

*Reti di calcolatori e Internet:
Un approccio top-down*

7^a edizione
Jim Kurose, Keith Ross

Pearson Paravia Bruno Mondadori Spa

Livello di collegamento e reti locali

6.1 Livello di collegamento: introduzione e servizi

6.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

6.3 Protocolli di accesso multiplo

6.4 Indirizzi a livello di collegamento

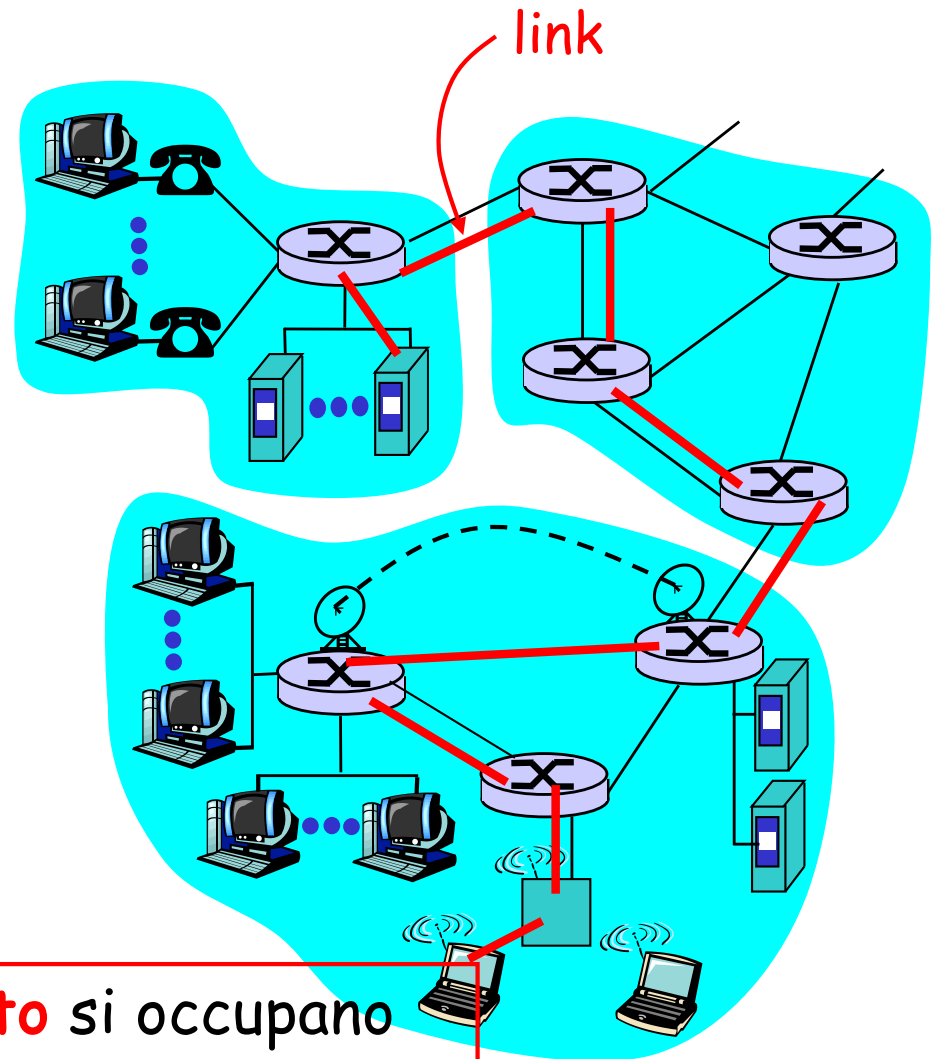
6.5 Ethernet

6.6 Switch a livello di collegamento

Livello di collegamento: introduzione

Alcuni termini utili:

- ❑ host e router sono i **nodi**
- ❑ i canali di comunicazione che collegano nodi adiacenti lungo un cammino sono i **collegamenti (link)**
 - collegamenti cablati
 - collegamenti wireless
 - LAN
- ❑ Le unità di dati scambiate dai protocolli a livello di link sono chiamate **frame**.



I protocolli a livello di collegamento si occupano del trasporto di frame lungo un singolo canale di comunicazione.

Livello di collegamento

- Un datagramma può essere gestito da diversi protocolli, su collegamenti differenti:
 - Es., un datagramma può essere gestito da Ethernet sul primo collegamento, da PPP sull'ultimo e da un protocollo WAN nel collegamento intermedio.
- Anche i servizi erogati dai protocolli del livello di link possono essere differenti:
 - Ad esempio, non tutti i protocolli forniscono un servizio di consegna affidabile.

Possibili servizi offerti dal livello collegamento

□ Framing e accesso al mezzo:

- I protocolli incapsulano i datagrammi del livello di rete all'interno di un frame a livello di link.
- Il protocollo MAC controlla l'accesso al mezzo
- Per identificare origine e destinatario vengono utilizzati indirizzi "MAC"
 - Diversi rispetto agli indirizzi IP!

□ Consegna affidabile:

- Come avviene, lo abbiamo già imparato nel Capitolo 3!
- È considerata non necessaria nei collegamenti che presentano un basso numero di errori sui bit (fibra ottica, cavo coassiale e doppino intrecciato)
- È spesso utilizzata nei collegamenti soggetti a elevati tassi di errori (es.: collegamenti wireless)

Possibili servizi offerti dal livello collegamento

❑ Rilevazione degli errori:

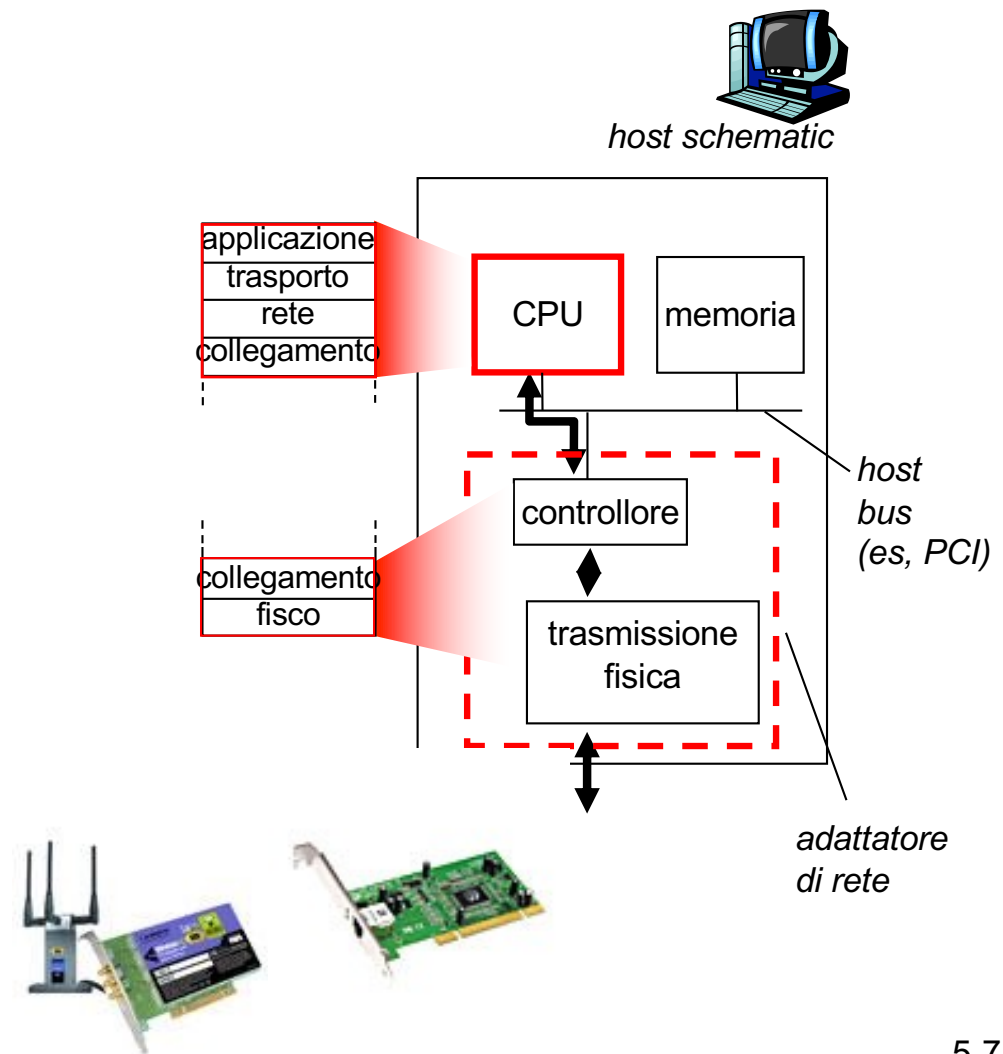
- Gli errori sono causati dall'attenuazione del segnale e da rumore elettromagnetico.
- Il nodo ricevente individua la presenza di errori
 - è possibile grazie all'inserimento, da parte del nodo trasmittente, di un bit di controllo di errore all'interno del frame.

❑ Correzione degli errori:

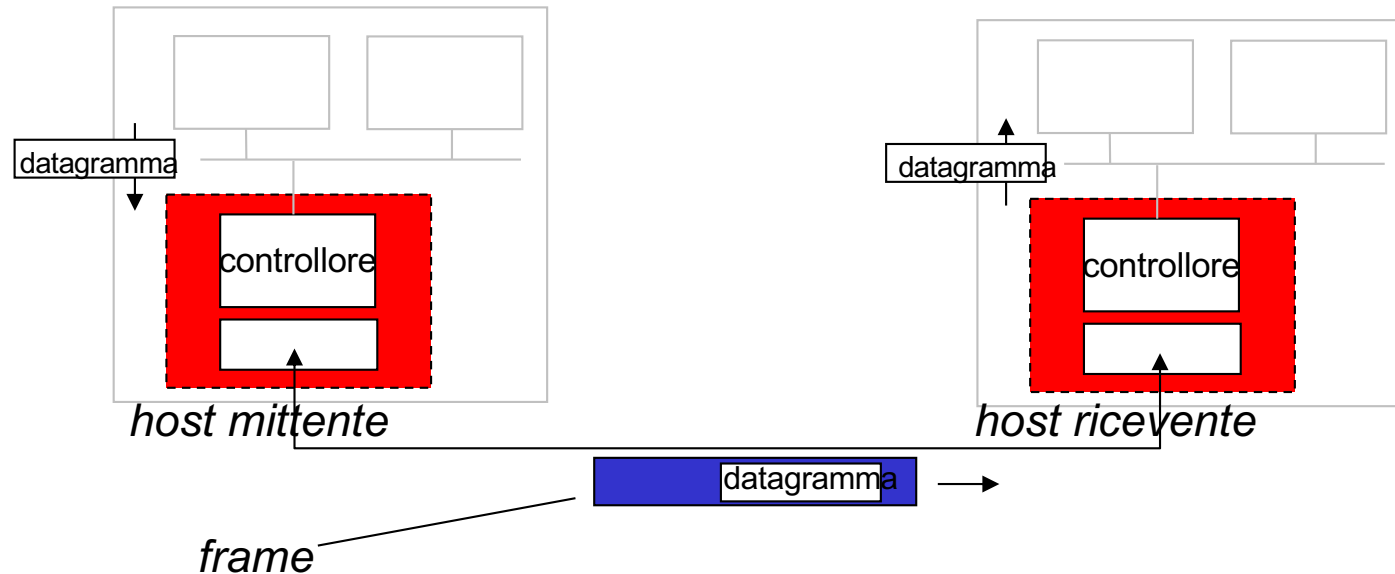
- Il nodo ricevente determina anche il punto in cui si è verificato l'errore, e lo corregge.

Dove è implementato il livello di collegamento?

- ❑ in tutti gli host
- ❑ È realizzato in un adattatore (NIC, *network interface card*)
 - scheda Ethernet, PCMCIA, 802.11
 - Implementa il livello di collegamento e fisico
- ❑ è una combinazione di hardware, software e firmware



Adattatori



❑ Lato mittente:

- Incapsula un datagramma in un frame.
- Imposta i bit rilevazione degli errori, trasferimento dati affidabile, controllo di flusso, etc.

❑ Lato ricevente:

- Individua gli errori, trasferimento dati affidabile, controllo di flusso, etc.
- Estrae i datagrammi e li passa al nodo ricevente

Capitolo 6: Livello di collegamento e reti locali

6.1 Livello di collegamento: introduzione e servizi

6.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

6.3 Protocolli di accesso multiplo

6.4 Indirizzi a livello di collegamento

6.5 Ethernet

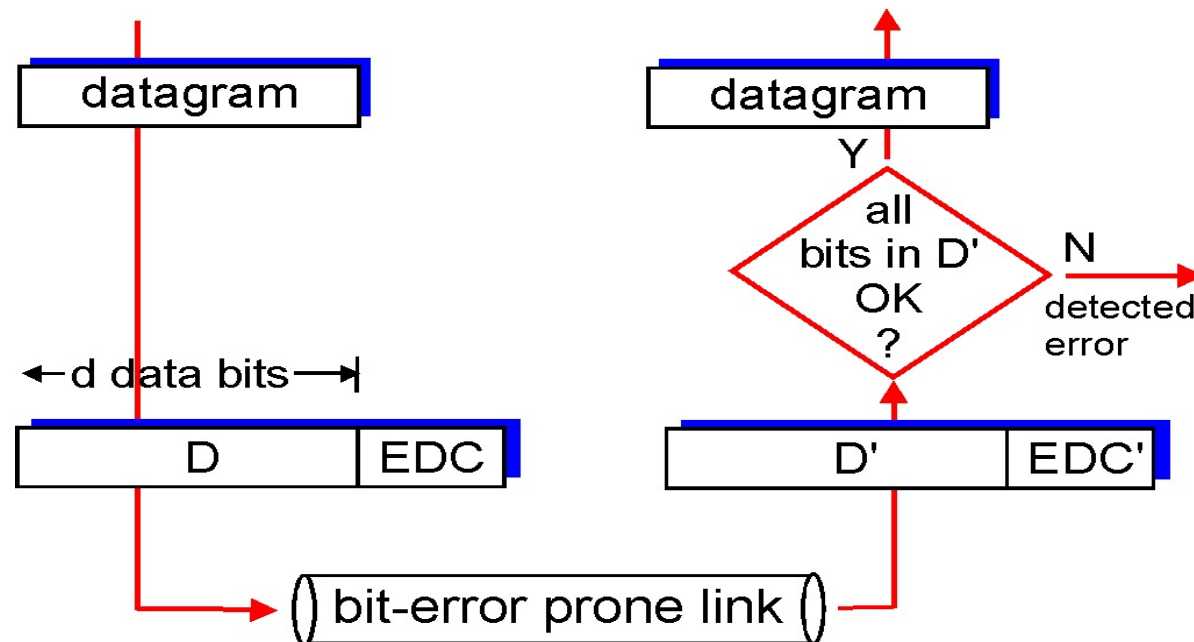
6.6 Switch a livello di collegamento

Tecniche di rilevazione degli errori

EDC= *Error Detection and Correction*

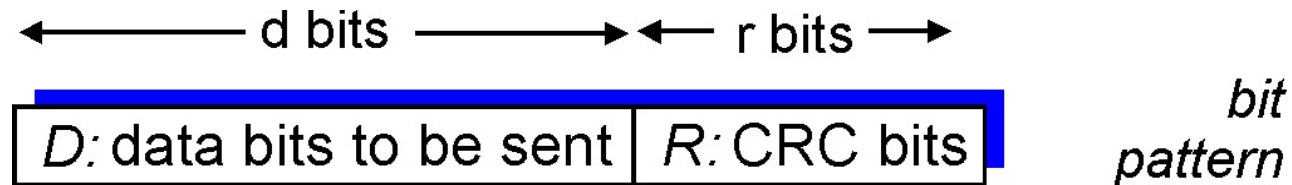
D = Dati che devono essere protetti da errori e ai quali vengono aggiunti dei bit EDC.

- La rilevazione degli errori non è attendibile al 100%!
 - è possibile che ci siano errori non rilevati
 - per ridurre la probabilità di questo evento, le tecniche più sofisticate prevedono un'elevata ridondanza



Controllo a ridondanza ciclica

- ❑ Esamina i dati, **D**, come numeri binari.
- ❑ Origine e destinazione si sono accordati su una stringa di $r+1$ bit, conosciuta come generatore, **G**.
- ❑ Obiettivi: scegliere r bit aggiuntivi, **R**, in modo che:
 - $\langle D, R \rangle$ siano esattamente divisibili per G (modulo 2)
 - Il destinatario conosce G , e divide $\langle D, R \rangle$ per G . Se il resto è diverso da 0 si è verificato un errore!
 - CRC può rilevare errori a raffica inferiori a $r+1$ bit.
- ❑ Nella pratica è molto usato



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

mathematical formula

CRC: esempio

vogliamo:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

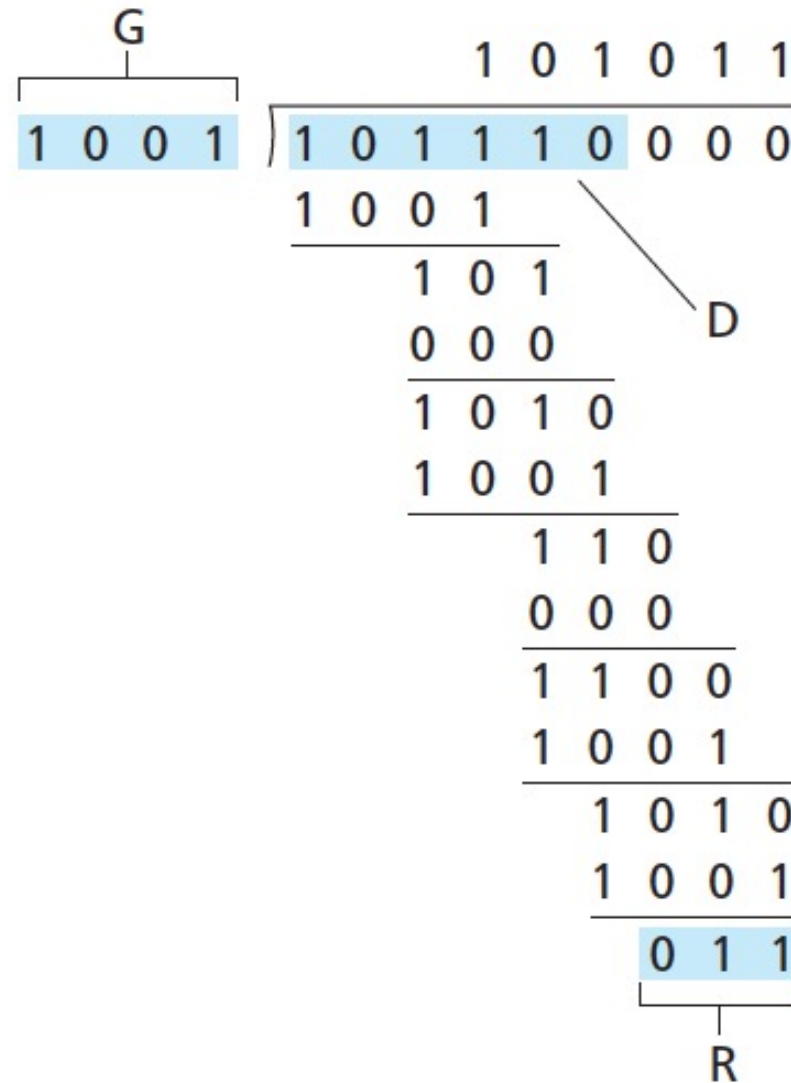
Corrisponde a:

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

Corrisponde a:

se dividiamo $D \cdot 2^r$ per G , il resto R deve soddisfare:

$$R = \text{resto}\left[\frac{D \cdot 2^r}{G}\right]$$



* Check out the online interactive exercises for more examples: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive/

Capitolo 6: Livello di collegamento e reti locali

6.1 Livello di collegamento: introduzione e servizi

6.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

6.3 Protocolli di accesso multiplo

6.4 Indirizzi a livello di collegamento

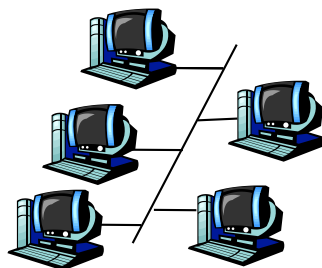
6.5 Ethernet

6.6 Switch a livello di collegamento

Protocolli di accesso multiplo

Esistono due tipi di collegamenti di rete:

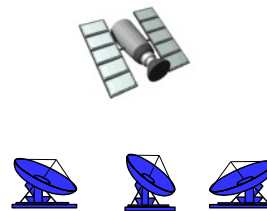
- ❑ **Collegamento punto-punto (PPP)**
 - Impiegato per connessioni telefoniche.
 - Collegamenti punto-punto tra Ethernet e host.
- ❑ **Collegamento broadcast** (cavo o canale condiviso)
 - Ethernet tradizionale
 - HFC in upstream
 - Wireless LAN 802.11



canale cablato
condiviso



RF condivisa
(es. 802.11 WiFi)



RF condivisa
(satellite)



persone a un
cocktail party
(rumore, aria condivisi)

Protocolli di accesso multiplo

- ❑ Connessione a un canale broadcast condiviso.
- ❑ Centinaia o anche migliaia di nodi possono comunicare direttamente su un canale broadcast:
 - Si genera una *collisione* quando i nodi ricevono due o più frame contemporaneamente.

Protocolli di accesso multiplo

- ❑ Protocolli che fissano le modalità con cui i nodi regolano le loro trasmissioni sul canale condiviso.
- ❑ La comunicazione relativa al canale condiviso deve utilizzare lo stesso canale!
 - non c'è un canale "out-of-band" per la coordinazione

Protocolli di accesso multiplo ideali

Canale broadcast con velocità di R bit al sec:

1. Quando un nodo deve inviare dati, questo dispone di un tasso trasmissivo pari a R bps.
2. Quando M nodi devono inviare dati, questi dispongono di un tasso trasmissivo pari a R/M bps.
3. Il protocollo è decentralizzato:
 - non ci sono nodi master
 - non c'è sincronizzazione dei clock
4. Il protocollo è semplice.

Protocolli di accesso multiplo

Si possono classificare in una di queste tre categorie:

❑ Protocolli a suddivisione del canale (*channel partitioning*)

- Suddivide un canale in "parti più piccole" (slot di tempo, frequenza, codice)
- Li alloca presso un nodo per utilizzo esclusivo.

❑ Protocolli a rotazione ("*taking-turn*")

- Ciascun nodo ha il suo turno di trasmissione, ma i nodi che hanno molto da trasmettere possono avere turni più lunghi.

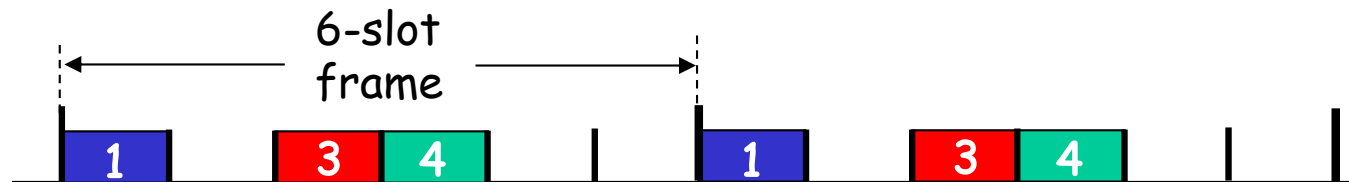
❑ Protocolli ad accesso casuale (*random access*)

- I canali non vengono divisi e si può verificare una collisione.
- I nodi coinvolti ritrasmettono ripetutamente i pacchetti

Protocolli a suddivisione del canale: TDMA

TDMA: accesso multiplo a divisione di tempo.

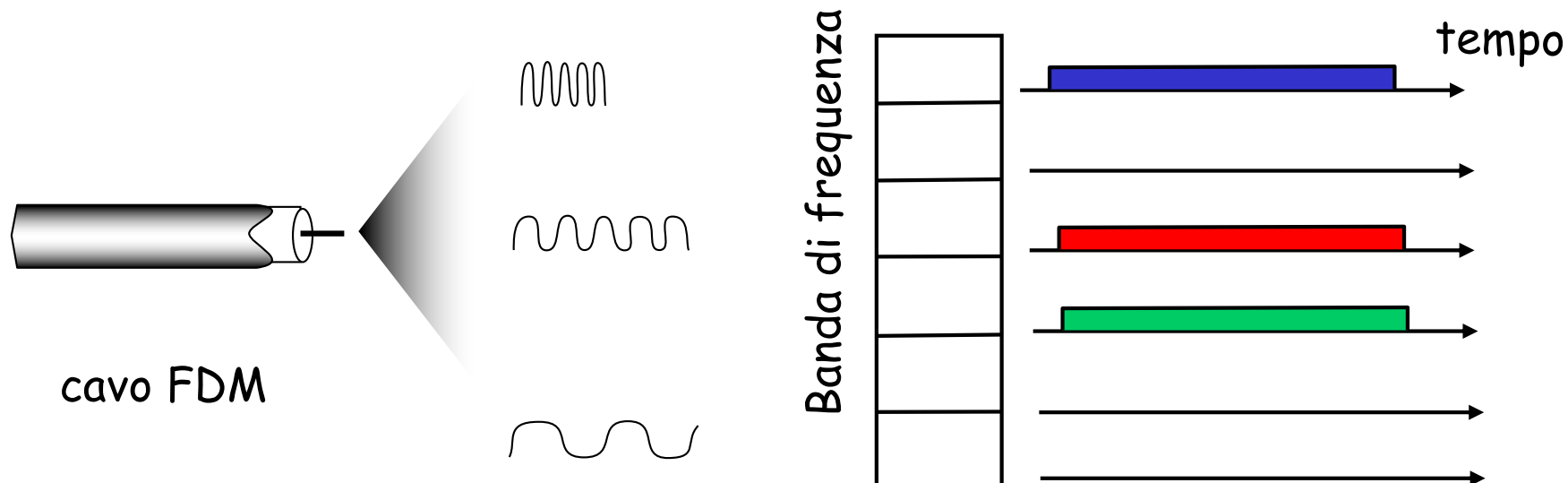
- ❑ Turni per accedere al canale
- ❑ Suddivide il canale condiviso in *intervalli di tempo*.
- ❑ Gli slot non usati rimangono inattivi
- ❑ Esempio: gli slot 1, 3 e 4 hanno un pacchetto, 2, 5 e 6 sono inattivi.



Protocolli a suddivisione del canale: FDMA

FDMA: accesso multiplo a divisione di frequenza.

- ❑ Suddivide il canale in bande di frequenza.
- ❑ A ciascuna stazione è assegnata una banda di frequenza prefissata.
- ❑ Esempio: gli slot 1, 3 e 4 hanno un pacchetto, 2, 5 e 6 sono inattivi.



Protocolli ad accesso casuale

- ❑ Quando un nodo deve inviare un pacchetto:
 - trasmette sempre alla massima velocità consentita dal canale, cioè R bps
 - non vi è coordinazione a priori tra i nodi
- ❑ Due o più nodi trasmittenti \rightarrow "collisione"
- ❑ Il protocollo ad accesso casuale definisce:
 - Come rilevare un'eventuale collisione.
 - Come ritrasmettere se si è verificata una collisione.
- ❑ Esempi di protocolli ad accesso casuale:
 - slotted ALOHA
 - ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

Accesso multiplo a rilevazione della portante (CSMA)

CSMA: si pone in ascolto prima di trasmettere:

- ❑ Se rileva che il canale è libero, trasmette l'intero pacchetto.
- ❑ Se il canale sta già trasmettendo, il nodo aspetta un altro intervallo di tempo.

- ❑ Analogia: se qualcun altro sta parlando, aspettate finché abbia concluso!

CSMA collisioni

Le collisioni *possono* ancora verificarsi:

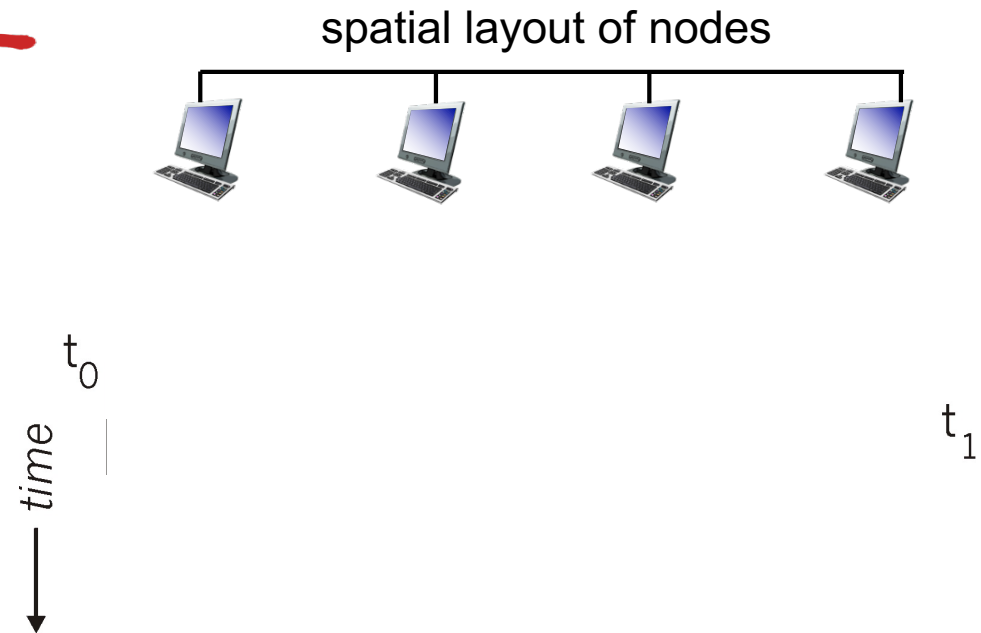
Il ritardo di propagazione fa sì che due nodi non rilevino la reciproca trasmissione

collisione:

Quando un nodo rileva una collisione, cessa immediatamente la trasmissione.

nota:

La distanza e il ritardo di propagazione giocano un ruolo importante nel determinare la probabilità di collisione.

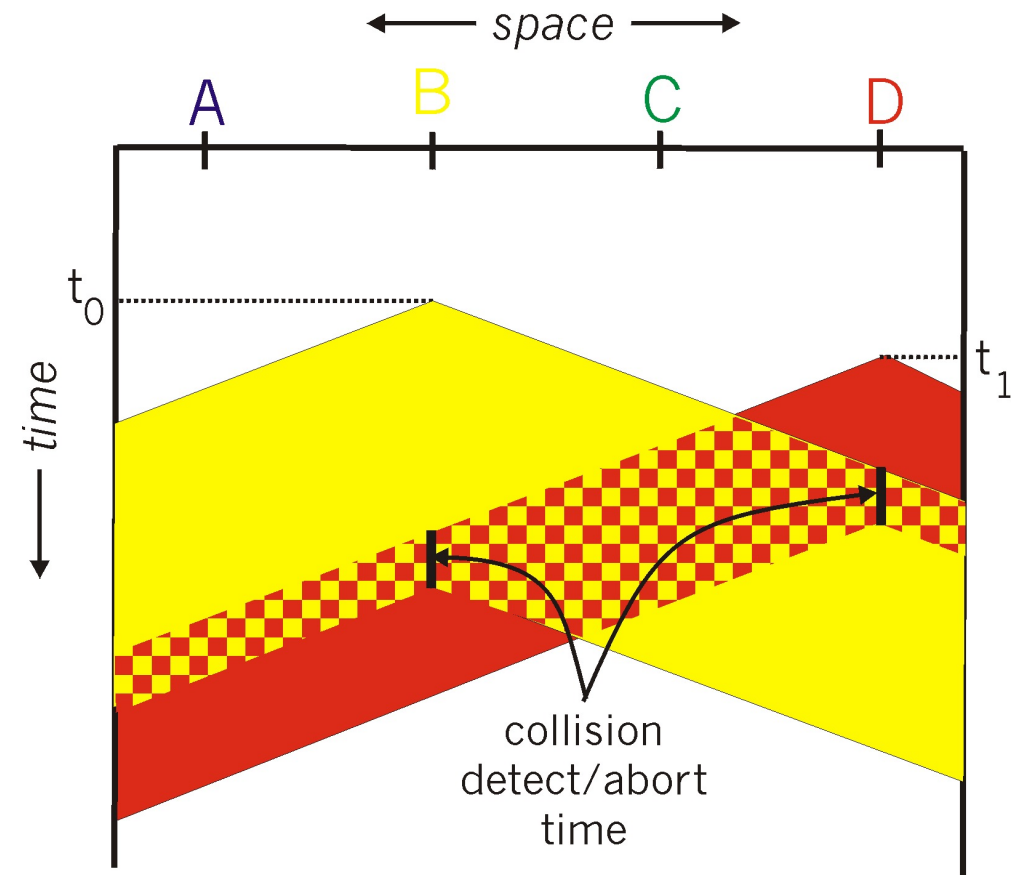
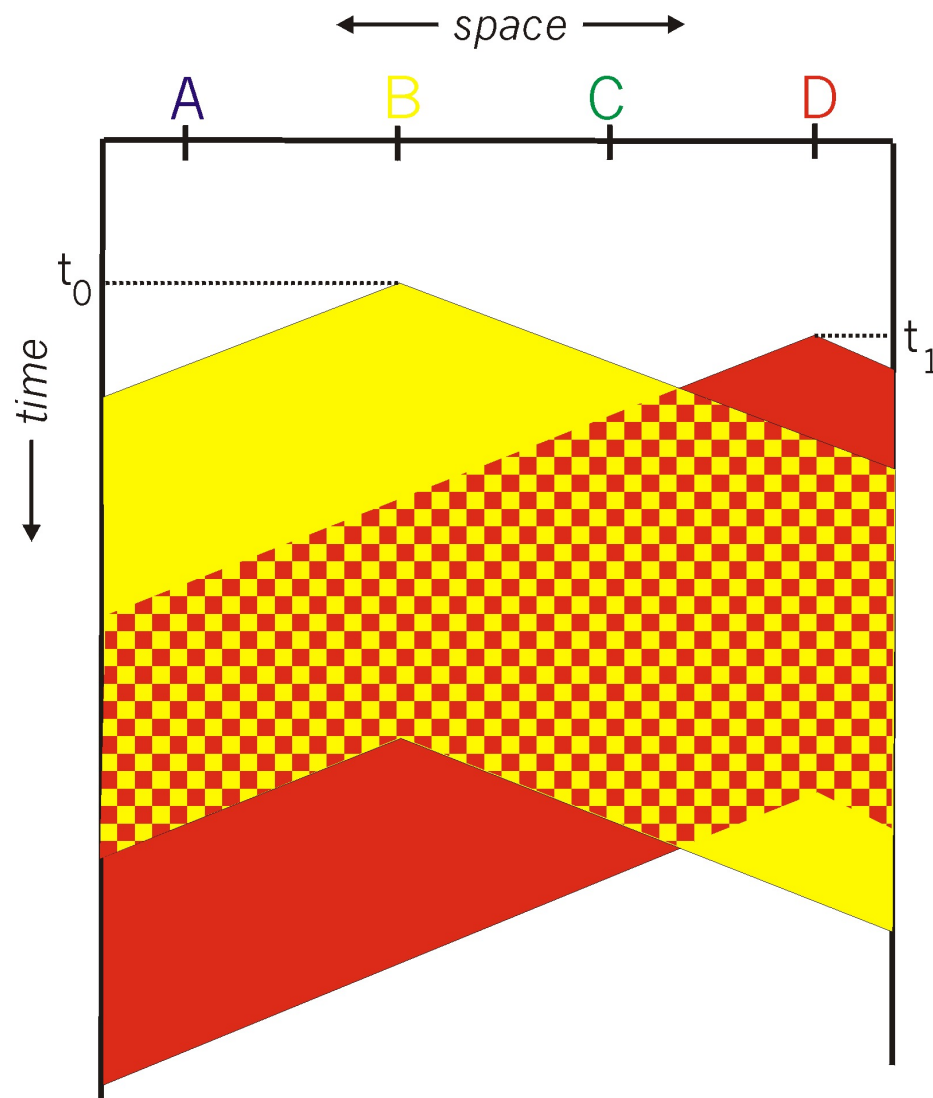


CSMA/CD (rilevazione di collisione)

CSMA/CD: rilevamento della portante differito, come in CSMA:

- Rileva la collisione in poco tempo.
- Annulla la trasmissione non appena si accorge che c'è un'altra trasmissione in corso.
- Rilevazione della collisione:
 - facile nelle LAN cablate.
 - difficile nelle LAN wireless.
- Analogia: un interlocutore educato.

CSMA/CD (rilevazione di collisione)



Fasi operative del protocollo CSMA/CD

1. L'adattatore riceve un datagramma di rete dal nodo cui è collegato e prepara un pacchetto Ethernet.
2. Se il canale è inattivo, inizia la trasmissione. Se il canale risulta occupato, resta in attesa fino a quando non rileva più il segnale.
3. Verifica, durante la trasmissione, la presenza di eventuali segnali provenienti da altri adattatori. Se non ne rileva, considera il pacchetto spedito.
4. Se rileva segnali da altri adattatori, interrompe immediatamente la trasmissione del pacchetto e invia un segnale di disturbo (*jam*).
5. L'adattatore rimane in attesa. Quando riscontra l' m -esima collisione consecutiva, stabilisce un valore k tra $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. L'adattatore aspetta un tempo pari a K volte 512 bit e ritorna al Passo 2.

Protocollo CSMA/CD di Ethernet

Segnale di disturbo (*jam*): la finalità è di avvisare della collisione tutti gli altri adattatori che sono in fase trasmissiva; 48 bit.

Bit di tempo: corrisponde a 0,1 microsec per Ethernet a 10 Mbps; per $K=1023$, il tempo di attesa è di circa 50 msec.

Attesa esponenziale:

- ❑ **Obiettivo:** l'adattatore prova a stimare quanti sono gli adattatori coinvolti.
 - Se sono numerosi il tempo di attesa potrebbe essere lungo.
- ❑ **Prima collisione:** sceglie K tra $\{0,1\}$; il tempo di attesa è pari a K volte 512 bit.
- ❑ **Dopo la seconda collisione:** sceglie K tra $\{0,1,2,3\}$...
- ❑ **Dopo dieci collisioni,** sceglie K tra $\{0,1,2,3,4,...,1023\}$.