

## Lezione 20 - Livello di Collegamento

### Livello di collegamento: introduzione

terminologia:

- host, router, switch, etc...: nodi
- canali di comunicazione che collegano nodi adiacenti lungo il percorso di comunicazione: collegamenti (link)
  - cablati , wireless
  - LAN
- pacchetto di livello 2: frame, incapsula datagrammi

Il **livello di collegamento** ha la responsabilità di trasferire i datagrammi da un nodo a quello **fisicamente adiacente** lungo un collegamento

### Livello di collegamento: contesto

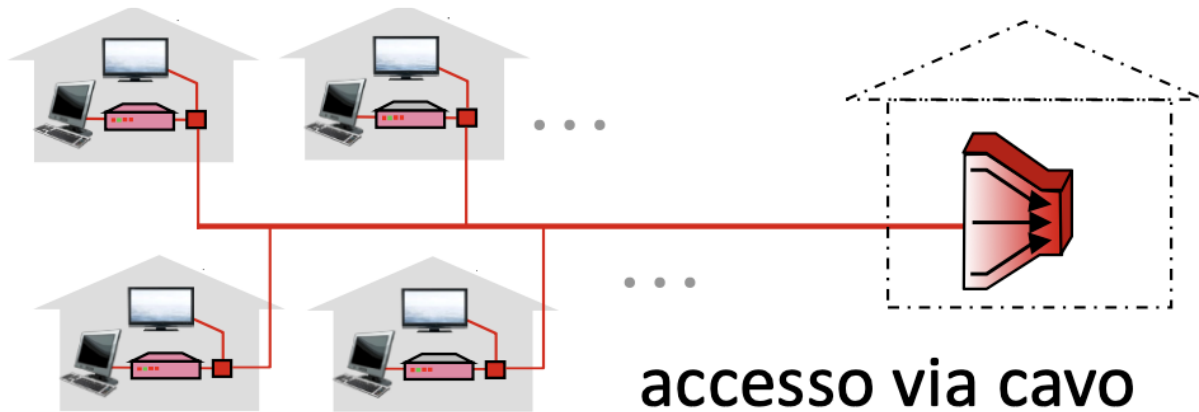
- datagramma trasferito da protocolli di collegamenti differenti su collegamenti differenti:
  - es., WiFi sul primo collegamento, Ethernet sul collegamento successivo
- ciascun protocollo di collegamento fornisce servizi differenti
  - es. può o meno fornire il trasferimento di dati affidabile sul collegamento

### Analogia con i trasporti

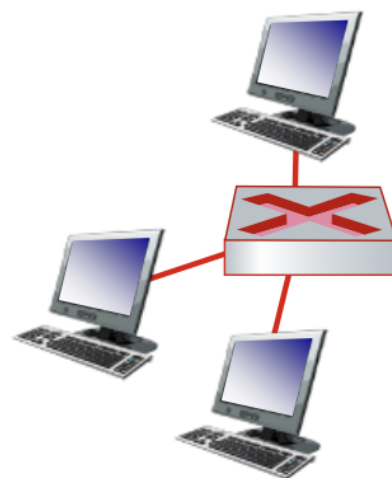
- viaggio da Princeton a Losanna
  - limo: da Princeton a JFK
  - aereo: da JFK a Ginevra
  - treno: da Geneva a Lausanne
- turista = datagramma

- segmento di trasporto = collegamento
- modalità di trasporto = protocollo a livello di collegamento
- agenzia di viaggi = algoritmo di instradamento

## Livello di collegamento: servizi



rete cellulare



LAN Ethernet



WiFi

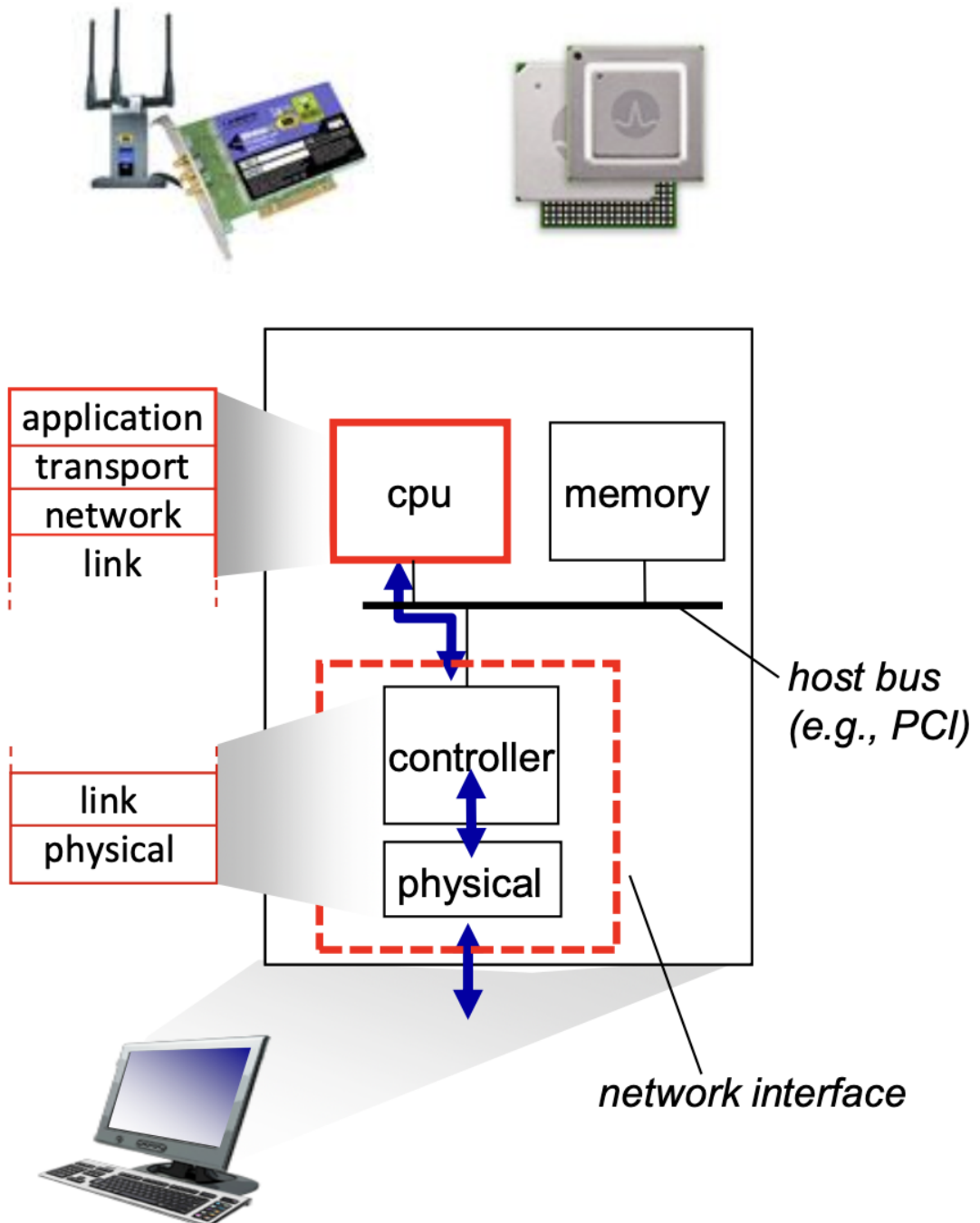
- framing:

- Incapsula i datagrammi in frame, aggiungendo una intestazione e un trailer
- **accesso al collegamento:**
  - un protocollo che controlla l'accesso al mezzo trasmissivo (MAC, medium access control) se il mezzo trasmissivo è condiviso
  - indirizzi "MAC" nell'intestazione dei frame per identificare la sorgente e la destinazione (diversi dagli indirizzi IP!)
- **consegna affidabile tra nodi adiacenti**
  - già sappiamo come farlo!
  - usato raramente con canali con bassi tassi di errore
  - collegamenti wireless: tassi di errore elevati
  - correggere l'errore localmente anziché costringere il livello di trasporto o l'applicazione a ritrasmissioni dalla sorgente alla destinazione?
- **controllo di flusso:**
  - velocità tra nodi trasmittente e ricevente adiacenti
- **rilevazione e correzione degli errori:**
  - gli errori sono causati da attenuazione del segnale e da rumore
  - il nodo ricevente rileva gli errori. Due approcci per la correzione:
    - ARQ (automatic repeat request): basato su ritrasmissioni
    - forward error correction (FEC, correzione degli errori in avanti)
- **correzione degli errori:**
  - il ricevente identifica e *corregge* gli errori sui bit senza ritrasmissioni: forward error correction (FEC, correzione degli errori in avanti)
- **half-duplex e full-duplex:**
  - con half duplex, i nodi ad entrambi gli estremi del collegamento possono trasmettere, ma non

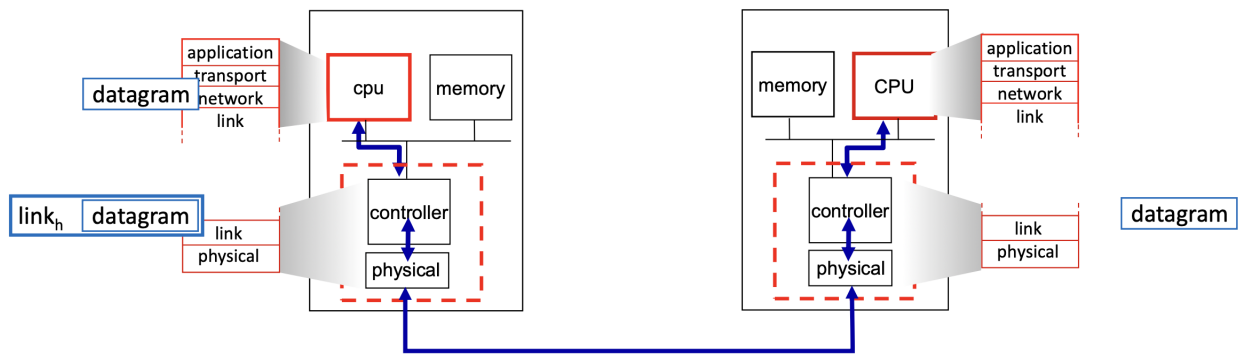
contemporaneamente

## Implementazione del livello di collegamento negli host

- in ogni singolo host
- il livello di collegamento implementato (principalmente) dall'adattatore di rete (network adapter) o scheda di rete (network interface card, NIC)
  - implementa il livello di collegamento e quello fisico
- si collega al bus di sistema
- combinazione di hardware, software e firmware



## Adattatore di rete negli host



Lato mittente, il controllore:

- incapsula il datagramma in un frame
- aggiunge bit di controllo degli errori, implementa il trasferimento di dati affidabile, il controllo del flusso, etc.

Lato ricevente, il controllore:

- verifica la presenza di errori e si occupa del trasferimento dati affidabile, del controllo di flusso, etc.
- estrae il datagramma e lo passa al livello superiore

La CPU esegue la parte software del livello di collegamento, relativa a: interazione con l'adattatore di rete (come dispositivo di IO), assemblaggio delle informazioni di indirizzamento (lato mittente), gestione di condizioni di errore e il passaggio del datagramma fino al livello di rete (lato ricevente).

## Rilevazione degli errori

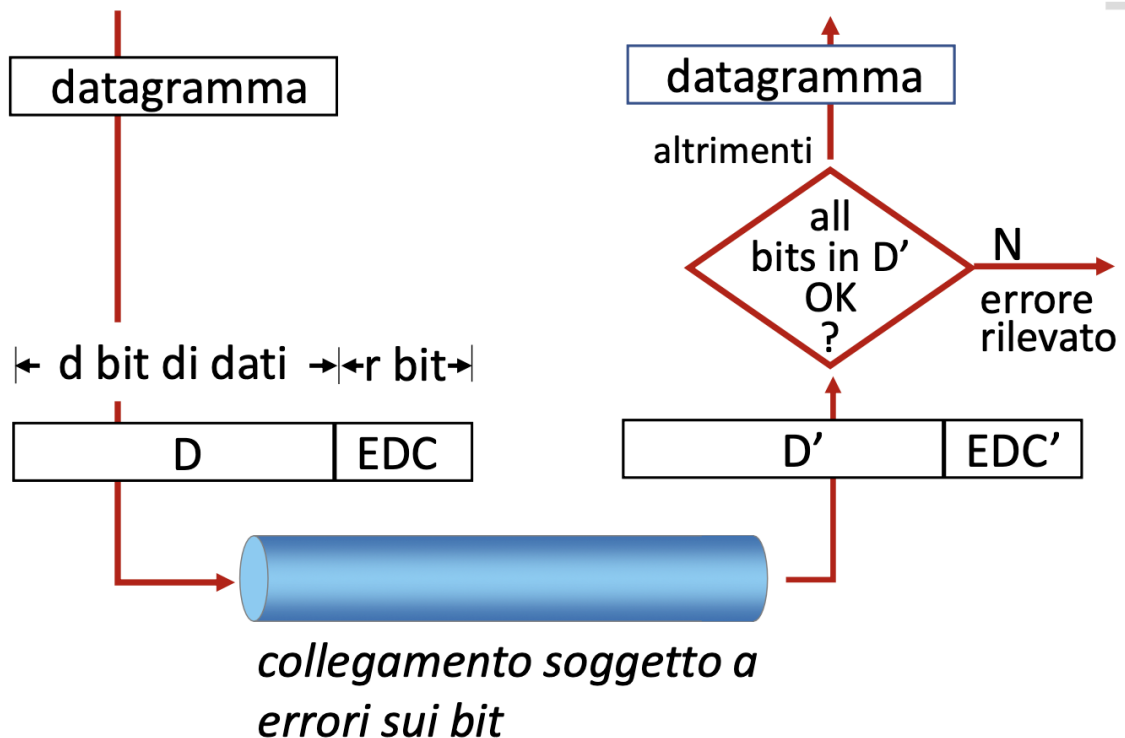
EDC: error detection and correction

D: dati protetti dal controllo d'errore, può includere i campi di intestazione

Rilevazione non affidabile al 100%!

- errori non rilevati

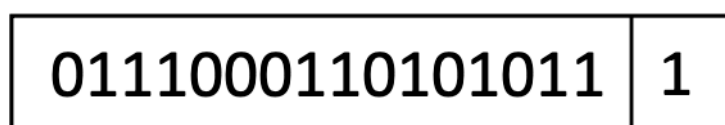
- occorre ridurre la probabilità:
  - più bit di EDC
  - calcoli più complessi (Overhead)



## Controllo di parità

Singolo bit di parità (parity bit):

- Rileva un numero dispari di errori



bit di parità

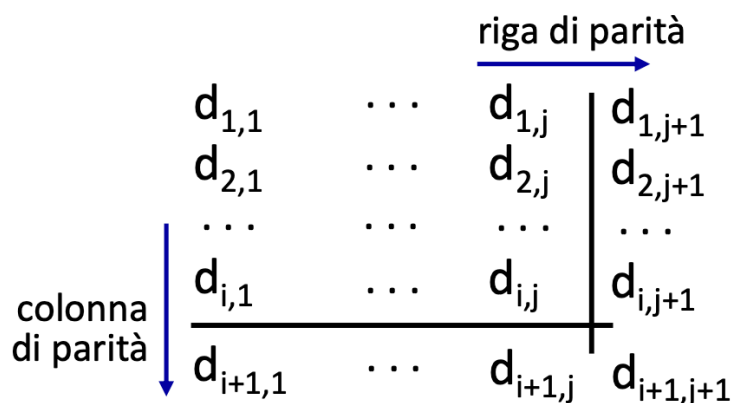
**Parità pari/dispari:** imposta il bit di parità in modo che ci sia un numero pari/dispari di 1

Il ricevente:

- calcola la parità dei d bit ricevuti
- lo confronta con il bit di parità ricevuto – se differente, allora è stato rilevato un errore

Parità bidimensionale:

- rileva tutte le combinazioni di al più 3 errori
- rilevazione e correzione di errori singoli



Senza errori:  $\begin{array}{ccccc|c} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$

Errore su un  
singolo bit  
**rilevato e  
correggibile:**

$\begin{array}{ccccc|c} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$  Errore di parità

- adatto quando entrambe le seguenti condizioni sono vere:
  - la probabilità di errori nei bit è bassa
  - gli errori sono indipendenti

Sotto queste ipotesi, la probabilità di errori multipli, che non sarebbero rilevati da un singolo bit di parità, è molto bassa
- nella realtà, però, gli errori tendono a verificarsi in burst
  - la probabilità che errori a burst non siano rilevati da un singolo bit di parità può avvicinarsi al 50%

dati inviati	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
--------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

dati ricevuti	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

lunghezza errore a burst (nell'esempio 7 bit)

<p>Senza errori:</p> <pre> 1 0 1 0 1   1 1 1 1 1 0   0 0 1 1 1 0   1 0 0 1 0 1   0 </pre>	<p>Due errori sulla stessa riga, rilevati su colonne differenti</p> <p>Errore su due bit rilevato ma non correggibile:</p> <pre> 1 0 1 0 1   1 1 0 1 1 1   0 0 1 1 1 0   1 0 0 1 0 1   0 </pre> <p>Errore di parità</p> <p>Errore di parità</p>	<p>Due errori sulla stessa colonna, rilevati su righe differenti</p> <p>Errore su due bit rilevato ma non correggibile:</p> <pre> 1 1 1 0 1   1 1 0 1 1 0   0 0 1 1 1 0   1 0 0 1 0 1   0 </pre> <p>Errore di parità</p> <p>Errore di parità</p>
	<p>Errore su due bit rilevato ma non correggibile:</p> <pre> 1 0 1 0 1   1 1 0 1 1 0   0 0 1 1 1 1   1 0 0 1 0 1   0 </pre> <p>Errore di parità</p> <p>Errore di parità</p>	<p>Errore su due bit rilevato ma non correggibile:</p> <pre> 1 0 1 0 1   1 1 1 1 1 1   0 0 0 1 1 0   1 0 0 1 0 1   0 </pre> <p>Errore di parità</p> <p>Errore di parità</p>

Si noti come i due pattern di errore qui sopra sono differenti, ma ciononostante abbiamo prodotto gli stessi errori di parità! L'ambiguità tra i due casi ci impedisce di correggere l'errore.

	<div>Errore su tre bit rilevato ma non correggibile:</div> <div><div><div>111011</div><div>101110</div><div>011101</div><div>001010</div></div><div>Errore di parità</div></div>	<div>Errore su tre bit rilevato ma non correggibile:</div> <div><div><div>111011</div><div>111110</div><div>001111</div><div>001010</div></div><div>Errore di parità</div></div>	
<div>Senza errori:</div> <div><div>101011</div><div>111110</div><div>011110</div><div>001010</div></div>			
	<div>Errore su tre bit rilevato ma non correggibile:</div> <div><div><div>100011</div><div>101110</div><div>011111</div><div>001010</div></div><div>Errore di parità</div><div>Errore di parità</div><div>Errore di parità</div><div>Errore di parità</div></div>		

<p>Senza errori:</p> <pre> 1 0 1 0 1   1 1 1 1 1 0   0 0 1 1 1 0   1 0 0 1 0 1   0 </pre>	<p>Errore su quattro bit non rilevato</p> <pre> 1 0 1 0 1   1 1 0 1 1 1   0 0 0 1 1 1   1 0 0 1 0 1   0 </pre>



Ma non significa che non si possano rilevare *alcuni* errori su quattro bit

<p>Errore su quattro bit rilevato ma non correggibile:</p> <pre> 0 0 1 0 1   1 1 0 1 1 0   0 0 1 0 1 0   1 0 0 1 1 1   0 </pre> <p>Errori di parità</p>	<p>Errori di parità</p>
---	-------------------------