

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"  
Laurea in Informatica

Sistemi Operativi e Reti  
(modulo Reti)  
a.a. 2023/2024

# Livello di collegamento (parte1)

dr. Manuel Fiorelli

[manuel.fiorelli@uniroma2.it](mailto:manuel.fiorelli@uniroma2.it)

<https://art.uniroma2.it/fiorelli>

Basate sulle slide del libro di testo:

[https://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/ppt.php](https://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/ppt.php)

# Livello di collegamento e LAN: obiettivi

- Comprendere i principi alla base dei servizi del livello di collegamento:
  - rilevazione e correzione degli errori
  - condivisione di un canale broadcast: access multiplo
  - indirizzamento a livello di collegamento
  - reti locali: Ethernet, VLAN, reti dei data center
- istanziiazione e implementazione di varie tecnologie a livello di collegamento



# Livello di collegamento e LAN: tabella di marcia

- **introduzione**
- rilevazione e correzione degli errori
- protocolli di accesso multiplo
- LAN
  - indirizzamento, ARP
  - Ethernet
  - switch
  - VLAN
- canali virtuali: MPLS
- Reti dei data center



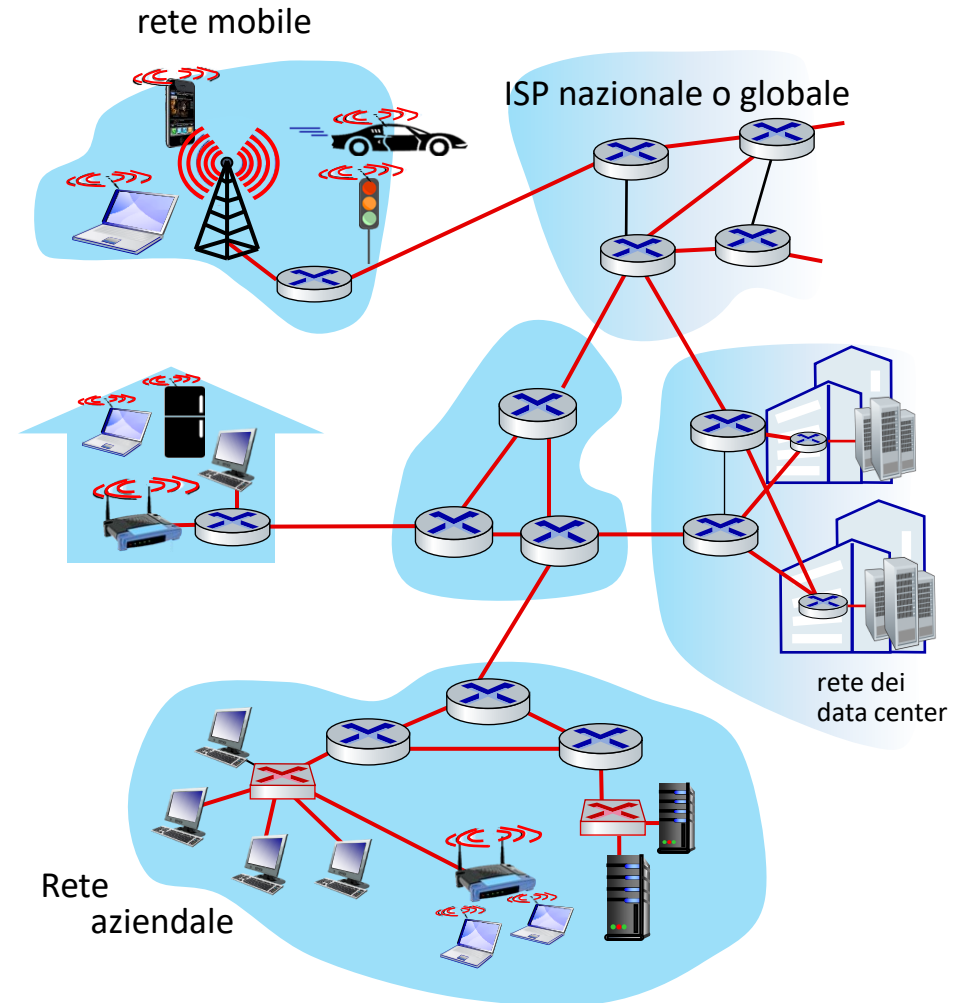
- un giorno nella vita di una richiesta web

# Livello di collegamento: introduzione

terminologia:

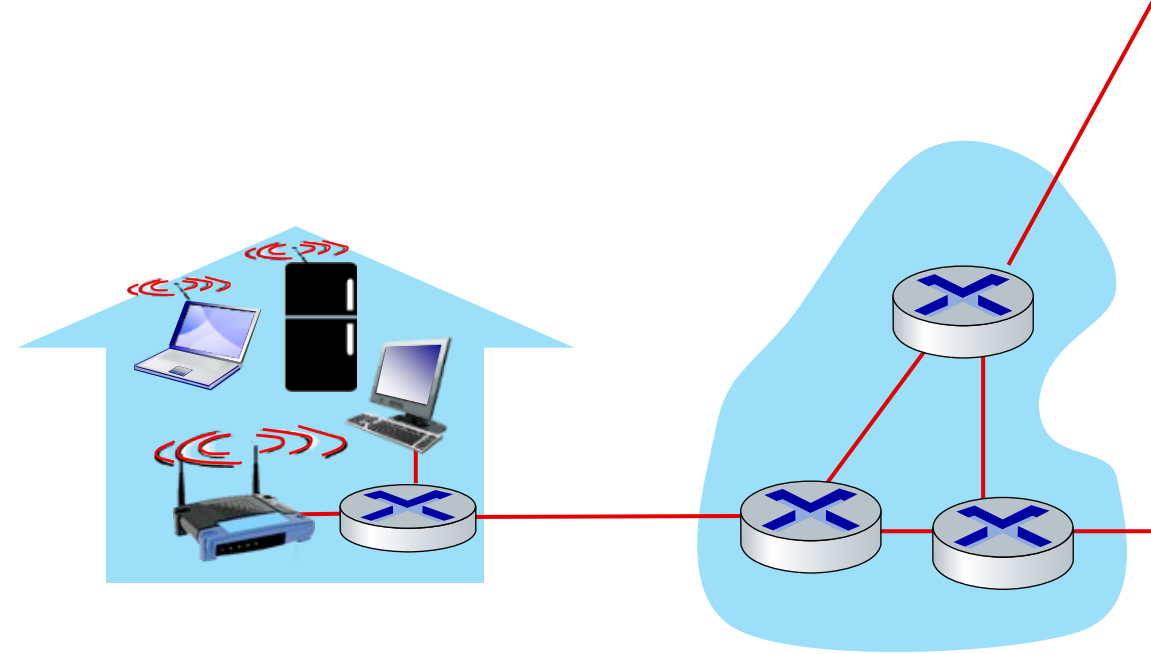
- host, router, switch, etc...: **nodi**
- canali di comunicazione che collegano nodi **adiacenti** lungo il percorso di comunicazione: **collegamenti (link)**
  - cablati , wireless
  - LAN
- pacchetto di livello 2: **frame**, incapsula datagrammi

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

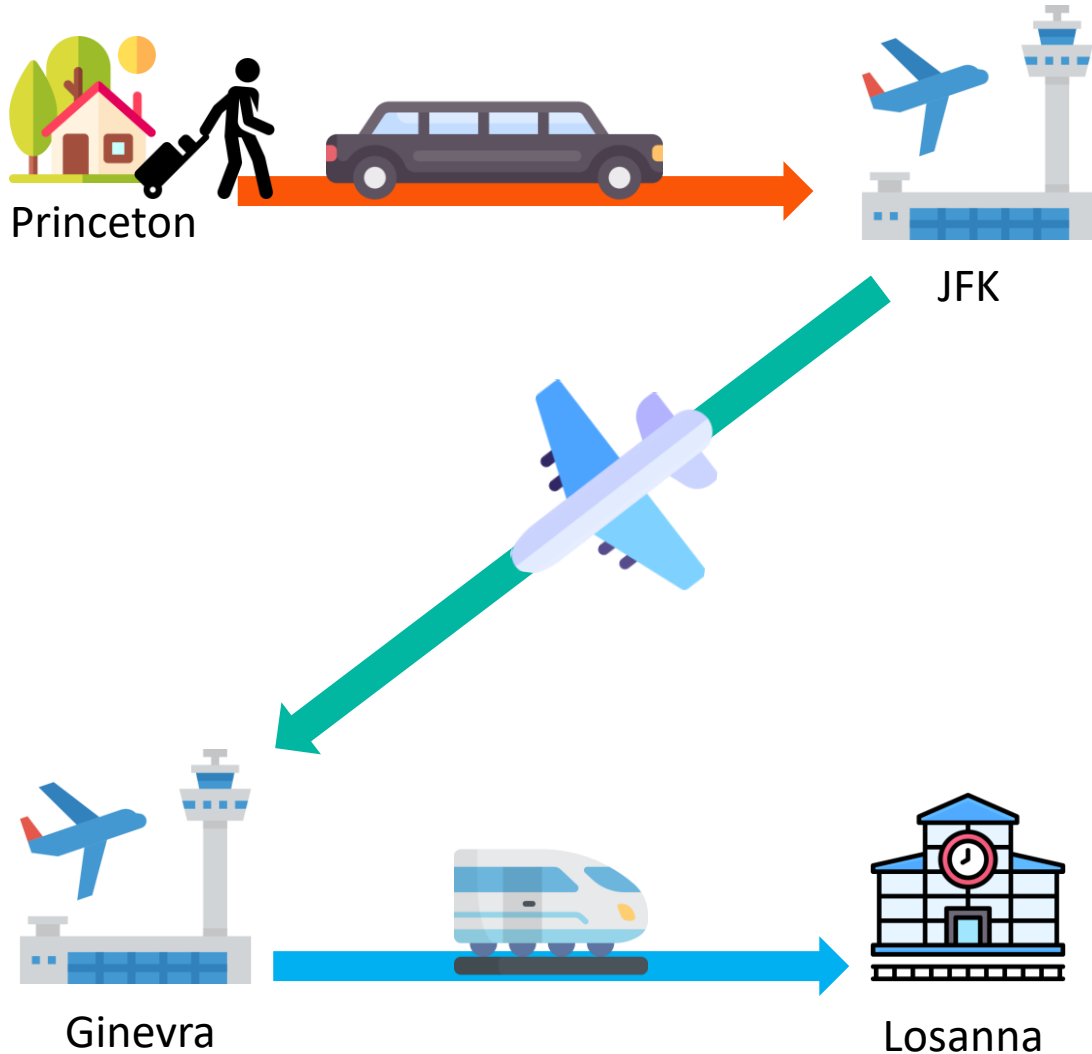


# Livello di collegamento: contesto

- 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



## 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

## ■ framing:

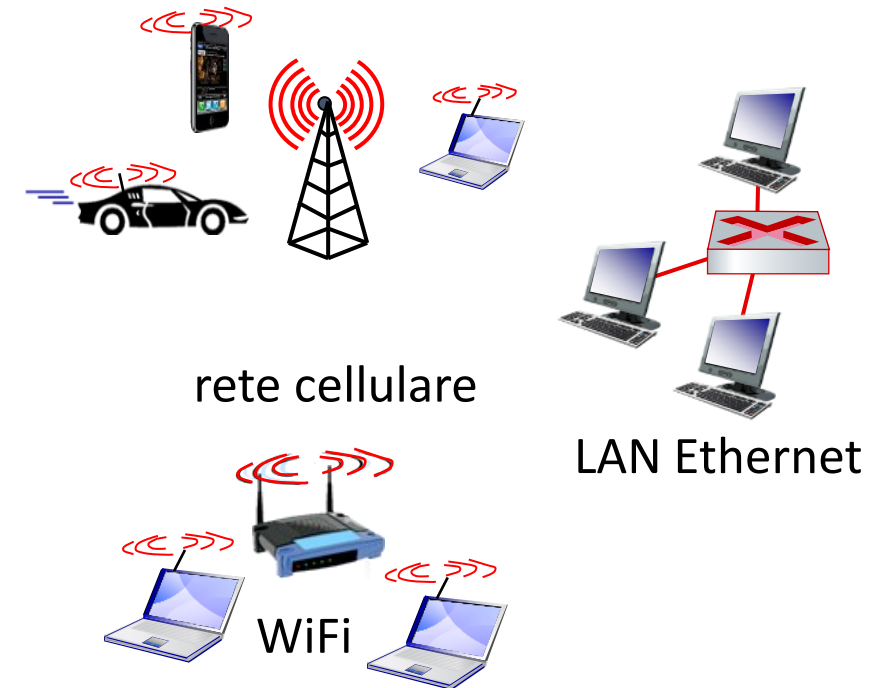
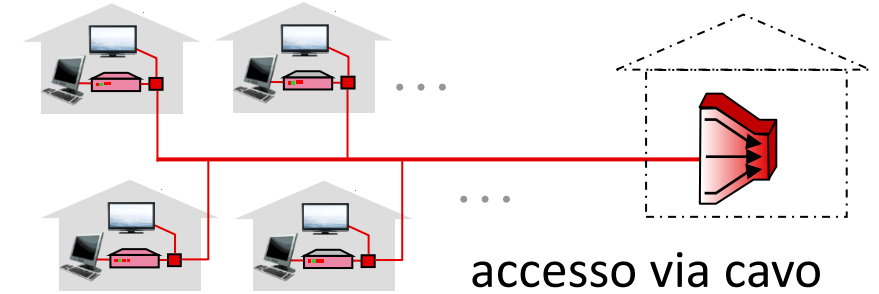
- Incapsula i datagrammi in frame, aggiungendo una intestazione e un trailer

## ■ 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!)

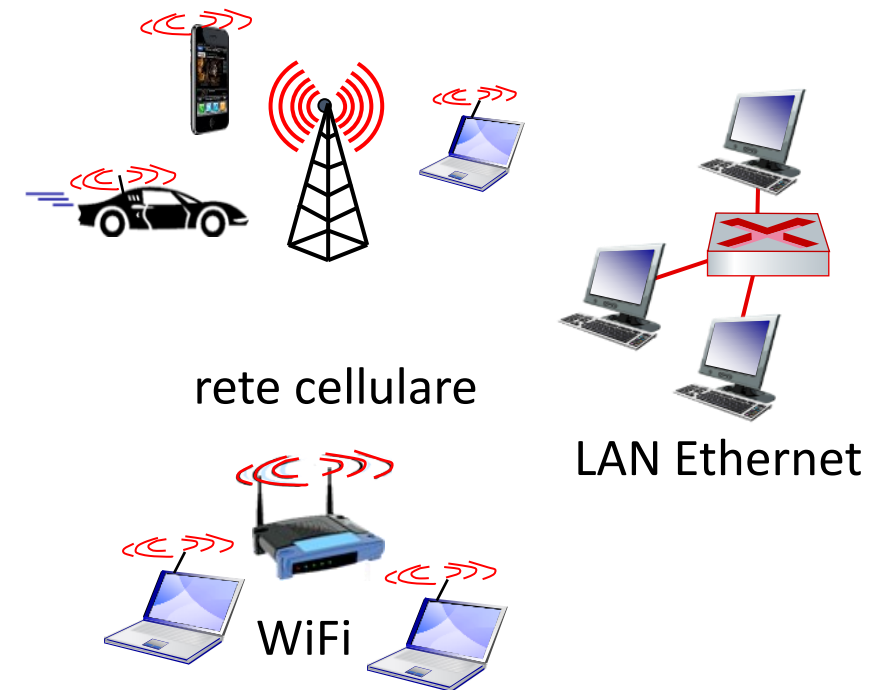
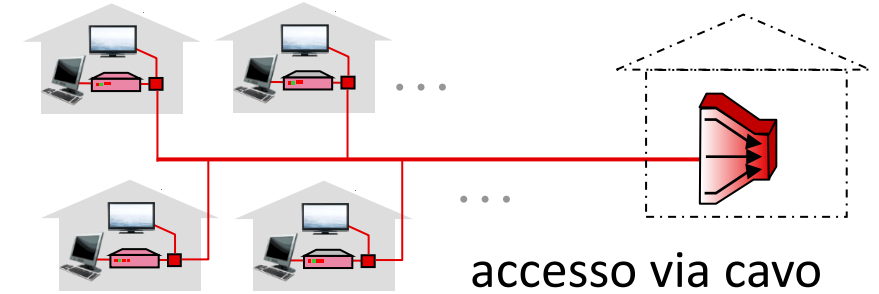
## ■ consegna affidabile tra nodi adiacenti

- 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?



# Livello di collegamento: servizi (continua)

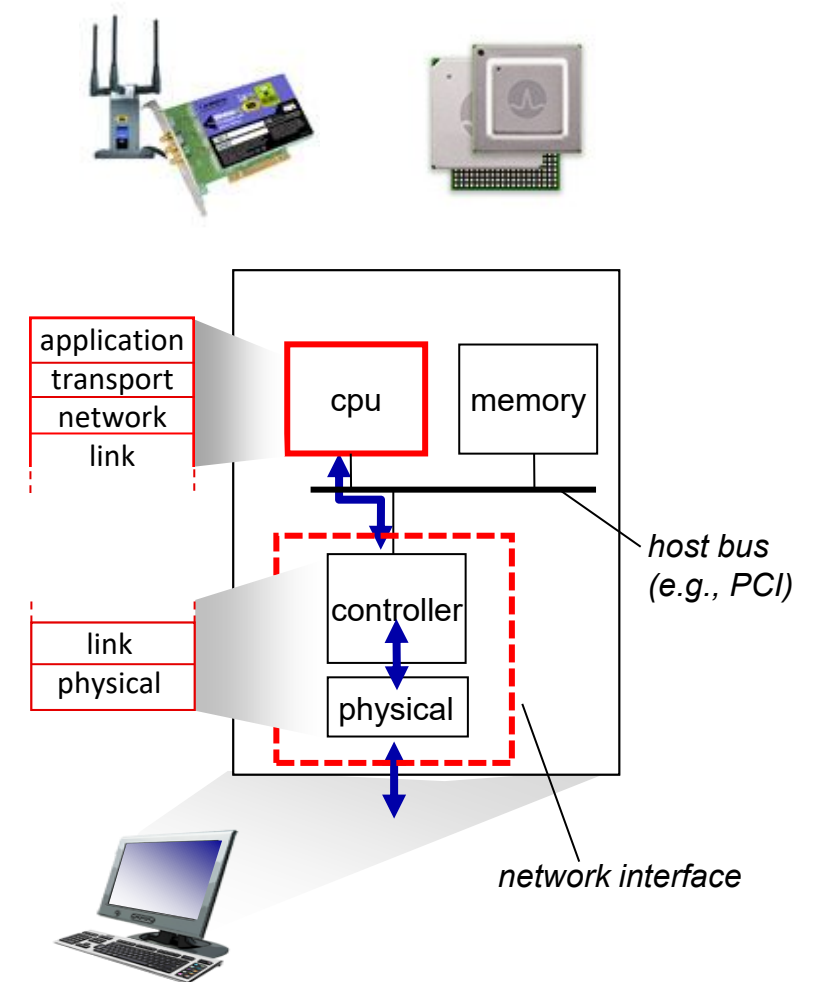
- **controllo di flusso:**
  - velocità tra nodi trasmittente e ricevente adiacenti
- **rilevazione e correzione degli errori:**
  - gli errori sono causati da attenuazione del segnale e da rumore
  - il nodo ricevente rileva gli errori. Due approcci per la correzione:
    - ARQ (*automatic repeat request*): 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



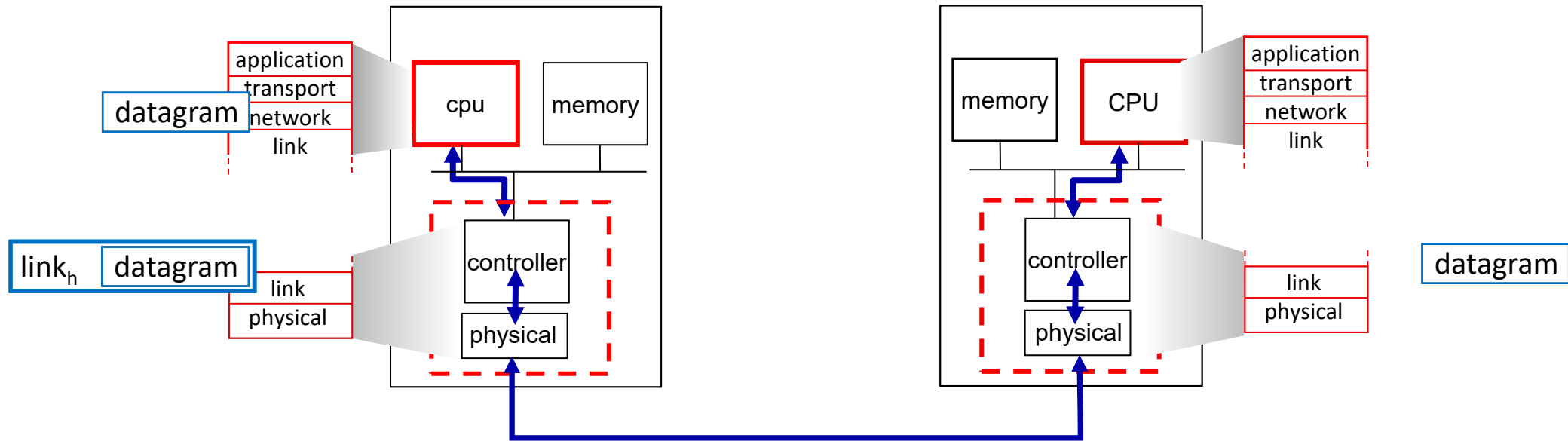


# Implementazione del livello di collegamento negli host

- 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).

# Livello di collegamento e LAN: tabella di marcia

- introduzione
- rilevazione e correzione degli errori
- protocolli di accesso multiplo
- LAN
  - indirizzamento, ARP
  - Ethernet
  - switch
  - VLAN
- canali virtuali: MPLS
- Reti dei data center

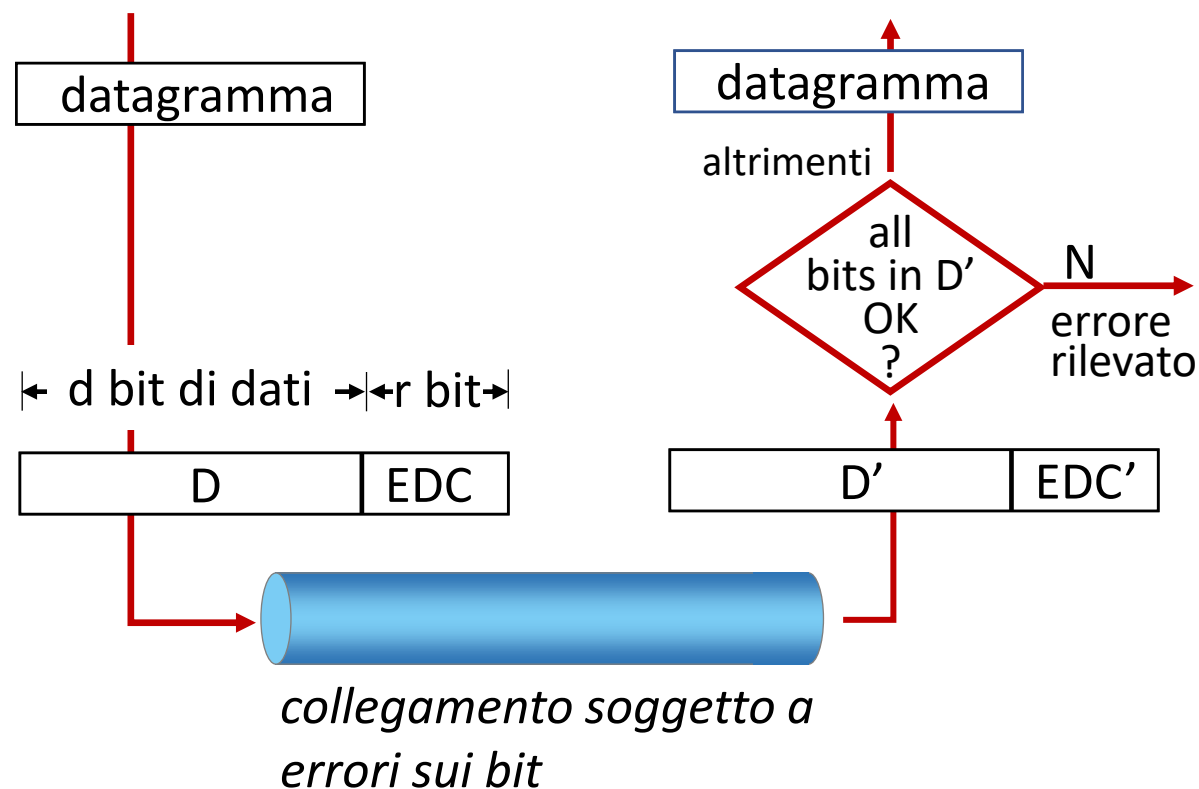


- un giorno nella vita di una richiesta web

# Rilevazione degli errori

EDC: error detection and correction

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



Assumendo che la formula per il calcolo dell'EDC abbia una certa capacità di *diffusione*, si ha una probabilità *a priori* che un errore, una volta verificatosi, non sia rilevato pari a  $2^{-r}$  (perché dovrebbe produrre lo stesso valore dell'EDC)

Rilevazione non affidabile al 100%!

- **errori non rilevati**
- occorre ridurre la probabilità:

overhead

- più bit di EDC
- calcoli più complessi

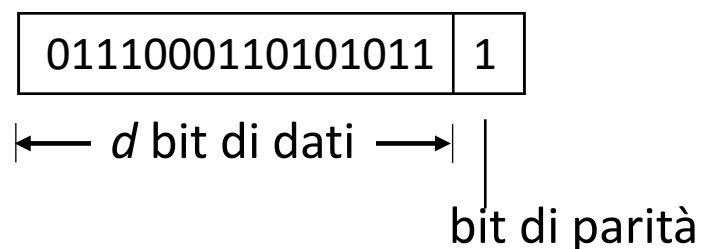
rispetto al livello di trasporto, il livello di collegamento utilizza tecniche più complesse implementate in hardware

# Controllo di parità



## Singolo bit di parità (parity bit):

- Rileva un numero *dispari* di errori



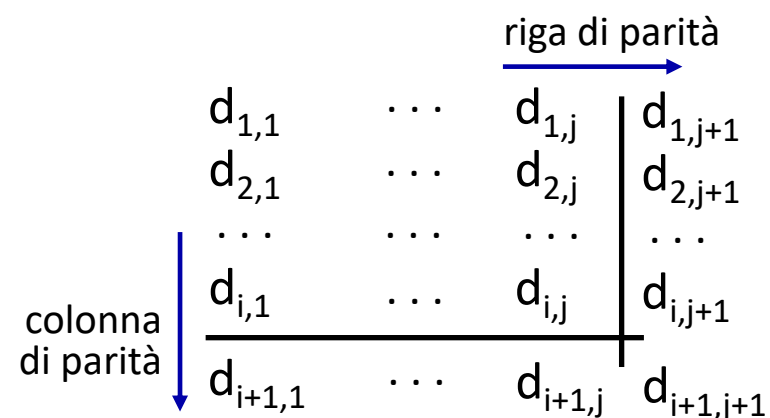
Parità pari/dispari: imposta il bit di parità in modo che ci sia un numero pari/dispari di 1

## 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:

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Errore su un singolo bit  
rilevato e correggibile:

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Errore di parità

# Controllo 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) —

# Controllo di parità

Senza errori:

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
|   |   |   |   |   | 0 |

Due errori sulla stessa riga,  
rilevati su colonne differenti

Errore su due  
bit **rilevato**  
**ma non**  
**correggibile:**

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
|   |   |   |   |   | 0 |

↓ Errore di parità  
↓ Errore di parità

Due errori sulla stessa colonna,  
rilevati su righe differenti

Errore su due  
bit **rilevato**  
**ma non**  
**correggibile:**

|              |              |   |   |   |   |
|--------------|--------------|---|---|---|---|
| <del>1</del> | <del>1</del> | 1 | 0 | 1 | 1 |
| <del>1</del> | <del>0</del> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0            | 1            | 1 | 1 | 0 | 1 |
|              |              |   |   |   | 0 |

→ Errore di parità  
→ Errore di parità

Errore su due bit  
**rilevato ma non**  
**correggibile:**

|              |              |   |   |   |   |
|--------------|--------------|---|---|---|---|
| 1            | 0            | 1 | 0 | 1 | 1 |
| <del>1</del> | <del>0</del> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <del>0</del> | 1            | 1 | 1 | 1 | 1 |
|              |              |   |   |   | 0 |

→ Errore di parità  
→ Errore di parità  
↓ Errore di parità  
↓ Errore di parità

Errore su due bit  
**rilevato ma non**  
**correggibile:**

|              |              |   |   |   |   |
|--------------|--------------|---|---|---|---|
| 1            | 0            | 1 | 0 | 1 | 1 |
| <del>1</del> | <del>1</del> | 1 | 1 | 1 | 0 |
| <del>0</del> | <del>0</del> | 1 | 1 | 0 | 1 |
|              |              |   |   |   | 0 |

→ Errore di parità  
→ Errore di parità  
↓ Errore di parità  
↓ Errore di parità

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.

# Controllo di parità

Senza errori:  $\begin{array}{r|l} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$

Errore su tre  
bit **rilevato**  
ma non  
correggibile:

$$\begin{array}{r|l} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

Errore di parità

Errore di parità

Errore su tre  
bit **rilevato**  
ma non  
correggibile:

$$\begin{array}{r|l} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

Errore di parità

Errore di parità

Errore su tre bit  
**rilevato** ma non  
correggibile:

$$\begin{array}{r|l} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

Errore di parità

Errore di parità

Errore di parità

Errore di parità

Errore di parità

Errore di parità



# Controllo di parità

Errore su quattro bit  
non rilevato

|       |   |   |   |   |  |   |
|-------|---|---|---|---|--|---|
| 1     | 0 | 1 | 0 | 1 |  | 1 |
| 1     | 0 | 1 | 1 | 1 |  | 0 |
| 0     | 0 | 1 | 1 | 1 |  | 1 |
| <hr/> |   |   |   |   |  | 0 |



Senza errori:

|       |   |   |   |   |  |   |
|-------|---|---|---|---|--|---|
| 1     | 0 | 1 | 0 | 1 |  | 1 |
| 1     | 1 | 1 | 1 | 0 |  | 0 |
| 0     | 1 | 1 | 1 | 0 |  | 1 |
| <hr/> |   |   |   |   |  | 0 |

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

Errore su quattro bit  
rilevato ma non  
correggibile:

|       |   |   |   |   |  |   |
|-------|---|---|---|---|--|---|
| 0     | 0 | 1 | 0 | 1 |  | 1 |
| 1     | 0 | 1 | 1 | 0 |  | 0 |
| 0     | 1 | 0 | 1 | 0 |  | 1 |
| <hr/> |   |   |   |   |  | 0 |

Errori di parità

Errori di parità