



Lezione 3: Livello di Collegamento I Sottolivello Data-Link

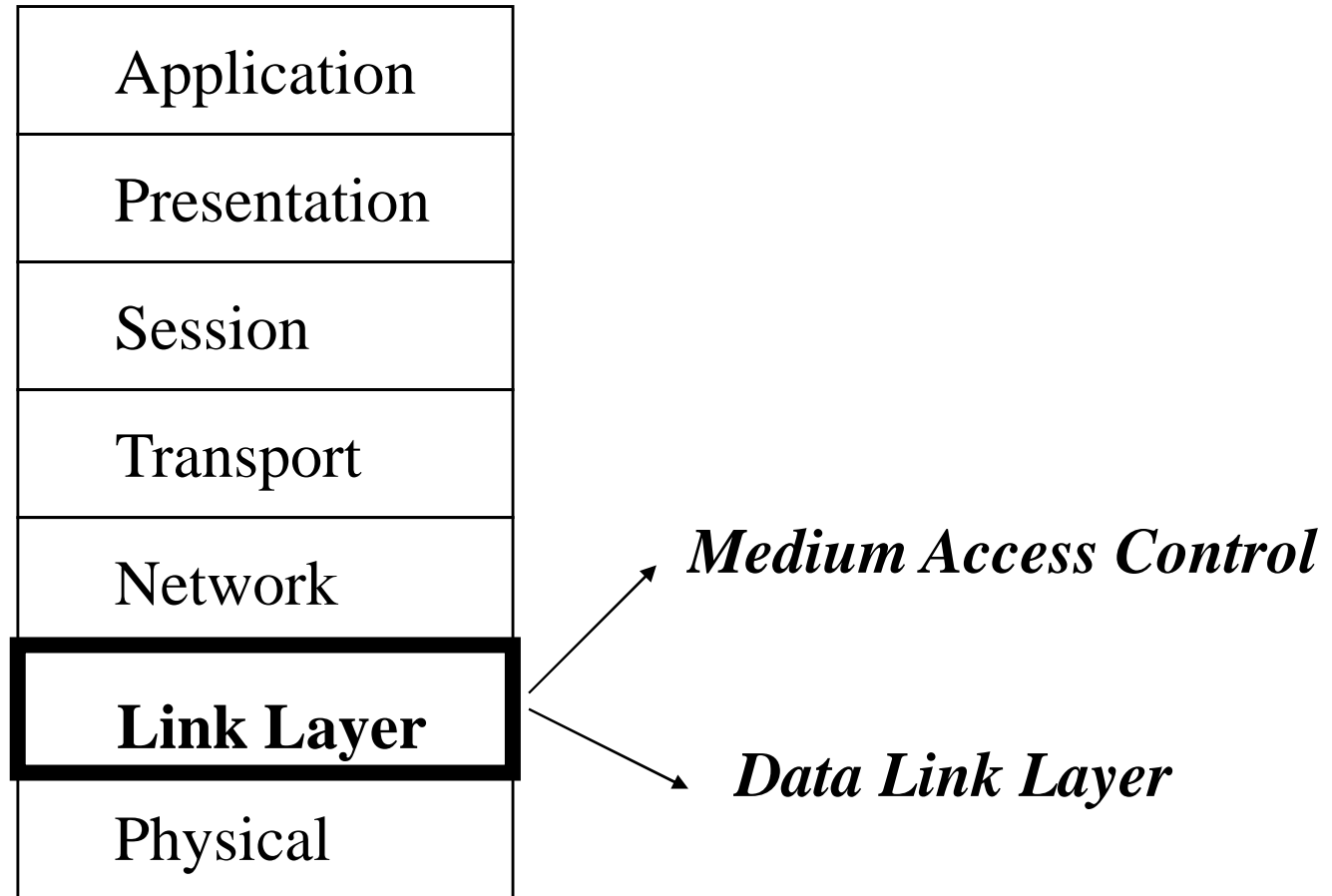


Sommario della Lezione

- ❑ Descrizione generale livello di Collegamento
- ❑ Principi di progettazione del sottolivello data-link del livello di collegamento
 - Servizi forniti al livello rete
 - Framing
 - Controllo degli errori
 - Controllo del flusso
- ❑ Rilevazione e correzione degli errori
 - Codici di correzione degli errori
 - Codici di rilevazione degli errori



Dove si trova il livello di Collegamento?

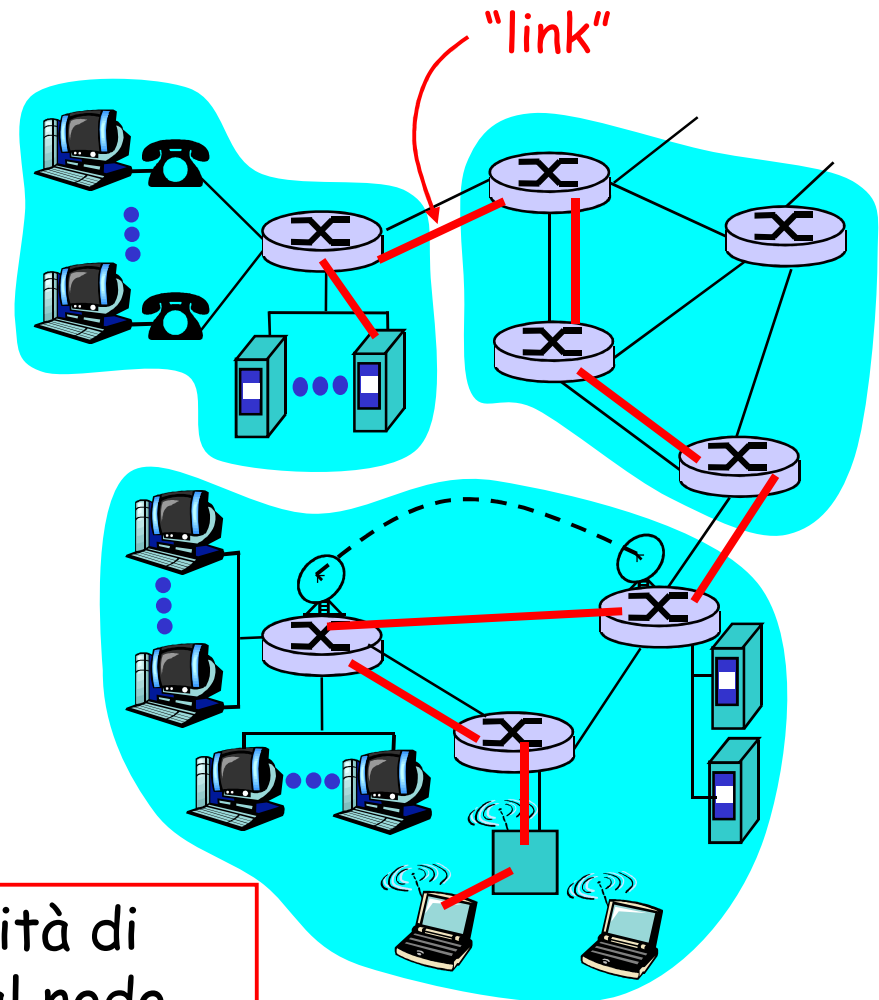


Cavo

Terminologia

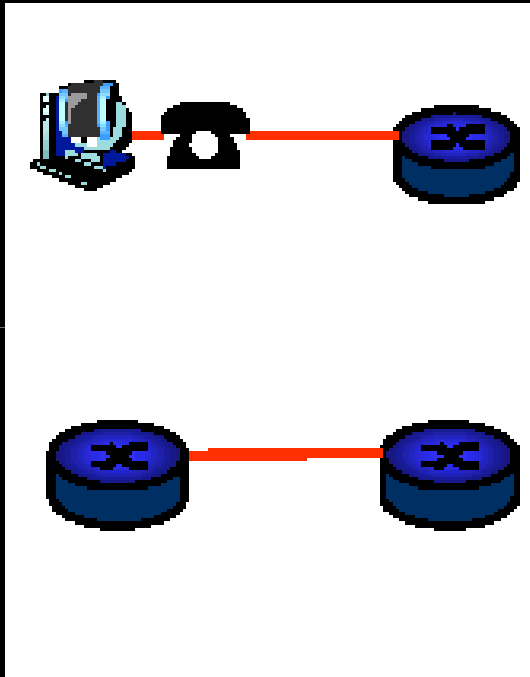
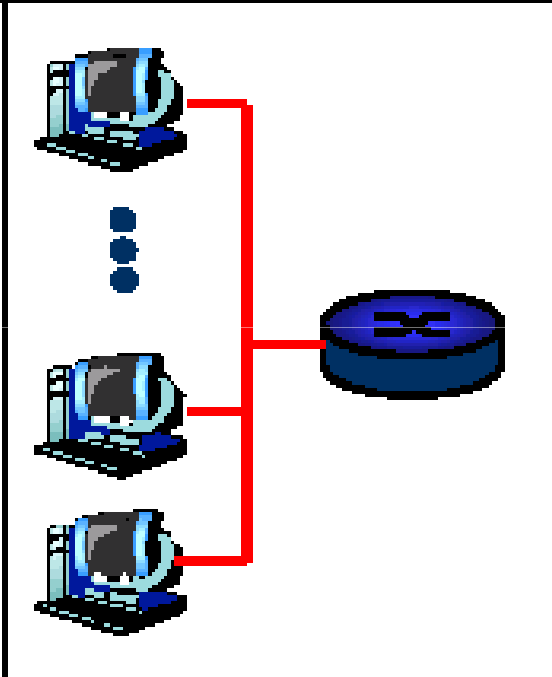
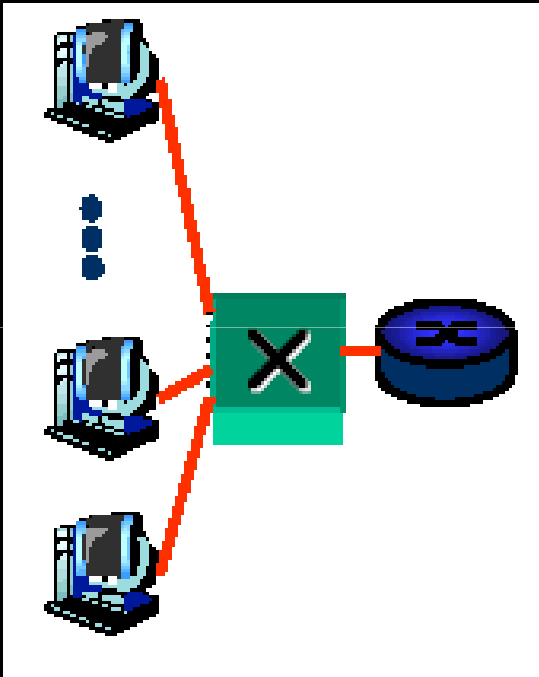
- ❑ hosts e routers sono **nodi**
(lo sono anche bridges e switches)
- ❑ canali di comunicazione che connettono nodi adiacenti lungo un percorso sono **links**:
 - wired links
 - wireless links
 - LANs
- ❑ PDU è un **frame**, incapsula datagrammi

Il livello **data-link** ha la responsabilità di trasferire datagrammi da un nodo al nodo adiacente su un link



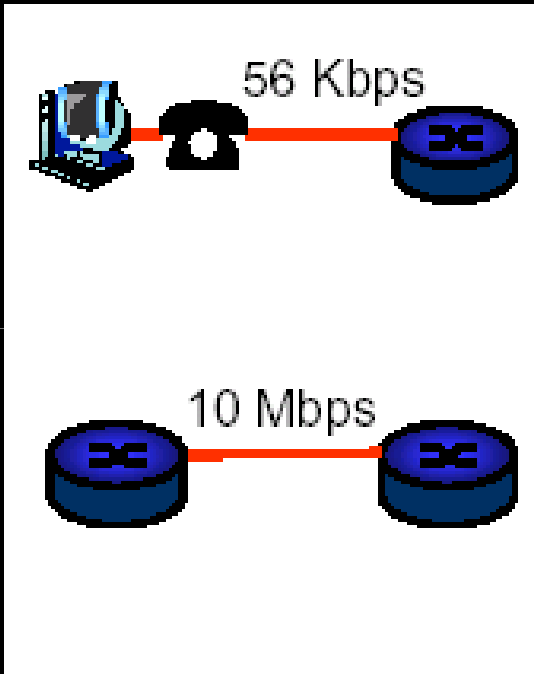
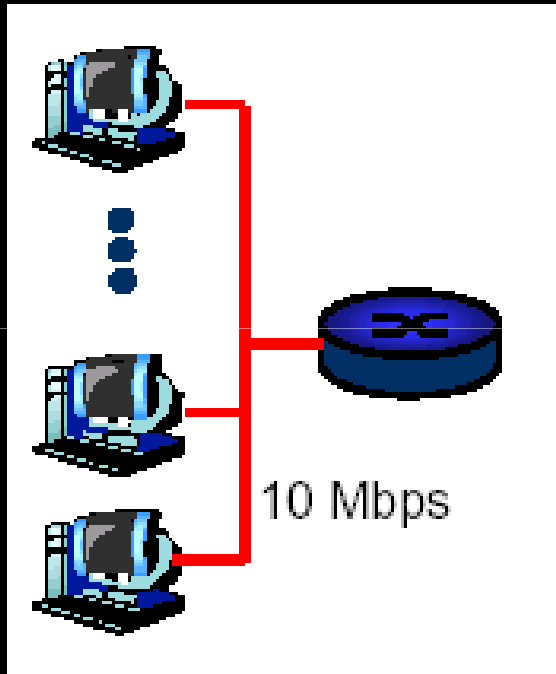
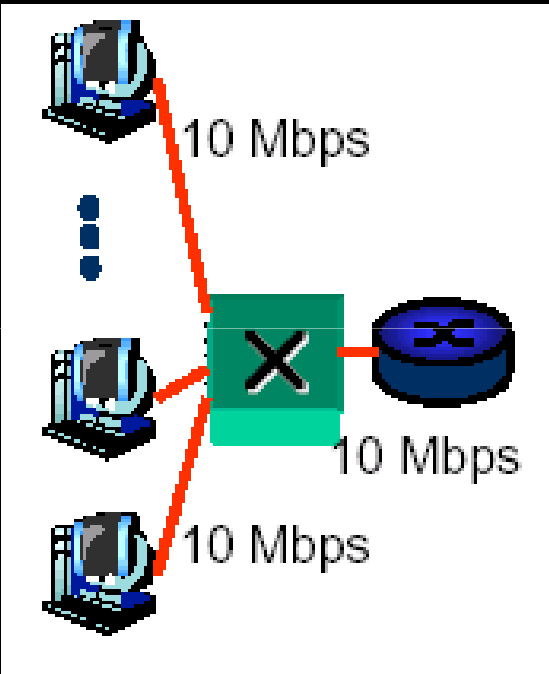


Tassonomia dei collegamenti

Point to point	Broadcast	Switched
		
Single wire; e.g., phone line, PPP, SLIP.	Shared wire or medium; e.g., Ethernet, air (radio waves).	e.g., switched Ethernet, ATM.



Velocità dei collegamenti

Point to point	Broadcast	Switched
		
Dedicated. Half duplex or full duplex	Shared, resource contention.	Similar to point to point.



Contesto

- ❑ I datagrammi vengono trasferiti da differenti protocolli di collegamento tramite differenti links:
 - ad es.: Ethernet sul primo link, frame relay sui link intermedi, 802.11 sull'ultimo link
 - ❑ Ogni protocollo di collegamento fornisce servizi differenti
- ### Analogia nei trasporti
- ❑ Viaggio da Cosenza a Leeds
 - limousine: Cosenza-Lamezia
 - aereo: Lamezia-Londra
 - treno: Londra-Leeds
 - ❑ turista = **datagramma**
 - ❑ Segmento di trasporto = **communication link**
 - ❑ Tipologia di trasporto = **protocollo link layer**
 - ❑ Agente di viaggio = **routing algorithm**



Funzioni del livello di collegamento

- ❑ Fornisce servizi al livello rete
- ❑ Realizza due funzioni principali:
 - **Livello Data link**
 - Framing
 - Controllo Errori
 - Controllo Flusso
 - **Livello Medium Access Control**
 - Nel caso di mezzo condiviso fornisce i mezzi per condividere in maniera ottimale le risorse



Modalità di trasferimento dati

- Il livello di collegamento si occupa del trasferimento dei dati su un link seriale
 - modo di trasmissione asincrono o sincrono
 - protocollo orientato al carattere o al bit
 - servizio connectionless o connection-oriented
 - connectionless: trame errate scartate e ritrasmissioni a carico dei livelli superiori (LAN, ISDN dove BER è basso)



Protocolli di livello data-link

- ❑ classificazione
 - orientati al carattere
 - orientati al bit
- ❑ colloquio
 - half-duplex
 - full-duplex
- ❑ relazioni tra le stazioni
 - master-slave
 - peer-to-peer



Classificazione Protocolli

- ❑ orientati al carattere (ormai in disuso)
 - informazione numerica interpretata a gruppi di 8 bit sulla base dei caratteri di un alfabeto (es. ASCII)
- ❑ orientati al bit
 - informazione senza interpretazione diretta
 - trasferimento trasparente dei bit



Utilizzo Protocolli

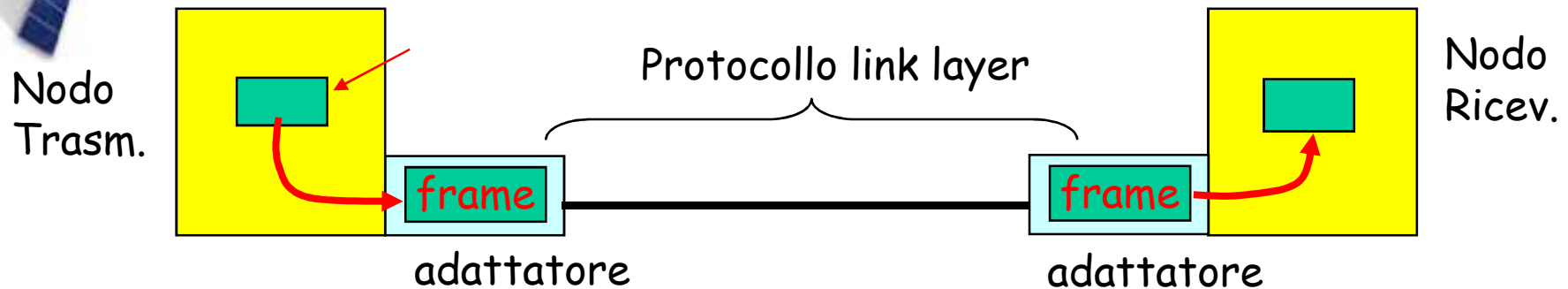
- Il tipo di protocollo usato è funzione della separazione tra i terminali e del bit rate della linea
 - su linee a basso bit rate, come quelle usate coi modem, si preferisce un protocollo orientato al carattere (es. Kermit, X-Modem simplex, BSC half-duplex) che usa lo stop&wait
 - su linee lunghe e ad alta velocità si preferiscono i protocolli orientati al bit (es. HDLC full-duplex) che usano protocolli di controllo a finestra



Implementazione Protocolli

- Il protocollo del livello di link è in gran parte implementato in un "adattatore"
 - **es. scheda PCMCIA, scheda Ethernet**
 - **tipicamente contiene: RAM, chip DSP, interfaccia per il bus dell'host e un'interfaccia del link**
 - **gli adattatori sono anche conosciuti col nome di schede di interfaccia di rete (Network Interface Card, NIC)**

Adattatori



- ❑ Il link layer è implementato nell' "adattatore"
 - Scheda Ethernet, PCMCIA, 802.11
- ❑ Lato trasmittente:
 - incapsula datagrammi in un frame
 - aggiunge bits di controllo di errore, controllo di flusso, etc.
- ❑ Lato ricevente
 - controlla errori, flusso, etc
 - estrae datagrammi e li passa al nodo ricevente
- ❑ L'adattatore è semi-autonomo



Il sottolivello Data-Link



Funzioni elementari di un protocollo del sottolivello data-link

- ❑ Delimitazione e identificazione delle trame (Framing)
- ❑ Rivelazione degli errori trasmissivi
- ❑ Recupero del corretto trasferimento delle trame in caso di errore
- ❑ Controllo di flusso
- ❑ Gestione della connessione data-link (instaurazione, abbattimento e reinizializzazione)



Framing



Framing

- ❑ Nella trasmissione dati i bit trasmessi dal livello fisico sono organizzati in gruppi logici: *trame*
- ❑ Le trame sono separate con metodi opportuni e identificate tramite un *header* dal livello di linea
 - trame fisiche (es. TDM) e trame dati
- ❑ Perché dividere il flusso in trame:
 - controllo d'errore (checksum)
 - indirizzamento
 - numerazione trame, ecc.



Delimitazione delle trame

- ❑ la delimitazione delle trame consente al ricevitore di riconoscerne l'inizio e la fine senza ambiguità
- ❑ I delimitatori di trama possono essere:
 - sequenze di bit (flag) o caratteri speciali inseriti a inizio e fine trama
 - violazione del codice di linea usato a livello fisico (es. manchester)
 - temporizzazioni ricevute su canali di servizio
 - conteggio dei caratteri o dei bit



...nei protocolli orientati al carattere

Binary Synchronous Communications (BSC)

- vecchio protocollo a caratteri di IBM
- uso di caratteri speciali per delimitare trame (SYN) e all'interno header (SOH) e dati (STX, ETX)





...nei protocolli orientati al bit

- ❑ uso del carattere DLE (Data Link Escape) prima di ogni carattere di controllo: ha significato solo la sequenza DLE-carattere di controllo
- ❑ i bit del flusso possono codificare casualmente anche il DLE: tecnica del character stuffing



Uso di flag

- ❑ Uso di flag: sequenze di 8 bit
- ❑ Esempio: HDLC
 - sequenza di flag all'inizio e alla fine di una trama
 $0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0$
 - come impedire una casuale presenza della sequenza di flag nei dati



Bit Stuffing

informazione

da trasmettere 111100011111100010010101111111

inserimento bit di stuffing

111100011111011000100101011111011

trama

01111110 111100011111011000100101011111011 01111110

↑
flag

↑
flag

ricezione

~~01111110~~ 1111000111110~~X~~10001001010111110~~X~~1 ~~01111110~~

riconoscimento
flag d'inizio

eliminazione di un bit
dopo 5 uno consecutivi

riconoscimento
flag di fine



Controllo e recupero di errori



Rilevazione di errori

- ❑ In ricezione è possibile che venga riconosciuta una sequenza di bit diversa da quella trasmessa (bit errati)

11101010011011101010001111010

1110001001101110101010101111010

- ❑ cause:
 - rumore termico (mezzi trasmissivi, apparati di ricezione e trasmissione)
 - interferenza da altre trasmissioni sullo stesso mezzo
 - disturbi elettromagnetici
 - perdite di sincronismo
 - etc.



Rilevazione di errori

- I livelli della pila possono introdurre dei rimedi agli errori collaborando ad offrire un servizio con basso tasso di errore:
 - Trasporto: ritrasmissione
 - Collegamento: ritrasmissione
 - Fisico: correzione



Tecniche per la protezione dagli errori di trasmissione

- ❑ FEC (forward error correction)
- ❑ ARQ (automatic retransmission request)



Tecniche di controllo (1)

- Correzione (FEC - forward error correction)
 - codifica di canale
 - aggiunta di ridondanza in trasmissione
 - uso della ridondanza in ricezione per rimediare ai bit errati (se in numero contenuto)
 - teoria dei codici
 - esempio: codice a ripetizione (N volte lo stesso bit); correzione di $N/2 - 1$ errori



Tecniche di controllo (2)

- Ritrasmissione (ARQ - Automatic Repeat reQuest)
 - aggiunta di ridondanza in trasmissione per ogni unità informativa (FCS - Frame Check Sequence)
 - uso della ridondanza in ricezione per rivelare la presenza di errori e non per correggerli
 - uso di messaggi di servizio per la richiesta di ritrasmissioni o la conferma di corretta ricezione
 - Richiedono collegamenti half o full duplex



Tecniche di controllo (3)

- ❑ Ritrasmissione (ARQ - Automatic Repeat reQuest)
- ❑ La ridondanza richiesta per rivelare gli errori è molto più contenuta di quella richiesta per la correzione
 - un'aggiunta di 16-32 bit ai pacchetti è di solito sufficiente
- ❑ Il più semplice codice a rivelazione di errore è costituito dal bit di parità: alla fine del pacchetto viene aggiunto un bit pari a 1 se il numero di 1 nel pacchetto è dispari e pari a 0 se il numero di 1 è pari



Controllo di parità (1)

Parità sul singolo bit:

Rileva errori singoli sul bit

← d data bits → | parity bit

0111000110101011	0
------------------	---

Schema di parità pari:
numero totale di '1' è pari.

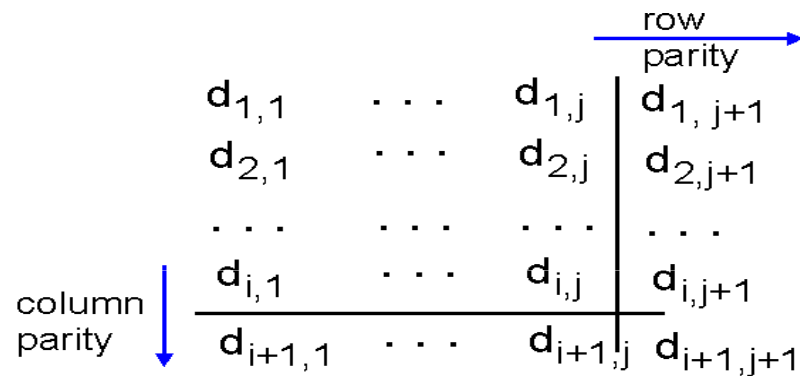
Schema di parità dispari:
numero totale di '1's è dispari



Controllo di parità bidimensionale

Bit di parità bidimensionale:

Rileva e corregge errori sul singolo bit



10101 1
111100 0
011101 1
101010 0

no errors

10101 1
1 01100 0
011101 1
101010 0

parity error

*correctable
single bit error*



Internet Checksum

Obiettivo: rileva "errori" (ad es., flipped bits) nel segmento trasmesso

- ❑ Trasmittente:
- ❑ tratta segmenti di 16-bit interi
- ❑ checksum: somma il contenuto dei segmenti e fa il complemento ad 1 della somma
- ❑ Il trasmittente mette il valore della checksum nel campo checksum dell'UDP

Ricevitore:

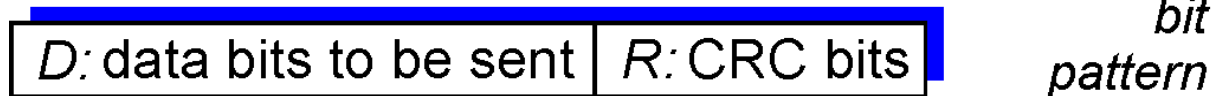
- ❑ Calcola la checksum del segmento ricevuto
- ❑ Considera se la checksum calcolata è uguale al valore del campo checksum:
 - NO – rilevato errore
 - SI – nessuno errore rilevato.



Checksum: Cyclic Redundancy Check

- ❑ controlla data bits, D , come numero binario
- ❑ sceglie un pattern di $r+1$ bits, G
- ❑ obiettivo: sceglie r CRC bits, R , tali che
 - $\langle D, R \rangle$ esattamente divisibile per G (modulo 2)
 - il ricevitore conosce G , divide $\langle D, R \rangle$ per G . Se il resto non è zero: rilevato errore!
 - Può rilevare tutti i burst di errori a meno di $r+1$ bits
- ❑ molto usato nella pratica (ATM, HDCL)

← d bits → ← r bits →



$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

mathematical formula



Esempio CRC

- Vogliamo:
 - $D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$
- *equivalentemente:*
 - $D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$
- *equivalentemente:*
- se noi dividiamo $D \cdot 2^r$ per G , vogliamo avere il resto R

$$R = \text{resto} \quad \left[\begin{array}{c} D \cdot 2^r \\ G \end{array} \right]$$

