

## Reti di Calcolatori AA 2010/2011



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

<http://disi.unitn.it/locigno/index.php/teaching-duties/computer-networks>

### Il livello Fisico

Renato Lo Cigno

---

---

---

---

---

---

---

---

## Copyright

Quest'opera è protetta dalla licenza:

**Creative Commons**  
**Attribuzione-Non commerciale-Non opere derivate**  
**2.5 Italia License**

Per i dettagli, consultare  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/it/>



locigno@disi.unitn.it

2



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

## Mezzi e sistemi trasmissivi

- Elettrici
  - Doppino non schermato
  - Cavo coassiale
- Ottici
  - Fibra ottica
  - Raggi Laser
- Radio
  - Ponti radio
  - Satelliti
  - Reti Cellulari

locigno@disi.unitn.it

3



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

## Caratteristiche mezzi trasmissivi elettrici

- Il mezzo ottimale è caratterizzato da:
  - Resistenza, capacità parassite e impedenza basse (in altri termini buone caratteristiche di conduzione dei segnali elettrici/optici)
  - Buona resistenza alla trazione
  - Flessibilità
- Le caratteristiche dei mezzi elettrici dipendono da:
  - Geometria
  - Numero di conduttori e distanza reciproca
  - Tipo di isolante
  - Tipo di schermatura

locigno@disi.unitn.it

4



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

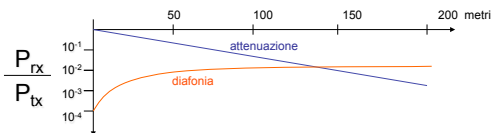
---

---

---

## Parametri dei mezzi trasmissivi elettrici

- Impedenza (in funzione della frequenza)
- Velocità di propagazione del segnale (0.5c-0.7c per cavi e 0.6c per fibre ottiche)
- Attenuazione (cresce linearmente, in dB, con la distanza e con la radice quadrata della frequenza)
- Diafonia o Cross-Talk (misura del disturbo indotto da un cavo vicino – cresce con la distanza fino a stabilizzarsi)



locigno@disi.unitn.it

5



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

## Il Doppino

- Detto anche coppia (pair), è il mezzo trasmissivo classico della telefonia
- Due fili di rame ritorti (binati, twisted) per ridurre le interferenze elettromagnetiche usando tecniche trasmissive differenziali
- Costi ridotti e installazione semplice



locigno@disi.unitn.it

6



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---


---

---

---


---

# Il Doppino



locigno@disi.unitn.it

7



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

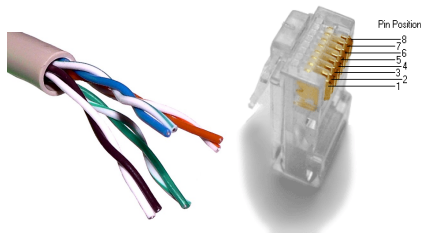
---

---

---

---

# Il Doppino




Pin Position

8  
7  
6  
5  
4  
3  
2

locigno@disi.unitn.it

8



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

# Il Doppino



locigno@disi.unitn.it

9



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

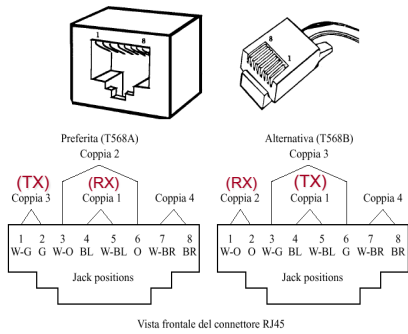
---

---

---

---

## Doppino: connettore RJ45



locigno@disi.unitn.it

10




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Il Doppino UTP

- Versione senza schermatura (UTP = Unshielded Twisted Pair), usata nelle reti telefoniche e dati
- Diviso in diverse categorie, di qualità crescente

1	Telefonia analogica
2	Telefonia ISDN
3	Reti locali fino a 10 Mb/s
4	Reti locali fino a 16 Mb/s
5	Reti locali fino a 100 Mb/s
5e	Reti locali fino a 1 Gb/s
6	Reti locali fino a 1 Gb/s (migliore qualità di Cat.5e)
6a	Reti locali fino a 10 Gb/s

locigno@disi.unitn.it

11




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Il cavo coassiale

- Sistema trasmissivo composto da un connettore centrale e una o più calze di schermo.
- Maggiore schermatura dai disturbi esterni (gabbia di Faraday), minori interferenze
- Costi elevati, maggiore difficoltà di installazione
- Velocità trasmissive ~ centinaia di Mb/s
- Due tipologie dominanti
  - Cavo oscilloscopio (RG-58)
  - Cavo TV (RG-59)
- Molto usato (per i dati) in USA e in tutte le nazioni dove è diffusa la TV via cavo: si usa lo stesso cavo anche per Internet con un Cable-Modem



locigno@disi.unitn.it

12




---

---

---

---

---

---

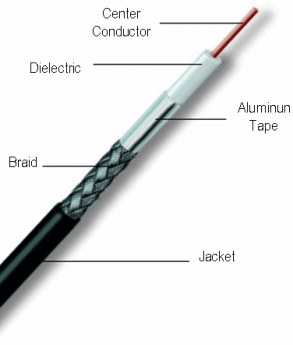
---

---

---

---

## Il Cavo Coassiale



locigno@disi.unitn.it



---

---

---

---

---

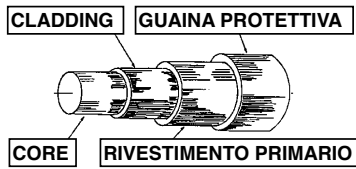
---

---

---

## La Fibra Ottica

- Minuscolo e flessibile filo di vetro costituito da due parti (*core* e *cladding*) con indici di rifrazione diversi
- Per la legge di Snell, il raggio luminoso (generato da un LED o da un laser) introdotto nella fibra entro un "angolo di accettazione" rimane confinato nel core



locigno@disi.unitn.it

14



---

---

---

---

---

---

---

---

## La Fibra Ottica

- Vantaggi
  - Totale immunità da disturbi elettromagnetici
  - Alta capacità trasmissiva (fino a decine Terabit/s)
  - Bassa attenuazione ( $\sim 0.1\text{dB/km}$ ), dipendente dalla lunghezza d'onda
  - Dimensioni ridotte e costi contenuti
- Svantaggi
  - Adatte solo a collegamenti punto-punto
  - Difficili da collegare tra loro e con connettori
  - Ridotto raggio di curvatura

locigno@disi.unitn.it

15



---

---

---

---

---

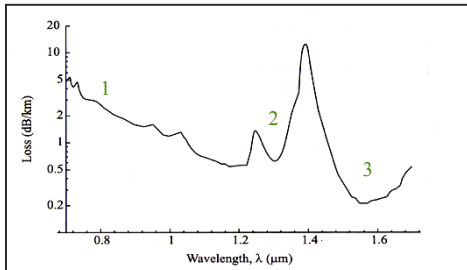
---

---

---

## Attenuazione delle fibre

- Si identificano tre "finestre" di lavoro centrate circa attorno a lunghezze d'onda di 0.8  $\mu\text{m}$ , 1.3  $\mu\text{m}$  e 1.55  $\mu\text{m}$



locigno@disi.unitn.it

16




---

---

---

---

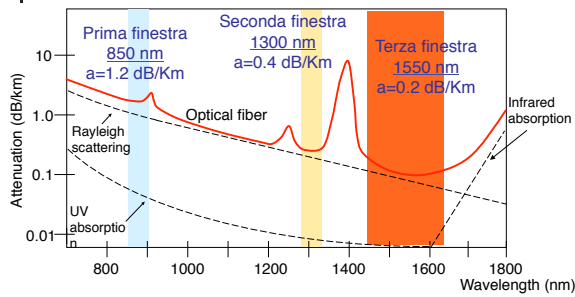
---

---

---

---

## Attenuazione delle fibre



locigno@disi.unitn.it

17




---

---

---

---

---

---

---

---

## Posa di cavi sottomarini

- Avviene solitamente interrando i cavi sul fondo del mare
- Eccezione sono i cavi trans-oceanici che sono flottanti
- Richiede cavi con amplificatori ottici ridonati ogni 30/50 Km



locigno@disi.unitn.it

18




---

---

---

---

---

---

---

---

## Canale trasmissivo radio (Etere)

- Propagazione del segnale in presenza di ostacoli naturali:
  - Riflessione per cammini multipli (interferenza da riflessioni multiple dello stesso segnale)
    - Fading (variazione veloce dell' ampiezza del segnale dovuta alla combinazione in fase di "copie" dello stesso segnale)
    - Shadowing (variazione lenta dell' ampiezza del segnale)
- Interferenza da altri segnali (interferenza co-canale)
- Attenuazione
  - quadrato della distanza in condizioni ottime
  - potenze comprese tra 2.5 e 4 in condizioni reali terrestri

locigno@disi.unitn.it

19



---

---

---

---

---

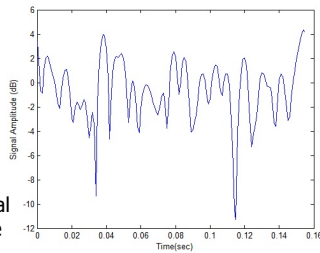
---

---

---

## Fading

- Attenuazione/guadagno con andamento imprevedibile e molto veloce
- Dovuto essenzialmente al movimento relativo delle antenne che cambiano il "pattern di interferenza" tra cammini multipli



locigno@disi.unitn.it

20



---

---

---

---

---

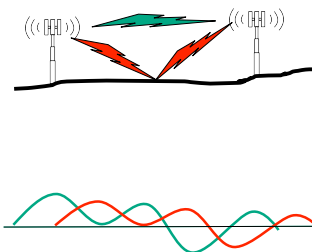
---

---

---

## Fading

- Il segnale riflesso da superfici (terra, acqua, edifici, ...) arriva all'antenna di ricezione con una fase diversa dalla copia non riflessa
- Una fase diversa può portare a fenomeni di interferenza distruttiva
- Il segnale "scompare"



locigno@disi.unitn.it

21



---

---

---

---

---

---

---

---

## Rete di trasporto e di accesso

- La rete di **accesso** comprende:
  - Apparatı e mezzi trasmissivi che collegano l'utente con il nodo di accesso (es. centrale telefonica urbana) del gestore di servizi di TLC
- La rete di **trasporto** (backbone) comprende:
  - apparati e mezzi trasmissivi appartenenti ad uno o piú gestori di servizi di TLC e destinati al transito di fonia e dati tra due nodi di accesso

locigno@disi.unitn.it 22

---

---

---

---

---

---

---

---

## Reti di accesso

- Per arrivare all'utenza residenziale ("ultimo miglio"), l'ultima tratta di rete viene detta rete d'accesso ("local loop" in inglese)
- Tecnologie nelle reti di accesso:
  - Plain Old Telephone Service (POTS)
  - Integrated Services Digital Network (ISDN)
  - Asymmetric Digital Subscriber Loop (ADSL)
  - cable-modem su reti con tecnologia Cable-TV (CATV)
  - reti via radio (wireless); esempio: Wi-MAX
  - reti via radio cellulare (GPRS, UMTS, LTE)
  - reti di accesso ottiche

locigno@disi.unitn.it 23

---

---

---

---

---

---

---

---

## Accesso POTS: il modem

- MODEM: MODulatore e DEModulatore
- Si utilizzano per effettuare trasmissioni seriali su rete telefonica pubblica
- Trasformano il segnale da digitale ad analogico e viceversa
- Rendono il segnale idoneo alla trasmissione su rete pubblica in tecnologia analogica su banda fonica

locigno@disi.unitn.it 24

---

---

---

---

---

---

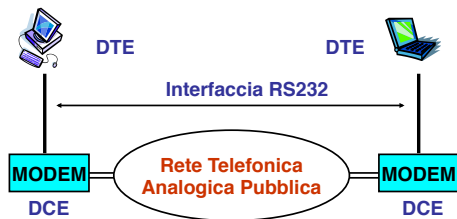
---

---



## Accesso POTS: il modem

- Terminologia:
  - DTE = apparato utente (computer)
  - DCE = apparato di rete (modem)



locigno@disi.unitn.it

25



---

---

---

---

---

---

---

---

## Bit rate massimo per modem POTS

- Formula di Shannon:  $C = B \log_2(1+S/N)$
- Linea telefonica analogica ha
  - banda di 3000 Hz (da 300 Hz a 3300 Hz)
  - rapporto Segnale/Rumore 35 dB (3162)
- Bit rate risultante:  
 $C = 3000 \log_2(3163) = 34860 \text{ bit/s}$
- I modem V.90 a 56 kbit/s (solo in download) non violano il teorema di Shannon, ma sopprimono il filtro fonico in download, consentendo l'uso di una banda più larga

locigno@disi.unitn.it

26



---

---

---

---

---

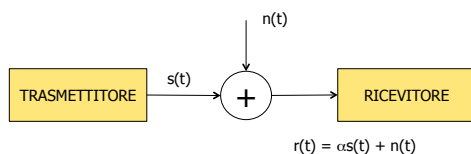
---

---

---

## Il teorema di Shannon

- $C = B \log_2(1+S/N)$
- Identifica un "upper bound" alla capacità di un canale (non una rete) trasmissivo sotto le ipotesi AWGN
  - Additive White Gaussian Noise Channel**
- Il canale attenua e aggiunge rumore e nient'altro



locigno@disi.unitn.it

27



---

---

---

---

---

---

---

---

## Il teorema di Shannon

- $C = B \log_2(1+S/N)$
- B = banda del canale in Hz
- S = Energia del segnale per ciascun bit trasmesso (in J)
- N = Energia del rumore aggiunto dal canale (in J)
- C = Capacità del canale in bit/s
  
- Per trasmettere più veloce si può
  - aumentare la banda del canale
  - aumentare l'energia del segnale
  - diminuire il rumore e l'interferenza

locigno@disi.unitn.it

28




---

---

---

---

---

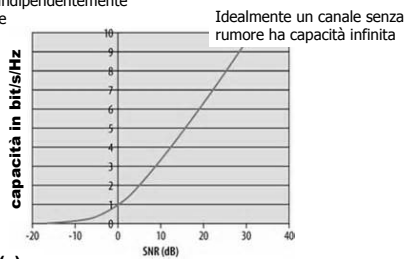
---

---

---

## Il teorema di Shannon

La capacità del canale aumenta all'aumentare di S/N indipendentemente dalla banda del canale



locigno@disi.unitn.it

29




---

---

---

---

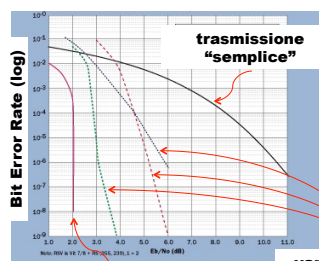
---

---

---

---

## Il teorema di Shannon



Shannon dice la capacità non come raggiungerla!

In un canale reale abbiamo errori sui bit

I codici a correzione possono aumentare enormemente la "capacità utile" di un canale

locigno@disi.unitn.it

30




---

---

---

---

---

---

---

---

## Rete di Accesso DSL

- DSL (Digital Subscriber Line) è una famiglia di tecnologie (chiamate anche xDSL)
  - fornisce servizio dati ad alta velocità sulla rete di accesso
- La più diffusa è ADSL (Asymmetric DSL)
  - Velocità maggiore in *downstream* che in *upstream*
- Velocità massime teoriche ADSL (velocità reale dipende da distanza utente-centrale):

	ADSL	ADSL2	ADSL 2+
Downstream	6 Mb/s	8 Mb/s	24 Mb/s
Upstream	1,5 Mb/s	3,5 Mb/s	3,5 Mb/s

locigno@disi.unitn.it

31




---

---

---

---

---

---

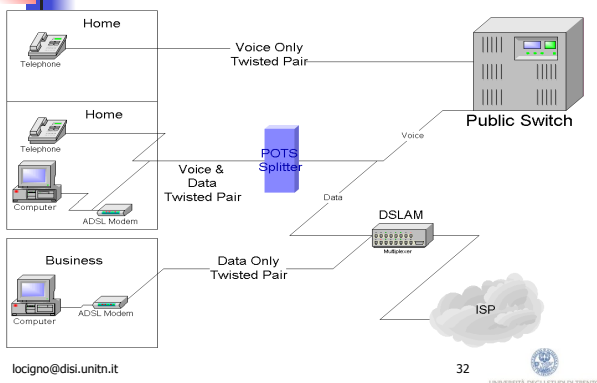
---

---

---

---

## ADSL: scenario di utilizzo



locigno@disi.unitn.it

32




---

---

---

---

---

---

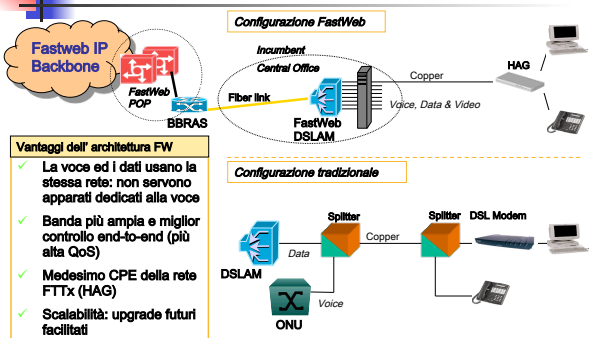
---

---

---

---

## L'accesso IP over xDSL di Fastweb



- Vantaggi dell'architettura FW**
- ✓ La voce ed i dati usano la stessa rete: non servono apparati dedicati alla voce
  - ✓ Banda più ampia e miglior controllo end-to-end (più alta QoS)
  - ✓ Medesimo CPE della rete FTTx (HAG)
  - ✓ Scalabilità: upgrade futuri facilitati

locigno@disi.unitn.it

33




---

---

---

---

---

---

---

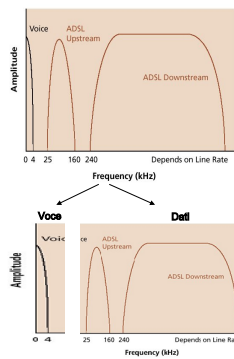
---

---

---

## ADSL: apparati utente

- **Filtro Splitter**
  - ha il compito di separare il segnale vocale dai dati
- **Modem**
  - (de)modulare il segnale alle frequenze opportune (es. per ADSL dai 25 KHz in upstream ai 240 KHz in downstream)



locigno@disi.unitn.it

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

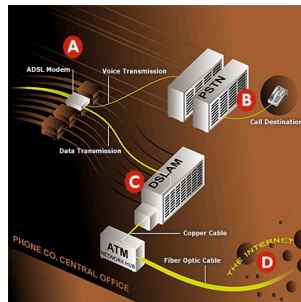
---

---

---

## ADSL: apparati di centrale

- **Filtro/modem POTS:** funzione duale del filtro splitter dell'utente, separa flussi voce e dati
- **DSLAM (DSL Access Multiplexer):** riceve flussi dati diversi e li convoglia su un unico canale



locigno@disi.unitn.it

35

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Codifiche di linea e (cenni) alle tecniche di mo-demodulazione

locigno@disi.unitn.it

36

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Le codifiche di linea

- Tecniche per la rappresentazione di informazioni *digitali* mediante segnali *digitali* su mezzi elettrici e ottici
- Tre tipi di codifiche, che dipendono dal riferimento di tensione del segnale:
  - Unipolari
  - Polari
  - Bipolari

locigno@disi.unitn.it

37



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

## Codifiche Unipolari

- Molto semplici e "primitive"
- Usano un livello di tensione per "0" e uno per "1"
- Solitamente, si usa tensione nulla per "0" e tensione positiva per "1"
- Problemi:
  - In mezzi elettrici, segnale con componente continua non nulla che può essere filtrata da alcuni sistemi (posso usare tensioni simmetriche per ovviare il problema)
  - Perdita di sincronismo se trasmetto lunghe sequenze dello stesso simbolo
  - In mezzi ottici, lunghe sequenze di "1" (luce) possono portare al sovraccarico del LED di trasmissione

locigno@disi.unitn.it

38



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

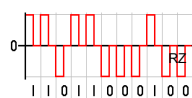
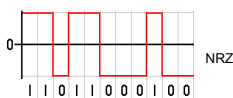
---

---

---

## Codifiche Polari

- Usano due livelli di tensione con polarità diverse (si riduce quasi del tutto la componente continua)
- Tre sottotipi:
  - NRZ (Non-Return-to-Zero, non c'è transizione su tensione nulla nel passaggio tra due bit consecutivi)
  - RZ (Return-to-Zero, transizione su tensione nulla tra due bit consecutivi)
  - Bifase (es. Manchester: ogni bit rappresentato da due livelli di tensione di polarità inversa)
- Le codifiche bifase sono migliori per il recupero del sincronismo, ma RZ e bifase richiedono velocità di linea doppie rispetto al bit rate



locigno@disi.unitn.it

39



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

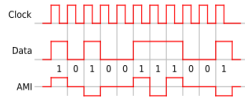
---

---

---

## Codifiche Bipolari

- Si usa tensione nulla per rappresentare lo "0" e due polarità opposte per l' "1", usate in alternativa
- Permettono l'uso di simboli ternari (-1, 0, +1), come nella codifica 8B6T (8 bit codificati con 6 simboli ternari)
- Chiamate anche AMI (Alternate Mark Inversion)



locigno@disi.unitn.it

40



---

---

---

---

---

---

---

---

## Codifiche nBmB

- Si tratta di codifiche in cui simboli di  $n$  bit sono rappresentati da simboli di  $m$  bit, con  $n < m$  (es. 4B5B, 8B10B, 64B66B...)
- Molto popolari perché:
  - Richiedono meno banda di codifiche polari
  - Permettono il controllo sulla scelta delle parole di codice, limitando quelle con troppi 0 e 1 consecutivi
  - Limita la componente continua
  - Fornisce caratteri speciali per delimitazione pacchetti, trasmissione in idle o padding

locigno@disi.unitn.it

41



---

---

---

---

---

---

---

---

## Modulazione

- E' l'operazione di mappatura dei bit su simboli analogici da trasmettere sul mezzo fisico
- Le codifiche di linea rappresentano delle semplici modulazioni in **banda base**
- La trasmissione in banda base si usa principalmente nei collegamenti cablati punto-punto a bassa velocità
- Ponti radio e tutti i sistemi moderni su cavo usano invece modulazioni in **banda traslata**
- L'uso di tecniche in banda traslata consente la moltiplicazione in frequenza di diversi canali
- In fibra ottica si usa normalmente una semplice modulazione on/off, ma si può fare moltiplicazione di lunghezza d'onda (WDM)

locigno@disi.unitn.it

42



---

---

---

---

---

---

---


---

## Simboli e Segnali

- Una sequenza di simboli  $x_i$  nel tempo è un "segnale"  $s(t)$  trasmissivo

$$s(t) = \sum_i x_i (t-iT)$$

- $T$  è l'intervallo di segnalazione
- $x_i$  è l' $i$ -esimo simbolo che può "portare" uno o più bit
  - Ad esempio moltiplicando l'ampiezza di un simbolo base per una costante
    - $0 \rightarrow +k$ ;  $1 \rightarrow -k$
    - $00 \rightarrow -3k$ ;  $10 \rightarrow -k$ ;  $11 \rightarrow k$ ;  $01 \rightarrow 3k$

locigno@disi.unitn.it 43 

---

---

---

---

---

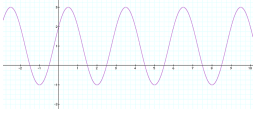
---

---

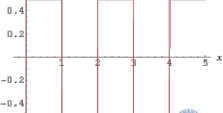
---


## Segnali

- Le comunicazioni moderne usano solamente segnali elettromagnetici
- Definiamo "segnale" una funzione del tempo
  - $a \sin(2\pi ft + \phi) + k$ .  
Segnale sinusoidale puro a frequenza  $f$  con fase  $\phi$ , ampiezza  $a$ , più una costante  $k$



- $a_i \text{sqw}_T(t - iT)$ ;  $a_i = +0.5, -0.5$ .  
Segnale a "onda quadra" di durata  $T$  ed ampiezza unitaria (positiva o negativa) in funzione del valore di  $a_i$



locigno@disi.unitn.it 44 

---

---

---

---

---

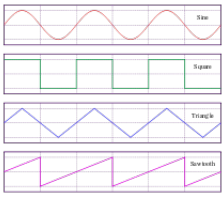
---


---

---

## Segnali e forme d'onda

- Il segnale base che viene ripetuto a intervalli regolari  $T$  viene chiamata "forma d'onda" e determina molte caratteristiche fisiche del segnale



locigno@disi.unitn.it 45 

---

---

---

---

---

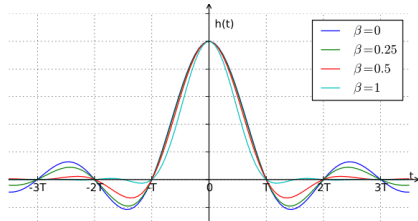
---

---

---

## Segnali e forme d'onda

- La durata della forma d'onda può essere maggiore di  $T$
- Deve rispettare caratteristiche definite (teoremi di Nyquist)
- Esempio di impulsi a "coseno rialzato" (fig. tratta da wikipedia)



locigno@disi.unitn.it

46



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

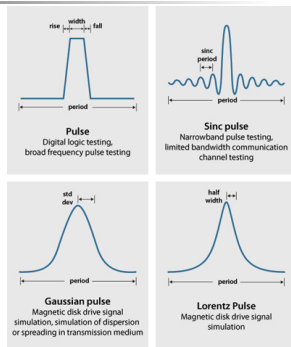
---

---

---

## Segnali e forme d'onda

- Esempi di forme d'onda usati in diverse applicazioni sia di comunicazione che di prova/verifica dei sistemi
- Impulsi "gaussiani" sono usati nelle comunicazioni cellulari
- Impulsi di tipo sinc ( $\sin(x)/x$ ) derivano dal filtraggio a banda molto stretta di altri segnali



locigno@disi.unitn.it

47



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tecniche di Modulazione

- Diverse tecniche di modulazione usano diverse grandezze fisiche per supportare l'informazione
  - Ampiezza
  - Frequenza
  - Fase
- Le grandezze fisiche possono essere riferite a diverse forme d'onda di base
- Un segnale  $s(t)$  nel tempo ha una equivalente rappresentazione  $S(f)$  nel dominio della frequenza chiamato "spettro" del segnale
- $s(t)$  ed  $S(f)$  sono legati dalla trasformazione di Fourier

locigno@disi.unitn.it

48



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### "Banda" e trasformata di Fourier

- s(t) ed S(f) sono legati dalla trasformazione di Fourier

locigno@disi.unitn.it 49 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

### "Banda" e trasformata di Fourier

- Lo spettro di un segnale reale è sempre simmetrico rispetto all'origine
- L'energia di un segnale è data sia dall'integrale del suo valore al quadrato nel tempo che dall'integrale del suo spettro

$$E = \int s_2(t) dt = \int S_2(f) df$$

- Si chiama "banda" B di un segnale l'intervallo di frequenze (asse f) tale per cui S(f)B include una data frazione (0.9, 0.95, 0.99, etc) dell'energia del segnale

locigno@disi.unitn.it 50 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---

### "Banda" e trasformata di Fourier

- La banda di un canale è legata alla banda dei segnali di cui consente la trasmissione

locigno@disi.unitn.it 51 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

---

---

---

---

---

---

---