

Slide del corso di Reti di Calcolatori tenuto dal prof . Agostino Poggi dell'Università di Parma.

Traduzione a cura di Bacchini Alessandro, Biasion Francesco e Davoli Luca.

Il prof. Poggi **non** è responsabile del contenuto e della traduzione di queste slide.

Le slide sono fornite “così come sono”, senza garanzia di completa conformità agli originali, inoltre, i traduttori non si assumono alcuna responsabilità per errori di traduzione e interpretazione.

Reti di calcolatori

Trasmissione dati

Trasmissione di informazioni (requisiti per la comprensione)

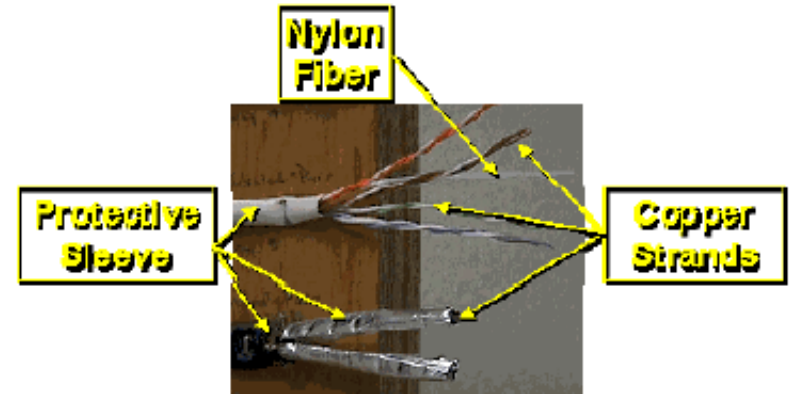
- Basi solide e ben comprese
- Dalla fisica
 - Energia
 - Propagazione delle onde elettromagnetiche
- Dalla matematica
 - Teoria della codifica

Tipi di energia usati per la trasmissione

- Correnti elettriche
 - Cavo di rame
- Luce
 - Fibra ottica
- Onde elettromagnetiche omnidirezionale
 - Frequenze radio
 - Infrarossi
- Onde elettromagnetiche direzionali
 - Canali satellitari punto-punto
 - Microonde
 - Raggio laser

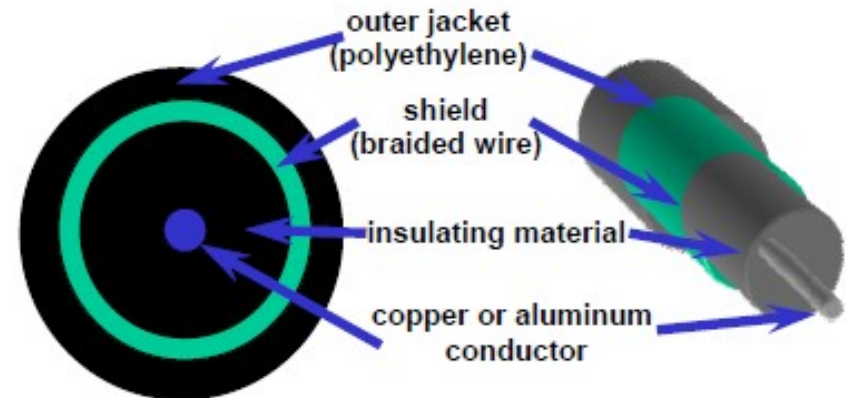
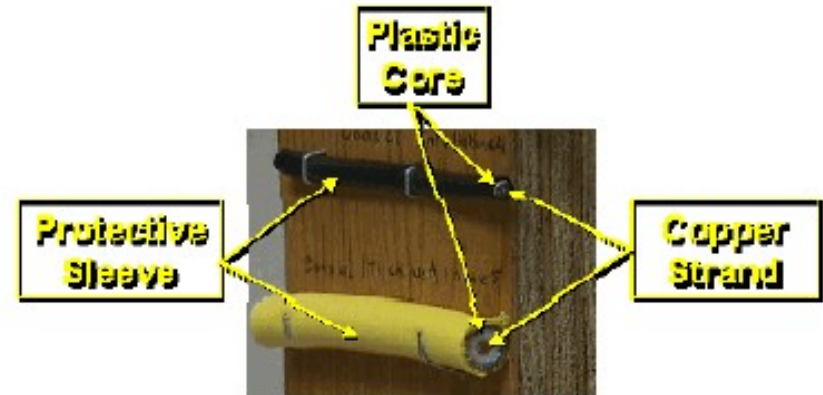
Doppino telefonico

- Usato per trasportare sia voce che dati
- Consiste di 2 cavi di rame isolati organizzati in una spirale regolare per minimizzare le interferenze elettromagnetiche tra doppini adiacenti
- Due versioni principali
 - Doppino non schermato (Unshielded Twisted Pair, UTP)
 - Doppino schermato (Shielded Twisted Pair, STP)



Cavo coassiale

- Usato per cavi televisivi, LAN, telefono
 - Un conduttore interno circondato da una maglia intrecciata
 - Entrambi i conduttori condividono un asse centrale, da qui il termine “coassiale”
- Due versioni che variano in diametro e resistenza
 - Baseband, banda base (50 ohm)
 - Broadband, banda larga (75 ohm)

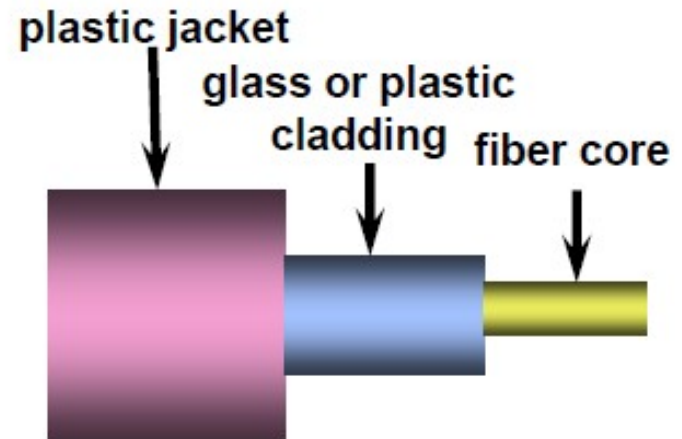
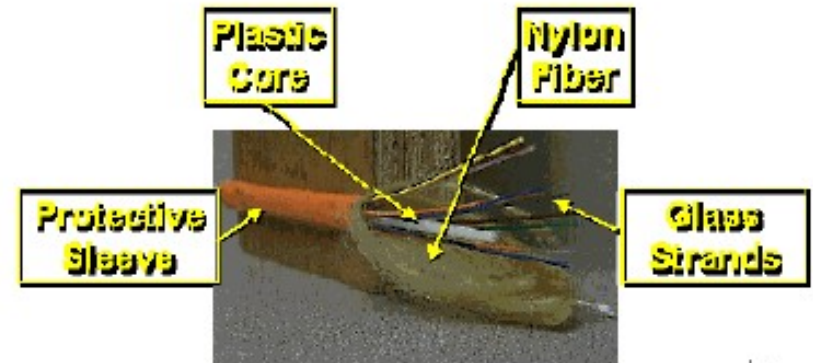


Doppino telefonico vs. cavo coassiale

- Il doppino è più economico e facilmente disponibile
- Il doppino è più flessibile ed è più leggero
- Il doppino è facile da utilizzare e da installare
- Il cavo coassiale ha una banda maggiore
- Il cavo coassiale è meno suscettibile alle interferenze rispetto al doppino

Fibra ottica

- Sottile fibra di vetro che trasporta luce con dati codificati
 - LED o laser iniettano pulsazioni luminose nella fibra
 - Ricevitori sensibili alla luce (transistor) all'altro capo traducono la luce in dati
- Una camicia di plastica permette alla fibra di piegarsi senza spezzarsi



Multi-mode vs. single-mode

- Una mode (modalità) è un percorso definito attraverso il quale viaggia la luce
 - Un segnale di luce può propagarsi attraverso il cuore della fibra ottica lungo un singolo percorso (fibra single-mode) o lungo molti percorsi (fibra multi-mode)
 - Il modo nel quale la luce viaggia dipende dalle proprietà della fibra e dalla lunghezza d'onda della luce
- Fibre multi-mode
 - Differenti raggi di luce rimbalzano lungo la fibra con gradi differenti
 - Parti differenti del segnale arrivano a destinazione a tempi differenti
- Fibra single-mode
 - Trasmette un singolo fascio di luce attraverso il cavo
 - La luce si riflette in un solo modo

Multi-mode vs. single-mode

- Le fibre single-mode hanno il vantaggio di avere una grande capacità di trasporto informazioni, bassa attenuazione e basso costo della fibra
 - Permette le più veloci trasmissioni e le maggiori distanze
- Le fibre multi-mode hanno il vantaggio di avere meno connessioni e costi elettronici che possono portare a minori costi del sistema

Multi-mode vs. single-mode



**fiber optic multi-mode
step-index**



**fiber optic multi-mode
graded-index**

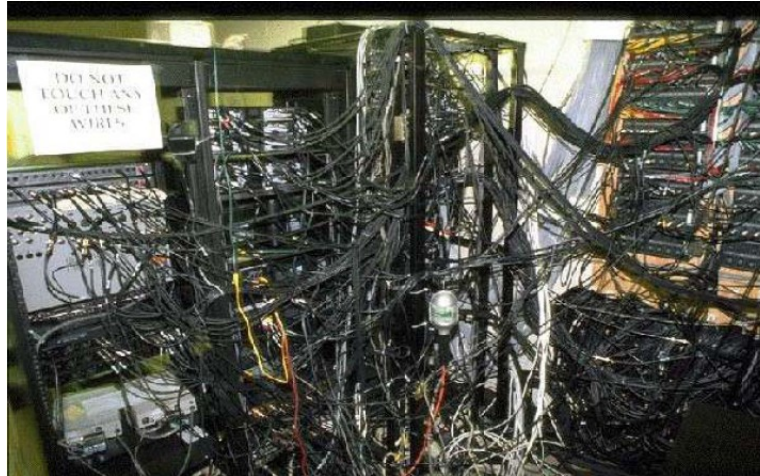


fiber optic single-mode

Fibre ottiche vs. fili

- Le fibre ottiche hanno diversi vantaggi
 - I cavi in fibra ottica hanno una banda molto maggiore dei cavi metallici. Questo significa che possono trasportare più informazioni (dati)
 - Le fibre ottiche sono meno suscettibili alle interferenze rispetto ai cavi metallici
 - Le fibre ottiche sono molto più leggere dei cavi metallici
 - I dati possono essere trasmessi digitalmente (la forma naturale dei dati del computer) piuttosto che analogicamente
- I principali svantaggi delle fibre ottiche
 - I cavi in fibra sono più costosi da installare
 - I cavi in fibra sono più fragili dei fili e sono difficili da dividere

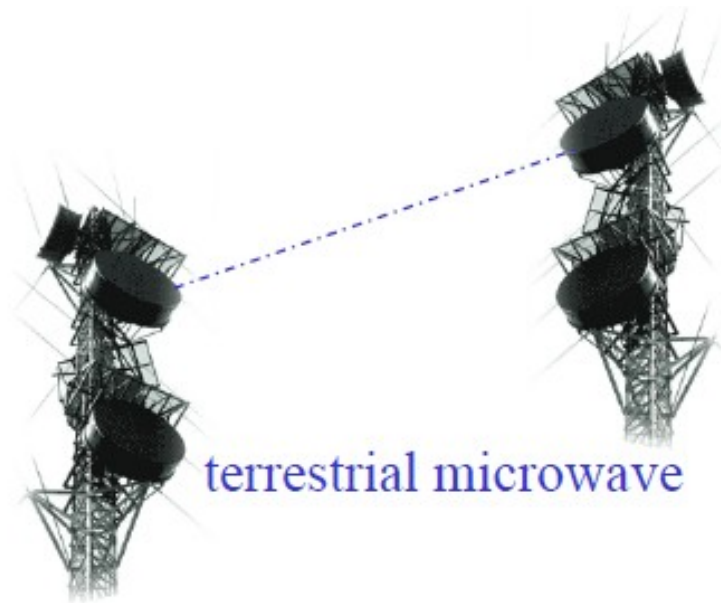
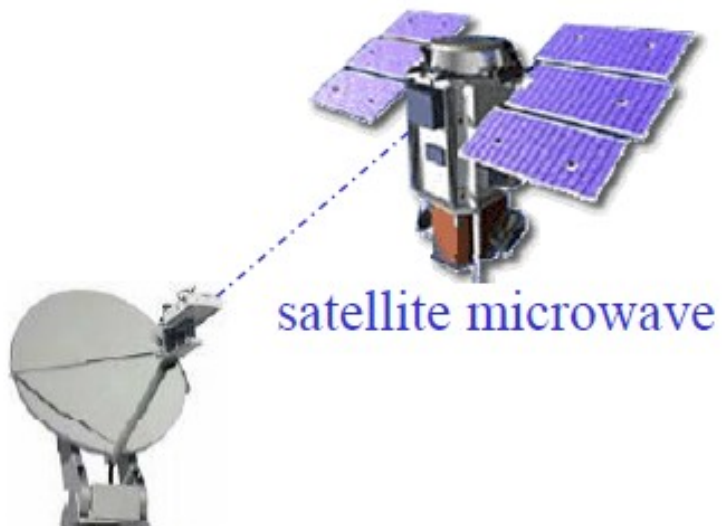
Wireless



Wireless

- Concettualmente simile a radio, TV, telefoni cellulari
- Dati trasmessi usando onde elettromagnetiche
 - Possono attraversare muri ed interi edifici
- Trasmissioni e ricezioni si affidano ad antenne
 - Direzionali
 - L'antenna di trasmissione trasmette un fascio focalizzato
 - Trasmettitore e ricevitore devono essere allineate
 - Omnidirezionali
 - Il segnale è sparso in ogni direzione
 - Il segnale può essere ricevuto da molte antenne
- Le trasmissioni possono essere a lungo raggio o corto raggio
 - Lungo raggio con satelliti ripetitori
 - Corto raggio con reti di computer senza fili (wireless)

Wireless



Onde radio

- Onde radio elettromagnetiche possono essere utilizzate per trasmettere dati per permettere le reti wireless
- Ogni computer sulla rete ha annessa un'antenna che trasmette e riceve segnali RF (radiofrequenza)
- Vantaggi delle onde radio
 - Possono viaggiare lunghe distanze
 - A basse frequenze attraversano bene gli ostacoli
- Svantaggi
 - Soggette ad interferenze da motori ed altro componenti elettronici
 - Assorbite dalla pioggia

Microonde

- La trasmissione è volta in una singola direzione per impedire l'intercettazione del segnale da parte di altri
 - Le stazioni sono situate a una trentina di km
- Trasportano più informazioni delle trasmissioni in bassa frequenza (RF)
- Le microonde non possono penetrare strutture metalliche
 - Le stazioni devono essere visibili a vicenda
- Molte compagnie telefoniche a lungo raggio utilizzano le microonde come mezzi di trasmissione

Infrarossi

- Utilizza trasmettitori/ricevitori (ricetrasmittitori) che modulano luce infrarossa non coerente
- I ricetrasmittitori devono essere allineati l'un l'altro (direttamente o via riflessione)
 - Gli infrarossi non penetrano oggetti i muri
- La trasmissione infrarossi utilizza la luce a bassa frequenza per trasportare dati attraverso l'etere
- I suoi limiti principali
 - Limitata ad una piccola area (es. singola stanza)
 - Richiede la linea di vista
 - Non può essere usata all'esterno

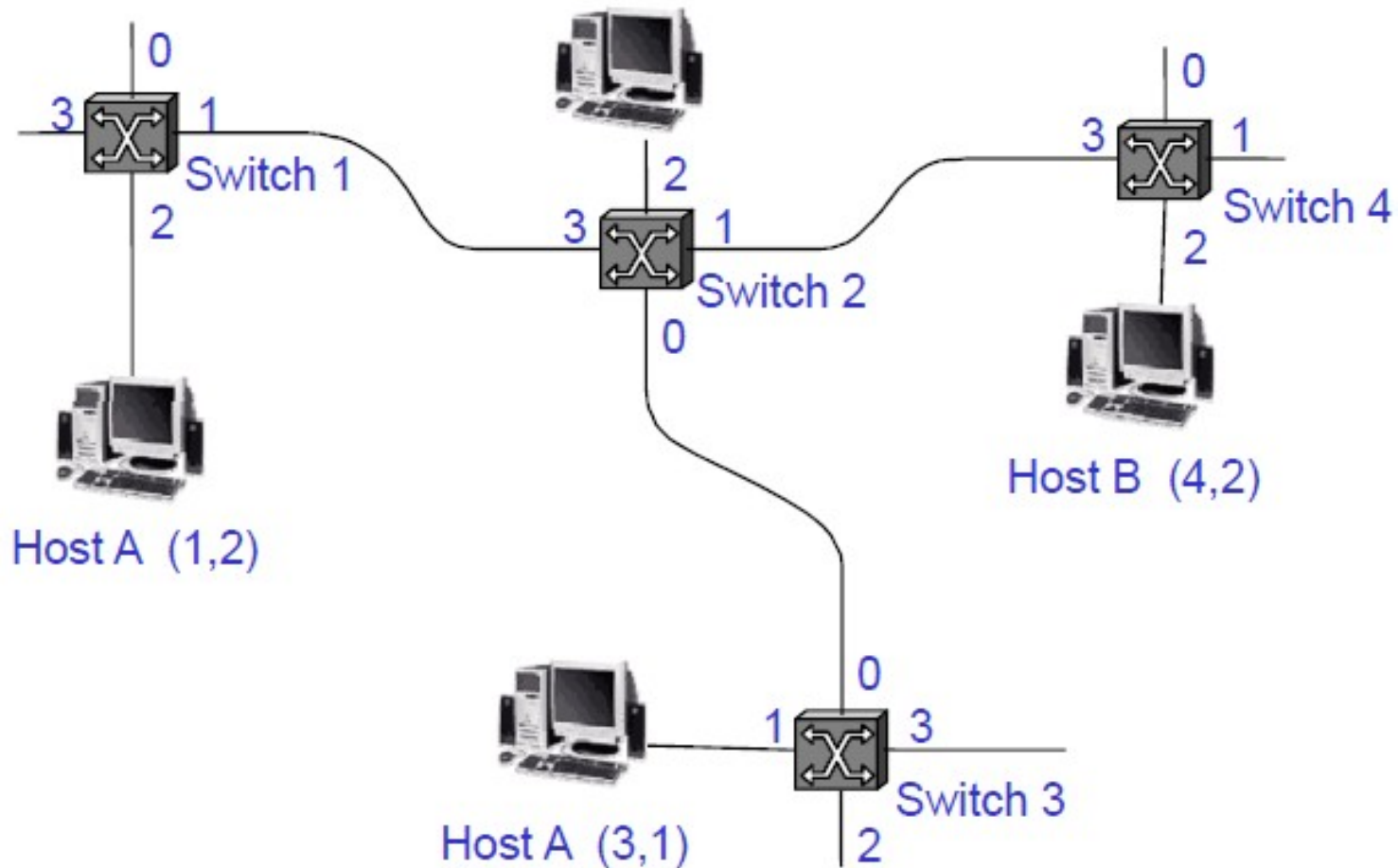
Limiti fisici della trasmissione

- Ritardo di propagazione
 - Tempo richiesto al segnale per attraversare il mezzo (la velocità è sempre inferiore a $3 \cdot 10^8$ m/s)
- Larghezza di banda
 - Massimo delle volte per secondo che il segnale può cambiare

Misure nelle trasmissioni

- Ritardo
 - Quantità di tempo richiesto per un bit di dato per viaggiare da un capo all'altro del mezzo di comunicazione
- Throughput
 - Numero di bit per secondo che possono essere trasmessi (dati, controlli, e così via), anche bit ritrasmessi
 - Il throughput effettivo è il numero di bit di dati trasmesso all'interno di un dato periodo di tempo

Misure nelle trasmissioni



Misure nelle trasmissioni

- Ritardo
 - La quantità di tempo richiesta da un bit per viaggiare attraverso la rete
 - Propagazione
 - Switching (smistamento)
 - Queuing delay (ritardo di accodamento)

$$D = D_0 / (1-U)$$

Dove

- U = utilizzazione, es. rapporto throughput – capacità
- D_0 = propagazione e ritardo di smistamento

Teorema di Nyquist

- Il teorema di Nyquist stabilisce una connessione tra il throughput a la larghezza di banda

$$D = 2B \cdot \log_2 K$$

Dove

- D è la massima velocità dati (data rate)
- B è la larghezza di banda
- K è il numero di valori utilizzato per codificare i dati

Teorema di Shannon

- Il teorema di Shannon fornisce il corretto limite della velocità dati (data rate) per sistemi reali (con rumore)

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

Dove

- C è l'effettiva capacità del canale in bit al secondo
- B è la larghezza di banda
- S è la potenza media del segnale
- N è il rumore

Esempio: cavo telefonico

- $B = 3100 \text{ Hz}$
- $S/N = 30 \text{ dB} = 1000$
- $C = 3100 \log_2 (1 + 1000) = 30894 \text{ bps}$

Trasmissione dati

- L'hardware delle reti codifica le informazioni per la trasmissione
- Due tipi di codifica
 - Analogica
 - Digitale
- Le reti di computer utilizzano il secondo tipo

Il mondo una volta era analogico

- Molti dispositivi comuni usano la tecnologia analogica
 - Primi sistemi telefonici
 - Radio AM o FM
 - Stereo
 - Televisione
- L'analogico è semplice, ma inaccurato
 - I dispositivi analogici distorcono sempre l'input ed aggiungono rumore
- Inviare un segnale analogico attraverso un filo
 - Modulazione
 - Perdite di segnale - amplificazione

La rivoluzione digitale

- L'evoluzione iniziò quando gli ingegneri idearono la maniera di combinare transistor in un circuito integrato
- Le informazioni, inclusi audio e video, possono essere codificati in formato digitale
 - All'interno di computer, tutte le informazioni sono rappresentate da numeri
 - Internet fornisce comunicazioni digitali
 - Registrazione digitale, televisione
- I vantaggi sono:
 - Il segnale è esatto
 - Il segnale può essere controllato per errori
 - Rumore/interferenze sono facilmente filtrati e eliminati
 - Una varietà di servizi può essere offerta su una linea
 - Maggiore banda è disponibile con compressione dei dati

Codifica dei dati

- Le regole di codifica del segnale determinano quale forma prenderà un segnale elettrico per rappresentare un 1 o uno 0
 - Dozzine di set di regole sono state proposte, ognuna delle quali ha vantaggi e svantaggi
 - Nello schema di codifica più semplice un particolare livello di voltaggio rappresenta un valore ed un voltaggio differente (o zero) rappresenta un valore diverso

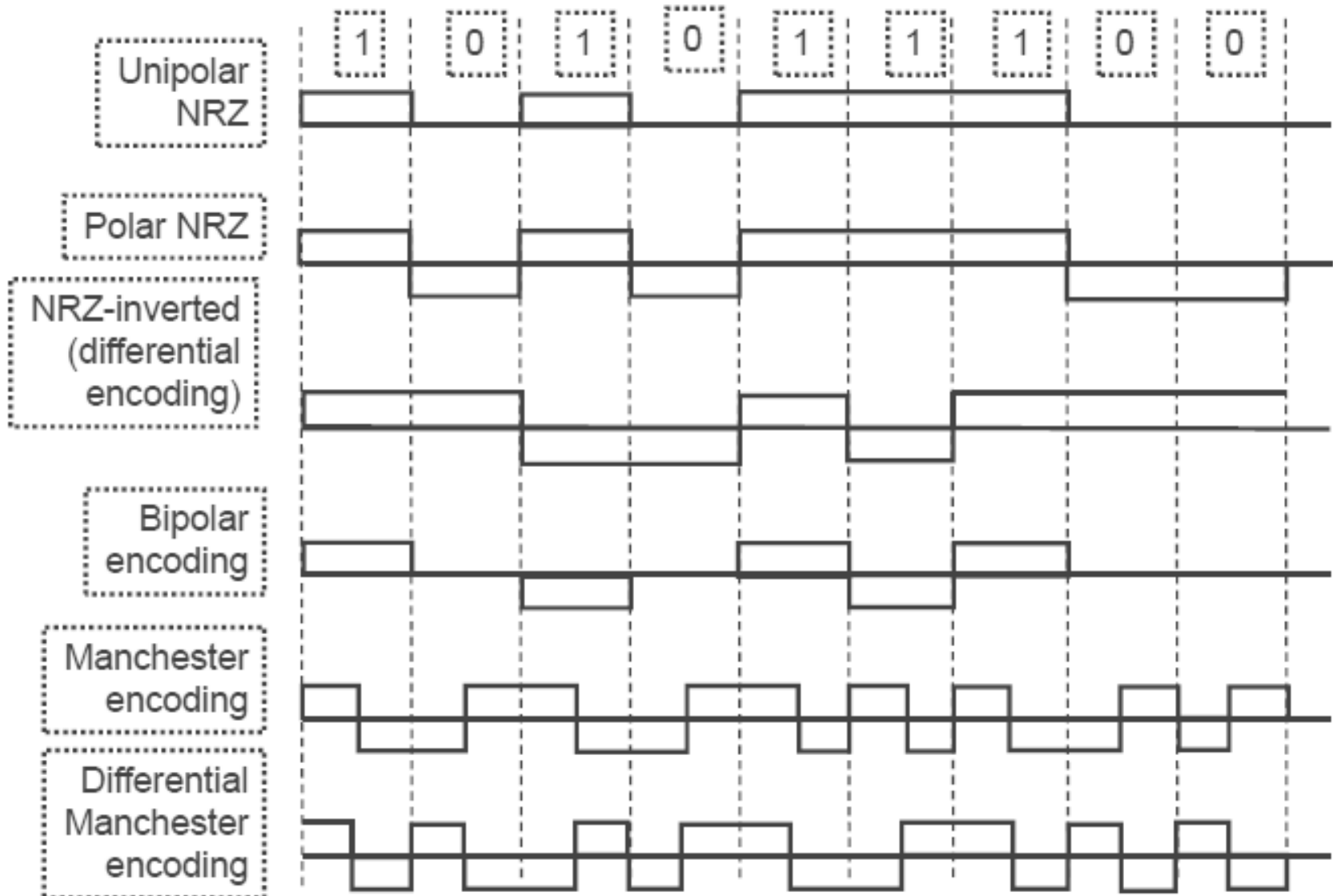
Codifica digitale

- Le tecniche di codifica digitale dovrebbero considerare al minimo i seguenti aspetti
 - Piccola larghezza di banda per permettere a molti segnali di essere trasmessi in un dato canale di comunicazione
 - Bassi livelli di DC, perché segnali con alti livelli sono attenuati maggiormente e noi vorremmo trasmettere il segnale a larghe distanze
 - Molti cambiamenti di tensione, al fine di consentire la sincronizzazione tra il trasmettitore ed il ricevitore senza l'aggiunta di informazioni extra, ma usando i cambiamenti del livello di voltaggio per ottenere questo scopo

Metodi di codifica digitale

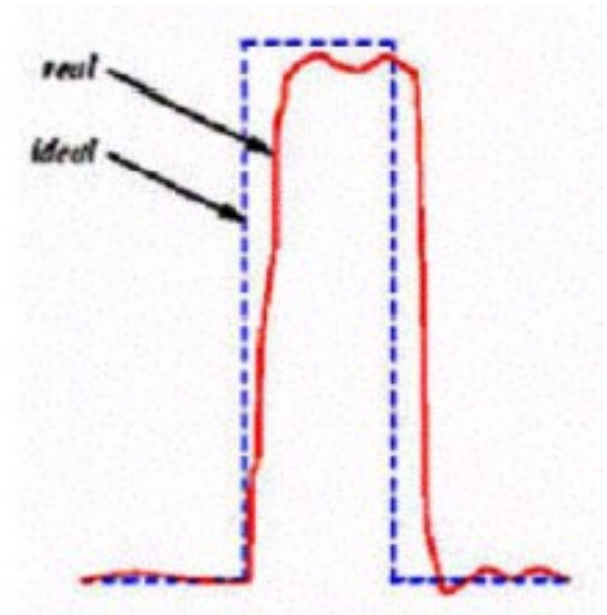
Metodo	Formato
Unipolare NRZ	1 = voltaggio positivo (+V) 0 = voltaggio 0
Polare NRZ	1 = voltaggio positivo (+V/2) 0 = voltaggio negativo (-V/2)
NRZ invertito (codifica differenziale)	1 = esecuzione di una transizione 0 = nessuna transizione
Codifica bipolare	1 = alternando la polarità da impulso ad impulso 0 = nessun impulso
Codifica Manchester	1 = transizione da alto a basso in mezzo ad un intervallo 0 = transizione da basso ad alto in mezzo ad un intervallo
Codifica Manchester differenziale	1 = nessuna transizione all'inizio di un intervallo 0 = transizione all'inizio di un intervallo Sempre una transizione in mezzo all'intervallo

Esempi di codifica digitale



Limite lunghezza del cavo e Baud rate

- L'energia elettrica si dissipa lungo il percorso
- I fili hanno resistenza, capacità, induttanza che distorcono il segnale
- Interferenze magnetiche o elettriche distorcono il segnale
- Le distorsioni possono risultare in perdite o fraintendimenti



Componenti di distorsione

- Attenuazione
 - Dipende dal mezzo di trasformazione
 - L'attenuazione è una funzione crescente con la frequenza
- Distorsione di ritardo
 - La velocità di propagazione varia con la frequenza
- Rumore
 - Dipende dal mezzo di trasmissione e dall'ambiente esterno

Rumore

- Termico
 - Dovuto all'agitazione termica degli elettroni
 - Uniformemente distribuito (rumore bianco)
- Intermodulazione
 - Segnali che sono somma e differenza delle frequenze originali condividono il mezzo
- Crosstalk (diafonia)
 - Interferenze elettromagnetiche generate in un circuito tra due cavi vicini (wikipedia)
- Impulsi
 - Impulsi o picchi irregolari (interferenze elettromagnetiche esterne)
 - Elevata ampiezza
 - Breve durata

Gestione errori

- I dati possono essere corrotti durante la trasmissione
 - Bit persi
 - Valore dei bit cambiato
- I frame includono informazioni aggiuntive (uno o più bit) per trovare e correggere errori
 - Settati dal mittente
 - Controllati dal ricevente
- Statistiche di garanzia

Gestione errori

- Il numero (R) di bit errati che possono essere trovati è pari a:

$$R = H - 1$$

Dove:

- H è la distanza di Hamming, ossia il numero minimo di bit per cui due codici differiscono
- Il numero (C) di bit errati che possono essere recuperati è pari a :

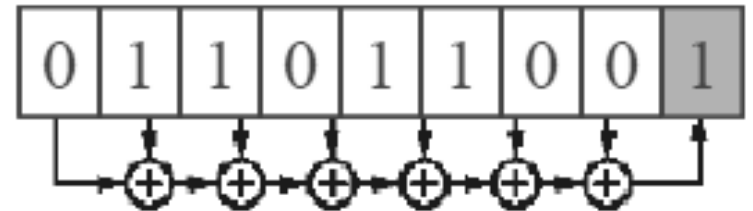
$$C \leq (H - 1) / 2$$

Un esempio

	Codice' (H = 1)	Codice'' (H = 2)	Codice''' (H = 3)
A	01	001	10001
B	10	010	00010
C	11	111	11100

Rilevamento e riparazione degli errori: bit di parità

- Un bit aggiuntivo per carattere
- Due forme
 - Parità pari (even parity)
 - Parità dispari (odd parity)
- Non può gestire errori che cambiano due bit



Rilevamento e riparazione degli errori: Checksum

- Tratta i dati come sequenza di interi
- Calcola ed invia somme aritmetiche
- Gestisce bit errati multipli
- Non può gestire tutti gli errori
- È una sequenza di bit che viene utilizzata per verificare l'integrità di un dato o di un messaggio che può subire alterazioni (wikipedia)

00001

00010

00011

00001

00111

Qual è il problema

Byte	Checksum	Byte	Checksum
00001	1	00011	3
00010	2	00000	0
00011	3	00001	1
00001	1	00011	3
00111	7	00111	7

Rilevamento e riparazione degli errori: controllo ciclico di ridondanza

- Funzione matematica che costruisce un frame di $M + R$ bit il cui valore è esattamente divisibile per un numero fissato P (R bit)

$$(M + R) / P = 0$$

- Più complessa computazionalmente, tuttavia può essere processato da un circuito che consiste in or esclusivi (ex-or) e shift gates
- Gestisce più errori

Un esempio

- $M = 1010001101$
- $P = 110101$
- $R = M \mid 00000 \ \% P = 01110$
- $M \mid R = 1010001101 \mid 01110$

Perché usare trasmissioni analogiche

- Già in vigore
- Significativamente meno costosa
- Sufficiente per trasmissione di segnali audio – voce
- Basso tasso di attenuazione

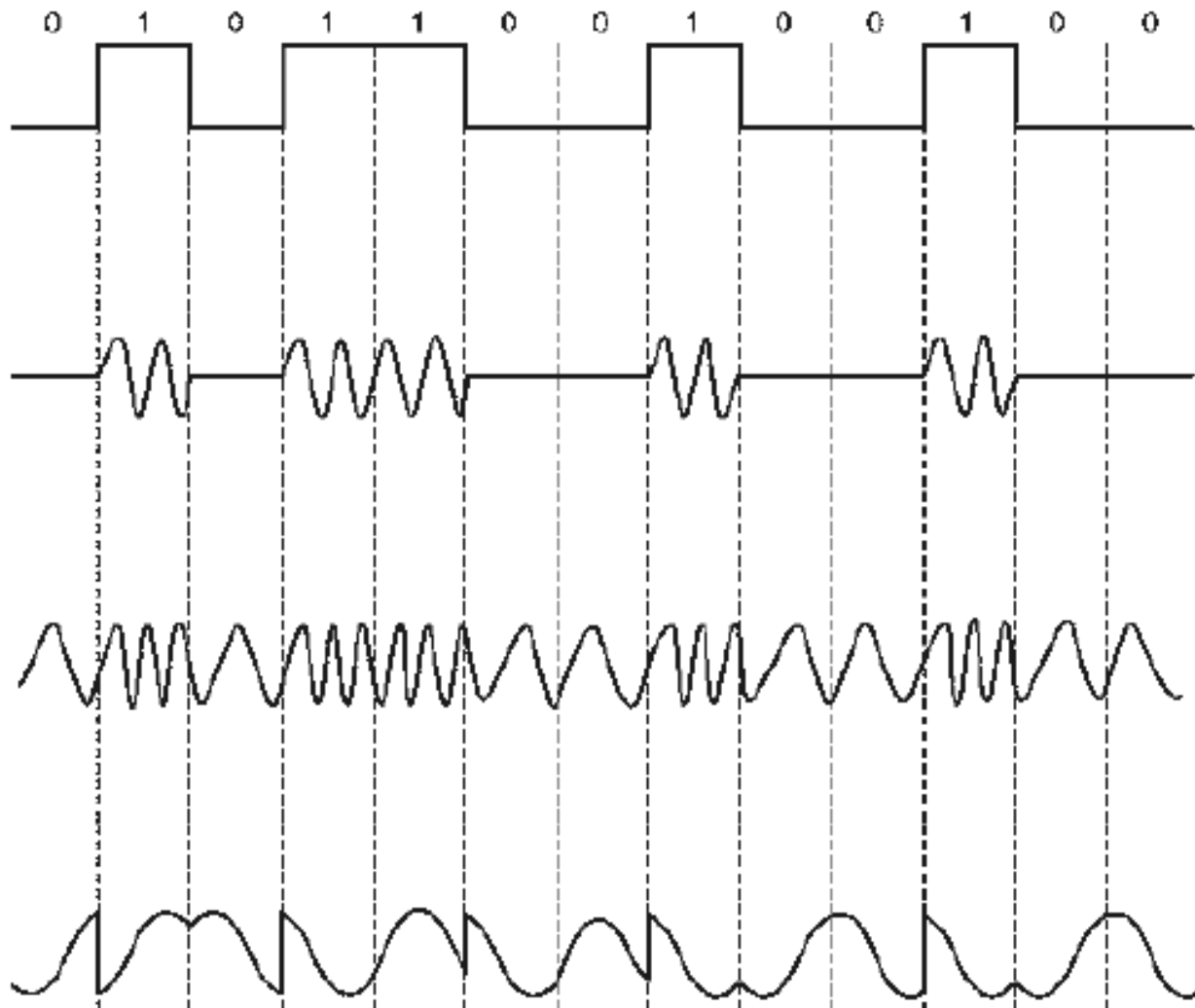
Trasmissione a lunghe distanze

- Un segnale oscillante va più lontano della corrente continua
- Per comunicazioni a lunga distanza
- Manda un'onda sinusoidale (portante)
- Cambia (modula) la portante per codificare i dati
 - Modulazione d'ampiezza (radio AM)
 - Modulazione di frequenza (radio FM)
 - Modulazione a spostamento di fase (dati PM)

Modulazione

- Modulazione d'ampiezza (AM)
 - I bit sono codificati a 0 o 1 dall'ampiezza del segnale
 - Necessario un ciclo di senoide per ogni bit
 - Velocità dati limitata dalla larghezza di banda della portante
- Modulazione di frequenza
 - I bit sono codificati a 0 o 1 dalla frequenza del segnale
 - Più resistente al rumore rispetto all'AM
 - Meno attraente poiché richiede più larghezza di banda rispetto all'AM
- Modulazione di fase (PM)
 - Sezioni d'onda omesse al cambiamento di fase
 - I bit dei dati determinano la dimensione della sezione omessa
 - Il cambio di fase codifica K bit
 - Velocità dei dati maggiore della larghezza di banda della portante

Modulazione



Modem

- Periferica hardware usata per comunicazioni a lunga distanza
 - Modula con un segnale portante analogico per codificare le informazioni digitali
 - Demodula come un segnale portante per decodificare l'informazione digitale trasmessa
- L'obiettivo del modem è produrre un segnale che possa essere:
 - Trasmesso facilmente
 - Decodificato per riprodurre il dato digitale originale

Modem

- Un modem è basato su due circuiti
 - Per modulare un segnale in uscita (modulatore)
 - Per demodulare un segnale entrante (demodulatore)
- Due modem sono usati tra una coppia di computer connessi tramite una linea analogica
 - Usa un segnale a frequenza costante conosciuto come portante
 - Il mittente converte una serie di impulsi di voltaggi binari in segnali analogici modulandoli con il segnale portante
 - Il ricevitore ritraduce il segnale analogico in dati digitali

Tipi di modem

- **Convenzionali**
 - Usano 4 fili e trasmettono onde elettriche modulate
- **Ottici**
 - Usano fibre di vetro e trasmette luce modulata
- **Wireless**
 - Usano l'etere per trasmettere onde radio modulate in frequenza
- **Dialup**
 - Usano il sistema vocale telefonico e trasmettono toni audio modulati

Tipi di modem

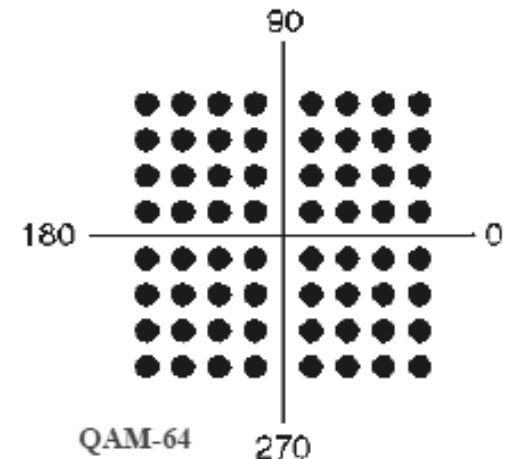
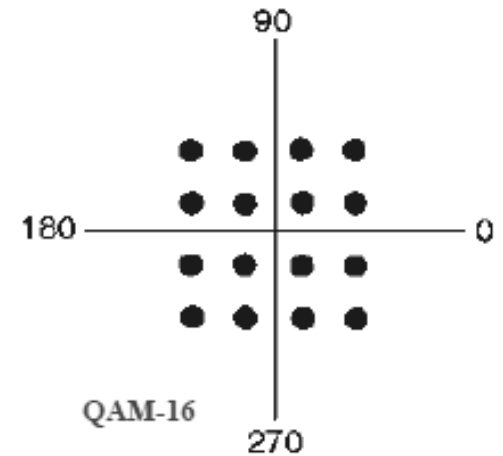
- Full-duplex modem
 - Due vie di comunicazione
 - Trasmissione contemporanea
 - 4 fili
- Half-duplex modem
 - Due vie di comunicazione
 - Nessuna trasmissione contemporanea
 - 2 fili

Standard modem V.34

- Gli standard dei modem tradizionali prevedono che entrambi i capi della sessione del modem abbiano una connessione analogica alla rete telefonica pubblica
- I segnali dati sono convertiti da digitale ad analogico e viceversa, limitando la velocità di trasmissione a 33.6 Kbps con i modem V.34 correnti
- I modem analogici usano 2 metodi di trasferimento dati: Modulazione di fase (PM), modulazione d'ampiezza (AM) e la loro combinazione: Modulazione d'ampiezza in quadratura (QAM)

Modulazione d'ampiezza in quadratura

- Con la QAM si può trasmettere sia in scostamento di fase della PM che in ampiezza del segnale dell'AM allo stesso tempo
 - La rappresentazione grafica della QAM è chiamata costellazione
 - Le seguenti costellazioni mostrano come dovrebbero apparire per 4 o 6 bit di informazione per punto
 - Ogni punto può anche essere chiamato simbolo



Si sbagliava Shannon?

- La massima velocità di trasferimento dei dati, considerando una quantità reale di rumore sulla linea telefonica, è 35 Kbps, d'accordo con la teoria di Shannon
- Tuttavia l'attuale tecnologia dei modem (modem V.90 – V.92) eccedono questo limite (56 Kbps)
- Oggi le reti telefoniche stanno diventando digitali

Si sbagliava Shannon?

- Linee digitali contengono ancora rumore, e sono ancora soggette al Limite di Shannon, ma hanno meno rumore e una fascia più ampia
- Varie aziende hanno creato tecniche che portano vantaggi nelle parti digitali delle reti telefoniche per raggiungere maggiori che erano possibili solo mediante percorsi analogici ideali
- Queste nuove tecniche trattano il sistema telefonico come una rete altamente digitale che può avere una porzione analogica
- Eliminando una delle conversioni analogico-digitale nel percorso di downstream, il modem può raggiungere velocità fino a 56 Kbps

Si sbagliava Shannon?

