \times 10^8$ m/s, velocità della luce)

nei mezzi fisici tale velocità si attenua del 30-40%



l'informazione trasportabile (bit) e' in funzione della larghezza di banda:

- e' pari alla larghezza di banda per basse frequenze;
- il rapporto aumenta per le alte frequenze.

assegnazione delle frequenze ITU-R

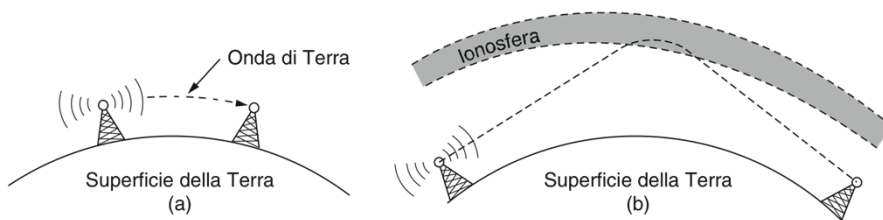
per il rapporto potenza emessa frequenza (Watt/Hertz) e' piu' conveniente trasmettere con una ristretta banda di frequenza

algoritmi a salto di frequenza: *spettro distribuito a frequenza variabile (frequency hopping)*

algoritmi a banda larga: *spettro distribuito a sequenza diretta (direct sequence)*

Trasmissione radio

facilita' di generazione e diffusione in ambienti eterogenei
 omnidirezionalita'

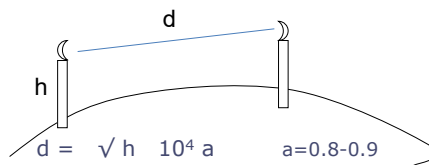


- a) basse frequenze (diffusione ma decadimento di potenza $1/r^3$)
- b) alte frequenze (riflessione edifici e ionosfera)

Trasmissione microonde

100 Mhz - 10 GHz

monodirezionalita' e forte allineamento



- limite nell'attraversamento degli edifici
- sfasamento trasmissivo e perdita di segnale (fading)
- in caso di fading la trasmissione viene riallocata su altra banda
- attorno agli 8 GHz interferenza per λ di pochi cm
- affollamento di banda

Onde infrarosse e millimetriche

ordine dei GHz

telecomandi per elettrodomestici

onde monodirezionali

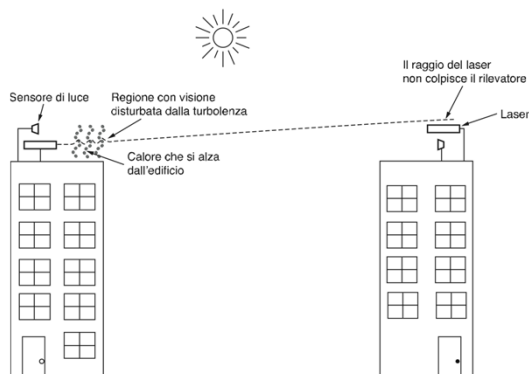
non passano oggetti solidi
(comportamento dello spettro visibile)

nessun uso esterno

largo uso interno (coll. PC-periferiche, coll. PC-LAN,)

Trasmissione a onde luminose

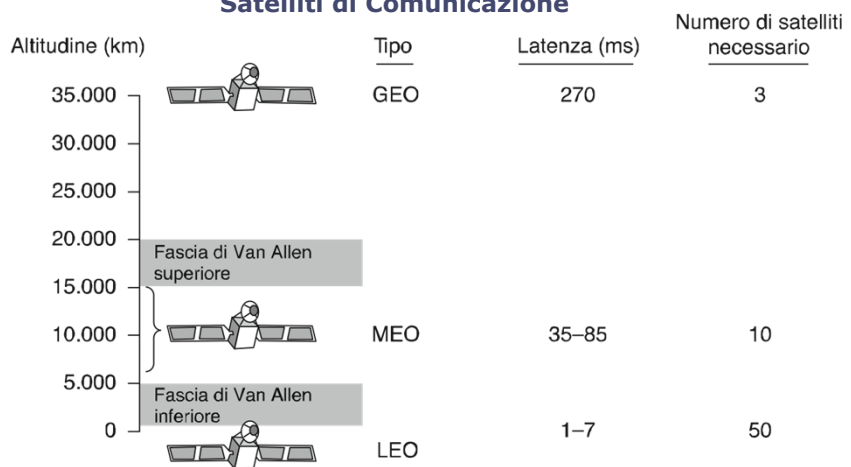
laser monodirezionali a vista
(limitato dagli agenti atmosferici)



Comunicazioni satellitari

- Satelliti geostationari
- Satelliti su orbite medie
- Satelliti su orbite basse

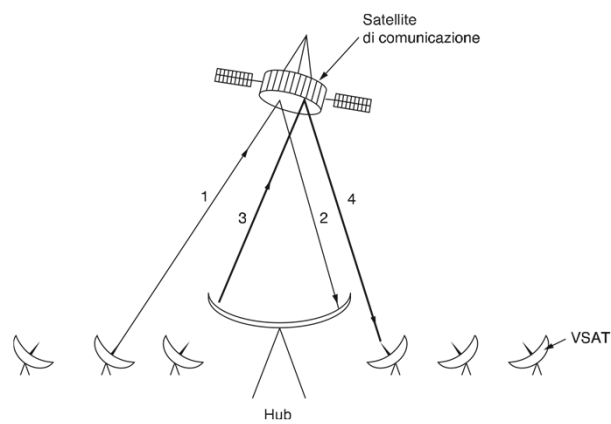
Satelliti di Comunicazione



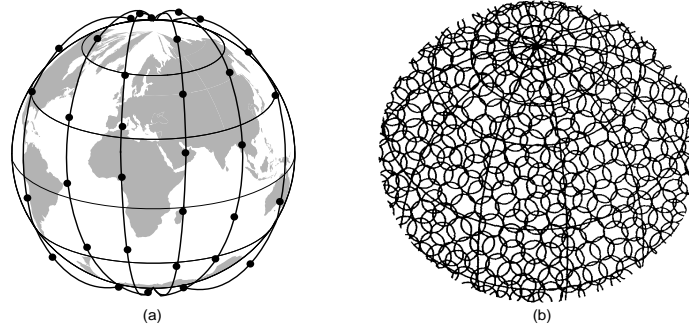
Le principali bande per la comunicazione con satellite.

| Banda | Downlink | Uplink | Larghezza della banda | Problemi |
|-------|----------|---------|-----------------------|-------------------------------|
| L | 1,5 GHz | 1,6 GHz | 15 MHz | Banda stretta; affollamento |
| S | 1,9 GHz | 2,2 GHz | 70 MHz | Banda stretta; affollamento |
| C | 4,0 GHz | 6,0 GHz | 500 MHz | Interferenza terrestre |
| Ku | 11 GHz | 14 GHz | 500 MHz | Pioggia |
| Ka | 20 GHz | 30 GHz | 3.500 MHz | Pioggia; costo degli apparati |

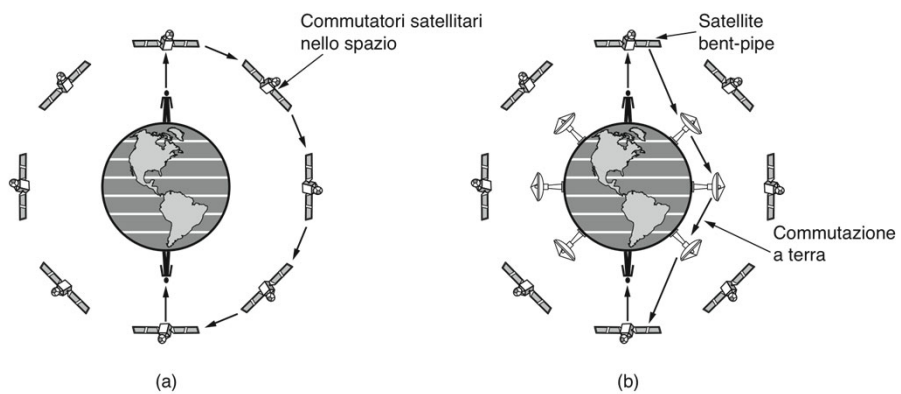
VSAT che usano un Hub



Satelliti su orbite basse Iridium



Globalstar



Il Sistema Telefonico I - 3

Il Sistema Telefonico

PSTN (per trasmissione vocale analogica)



ISDN (per trasmissione dati numerica)

Reti di calcolatori 39 Prof. Gianni Fenu

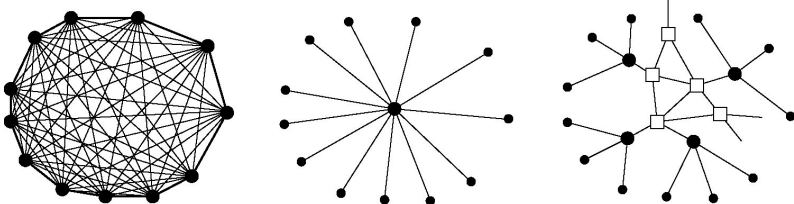
39

Il Sistema Telefonico I - 3

Struttura del sistema telefonico

Meucci 1871

Bell 1873-1876

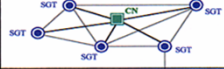
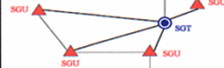

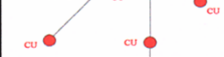




Reti di calcolatori 40 Prof. Gianni Fenu

40

Il Sistema Telefonico

I - 3

| DENOMINAZIONE | TIPOLOGIA della RETE NUMERICA | TERRITORIO |
|--|--|---------------------------|
| Rete a maglia |  | Stato |
| Rete a maglia e/o stellare |  | Regione o Provincia |
| Area di commutazione (Bacino di utenza: 60-80mila numeri) |  | Provincia o Grande comune |
| |  | Comune |
| Centrale urbana |  | Comune |
| Unità di concentrazione remota |  | Piccola località remota |

- CN** - Centrale Nazionale
- SGT** - Stadio di Gruppo di Transito
- SGU** - Stadio di Gruppo Urbano
- CU** - Centrale Urbana
- CRU** - Centro di Rete Urbana
- UCR** - Unità di Concentrazione Remota

Struttura della Rete Numerica Italiana

Reti di calcolatori

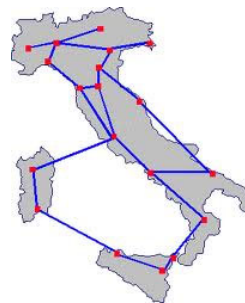
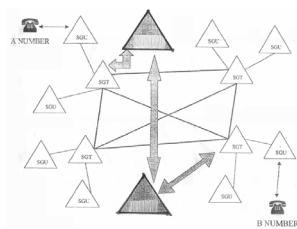
41

Prof. Gianni Fenu

41

Il Sistema Telefonico

I - 3



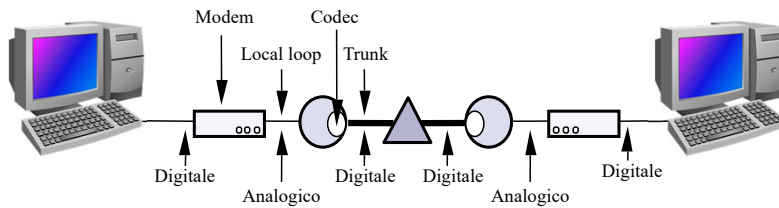
Reti di calcolatori

42

Prof. Gianni Fenu

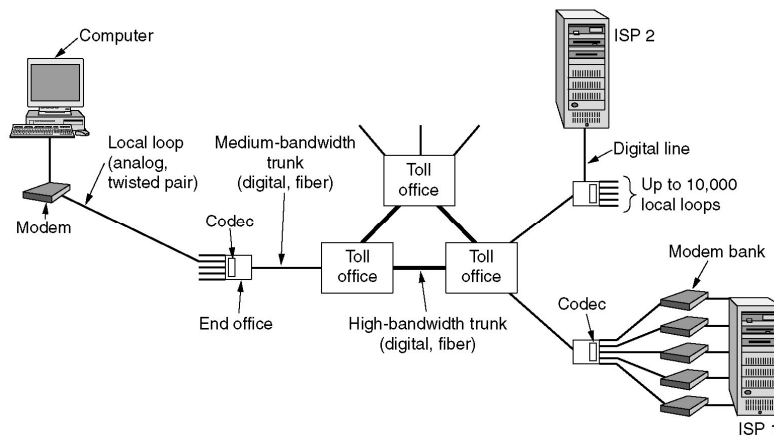
42

Il circuito locale (Local Loop)



43

Il circuito locale (Local Loop). Analogico, ADSL, Wireless.



44

Il Sistema Telefonico I - 3

Modem

analogico modulazione del voltaggio → digitale

- attenuazione del segnale (distanza)
- distorsione da ritardo (armoniche lente/veloci)
- rumore (energia da sorgenti diverse)

Reti di calcolatori 45 Prof. Gianni Fenu

45

Il Sistema Telefonico I - 3

teorema di Nyquist: 6000Hz su doppino

piu' bit per campione trasmesso
 (ITU V.32, 9.600 bps, 3 bit per campione a 2.400 baud)
 (ITU V.32 bis, 14.400bps, 6 bit per campione a 2.400 baud)
 (ITU V.34, 28.800bps, 12 bit per campione a 2.400 baud)
 (ITU V.35, 2.048.000 bps,)

maggior attenzione all'errore

compressione dati: MNP5, V.42bis,....

Reti di calcolatori 46 Prof. Gianni Fenu

46

modulazione/demodulazione
portante sinusoidale o portante
(1000Hz-2000Hz)

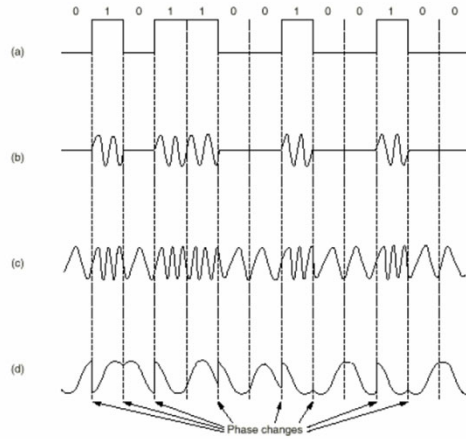
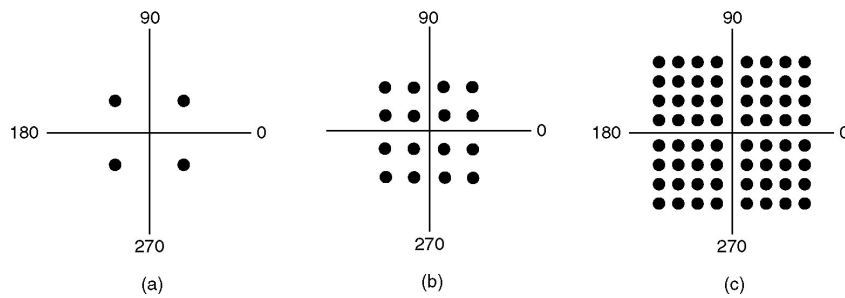


Fig. 2-18. (a) A binary signal. (b) Amplitude modulation. (c) Frequency modulation. (d) Phase modulation.



(a) QPSK.
(b) QAM-16.
(c) QAM-64.

Il Sistema Telefonico I - 3

(b)

(c)

(b) V.32 for 9600 bps.
(c) V32 bis for 14,400 bps.

Reti di calcolatori 49 Prof. Gianni Fenu

49

Il Sistema Telefonico I - 3

Linee DSL.

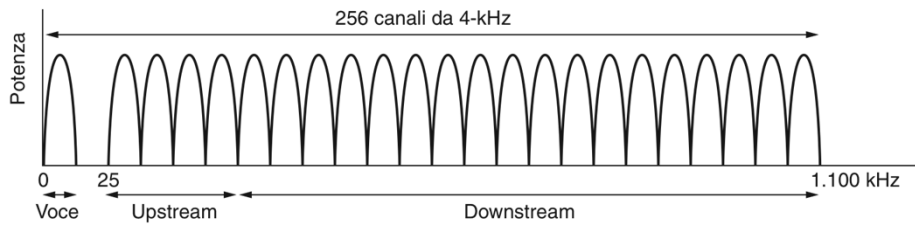
| Meters | Mbps |
|--------|------|
| 0 | 50 |
| 1000 | 25 |
| 1500 | 13 |
| 2500 | 8 |
| 3500 | 5 |
| 5000 | 2 |
| 6000 | 1 |

Ampezza di banda e distanza per UTP cat3 usati da DSL

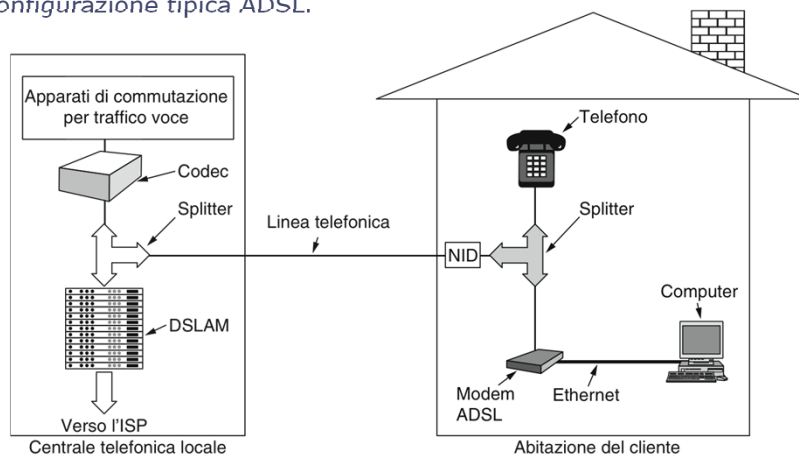
Reti di calcolatori 50 Prof. Gianni Fenu

50

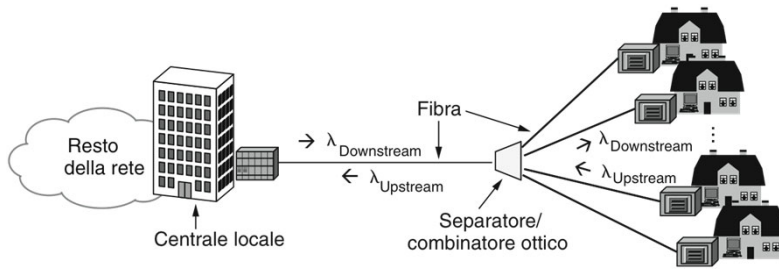
ADSL su DMT



Configurazione tipica ADSL.



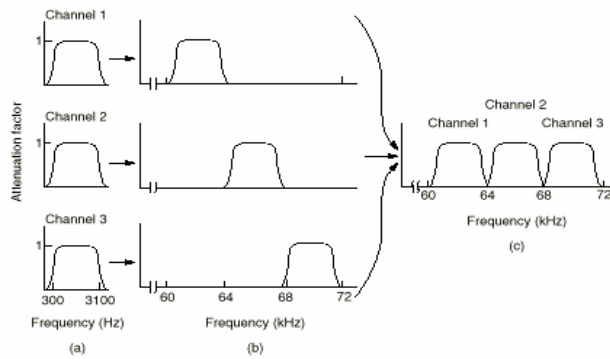
Architettura di un sistema FTTH



53

Dorsali e multiplexing

FDM (Frequency Division Multiplexing)



54

Dorsali e multiplexing I - 3

WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Reti di calcolatori 55 Prof. Gianni Fenu

55

Dorsali e multiplexing I - 3

TDM (Time Division Multiplexing)

Reti di calcolatori 56 Prof. Gianni Fenu

56

Dorsali e multiplexing I - 3

larghezza di banda 4000Hz

campionamento: 1 ogni 125 microsecondi

PCM (Pulse Code Modulation)

T1 1,544Mbps (USA, J) E1 2,048Mbps (Europa)

Reti di calcolatori 57 Prof. Gianni Fenu

57

Dorsali e multiplexing I - 3

Modulazione a codice di impulso differenziale

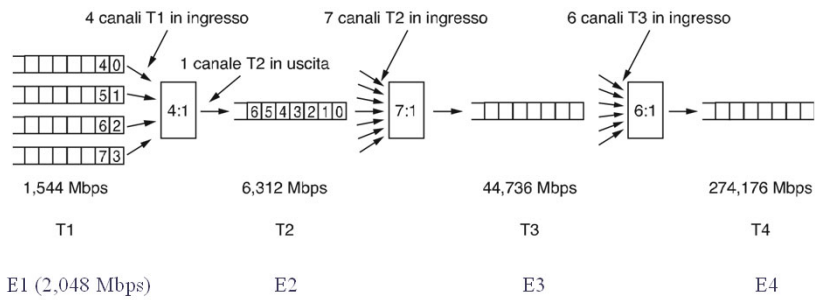
La variante della Modulazione delta (variazione soltanto di +/-1 rispetto al segnale precedente)

Reti di calcolatori 58 Prof. Gianni Fenu

58

codifica per ipotesi

multiplexing



59

PDH/SDH

PDH - Plesyochronous Digital Hierarchy

SDH - Synchronous Digital Hierarchy

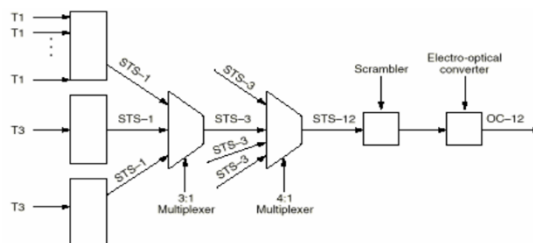
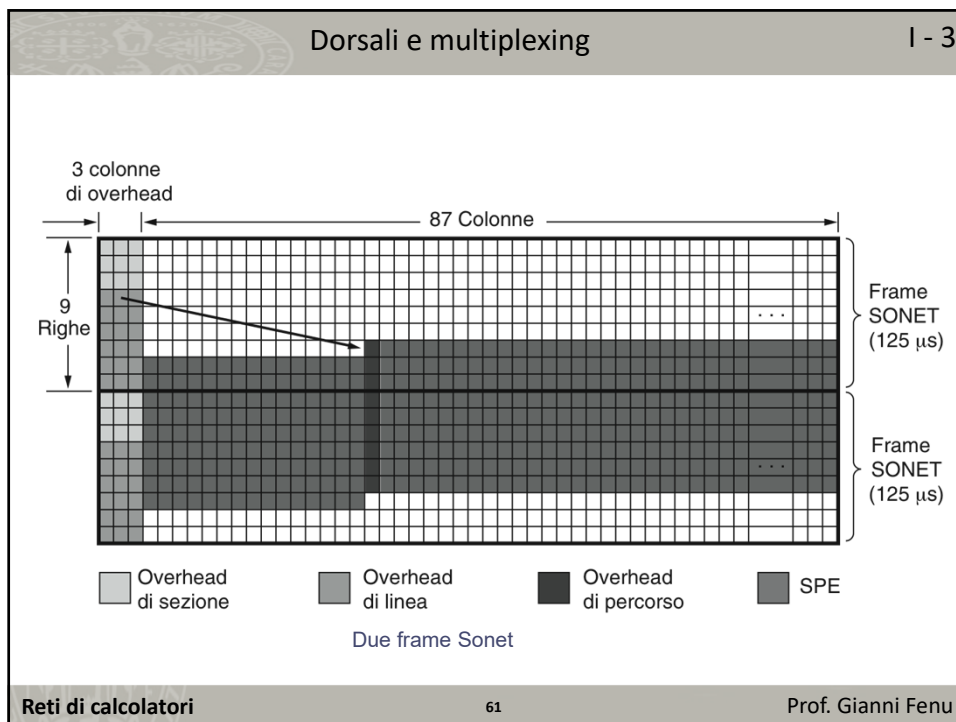


Fig. 2-31. Multiplexing in SONET.

60



61

Dorsali e multiplexing I - 3

| SONET | | SDH | Data rate (Mbps) | | |
|-----------|--------|--------|------------------|-----------|-----------|
| Elettrico | Ottico | Ottico | Grezzo | SPE | Utente |
| STS-1 | OC-1 | | 51,84 | 50,112 | 49,536 |
| STS-3 | OC-3 | STM-1 | 155,52 | 150,336 | 148,608 |
| STS-9 | OC-9 | STM-3 | 466,56 | 451,008 | 445,824 |
| STS-12 | OC-12 | STM-4 | 622,08 | 601,344 | 594,432 |
| STS-18 | OC-18 | STM-6 | 933,12 | 902,016 | 891,648 |
| STS-24 | OC-24 | STM-8 | 1.244,16 | 1.202,688 | 1.188,864 |
| STS-36 | OC-36 | STM-12 | 1.866,24 | 1.804,032 | 1.783,296 |
| STS-48 | OC-48 | STM-16 | 2.488,32 | 2.405,376 | 2.377,728 |
| STS-192 | OC-192 | STM-64 | 9.953,28 | 9.621,504 | 9.510,912 |

Reti di calcolatori 62 Prof. Gianni Fenu

62

ISDN a banda stretta (N-ISDN)

- condotto digitale di bit (digital bit pipe)
- terminazioni NT1, NT2
- punti di riferimento R, S, T, U

ISDN a banda stretta (N-ISDN)

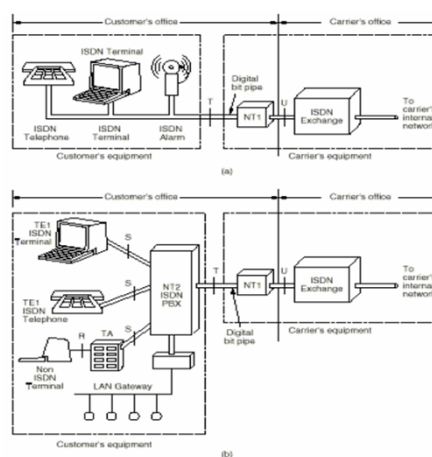


Fig. 2-41. (a) Example ISDN system for home use. (b) Example ISDN system with a PBX for use in large businesses.

A – canale telefonico analogico 4Khz
 B – canale digitale PCM 64 Kbps (voce/dati)
 C – canale digitale 8 o 16 Kbps
 D – canale digitale 16 Kbps segnalazione fuori banda
 E – canale digitale a 64 Kbps segnalazioni interne ISDN
 F – canale digitale 384, 1536, 1920 Kbps

BRI: $2B + D$ (accesso base)

PRI: $30B + D$ (accesso primario) 2.048 Mbps (32 ch)

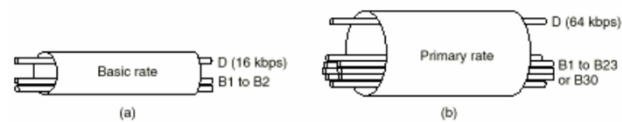


Fig. 2-42. (a) Basic rate digital pipe. (b) Primary rate digital pipe.

B-ISDN (Broadband ISDN) e ATM

- circuiti virtuali commutati
- circuiti virtuali permanenti

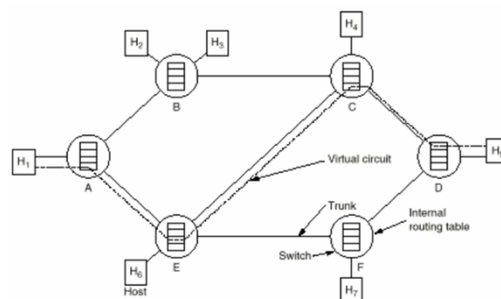


Fig. 2-43. The dotted line shows a virtual circuit. It is simply defined by table entries inside the switches.

la trama PCM utilizza time-slot che si ripetono ciclicamente
 nell'ATM non esiste trama

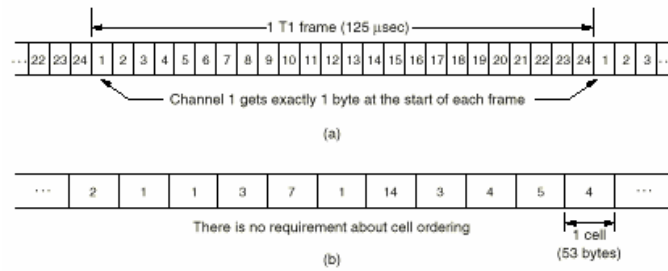


Fig. 2-44. (a) Synchronous transmission mode. (b) Asynchronous transmission mode.