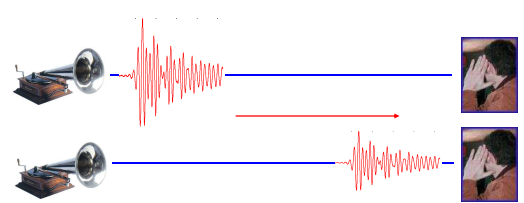


UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

## Il livello fisico

Per poter trasportare delle informazioni da un posto ad un altro è necessario avere:

- 1) Un **canale** trasmissivo in grado di garantire il trasporto di segnali
- 2) Un **generatore** di segnali
- 3) Un **rilevatore** di segnali



Reti di Calcolatori 1

UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

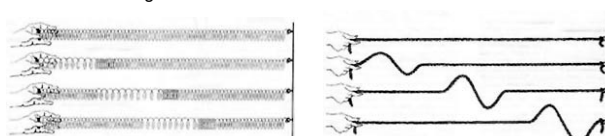
## Il livello fisico

La trasmissione lungo un canale avviene modulando opportuna una **caratteristica fisica** del mezzo trasmissivo.

Es: percuotere un pezzo di metallo provoca la generazione di onde deformanti che si propagheranno lungo il metallo.

In questo caso il metallo fornisce il **substrato** per la trasmissione dell'onda meccanica.

Modulando opportunamente le percussioni è possibile trasmettere informazioni lungo il nostro canale.



Reti di Calcolatori 2

UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

## Mezzi trasmissivi

Normalmente come mezzi trasmissivi si utilizzano i **conduttori elettrici**, in modo da utilizzare le onde elettriche come portanti per i segnali.

È possibile anche utilizzare **mezzi wireless** per la trasmissione. In questo caso si utilizzano le onde elettromagnetiche.

Esistono anche **mezzi ottici**, che consentono di ottenere canali con larghezza di banda molto elevata.

Reti di Calcolatori 3

UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

## Analisi di Fourier

Un qualunque segnale di periodo finito può essere rappresentato per mezzo di una **sommatoria infinita** di onde sinusoidali di frequenza ed ampiezza opportune.

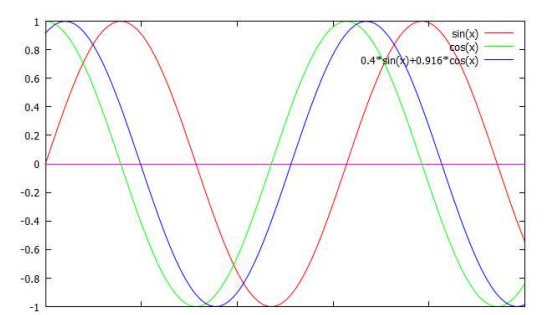
$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$f=1/T$  è la frequenza fondamentale del segnale.

Reti di Calcolatori 4

UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

## Analisi di Fourier

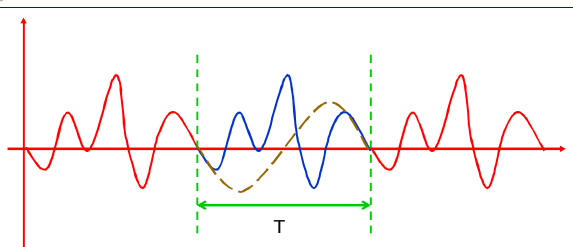


$0.4^2 + 0.916^2 = 1$

Reti di Calcolatori 5

UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

## Analisi di Fourier



$f=1/T$  è la frequenza fondamentale del segnale.

Reti di Calcolatori 6

## Analisi di Fourier

I coefficienti  $a_n$  e  $b_n$  servono a pesare le varie componenti.  
Si ricavano dalle seguenti espressioni:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi n f t) dt$$

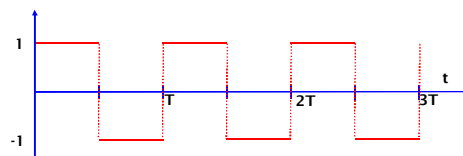
$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi n f t) dt$$

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

Reti di Calcolatori 7

## Analisi di Fourier

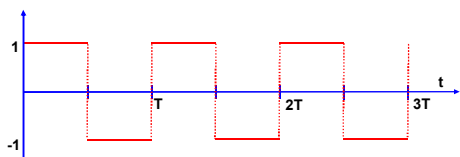
Esempio: Onda quadra



$$g(t) = \begin{cases} 1 & \text{se } 0 + nT < t < \frac{1+2n}{2}T \\ -1 & \text{se } \frac{1+2n}{2}T < t < (1+n)T \end{cases}$$

Reti di Calcolatori 8

## Analisi di Fourier

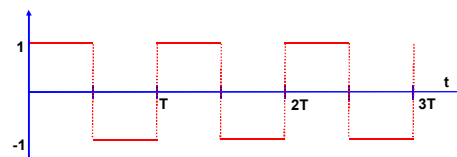


$$g(t) = \begin{cases} 1 & \text{se } 0 + nT < t < \frac{1+2n}{2}T \\ -1 & \text{se } \frac{1+2n}{2}T < t < (1+n)T \end{cases}$$

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{4}{n\pi} & n \text{ dispari} \\ a_n &= 0 & n \text{ pari} \\ b_n &= 0 \\ c &= 0 \end{aligned}$$

Reti di Calcolatori 9

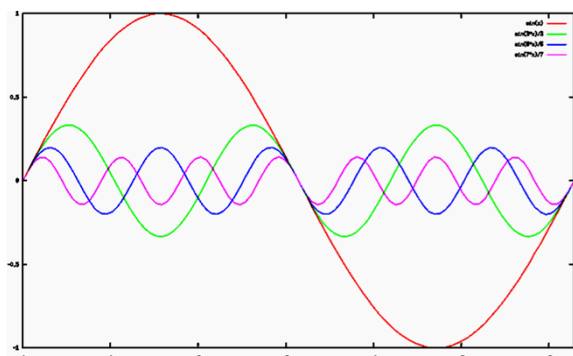
## Analisi di Fourier



$$g(t) = \frac{4}{\pi} \sin(2\pi t) + \frac{4}{3\pi} \sin(6\pi t) + \frac{4}{5\pi} \sin(10\pi t) \dots$$

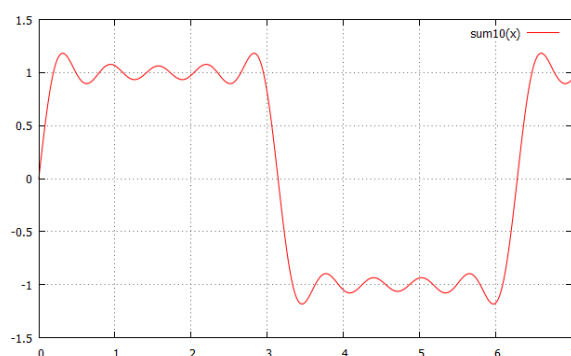
Reti di Calcolatori 10

## Analisi di Fourier

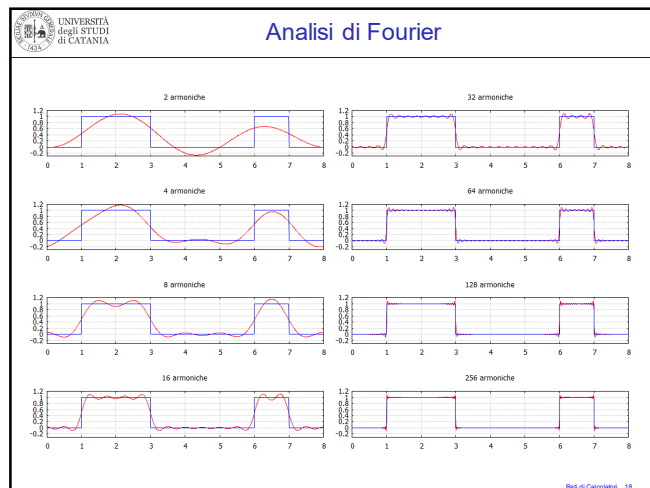
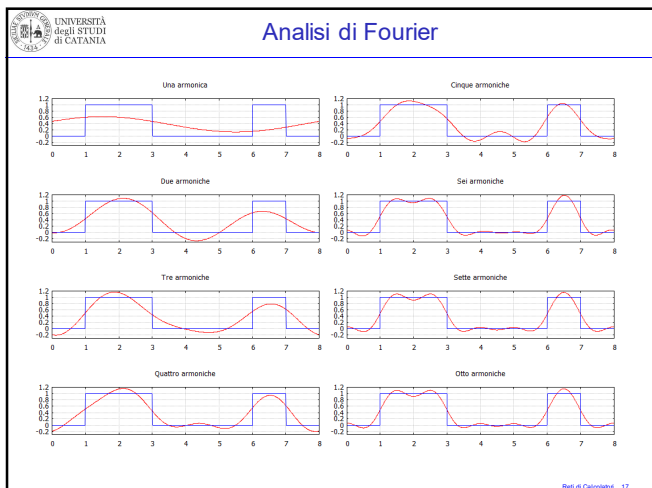
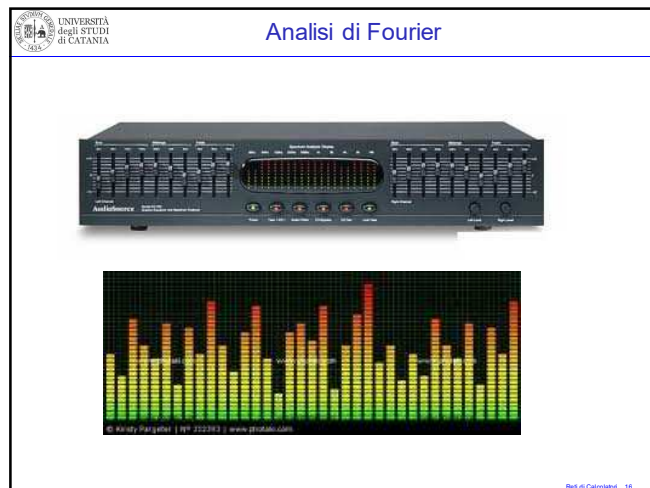
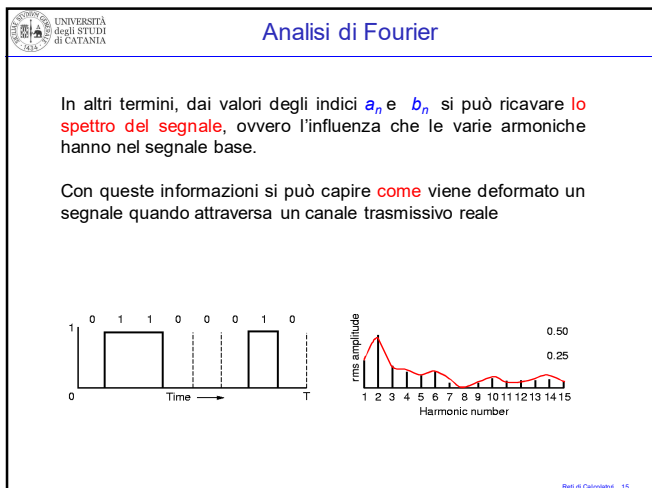
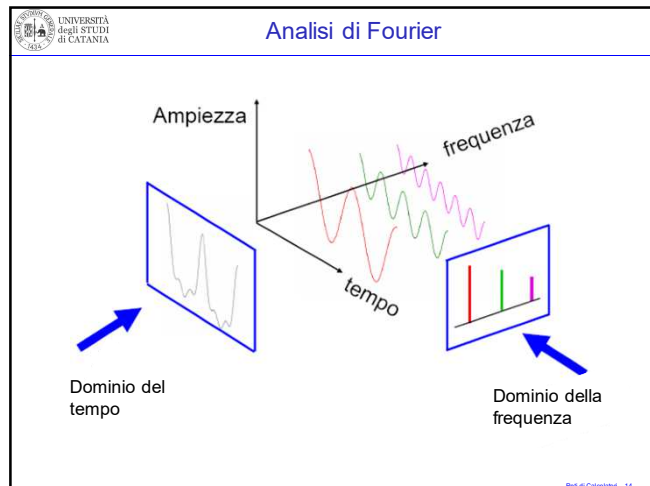
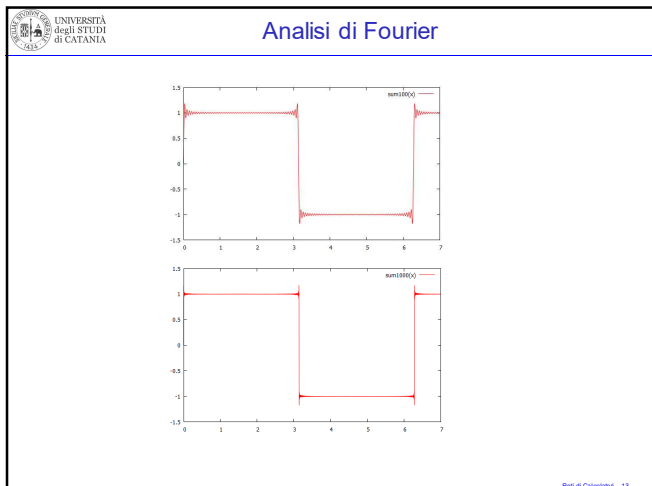


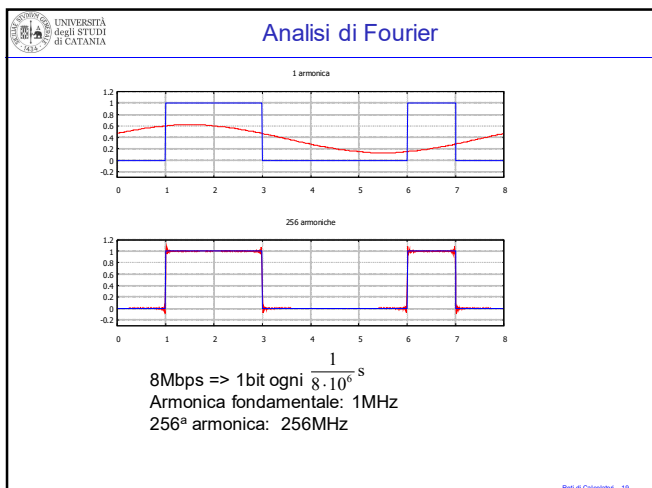
Reti di Calcolatori 11

## Analisi di Fourier

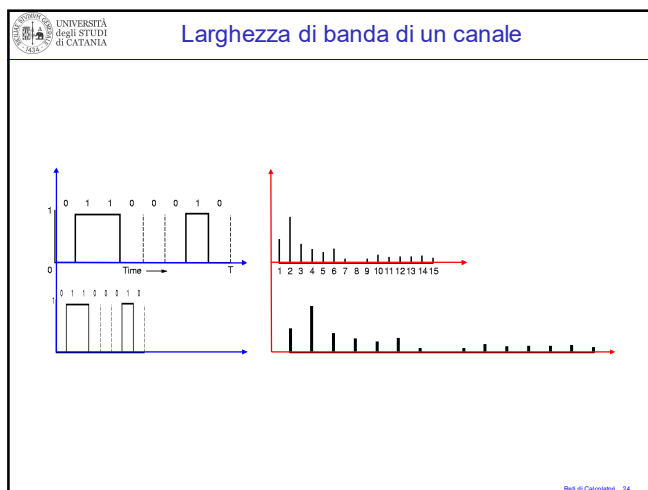
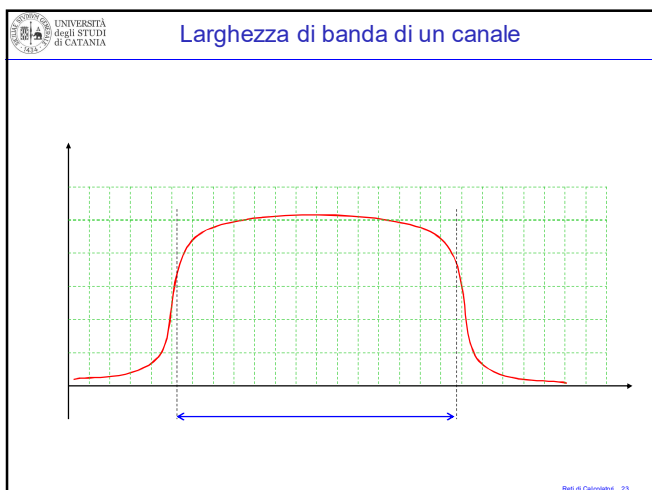
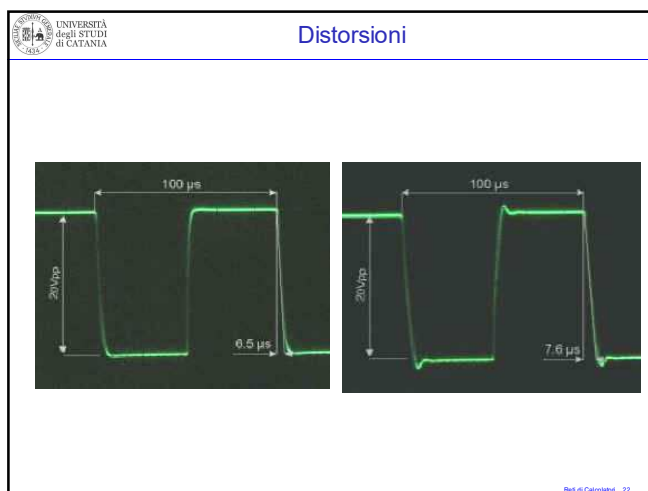
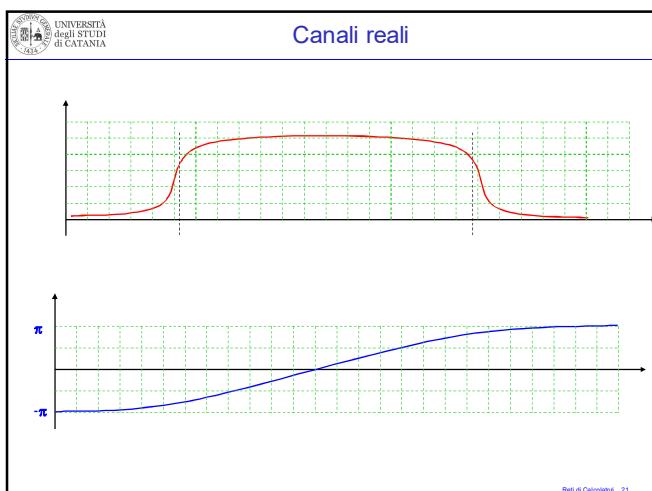


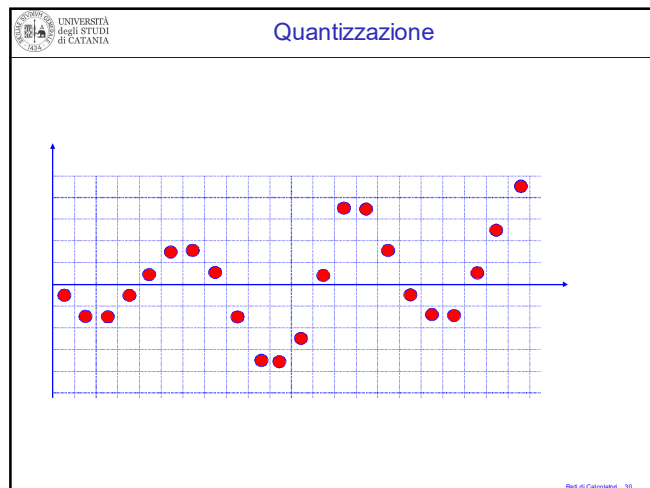
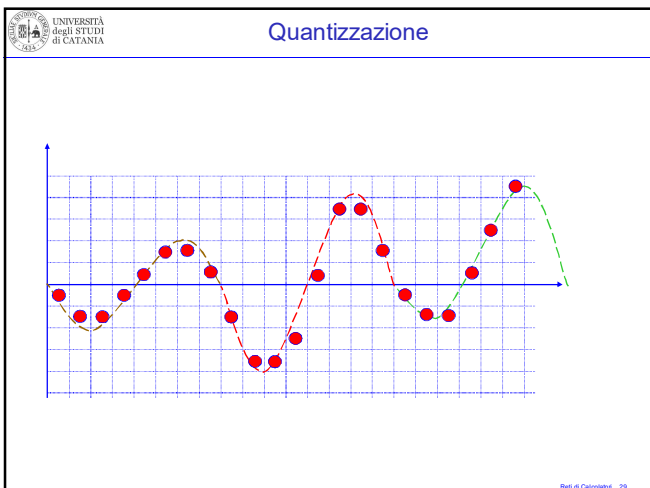
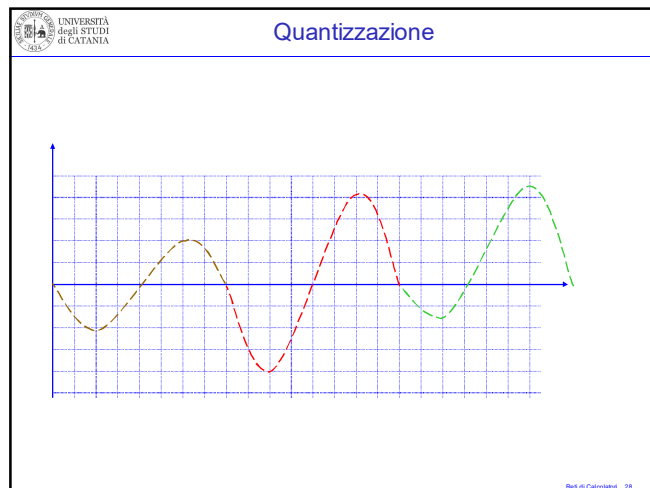
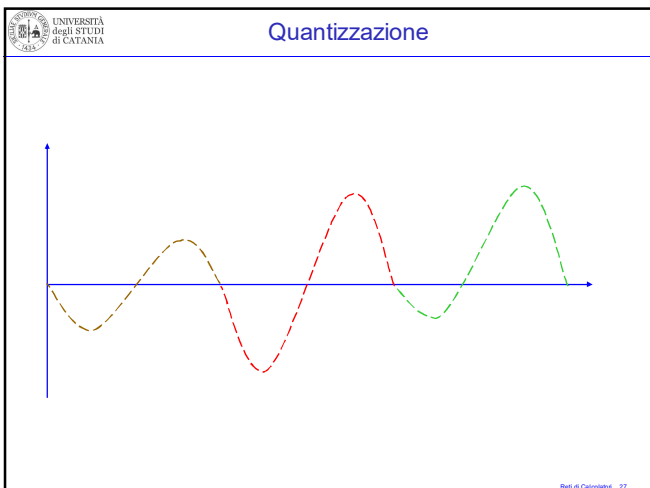
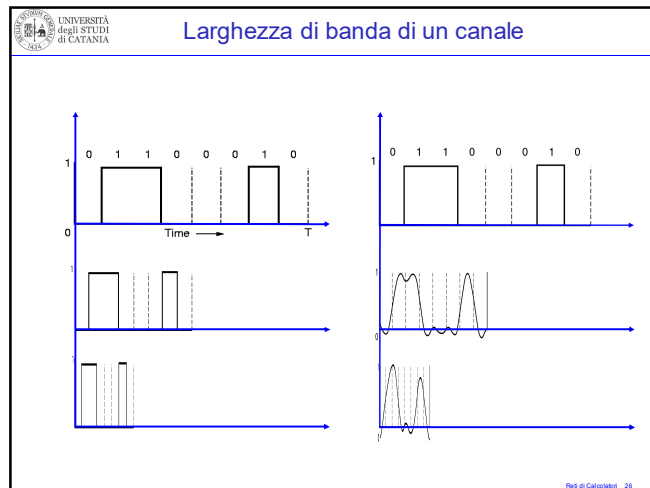
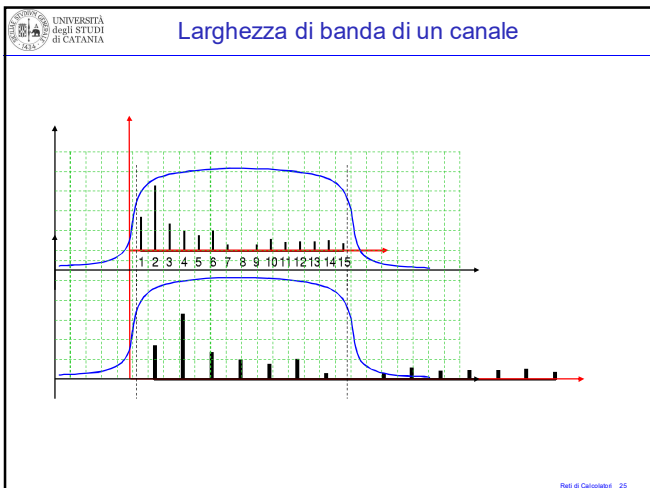
Reti di Calcolatori 12

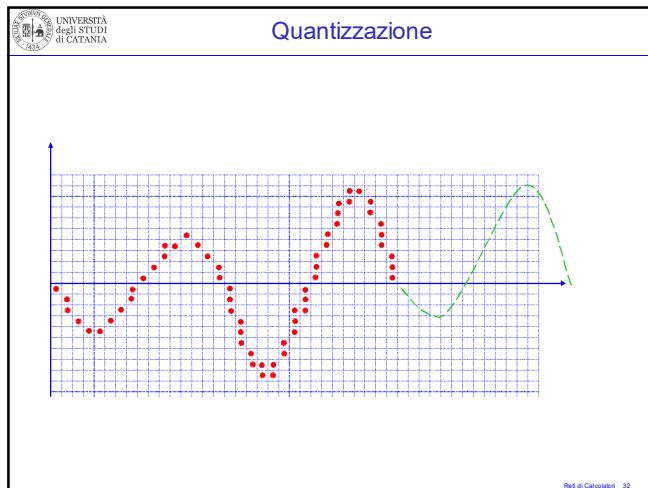
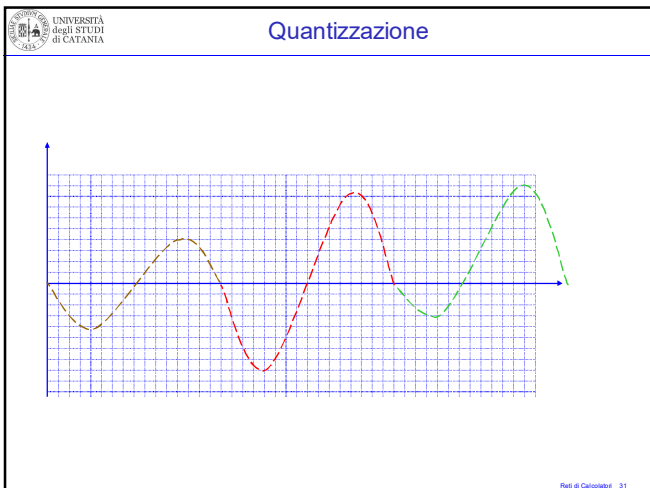




- UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA
- ## Canali trasmissivi
- I canali trasmissivi si suddividono in:
- 1) Canali **perfetti**: non causano distorsioni o ritardi nella propagazione dei segnali
  - 2) Canali **ideali**: causano solo un ritardo costante nella propagazione
  - 3) Canali **reali**: causano attenuazioni e ritardi, in funzione della frequenza dei segnali
- Reti di Calcolatori 20







UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

## Teorema di Nyquist

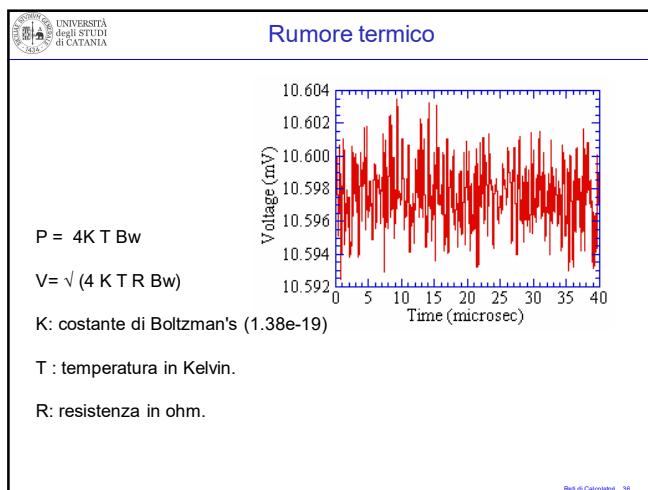
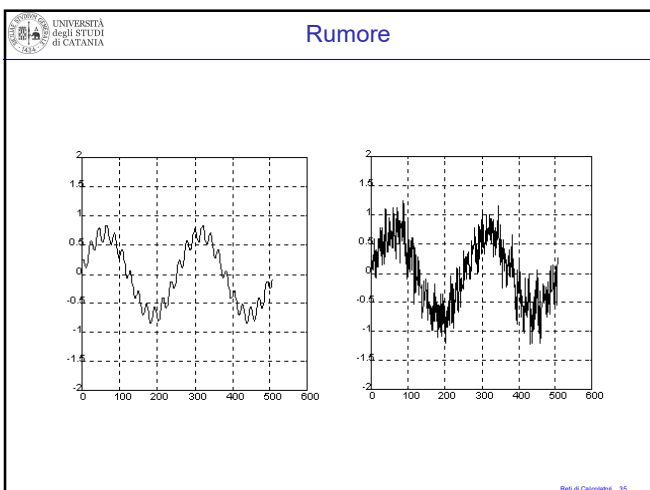
Nyquist ha elaborato una espressione che lega la larghezza di banda di un segnale con la quantità di informazioni trasportabili:

$$\text{Massimo bitrate} = 2 H \log_2 V \quad [\text{b/s}]$$

dove H è la larghezza di banda del segnale e V il numero di livelli differenti presenti nel segnale.

Nyquist non pone limiti al bit rate trasportabile da un segnale!

Reti di Calcolatori 33



## Teorema di Shannon

Nella pratica due fenomeni limitano questo tipo di trasmissione:

1. il numero di **livelli discriminabili**
2. presenza di **rumore** ( **termico**, **interferenze** ...)

## Teorema di Shannon

Claude Shannon ha elaborato un'espressione per determinare il massimo bitrate in un canale reale, in presenza di rumore:

$$\text{Massimo bitrate} = H \log_2 (1 + S/N) \quad [\text{bit/s}]$$

Dove H è la larghezza di banda del segnale, S e N sono, rispettivamente, la potenza del segnale e del rumore sul canale.

Da questa espressione si deduce chiaramente che per ogni canale esiste un ben preciso limite fisico.

## Canali telefonici

Esempio: canale telefonico.

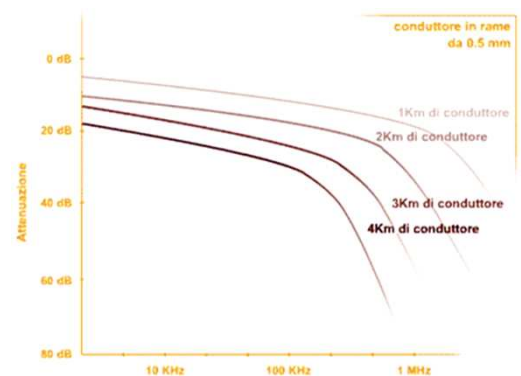
Un normale canale telefonico consente di utilizzare frequenze comprese nel range 10 - 3000 Hz.

Tipicamente il rapporto segnale-rumore (S/N) è di 30 dB

$$r_{db} = 10 \log_{10} \frac{A_1}{A_2}$$

Dall'espressione di Shannon ne consegue che il rate massimo risulta essere di circa 30.000 bps.

## Canali telefonici



## Canali trasmissivi

In generale:

- più alto è il bit rate, più ampia è la banda del segnale da trasmettere
- più lungo è il canale trasmissivo, maggiore è la potenza del rumore, minore è la capacità del canale

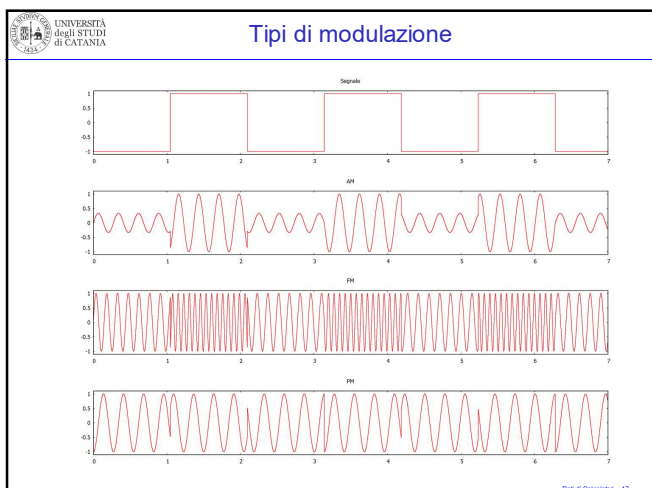
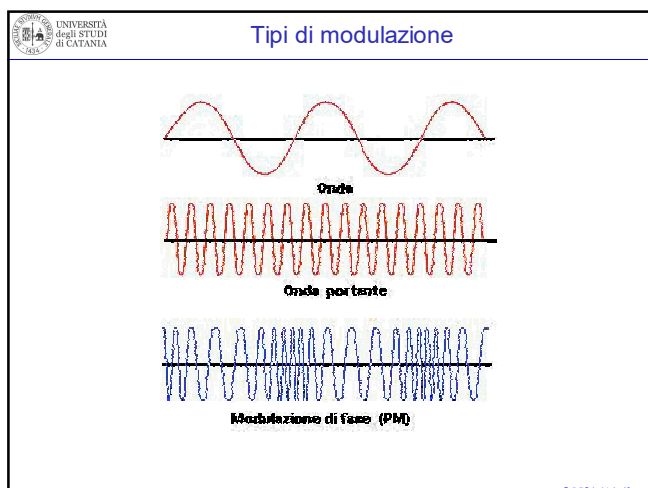
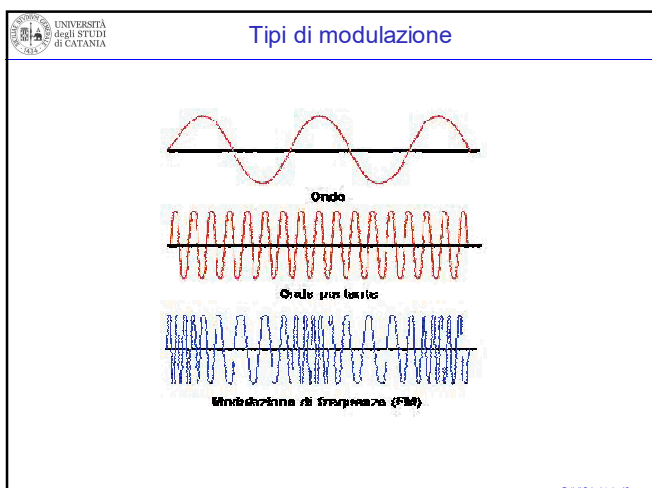
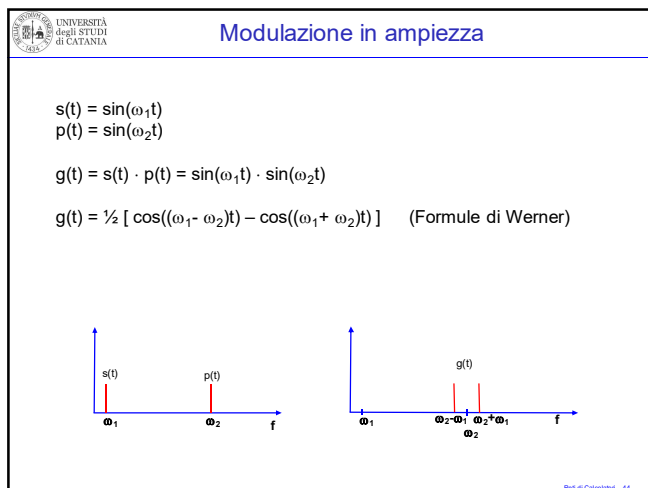
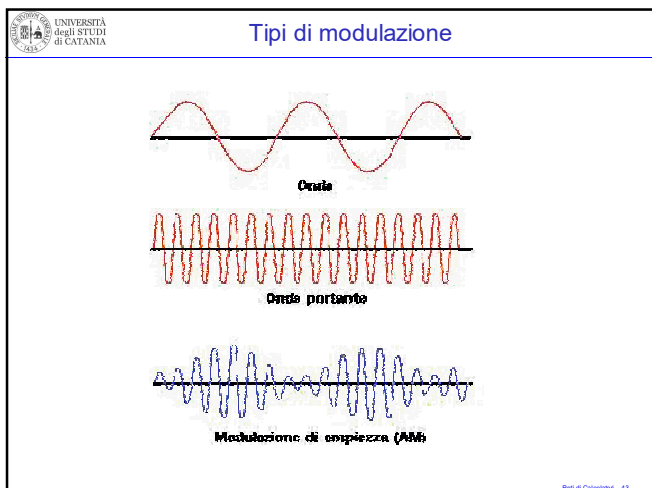
## Modulazione

$$s(t) \quad p(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

$$g(t) = A k_s s(t) \sin(\omega t + \varphi)$$

$$g(t) = A \sin( (\omega + k_f s(t)) t + \varphi )$$

$$g(t) = A \sin( \omega t + k_p s(t) + \varphi )$$



UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

### Analogico o digitale

Una grandezza è detta **analogica** se può variare senza soluzione di continuità.

Una grandezza è detta **digitale** se può assumere solo valori ben precisi in numero finito.

Un **segnale analogico** utilizza una larghezza di banda più limitata, ma subisce distorsioni per ogni processo rigenerativo (amplificazioni).

Un **segnale digitale** ha una larghezza di banda più elevata, ma può essere rigenerato con estrema precisione (quindi senza l'introduzione di errori). Per questo motivo le comunicazioni digitali stanno soppiantando quelle analogiche.

Reti di Calcolatori 48



## I mezzi trasmissivi

Esempi:

- foglio di carta
- segnali di fumo
- tam tam
- lanterne luminose
- dischetti magnetici
- nastri magnetici
- cdrom
- ...

## Il doppino telefonico

Il doppino telefonico, o doppino intrecciato è costituito da una coppia di cavi elettrici intrecciati ad elica fra loro.



## Il doppino intrecciato

I cavi sono caratterizzati dalla categoria di riferimento:  
UTP CAT3, CAT5, CAT 5e, CAT6 ...



(a)

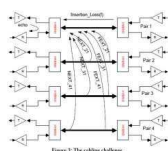
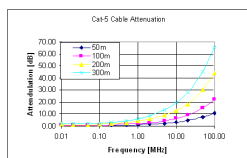


(b)

## Il doppino intrecciato



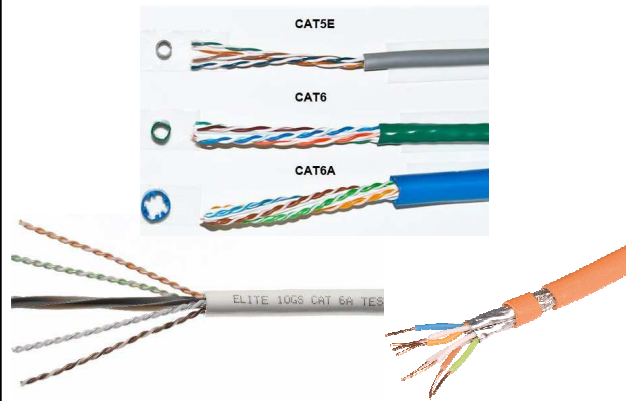
## Il doppino intrecciato



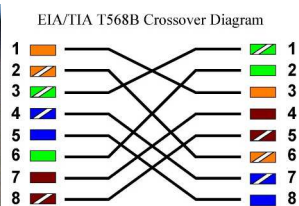
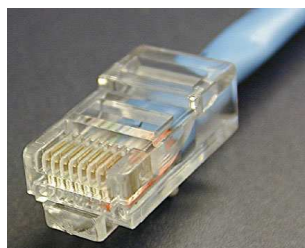
Buyer's Guide | Performance standards at 100 MHz for channels

TIA/EIA-568/IEC	CAT5e—Class D	CAT6—Class E	CAT6a—Class F <sub>PL</sub>	CAT7—Class F	CAT7a—Class F <sub>PL</sub>
Frequency (MHz)	1–100	1–250	1–500	1–600	1–1000
Insertion Loss (dB)	24.0	21.3–21.7	20.9	20.8	20.3
NEXT (dB)	30.1	39.9	39.9	62.9	65.0
PS-NEXT (dB)	27.1	37.1	37.1	59.9	62.0
ACR (dB)	6.1	18.6	18.6	42.1	46.1
PS-ACR (dB)	3.1	15.8	15.8	39.1	41.7
ACRF (dB)	17.4	23.3	23.3–22.5	44.4	47.4
PS-ACRF (dB)	14.4	20.3	20.3–22.5	41.1	44.4
Return Loss (dB)	10.0	12.0	12.0	12.0	12.0
PS-ANEXT (dB)	—	—	60.0	—	67.0
PS-AACRF (dB)	—	—	37.0	—	52.0
Propagation Delay (ns)	548	548	548	548	548
Delay Skew (ns)	50	50	50	30	30
Networks Supported	1000BASE-T	1000BASE-TX	10GBASE-T	N/A	N/A

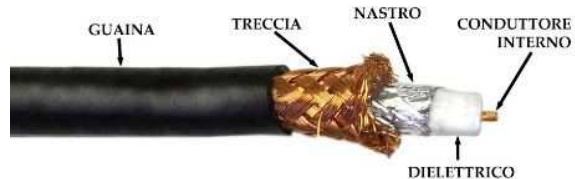
## Cat 5e, 6, 6a, 7



## Il doppino intrecciato

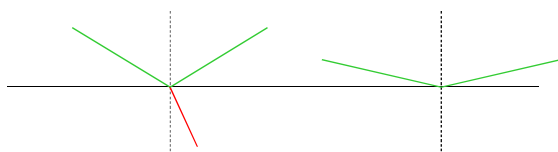


## Il cavo coassiale

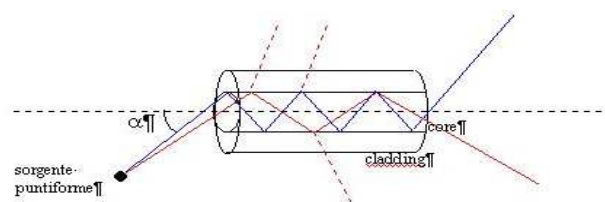


## Fibre ottiche

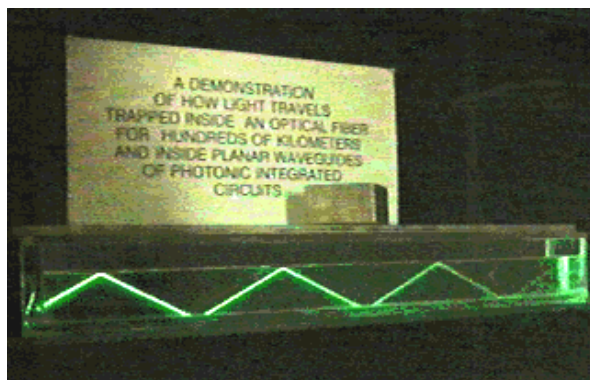
Un raggio luminoso, nell'interfaccia tra due mezzi ottici differenti si scompone in due componenti, una riflessa e l'altra rifratta. Oltre un certo angolo d'incidenza, la componente rifratta è nulla.



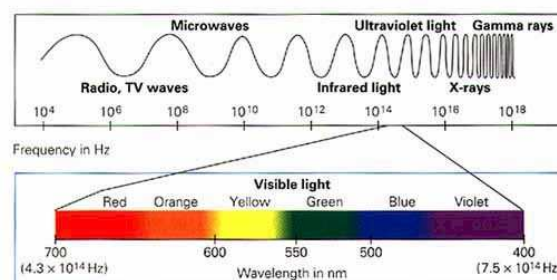
## Fibre ottiche

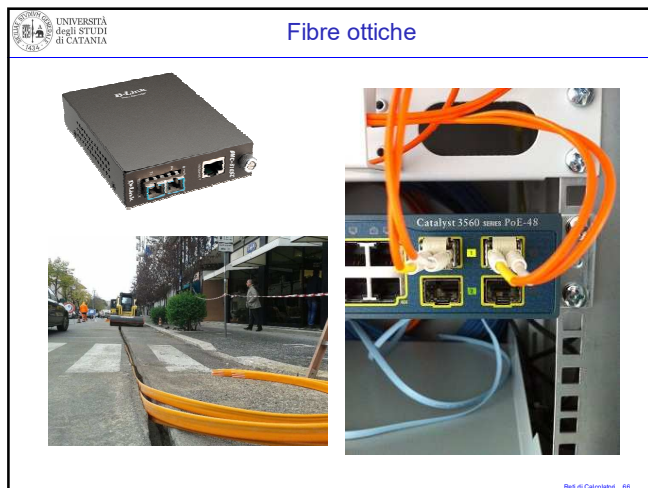
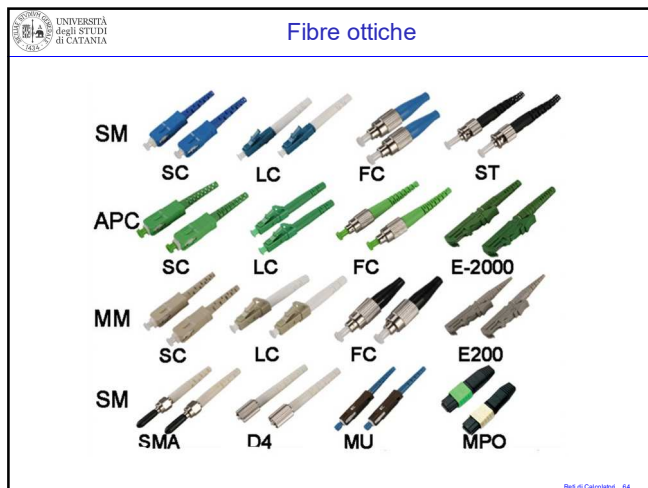
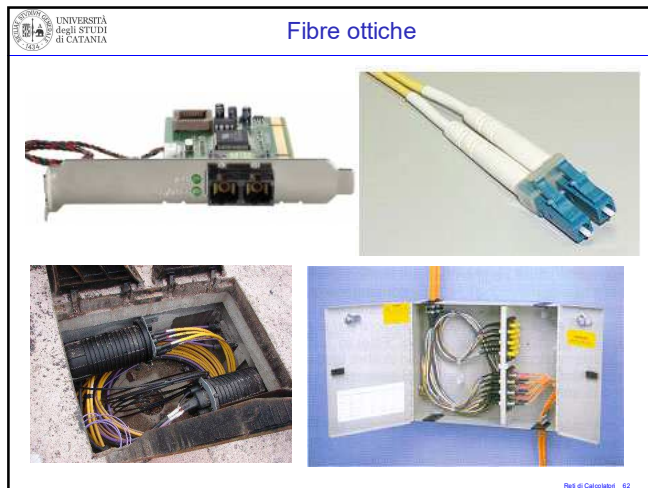
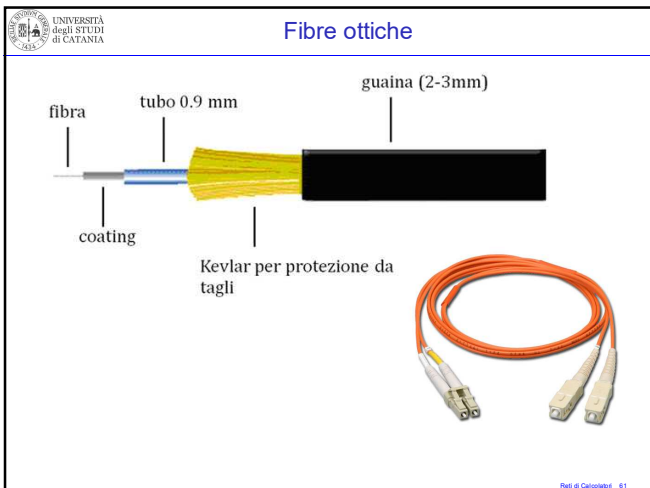


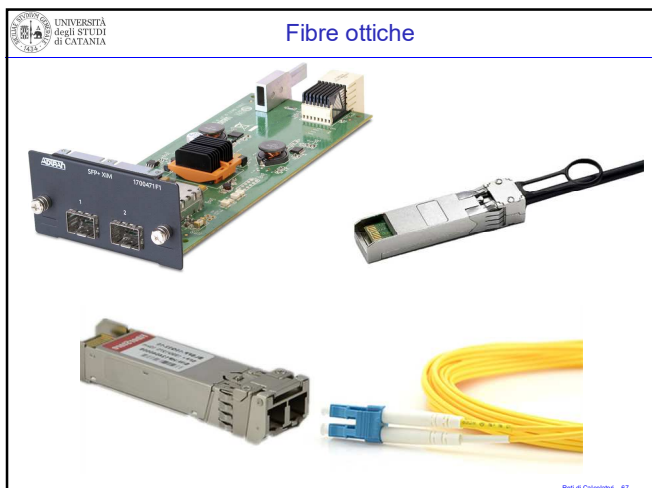
## Fibre ottiche



## Fibre ottiche







Reti di Calcolatori 67

Cabling Standard	Cabling Type	Max Reach
10GBASE-SR	62.5µm OM3 multimode fiber	300m
	50µm OM4 multimode fiber	400m
10GBASE-LR	9µm single-mode fiber	10km
10GBASE-ER	9µm single-mode fiber	40km
10GBASE-ZR	9µm single-mode fiber	80km
10GBASE-LX4	9µm single-mode fiber	10km
	62.5µm multimode fiber	300m
	50µm multimode fiber	
10GBASE-LRM	9µm single-mode fiber	220m
10GBASE-T	Cat 6, Cat 6a or 7 twisted pair	30m
10G DAC/AOC	Copper RJ45	1-10m/up to 20m

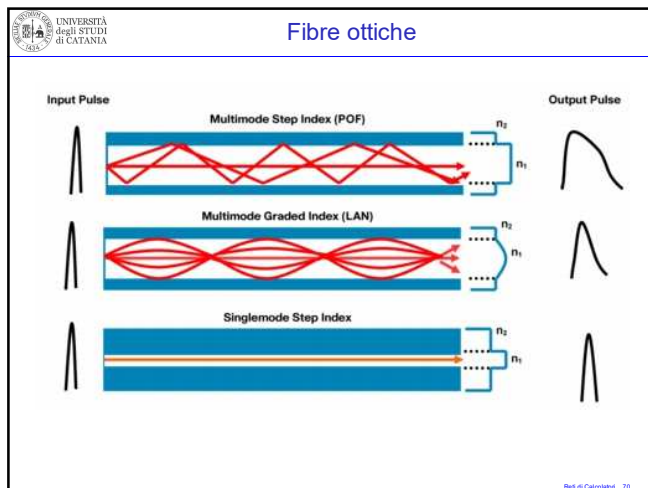
Reti di Calcolatori 68

**Fibre ottiche**

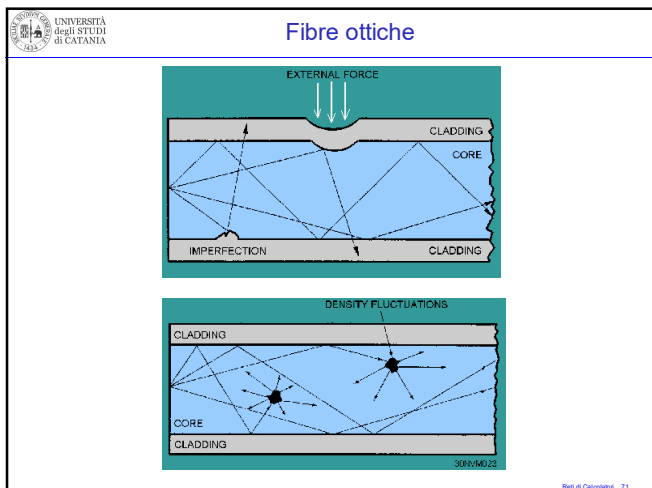
Esistono due tipi di Fibre Ottiche:

- **multimodali**, caratterizzate dal fatto che sono presenti più raggi riflessi contemporaneamente. Il diametro del core è di 50micron
- **monomodali**: la luce avanza senza riflessioni, assialmente. Consentono di coprire distanze maggiori con bit rate più alti. Sono anche più costose. Il core ha un diametro di 8 micron.

Reti di Calcolatori 69



Reti di Calcolatori 70



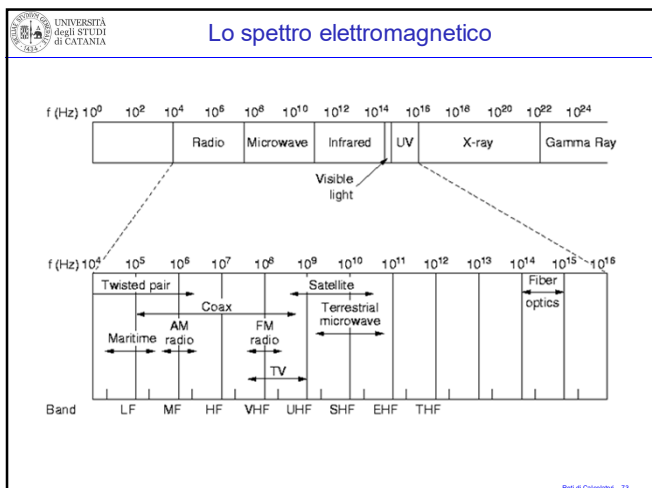
Reti di Calcolatori 71

**Reti wireless**

In molte applicazioni è utile realizzare reti di comunicazione senza cavi di collegamento fissi.

- All'interno di un edificio, quando i costi per il cablaggio strutturato sono elevati o non è possibile intervenire sulla struttura.
- Quando l'utente vuol rimanere connesso al resto del mondo in qualunque momento e in qualunque luogo si trovi (mobile computing).
- Quando le strutture da connettere sono troppo distanti o l'ambiente rende estremamente difficile il cablaggio (es. la rete nelle isole Hawaii)

Reti di Calcolatori 72



UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

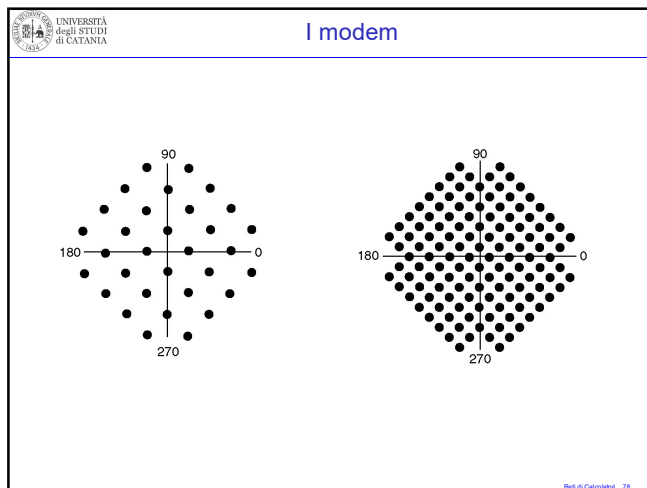
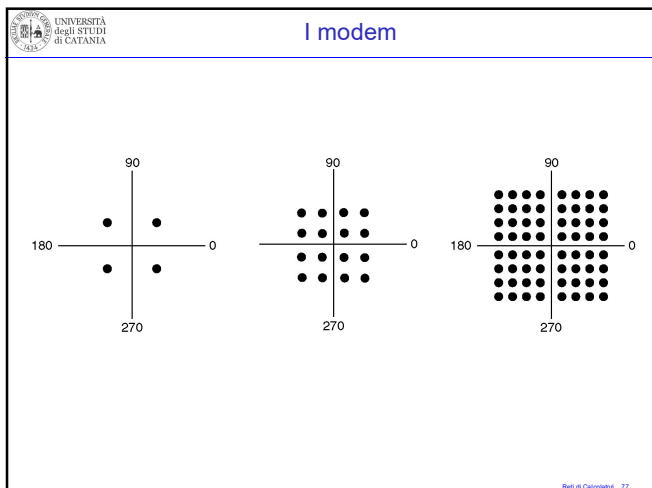
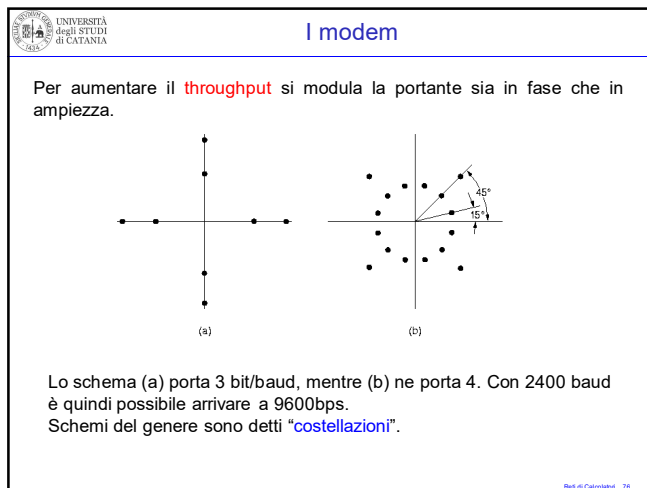
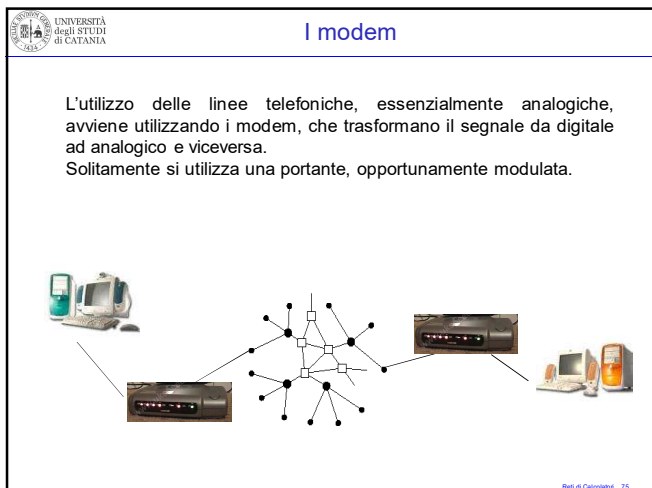
## Le reti telefoniche

Le reti telefoniche sono state progettate per le comunicazioni fatte con la voce umana, per cui non si prestano facilmente alle comunicazioni tra computer.

I provider telefonici inseriscono normalmente un **filtro passa-basso** che elimina tutte le frequenze superiori a 3000Hz.

Il **tasso di errore** in una rete telefonica è dell'ordine di  $1/10^5$  mentre nei cavi tradizionali arriviamo anche a valori di  $1/10^{13}$ .

Reti di Calcolatori 74





## I modem

Alcuni standard trasmissivi:

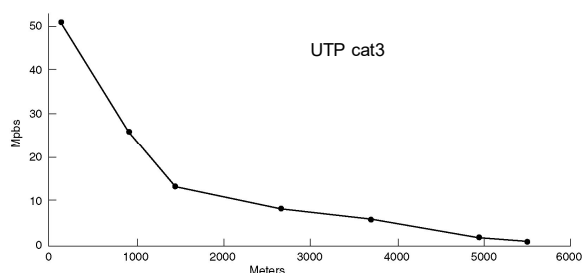
• V21	300 bps
• V22	1200
• V22bis	2400, 1200
• V32 bis	14400
• V34	33600, 31200, 28800
• V90	56k
• V17	FAX 14400
• V27ter	FAX 4800
• V29	FAX 9600

## I modem

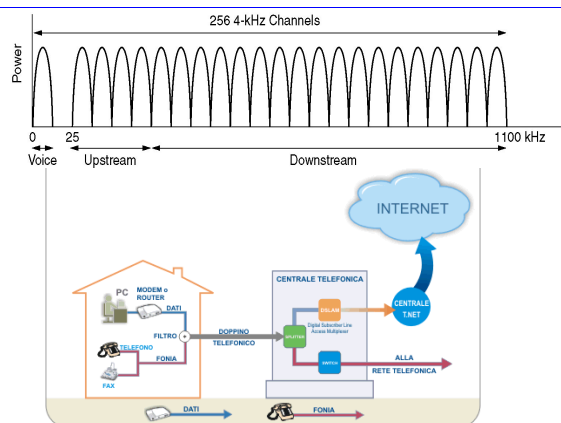
Per ovviare al basso throughput delle linee, sono stati introdotti anche alcuni sistemi di **compressione** dati in tempo reale. Infatti, data la lentezza delle linee, i vantaggi derivanti dalla compressione compensano altamente i ritardi dovuti alle fasi di compressione-decompressione.

**MNP5** prevede la compressione secondo stringhe di bit  
**V.42bis** utilizza la codifica di Ziv-Lempel

## DSL



## DSL



## DSL

ADSL Link	Downstream	Upstream
Connection Speed	2272 kbps	288 kbps
Line Attenuation	16 db	4 db
Noise Margin	31 db	31 db

ADSL Link	Downstream	Upstream
Connection Speed	7616 kbps	480 kbps
Line Attenuation	28.0 db	12.0 db
Noise Margin	13.1 db	26.0 db

ADSL Link	Downstream	Upstream
Link Rate	19252 Kbps	999 Kbps
Line Attenuation	24.0 dB	12.8 dB
Noise Margin	6.0 dB	16.3 dB

## DSL

**Margine di rumore (SNR):**

5db o inferiore	= Pessimo
8db - 13db	= Medio
14db - 22db	= Molto Buono
23db - 28db	= Eccellente
29db - 35db	= Dentro la centrale

**Line Attenuation (in db):**

20 - 30	= Eccellente
30 - 40	= Molto buono - Buono
40 - 60	= Medio - Scarso
60 - 65	= Pessimo
> 65	= usare RFC 1149

Distanza dalla centrale (in metri) =  $(1000 * \text{MAX\_Attenuation}) / 13.81$

Ratio/Factor	Decibels
2	6db
3.16	10db
10	20db
31.6	30db
100	40db
316	50db
1000	60db