

Reti

(già “Reti di Calcolatori”)

Cenni al livello fisico

Renato Lo Cigno

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



Acknowledgement

- *Credits*
 - *Part of the material is based on slides provided by the following authors*
 - Jim Kurose, Keith Ross, “Computer Networking: A Top Down Approach,” 4th edition, Addison-Wesley, July 2007
 - Douglas Comer, “Computer Networks and Internets,” 5th edition, Prentice Hall
 - Behrouz A. Forouzan, Sophia Chung Fegan, “TCP/IP Protocol Suite,” McGraw-Hill, January 2005
 - La traduzione, se presente, è in generale opera (e responsabilità) del docente

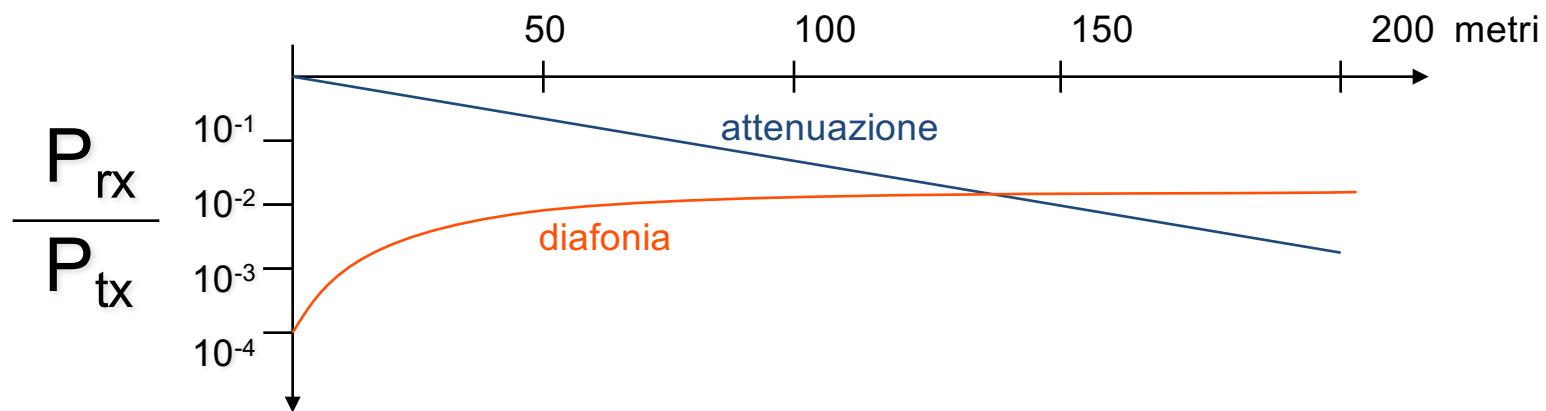
- Elettrici
 - Doppino non schermato o schermato
 - Cavo coassiale
- Ottici
 - Fibra ottica (LED/Laser – fotodiodi per la ricezione)
 - Laser non guidato
- Radio
 - Ponti radio punto-punto
 - Satelliti
 - Reti cellulari
 - sistemi a corto raggio (WLAN, sensori, ...)



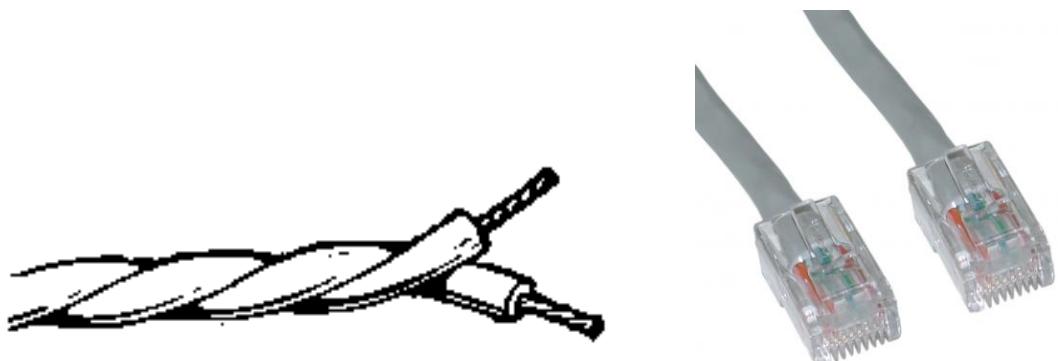
- Il mezzo ottimale è caratterizzato da:
 - Resistenza, capacità parassite e impedenza basse (in altri termini buone caratteristiche di conduzione dei segnali elettrici)
 - Buona resistenza alla trazione
 - Flessibilità
- Le caratteristiche dei mezzi elettrici dipendono da:
 - Geometria
 - Numero di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

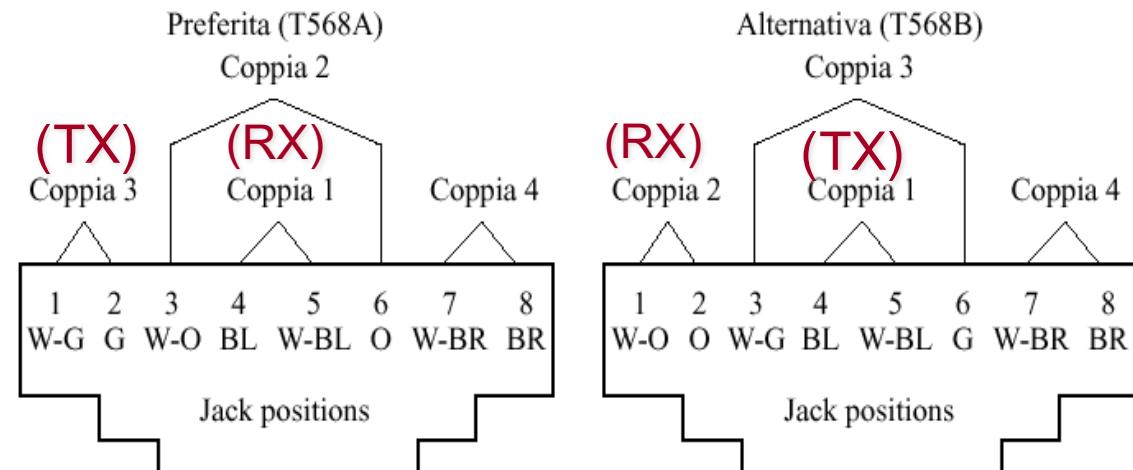
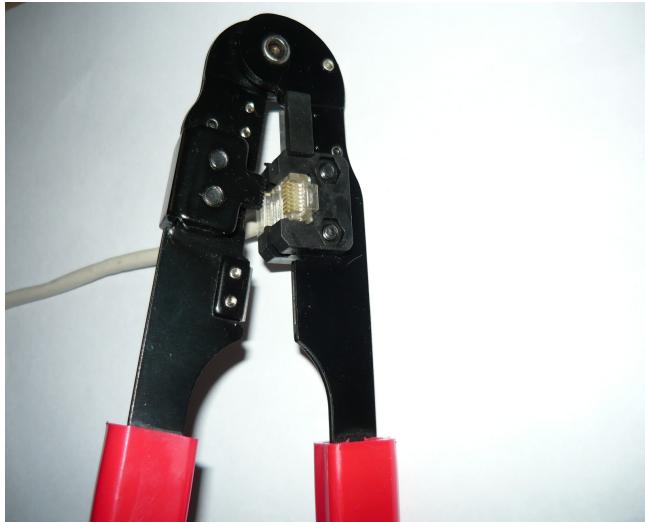
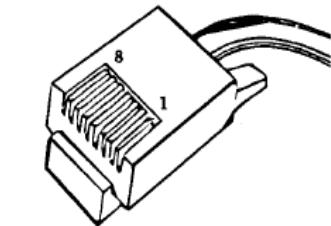
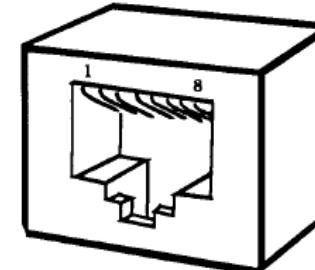
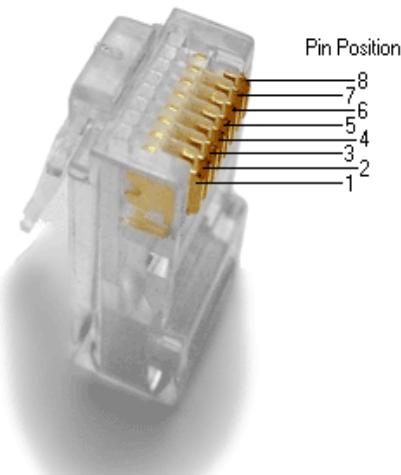
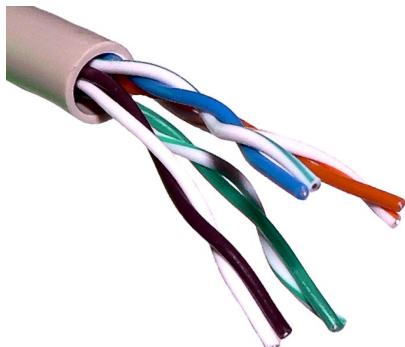
- Impedenza (in funzione della frequenza)
- Velocità di propagazione del segnale (0.5c-0.7c per cavi e 0.6c per fibre ottiche)
- Attenuazione (cresce linearmente, in dB, con la distanza e con la radice quadrata della frequenza)
- Diafonia o Cross-Talk (misura del disturbo indotto da un cavo vicino –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

Esempio di attenuazione e diafonia su un doppino telefonico



- 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
- Il passo di avvolgimento determina anche le caratteristiche di attenuazione in funzione della frequenza
- Costi ridotti e installazione semplice





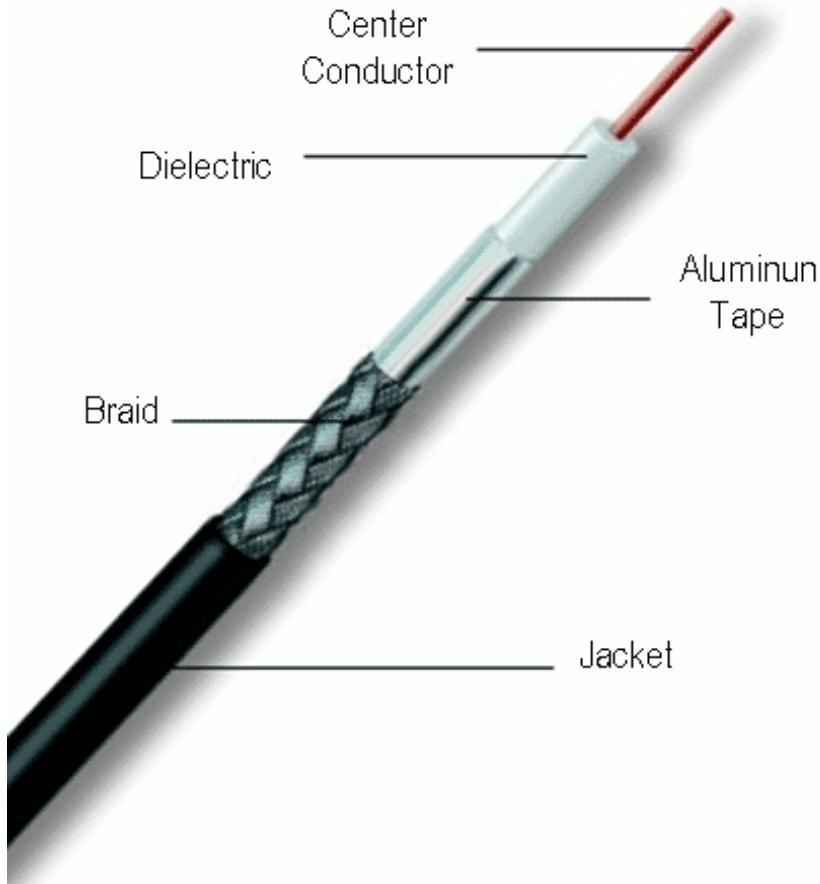
Vista frontale del connettore RJ45

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

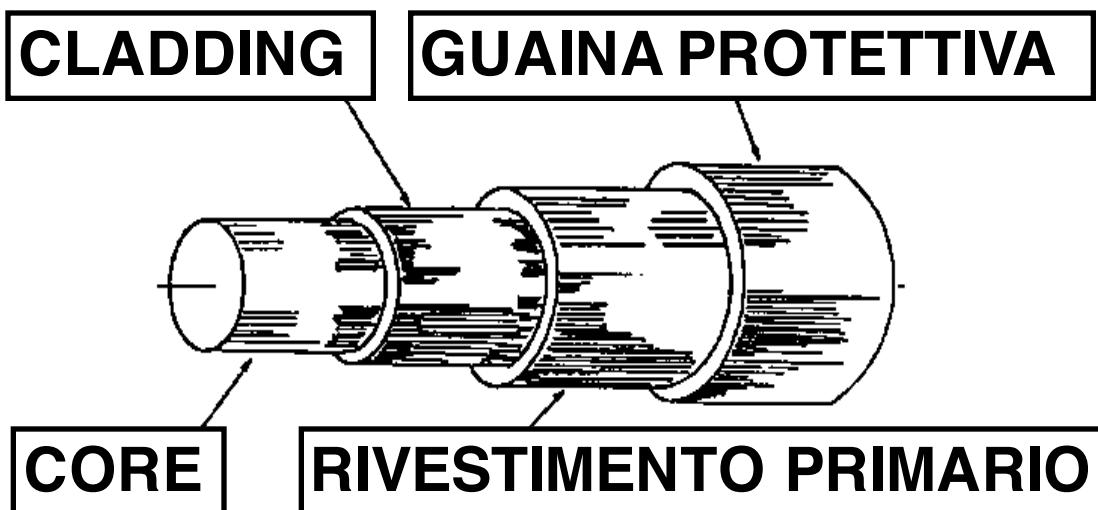
1	Telefonia analogica
2	Telefonia ISDN
3	Reti locali fino a 10 Mb/s
4	Reti locali fino a 16 Mb/s
5	Reti locali fino a 100 Mb/s
5e	Reti locali fino a 1 Gb/s
6	Reti locali fino a 1 Gb/s (migliore qualità di Cat.5e)
6a	Reti locali fino a 10 Gb/s

- 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



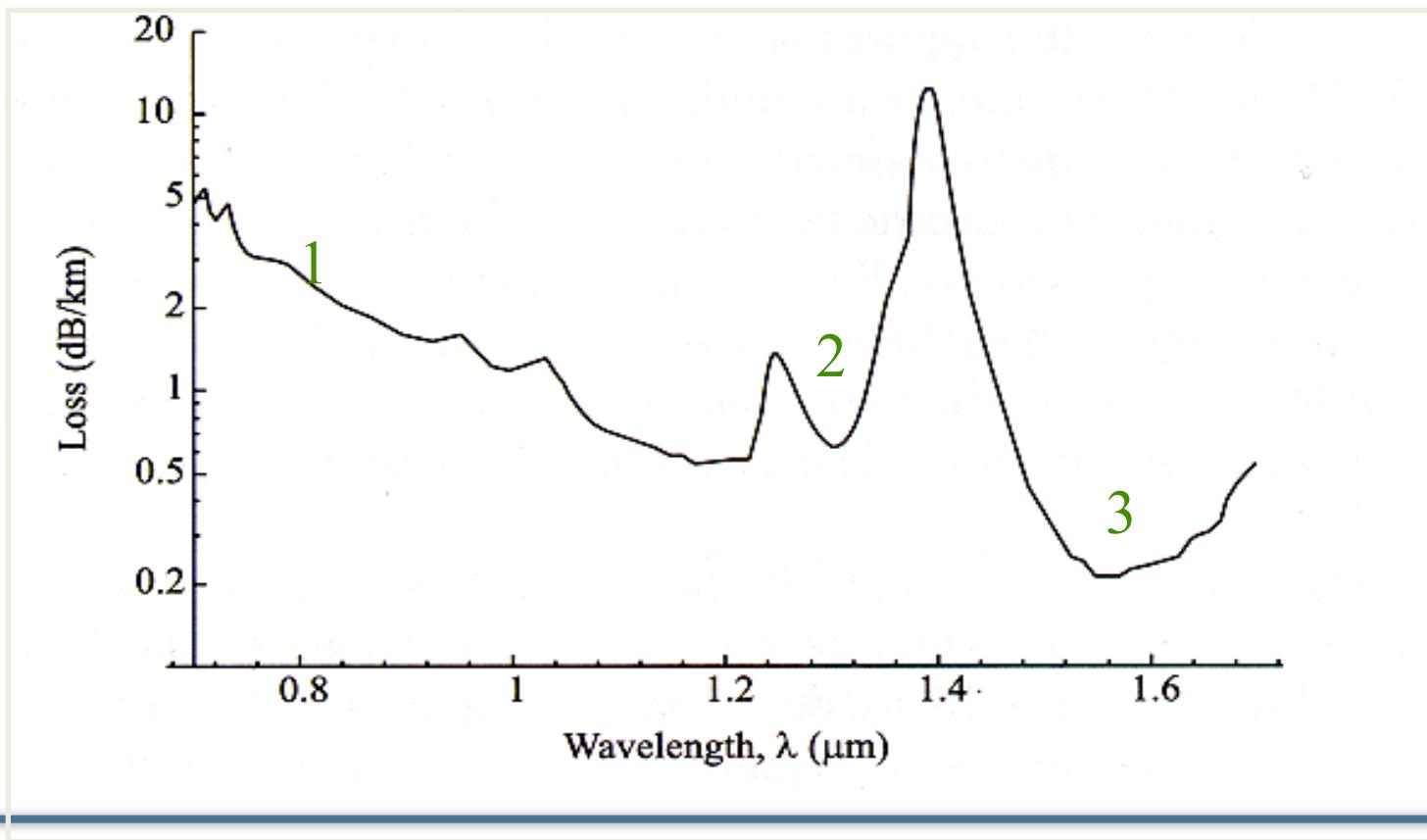


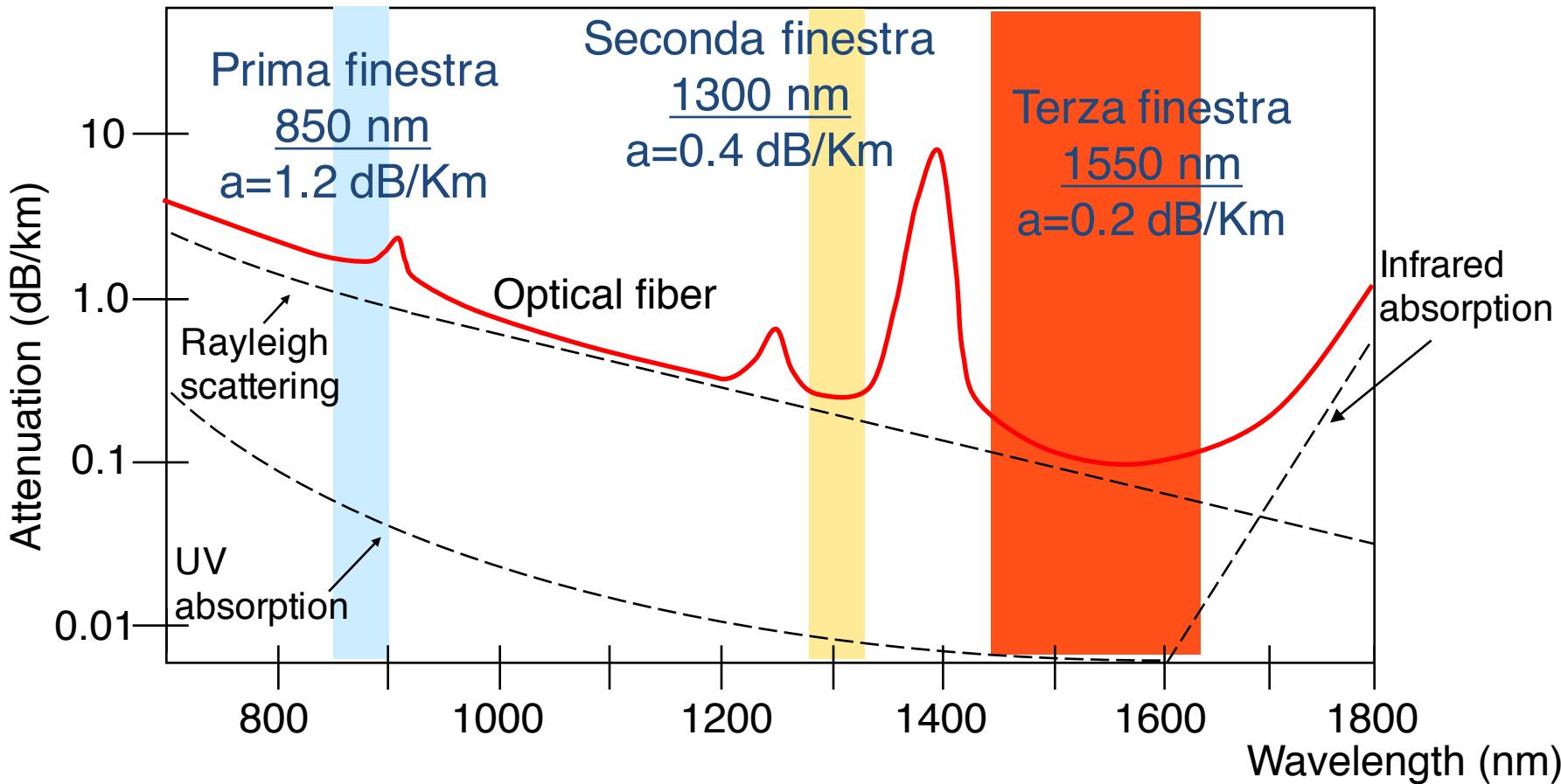
- Minuscolo e flessibile filo di vetro o di materie plastiche trasparenti costituito da due parti (*core* e *cladding*) con indici di rifrazione diversi
- Per la legge di Snell, il raggio luminoso (generato da un LED o da un laser) introdotto nella fibra entro un “angolo di accettazione” rimane confinato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



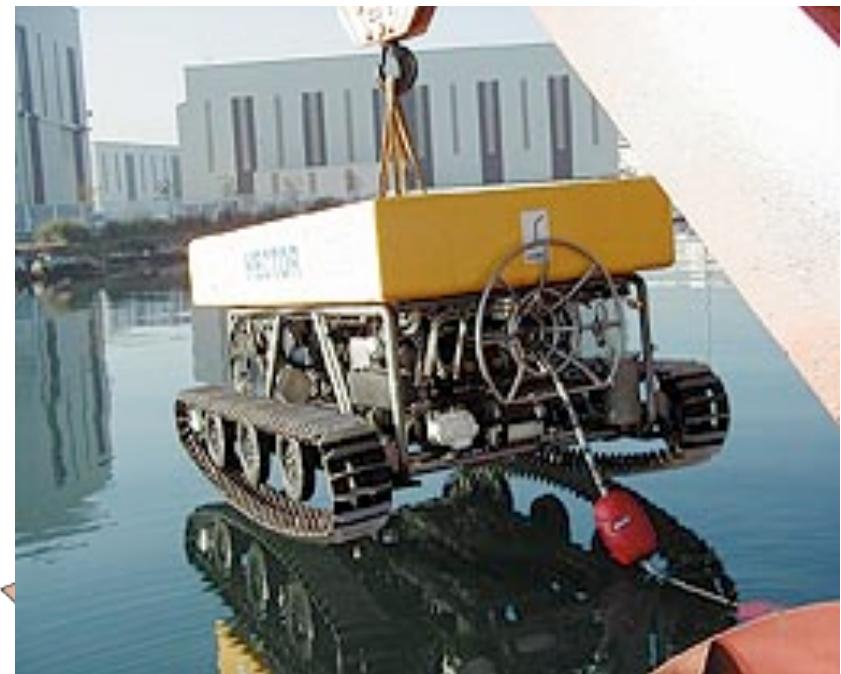
- Vantaggi
 - Totale immunità da disturbi elettromagnetici
 - Alta capacità trasmissiva (fino a decine Terabit/s)
 - Bassa attenuazione ($\sim 0.1\text{dB/km}$), dipendente dalla lunghezza d'onda
 - Dimensioni ridotte e costi contenuti
- Svantaggi
 - Adatte solo a collegamenti punto-punto
 - Difficili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

- Nelle normali fibre di vetro si identificano tre “finestre” di lavoro centrate attorno a lunghezze d’onda di $0.8 \mu\text{m}$, $1.3 \mu\text{m}$ e $1.55 \mu\text{m}$
- Con tecniche di doping si possono migliorare le caratteristiche



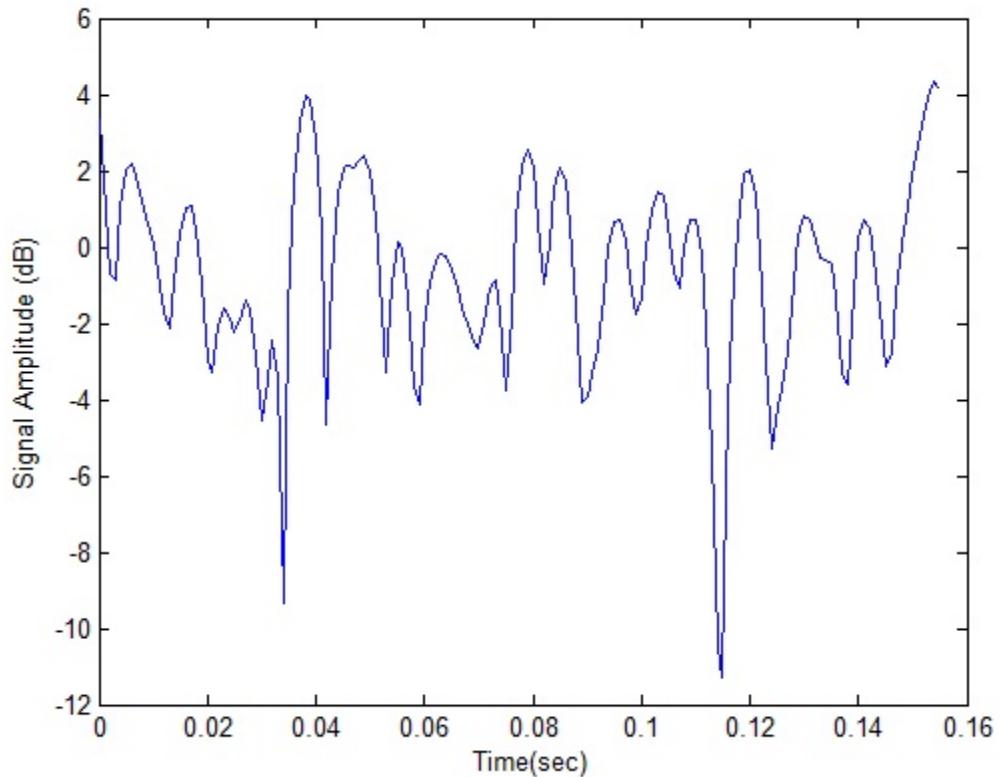


- Avviene solitamente interrando i cavi sul fondo del mare
- Eccezione sono i cavi trans-oceanici che sono flottanti
- Richiede cavi con amplificatori ottici ridondati ogni 30/50 km
- Oggi i migliori cavi arrivano a 1000km senza ripetitori
- La posa avviene da “navi officina” che assemblano il cavo direttamente sulla nave a partire dalle fibre e dagli altri componenti

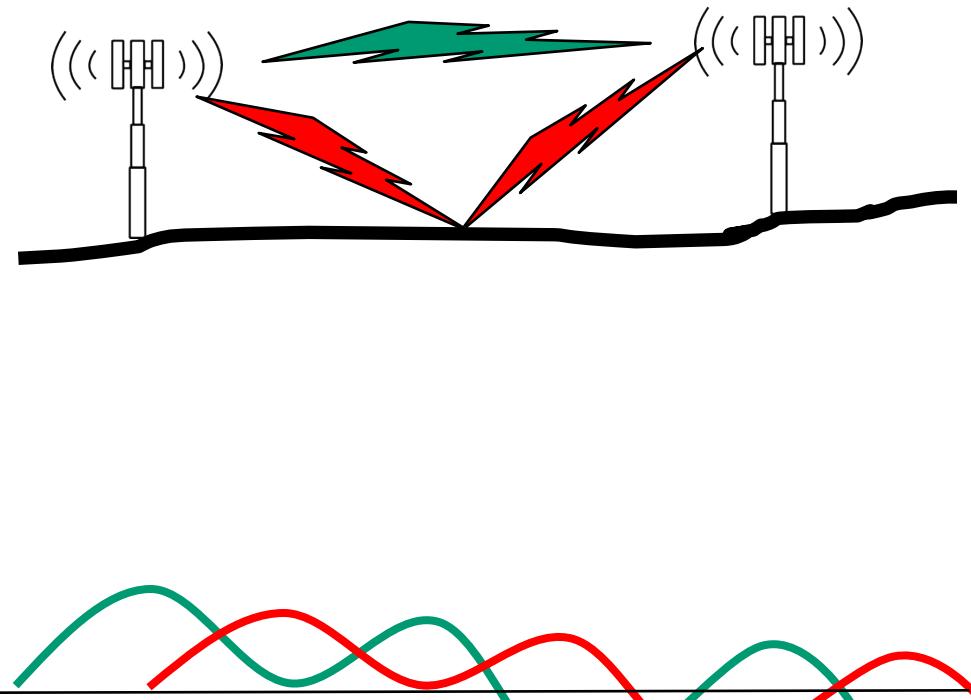


- Propagazione del segnale in presenza di ostacoli naturali:
 - Riflessione per cammini multipli (interferenza da riflessioni multiple dello stesso segnale)
 - Fading (variazione veloce dell'ampiezza del segnale dovuta alla combinazione in fase di “copie” dello stesso segnale)
 - Shadowing (variazione 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

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



- 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 “sparisce”

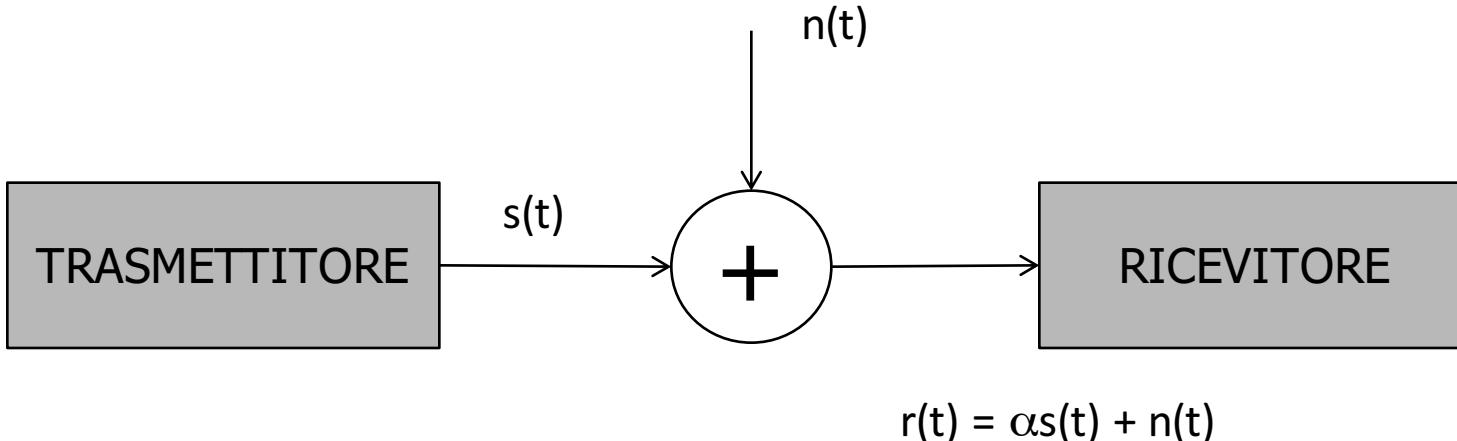


- La rete di **accesso** comprende:
 - Apparati e mezzi trasmissivi che collegano l’utente con il nodo di accesso (es. centrale telefonica urbana) del gestore di servizi di TLC
- La rete di **trasporto** (backbone) comprende:
 - apparati e mezzi trasmissivi appartenenti ad uno o più gestori di servizi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

- $C = B \log_2(1+S/N)$
- 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





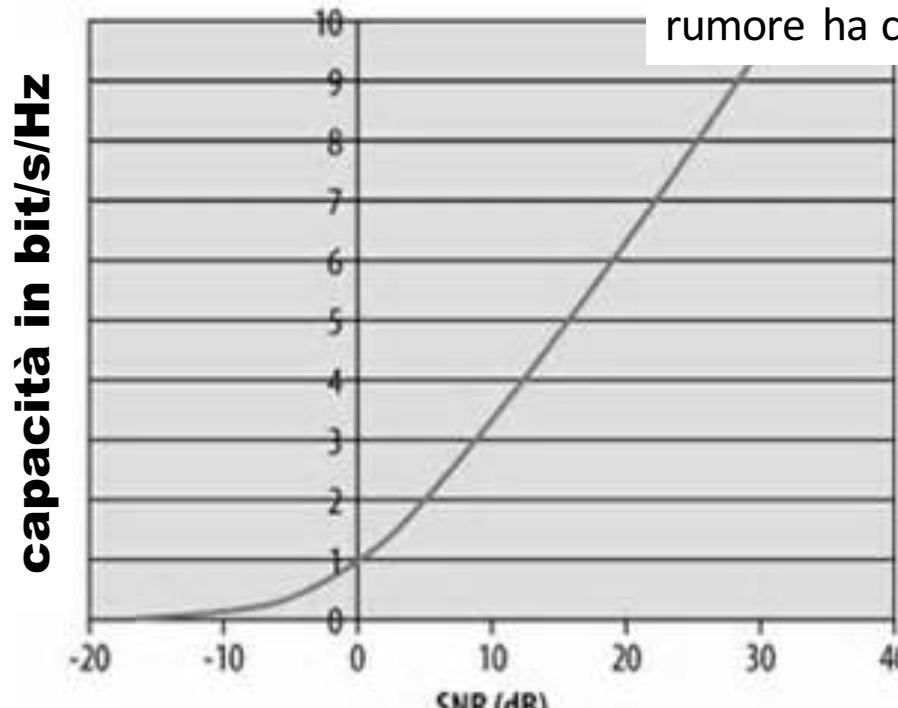
Il teorema di Shannon

- $C = B \log_2(1+S/N)$
- 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

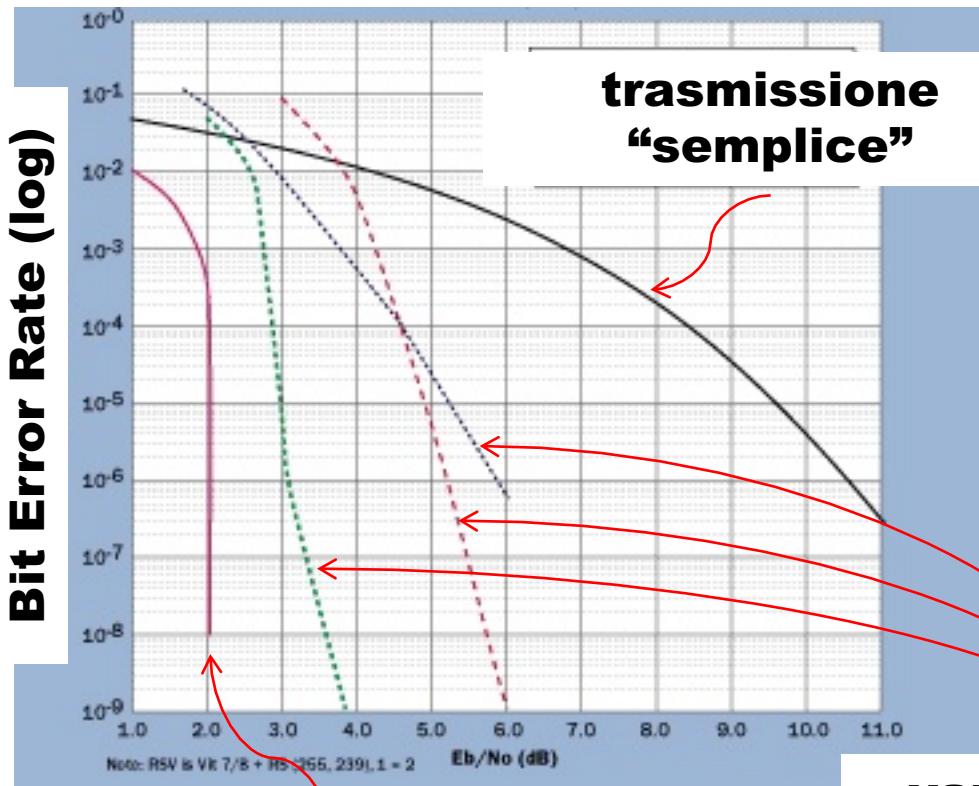
- Per trasmettere più veloce si può
 - aumentare la banda del canale
 - aumentare l'energia del segnale
 - diminuire il rumore e l'interferenza

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

Idealmente un canale senza
rumore ha capacità infinita



$$\text{dB} = 10 \log_{10} (x)$$



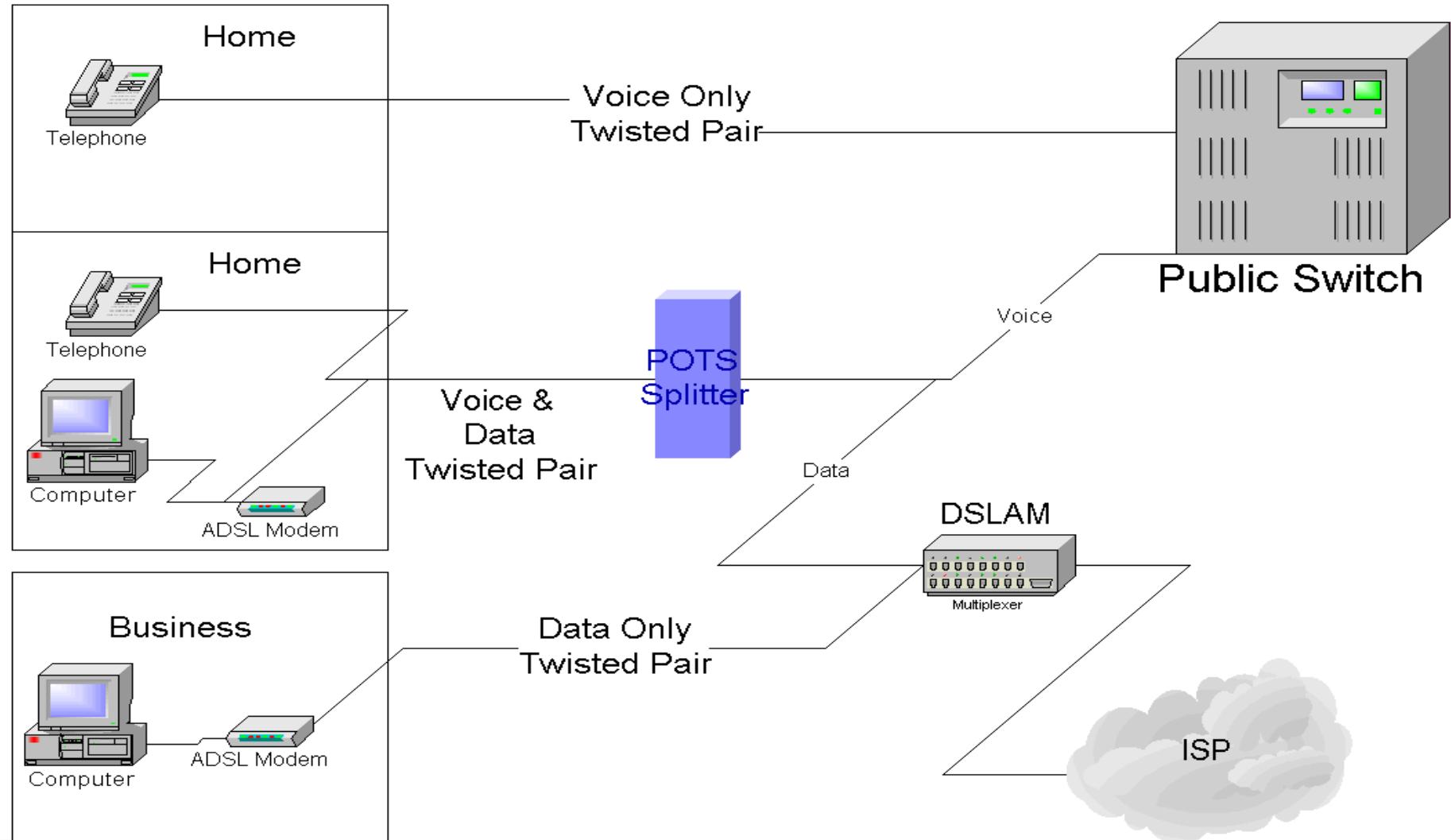
Shannon dice la capacità non come raggiungerla!

In un canale reale abbiamo errori sui bit

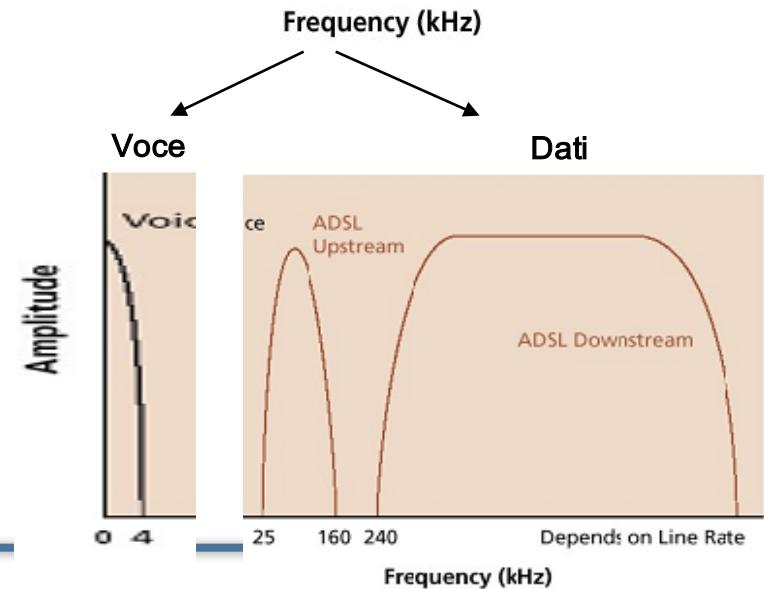
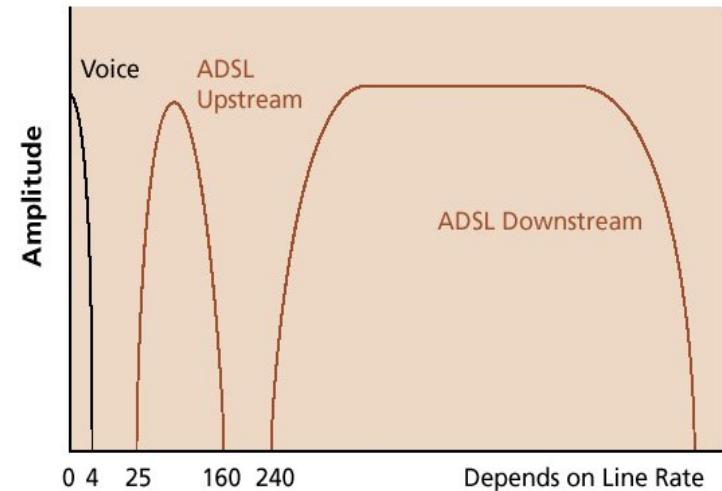
I codici a correzione possono aumentare enormemente la “capacità utile” di un canale

- *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):

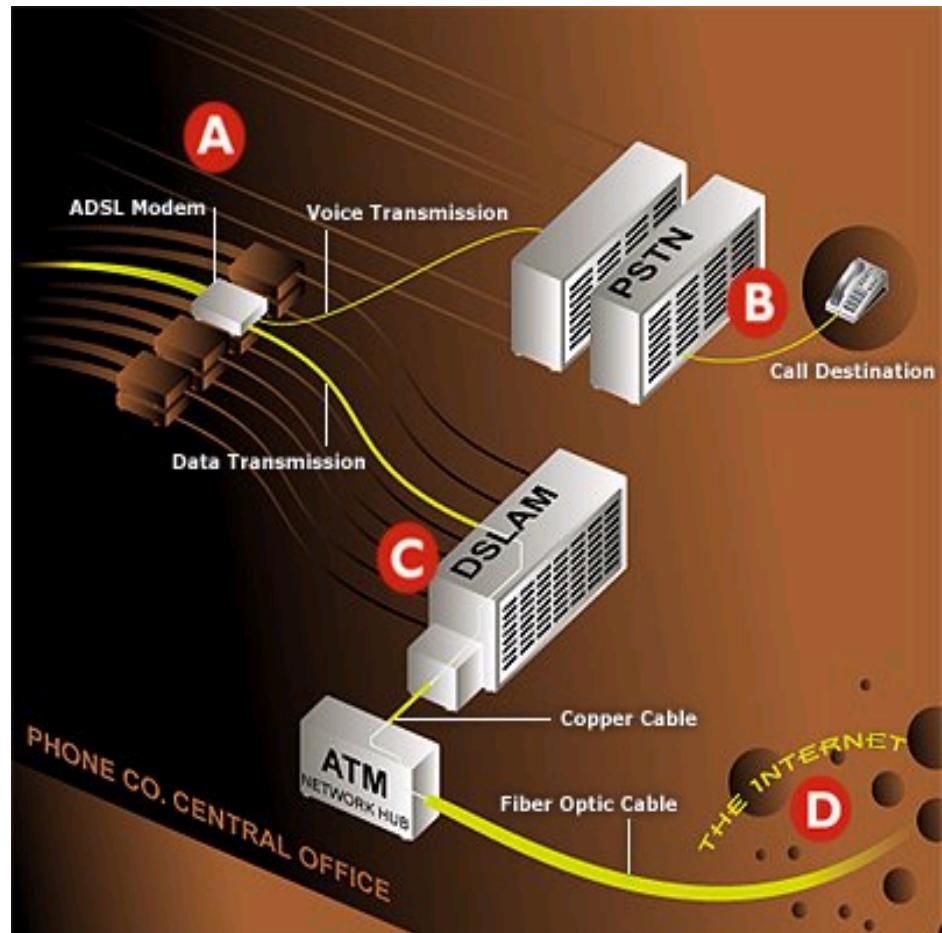
	ADSL	ADSL2	ADSL 2+
Downstream	6 Mb/s	8 Mb/s	24 Mb/s
Upstream	1,5 Mb/s	3.5 Mb/s	3.5 Mb/s



- 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)



- 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



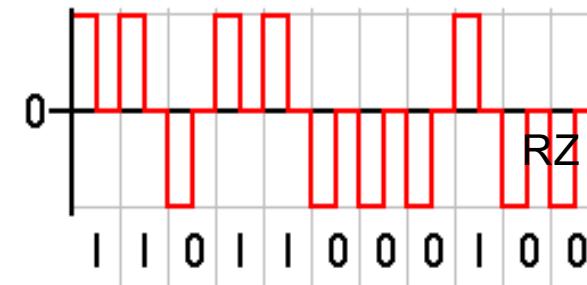
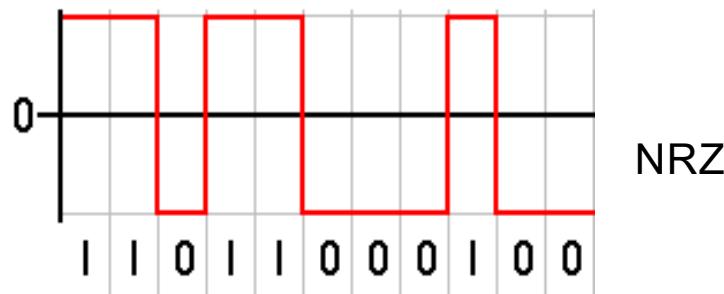
Codifiche di linea e (cenni) alle tecniche di mo-demodulazione

- 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

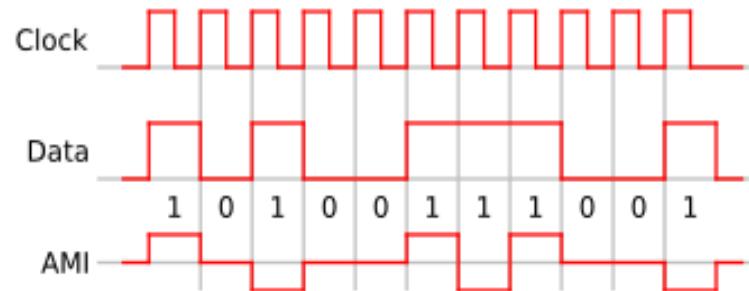


- Molto semplici e “primitive”
- Usano un livello di tensione per “0” e uno per “1”
- Solitamente, si usa tensione nulla per “0” e tensione positiva per “1”
- Problemi:
 - In mezzi elettrici, segnale con componente continua non nulla che può essere filtrata da alcuni sistemi (posso usare tensioni simmetriche 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

- 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



- 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)





- 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



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 multiplazione in frequenza di diversi canali
- In fibra ottica si usa normalmente una semplice modulazione on/off, ma si può fare multiplazione di lunghezza d'onda (WDM)

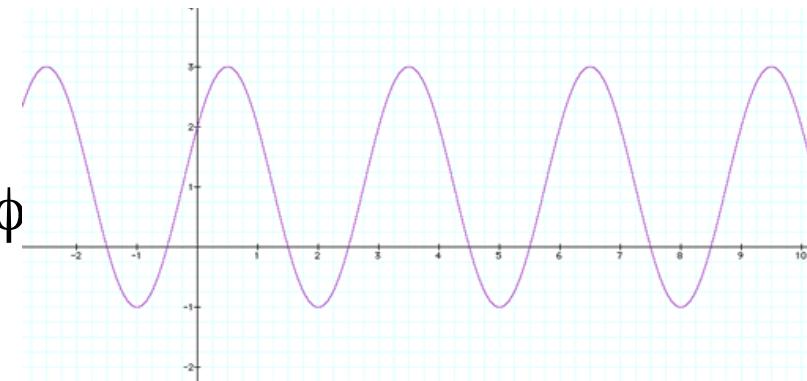


- Una sequenza di simboli x_i nel tempo è un “segnale” $s(t)$ trasmisivo

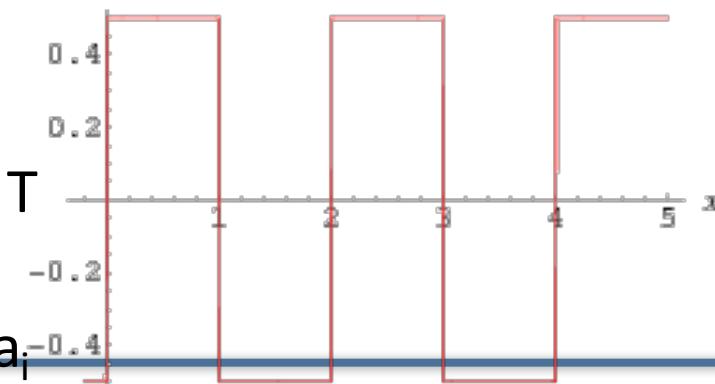
$$s(t) = \sum_i x_i (t-iT)$$

- 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
 - $0 \rightarrow +k ; 1 \rightarrow -k$
 - $00 \rightarrow -3k; 10 \rightarrow -k; 11 \rightarrow k; 01 \rightarrow 3k$

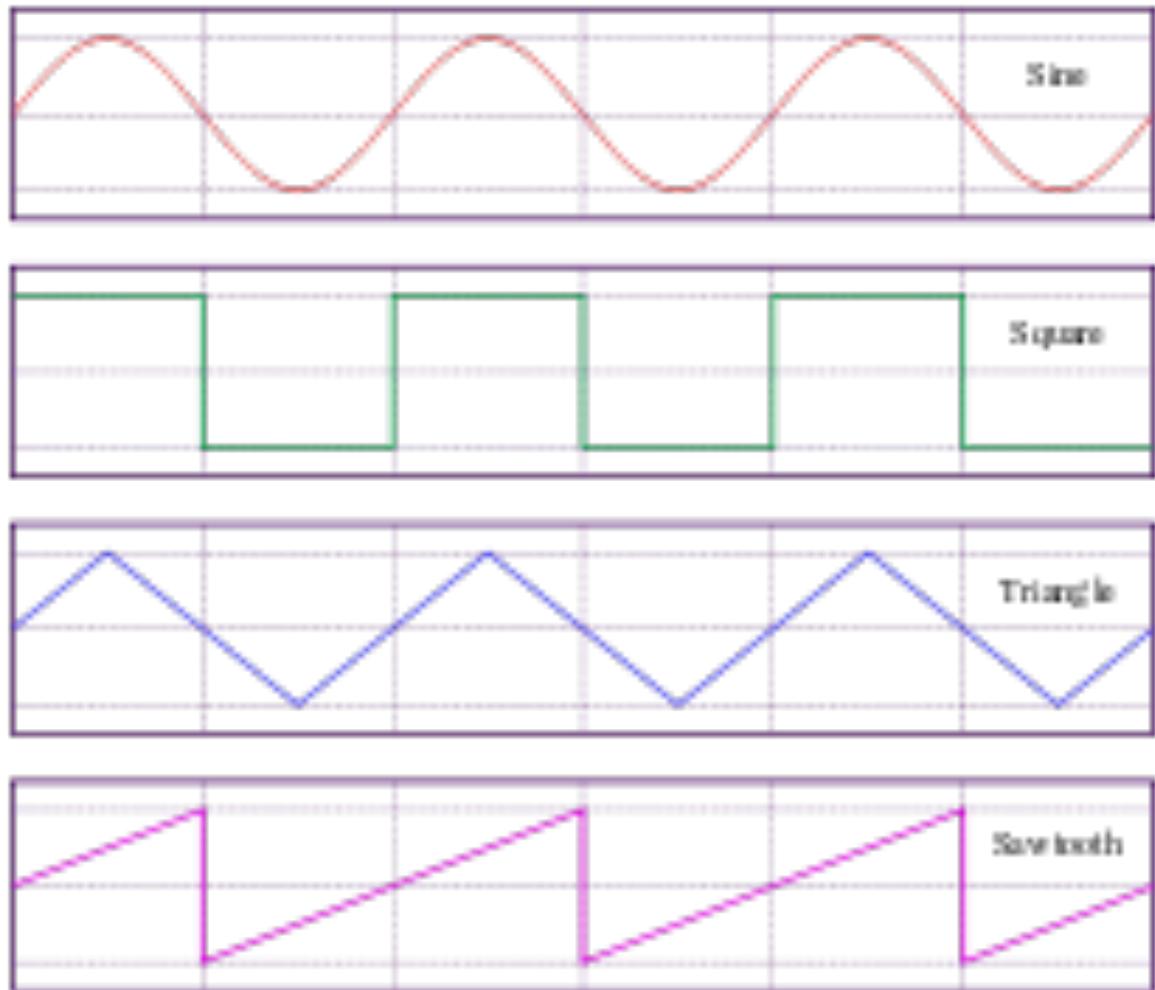
- Le comunicazioni moderne usano solamente segnali elettromagnetici
- Definiamo “segnale” una funzione del tempo
 - $a \sin(2\pi ft + \phi) + k$.
Segnale sinusoidale puro a frequenza f con fase ϕ ampiezza a , più una costante k



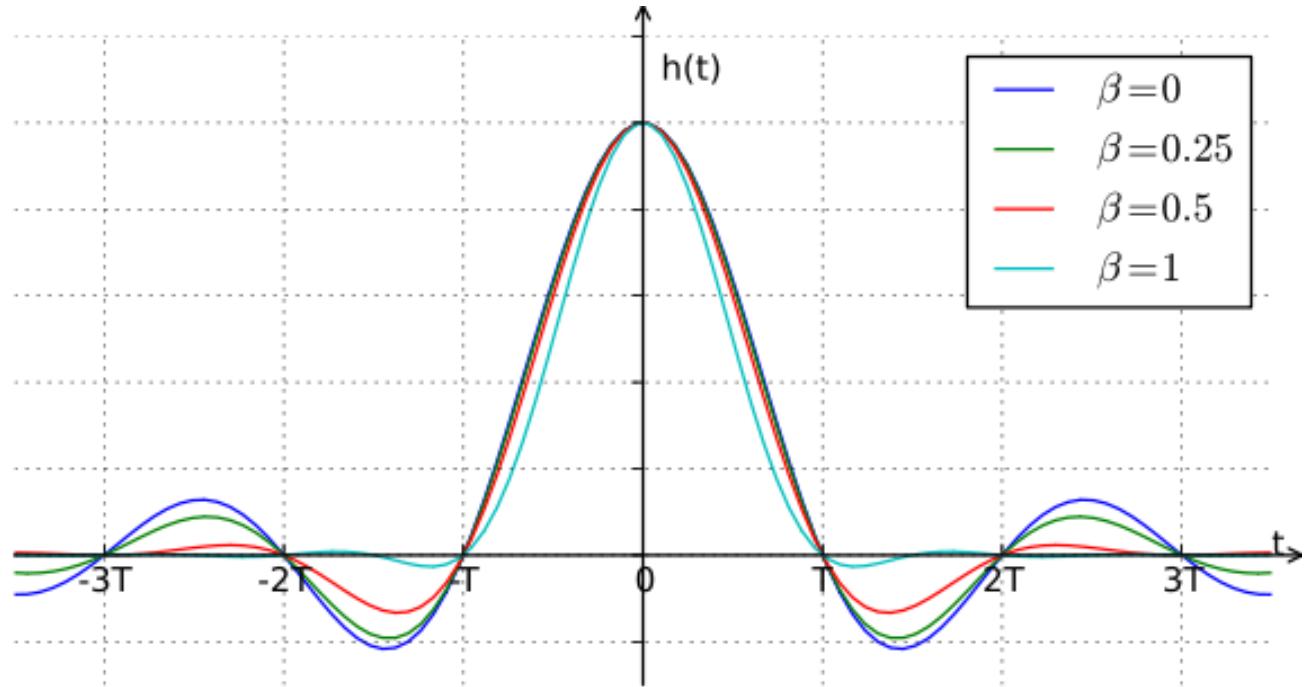
- $a_i \text{ sqw}_T(t - iT)$; $a_i = +0.5, -0.5$.
Segnale a “onda quadra” di durata T ed ampiezza unitaria (positiva o negativa) in funzione del valore di a_i



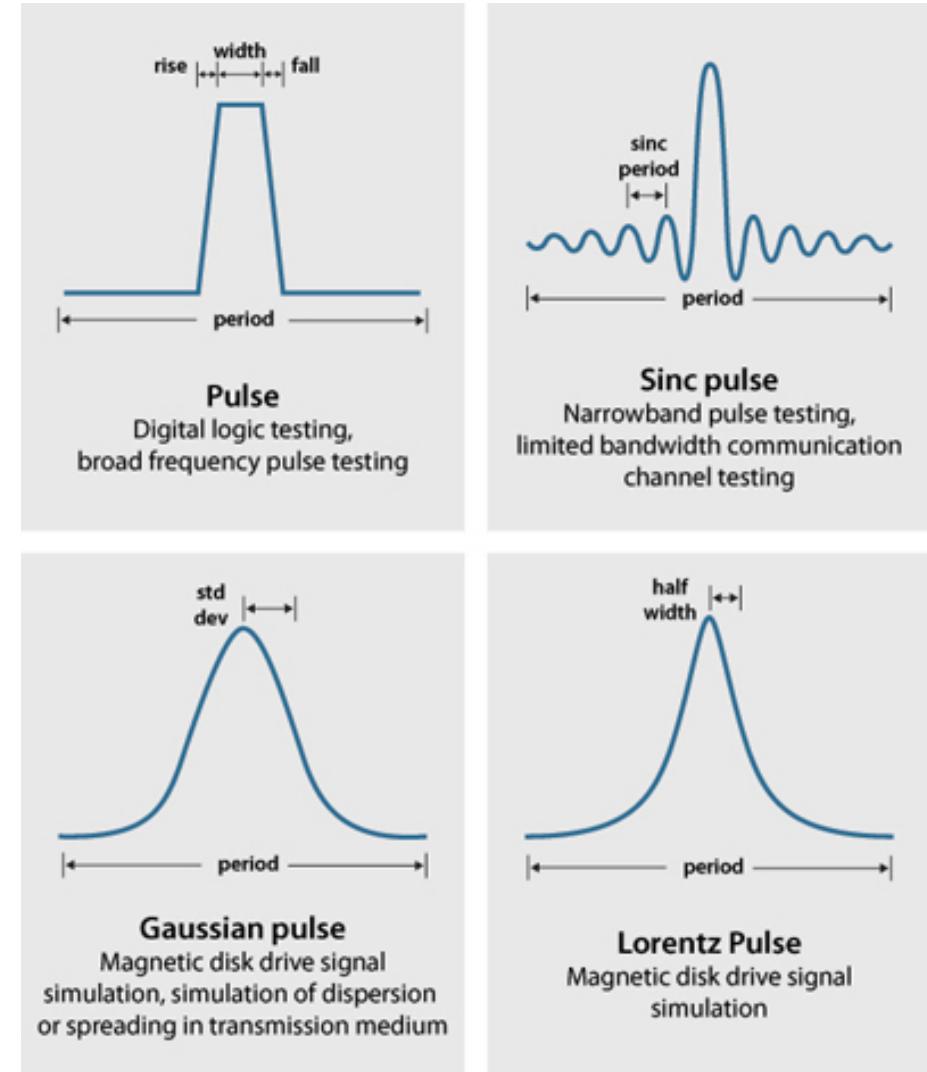
Il segnale base che viene ripetuto a intervalli regolari ‘T’ viene chiamata “forma d’onda” e determina molte caratteristiche fisiche del segnale



- 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)



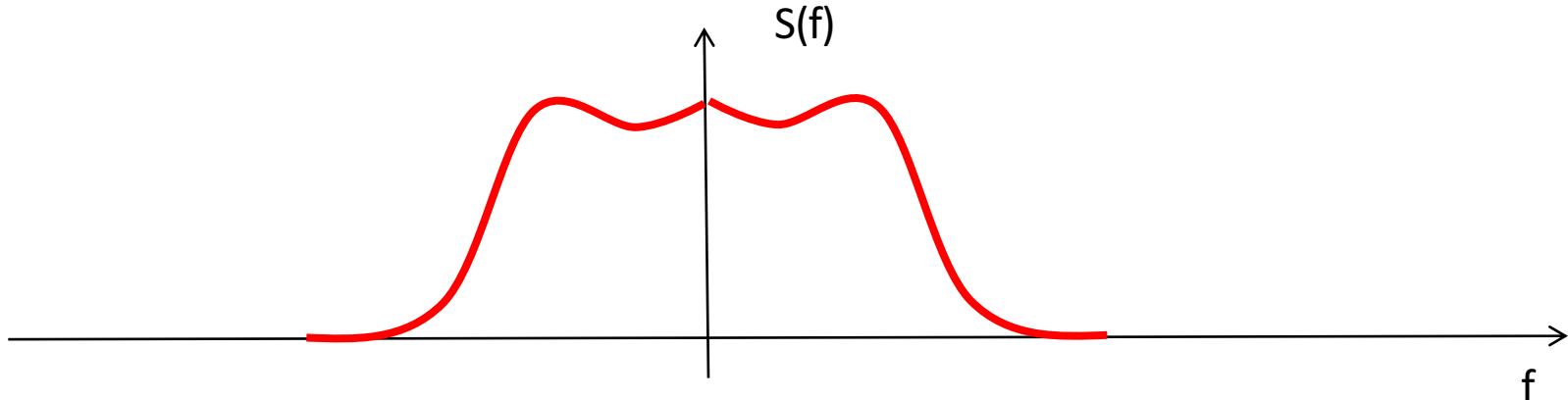
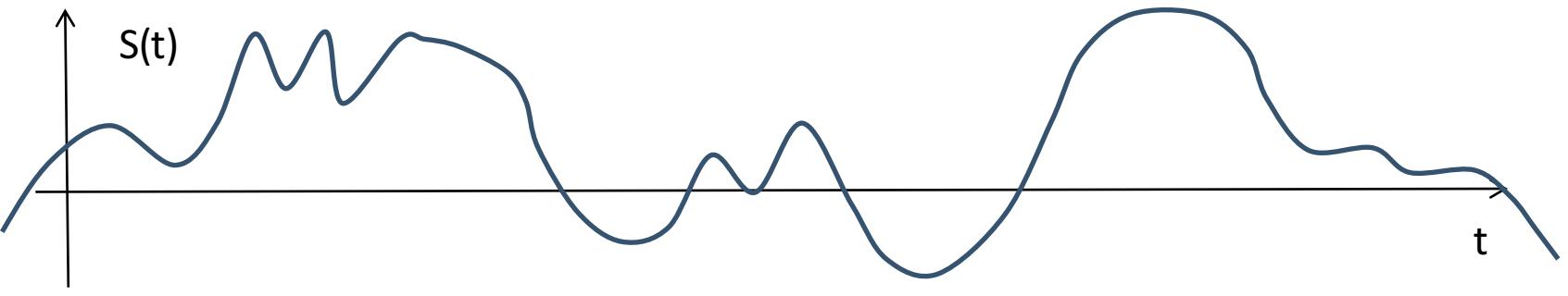
- Esempi di forme d'onda usati in diverse applicazioni sia di comunicazione che di prova/verifica dei sistemi
- Impulsi “gaussiani” sono usati nelle comunicazioni cellulari
- Impulsi di tipo sinc ($\sin(x)/x$) derivano dal filtraggio a banda molto stretta di altri segnali





- 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

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

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

