

Capitolo 5

Livello di collegamento e reti locali

Nota per l'utilizzo:

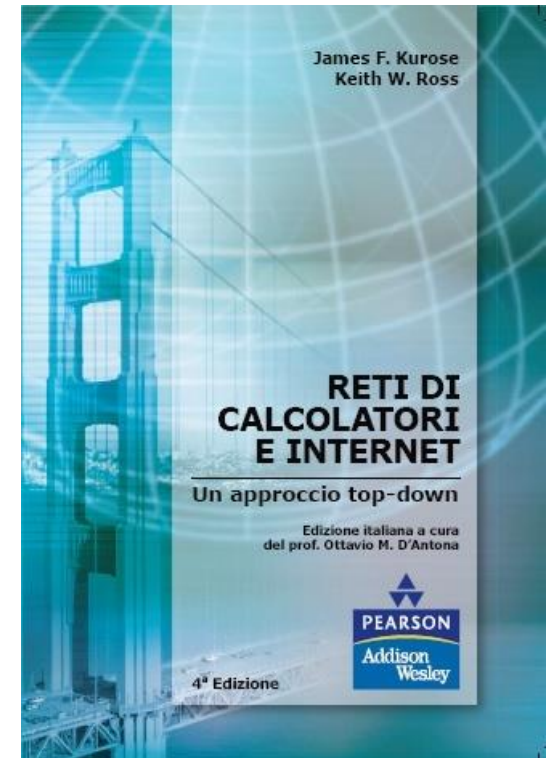
Abbiamo preparato queste slide con l'intenzione di renderle disponibili a tutti (professori, studenti, lettori). Sono in formato PowerPoint in modo che voi possiate aggiungere e cancellare slide (compresa questa) o modificarne il contenuto in base alle vostre esigenze.

Come potete facilmente immaginare, da parte nostra abbiamo fatto *un* sacco di lavoro. In cambio, vi chiediamo solo di rispettare le seguenti condizioni:

- se utilizzate queste slide (ad esempio, in aula) in una forma sostanzialmente inalterata, fate riferimento alla fonte (dopo tutto, ci piacerebbe che la gente usasse il nostro libro!)
- se rendete disponibili queste slide in una forma sostanzialmente inalterata su un sito web, indicate che si tratta di un adattamento (o che sono identiche) delle nostre slide, e inserite la nota relativa al copyright.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

All material copyright 1996-2007
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



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

4ª edizione
Jim Kurose, Keith Ross

Pearson Paravia Bruno Mondadori Spa
©2008

Capitolo 5: Livello di collegamento e reti locali

Obiettivi:

- ❑ Comprendere i principi per implementare i servizi di trasmissione dati:
 - Rilevazione e correzione dell'errore
 - Condivisione di un canale broadcast: accesso multiplo
 - Indirizzamento a livello di link
 - Trasferimento affidabile dei dati, controllo del flusso
- ❑ Istanziamento e implementazione delle varie tecnologie a livello di link.

Capitolo 5: Livello di collegamento e reti locali

5.1 Livello di link: introduzione e servizi

5.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

5.3 Protocolli di accesso multiplo

5.4 Indirizzi a livello di link

5.5 Ethernet

5.6 Interconnessioni: hub e commutatori

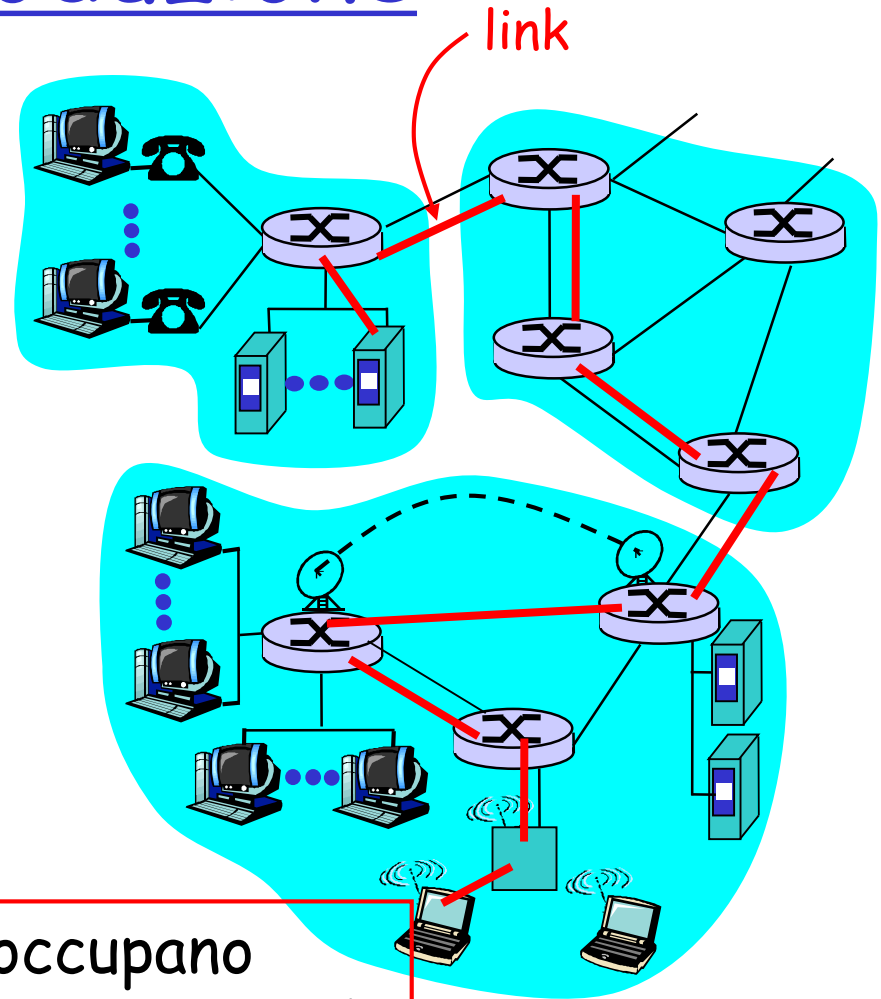
5.7 PPP: protocollo punto-punto

5.8 Canali virtuali: una rete come un livello di link

Livello di link: 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 link si occupano del trasporto di datagrammi lungo un singolo canale di comunicazione.

Livello di link

- ❑ 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.

Analogia con un tour operator:

- ❑ Un viaggio da Princeton a Losanna:
 - taxi: da Princeton all'aeroporto JFK
 - aereo: dal JFK a Ginevra
 - treno: da Ginevra a Losanna
- ❑ Turista = **datagramma**
- ❑ Ciascuna tratta del trasporto = **collegamento**
- ❑ Tipologia del trasporto = **protocollo di link**
- ❑ Agente di viaggio = **protocollo di routine**

Servizi offerti dal livello di link

□ Framing:

- 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)

Servizi offerti dal livello di link

❑ **Controllo di flusso:**

- Evita che il nodo trasmittente saturi quello ricevente.

❑ **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.

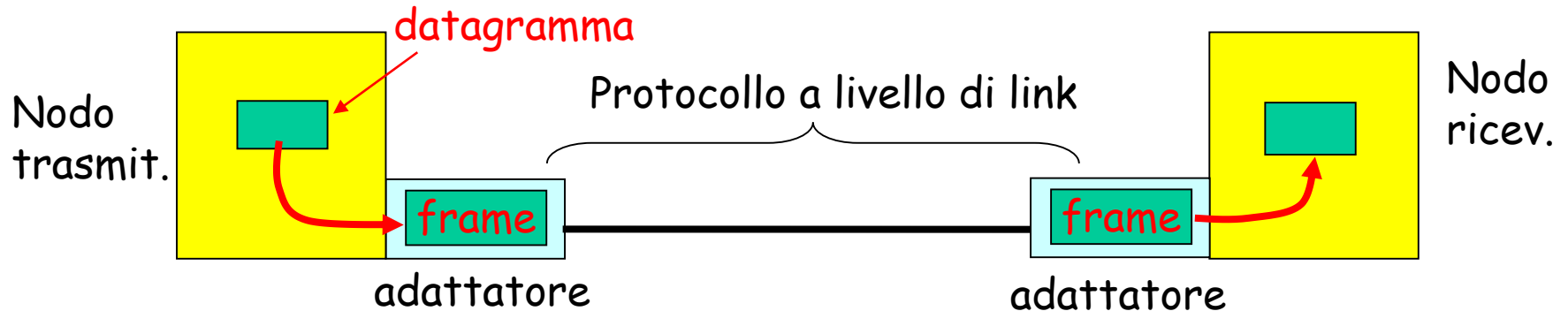
❑ **Correzione degli errori:**

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

❑ **Half-duplex e full-duplex**

- Nella trasmissione full-duplex gli estremi di un collegamento possono trasmettere contemporaneamente: non in quella half-duplex.

Adattatori



- ❑ Il protocollo a livello di link è realizzato da un adattatore (NIC, scheda di interfaccia di rete)
 - Adattatori Ethernet, adattatori PCMCIA e adattatori 802.11
- ❑ Lato trasmittente:
 - Incapsula un datagramma in un frame.
 - Imposta il 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
- ❑ L'adattatore è un'unità semi-autonoma.
- ❑ Livello di link e fisico.

Capitolo 5: Livello di collegamento e reti locali

5.1 Livello di link: introduzione e servizi

5.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

5.3 Protocolli di accesso multiplo

5.4 Indirizzi a livello di link

5.5 Ethernet

5.6 Interconnessioni: hub e commutatori

5.7 PPP: protocollo punto-punto

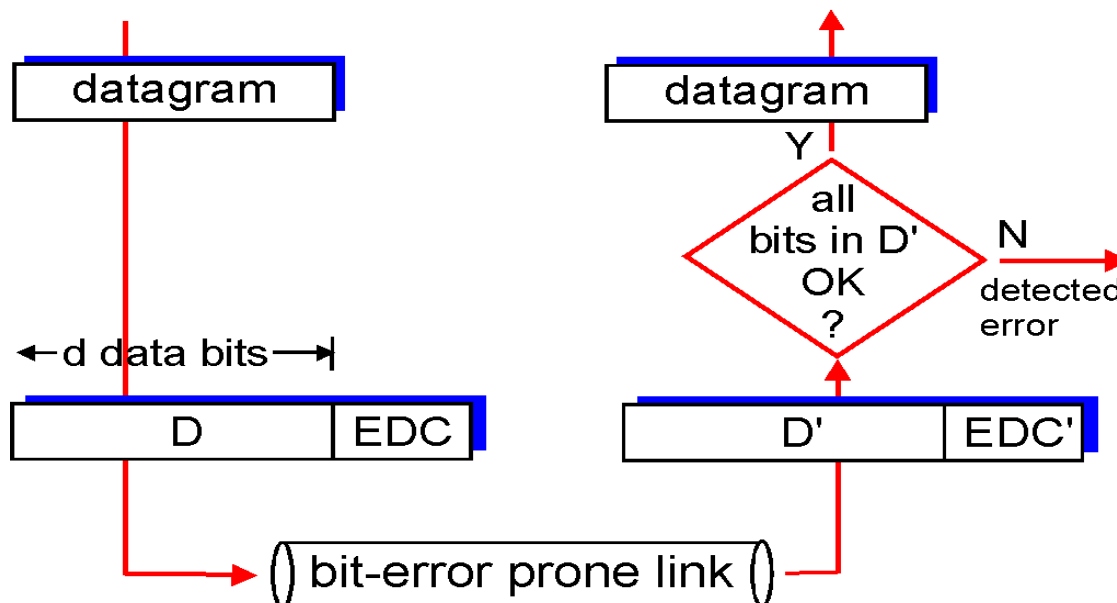
5.8 Canali virtuali: una rete come un livello di link

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



Capitolo 5: Livello di collegamento e reti locali

5.1 Livello di link: introduzione e servizi

5.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

5.3 Protocolli di accesso multiplo

5.4 Indirizzi a livello di link

5.5 Ethernet

5.6 Interconnessioni: hub e commutatori

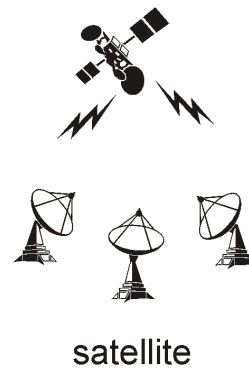
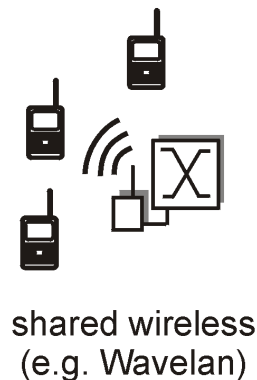
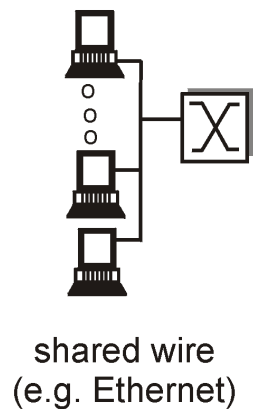
5.7 PPP: protocollo punto-punto

5.8 Canali virtuali: una rete come un livello di link

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



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 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 trasmettenti → "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

Capitolo 5: Livello di collegamento e reti locali

5.1 Livello di link: introduzione e servizi

5.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

5.3 Protocolli di accesso multiplo

5.4 Indirizzi a livello di link

5.5 Ethernet

5.6 Interconnessioni: hub e commutatori

5.7 PPP: protocollo punto-punto

5.8 Canali virtuali: una rete come un livello di link

Indirizzi MAC e ARP

□ Indirizzo IP a 32 bit:

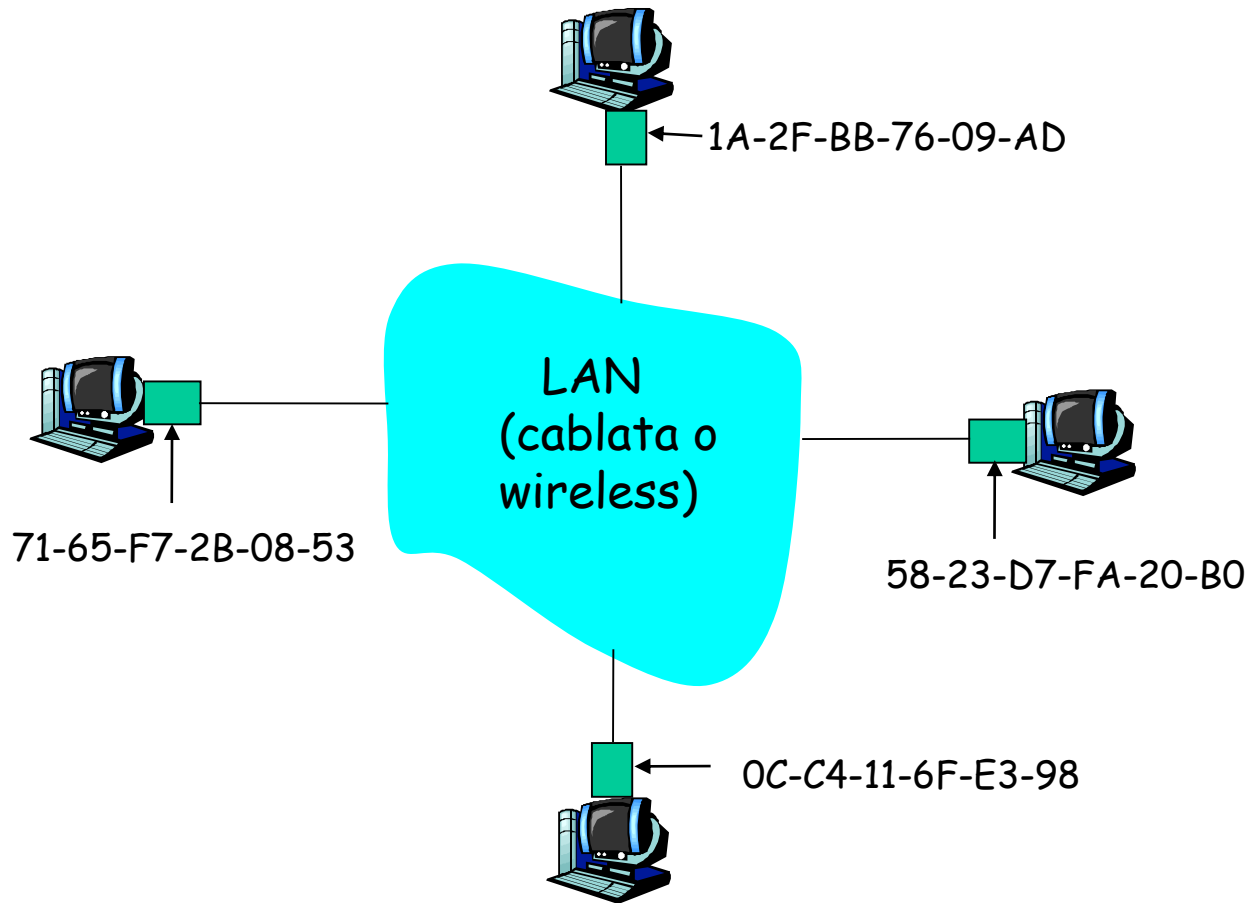
- Indirizzo a *livello di rete*.
- Analogo all'indirizzo postale di una persona: hanno una struttura gerarchica e devono esser aggiornati quando una persona cambia residenza.

□ Indirizzo MAC (o LAN o fisico o Ethernet):

- Analogo al numero di codice fiscale di una persona: ha una struttura orizzontale e non varia a seconda del luogo in cui la persona si trasferisce.
- Indirizzo a 48 bit (per la maggior parte delle LAN) .

Indirizzi LAN e ARP

Ciascun adattatore di una LAN ha un indirizzo LAN univoco .



Indirizzo broadcast =
FF-FF-FF-FF-FF-FF

■ = adattatore

Indirizzi LAN

- ❑ La IEEE sovrintende alla gestione degli indirizzi MAC.
- ❑ Quando una società vuole costruire adattatori, compra un blocco di spazio di indirizzi (unicità degli indirizzi).
- ❑ Analogia:
 - (a) Indirizzo MAC: analogo al codice fiscale di una persona.
 - (b) Indirizzo IP: analogo all'indirizzo postale di una persona.
- ❑ Indirizzo orizzontale MAC → portabilità
 - È possibile spostare una scheda LAN da una LAN a un'altra.
- ❑ Gli indirizzi IP hanno una struttura gerarchica e devono essere aggiornati se spostati.
 - dipendono dalla sottorete IP cui il nodo è collegato.

Capitolo 5: Livello di collegamento e reti locali

5.1 Livello di link: introduzione e servizi

5.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

5.3 Protocolli di accesso multiplo

5.4 Indirizzi a livello di link

5.5 Ethernet

5.6 Interconnessioni: hub e commutatori

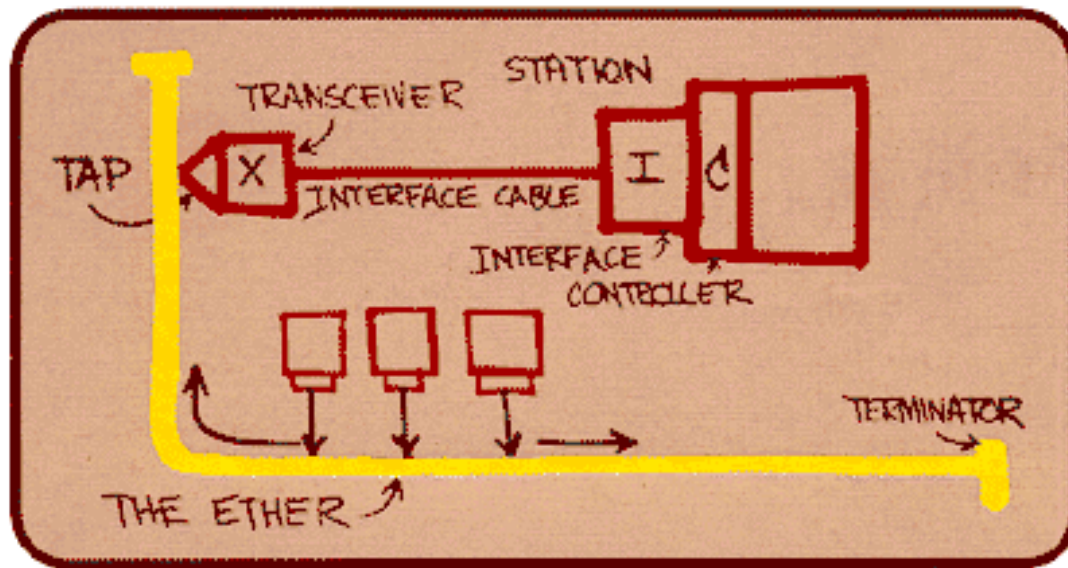
5.7 PPP: protocollo punto-punto

5.8 Canali virtuali: una rete come un livello di link

Ethernet

Detiene una posizione dominante nel mercato delle LAN cablate.

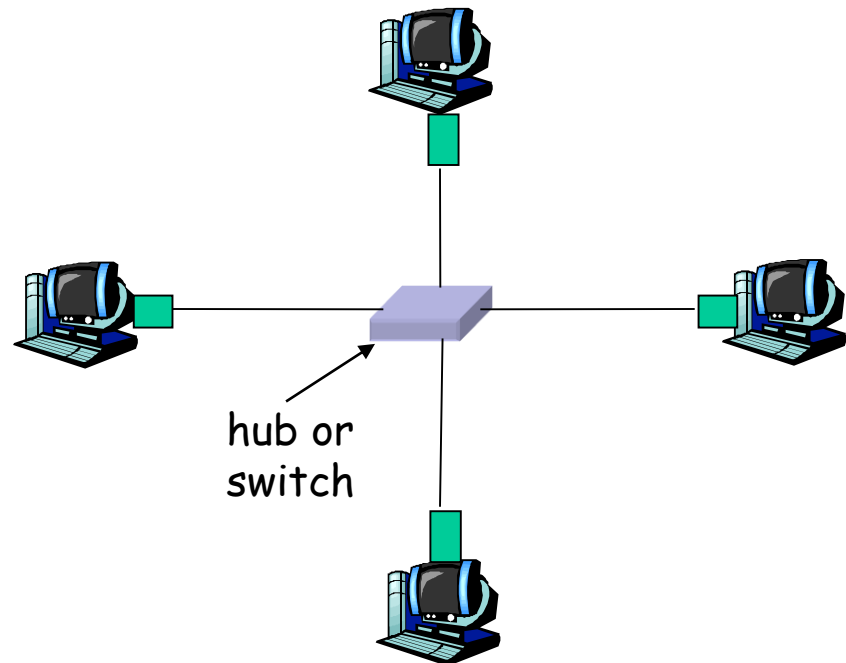
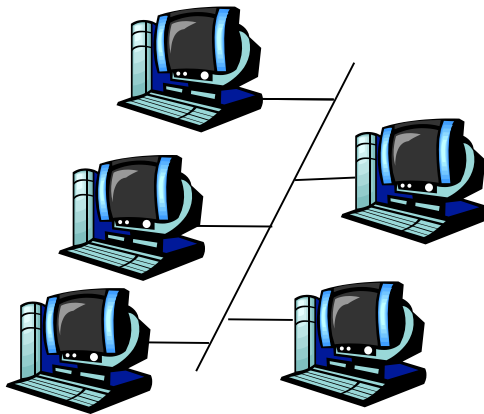
- ❑ È stata la prima LAN ad alta velocità con vasta diffusione.
- ❑ Più semplice e meno costosa di token ring, FDDI e ATM.
- ❑ Sempre al passo dei tempi con il tasso trasmissivo.



Il progetto originale di Bob Metcalfe che portò allo standard Ethernet.

Topologia a stella

- ❑ La topologia a bus era diffusa fino alla metà degli anni 90.
- ❑ Quasi tutte le odierne reti Ethernet sono progettate con topologia a stella.
- ❑ Al centro della stella è collocato un hub o commutatore (*switch*).



Servizio senza connessione non affidabile

- ❑ **Senza connessione:** non è prevista nessuna forma di handshake preventiva con il destinatario prima di inviare un pacchetto.
- ❑ **Non affidabile:** l'adattatore ricevente non invia un riscontro né se un pacchetto supera il controllo CRC né in caso contrario.
 - Il flusso dei datagrammi che attraversano il livello di rete può presentare delle lacune.
 - L'applicazione può rilevare le lacune se viene impiegato TCP.
 - Altrimenti, potrebbe accusare problemi a causa dell'incompletezza dei dati.

Ethernet utilizza il protocollo CSMA/CD

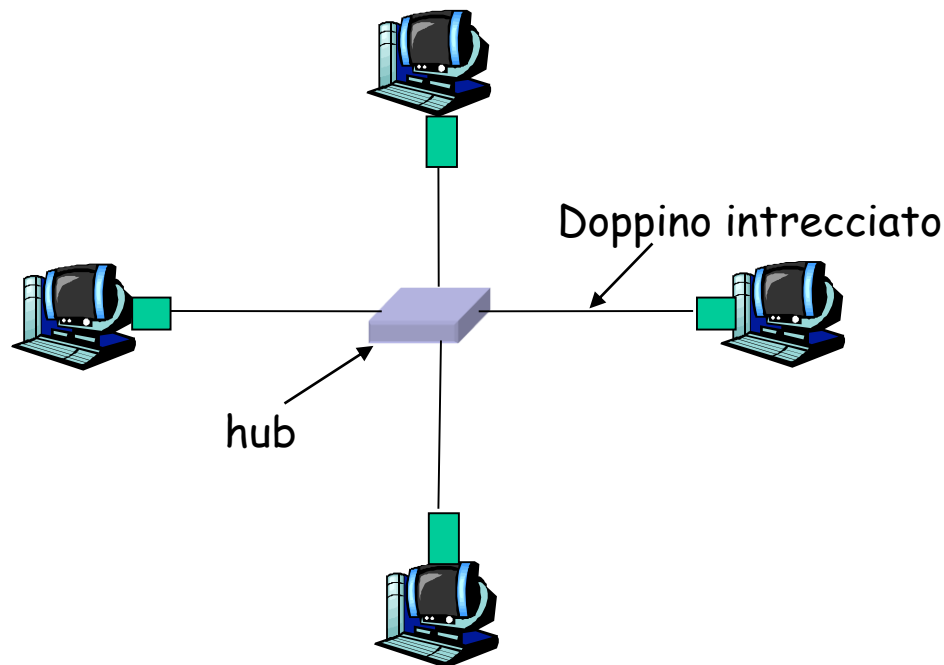
- ❑ Non utilizza slot.
- ❑ Non può trasmettere un pacchetto quando rileva che altri adattatori stanno trasmettendo: **rilevazione della portante.**
- ❑ Annulla la propria trasmissione non appena rileva che un altro adattatore sta trasmettendo: **rilevazione di collisione.**
- ❑ Prima di ritrasmettere, l'adattatore resta in attesa per un lasso di tempo stabilito arbitrariamente.

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' n -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.

Tecnologie 10BaseT e 100BaseT

- ❑ Attualmente, molti adattatori Ethernet sono a 10/100 Mbps; possono quindi utilizzare sia 10BaseT sia 100BaseT
- ❑ La lettera **T** è l'iniziale di **Twisted Pair** (doppino intrecciato).
- ❑ Ogni nodo ha una diretta connessione con l'hub (topologia a stella); la massima distanza tra un adattatore e il centro stella è di 100m.



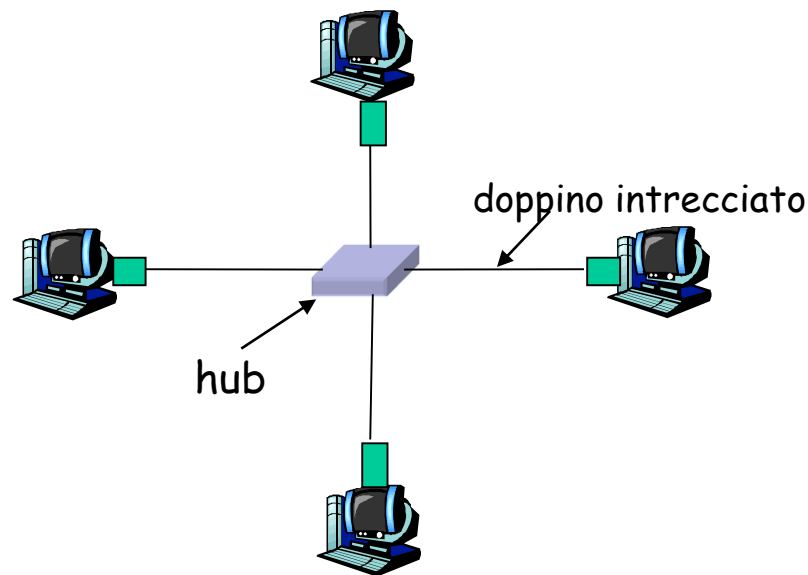
Gigabit Ethernet

- ❑ Utilizza il formato del pacchetto standard di Ethernet.
- ❑ I canali punto-punto utilizzano commutatori, mentre i canali broadcast utilizzano hub.
- ❑ Utilizza CSMA/CD per i canali broadcast condivisi; è necessario limitare la distanza tra i nodi per ottenere un livello accettabile di efficienza.
- ❑ Gli hub sono definiti "distributori bufferizzati".
- ❑ Impiegando i canali punto-punto si può operare in full-duplex a 1000 mbps.
- ❑ Attualmente 10 Gbps!

Hub

L'hub (ripetitore) è un dispositivo che opera sui singoli bit:

- all'arrivo di un bit, l'hub lo riproduce incrementandone l'energia e lo trasmette attraverso tutte le sue altre interfacce.
- non implementa la rilevazione della portante né CSMA/CD
- ripete il bit entrante su tutte le interfacce uscenti anche se su qualcuna di queste c'è un segnale
- trasmette in broadcast, e quindi ciascun adattatore può sondare il canale per verificare se è libero e rilevare una collisione mentre trasmette
- fornisce aspetti di gestione di rete.



Capitolo 5: Livello di collegamento e reti locali

5.1 Livello di link: introduzione e servizi

5.2 Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

5.3 Protocolli di accesso multiplo

5.4 Indirizzi a livello di link

5.5 Ethernet

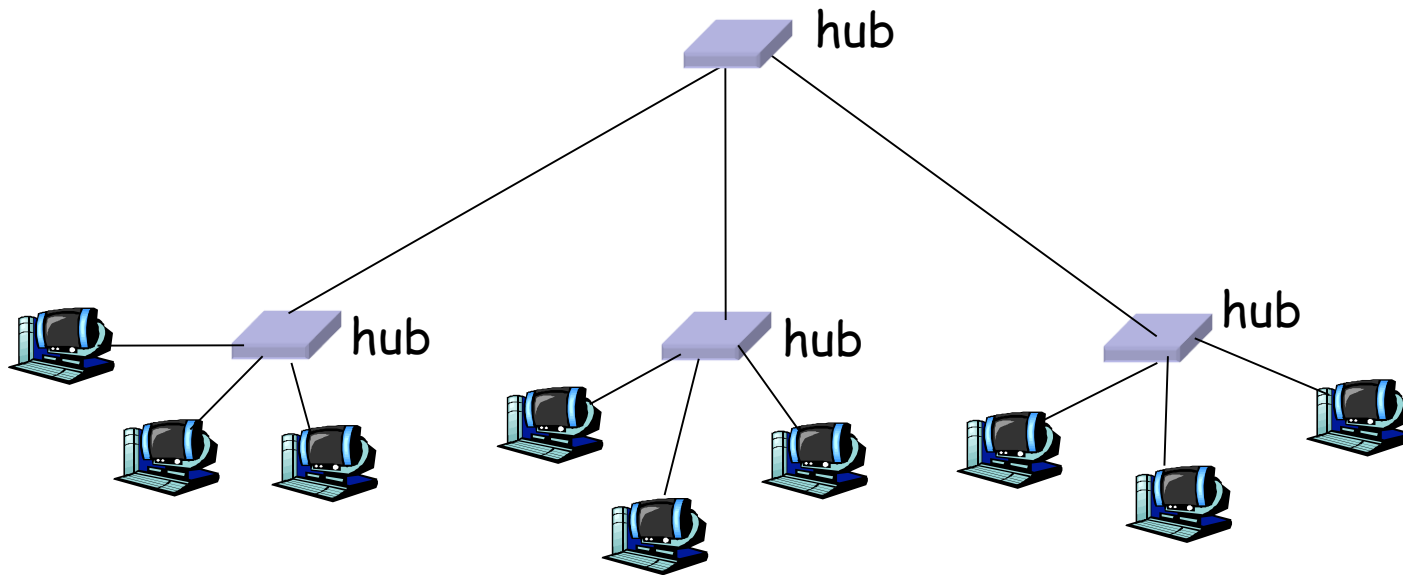
5.6 Interconnessioni: hub e commutatori

5.7 PPP: protocollo punto-punto

5.8 Canali virtuali: una rete come un livello di link

Interconnessioni: hub e switch

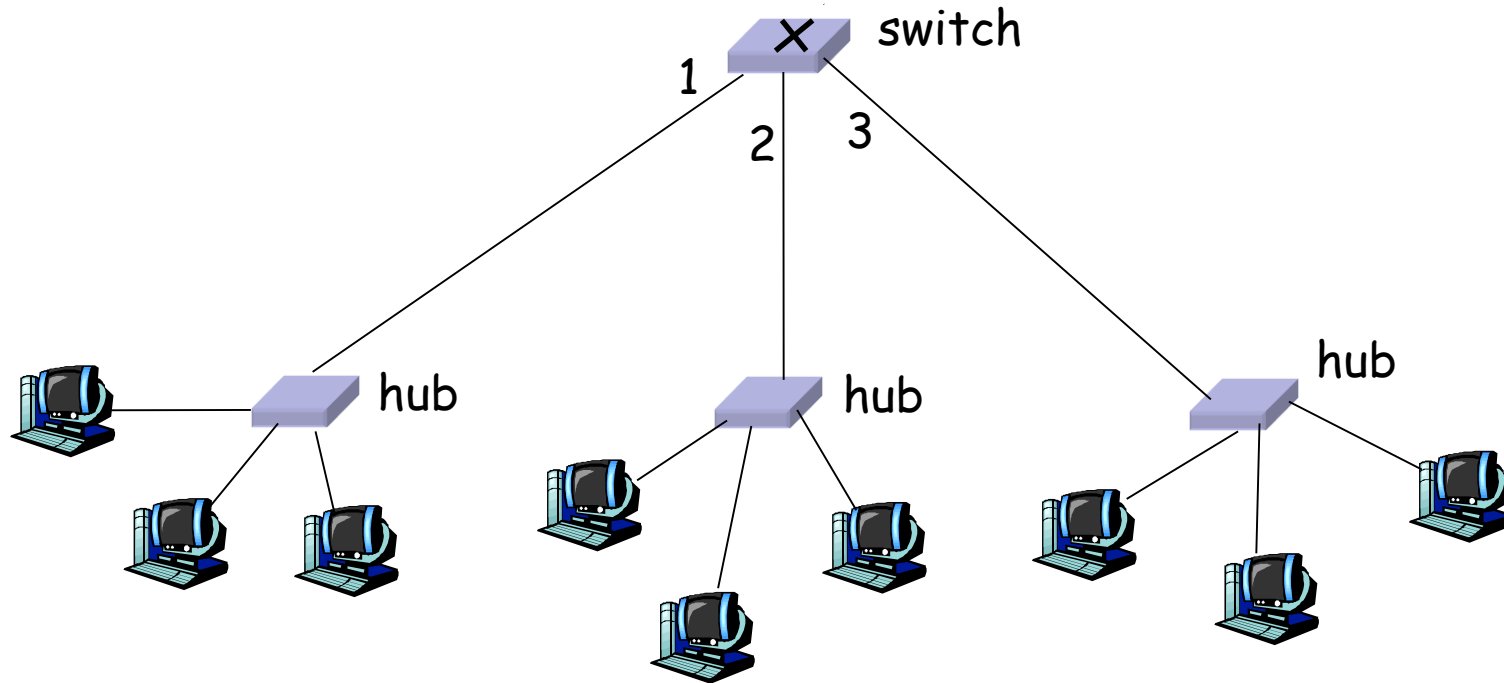
- ❑ Utilizzare hub è il modo più semplice per interconnettere le LAN.
- ❑ Permette di incrementare la distanza tra i nodi.
- ❑ Quando un hub dipartimentale manifesta un funzionamento non conforme, l'hub della dorsale rileva il problema e lo disconnette dalla LAN.
- ❑ Impossibile interconnettere 10BaseT e 100BaseT.



Switch

- **Dispositivo del livello di link:**
 - Filtra e inoltra i pacchetti Ethernet.
 - Esamina l'indirizzo di destinazione e lo invia all'interfaccia corrispondente alla sua destinazione.
 - Quando un pacchetto è stato inoltrato nel segmento, usa CSMA/CD per accedere al segmento.
- **Trasparente**
 - Gli host sono inconsapevoli della presenza di switch.
- **Plug-and-play (autoapprendimento)**
 - Gli switch non hanno bisogno di essere configurati.

Inoltro (forwarding)



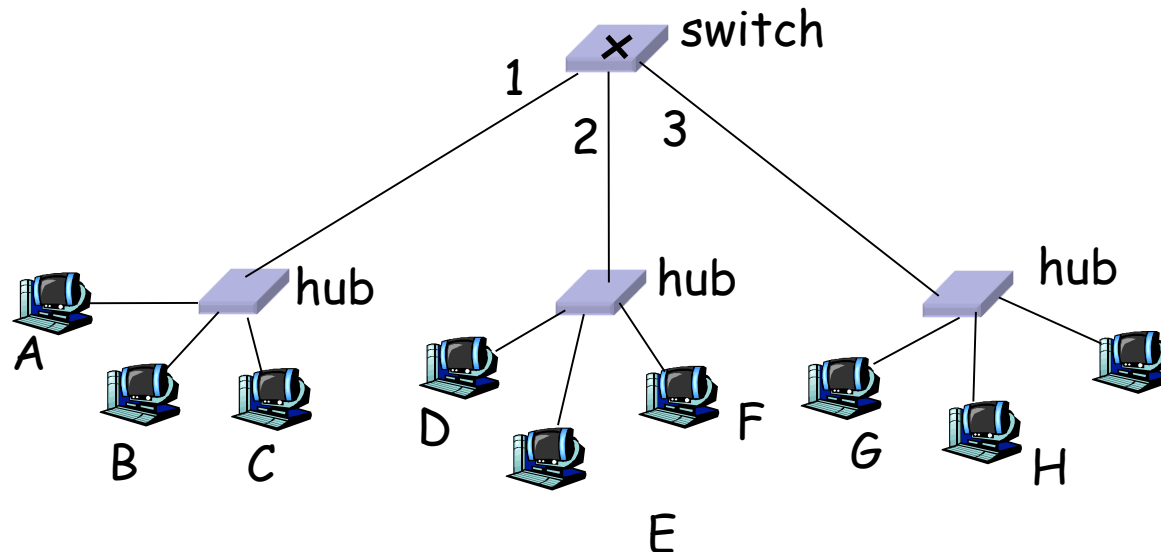
- Come si individua l'interfaccia verso cui un pacchetto deve essere diretto?
- Sembra proprio un problema d'instradamento...

Autoapprendimento

- ❑ Le operazioni sono eseguite mediante una **tabella di commutazione**.
- ❑ Lo switch archivia nelle proprie tabelle:
 - l'indirizzo MAC, l'interfaccia e il momento dell'arrivo.
 - Se lo switch non riceve pacchetti da un determinato indirizzo sorgente, lo cancella (tempo di invecchiamento, TTL = 60 min)
- ❑ Lo switch **apprende** quali nodi possono essere raggiunti attraverso determinate interfacce
 - quando riceve un pacchetto, lo switch "impara" l'indirizzo del mittente
 - registra la coppia mittente/indirizzo nella sua tabella di commutazione

Switch: esempio

Supponiamo che C invii un pacchetto a D

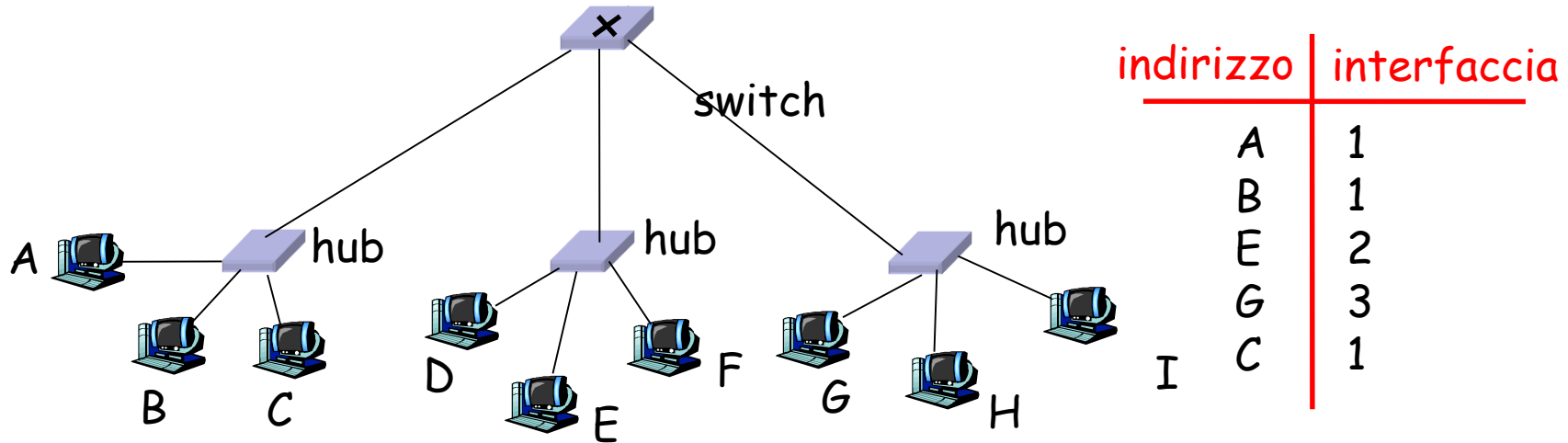


| indirizzo | interfaccia |
|-----------|-------------|
| A | 1 |
| B | 1 |
| E | 2 |
| G | 3 |
| I | |

- ❑ Lo switch riceve il pacchetto da C:
 - annota nella tabella di commutazione che C si trova nell'interfaccia 1.
 - Poiché D non è presente nella tabella, lo switch inoltra il pacchetto alle interfacce 2 e 3.
- ❑ Il pacchetto viene ricevuto da D.

Switch: esempio

Supponiamo che D risponda a C con l'invio di un pacchetto.

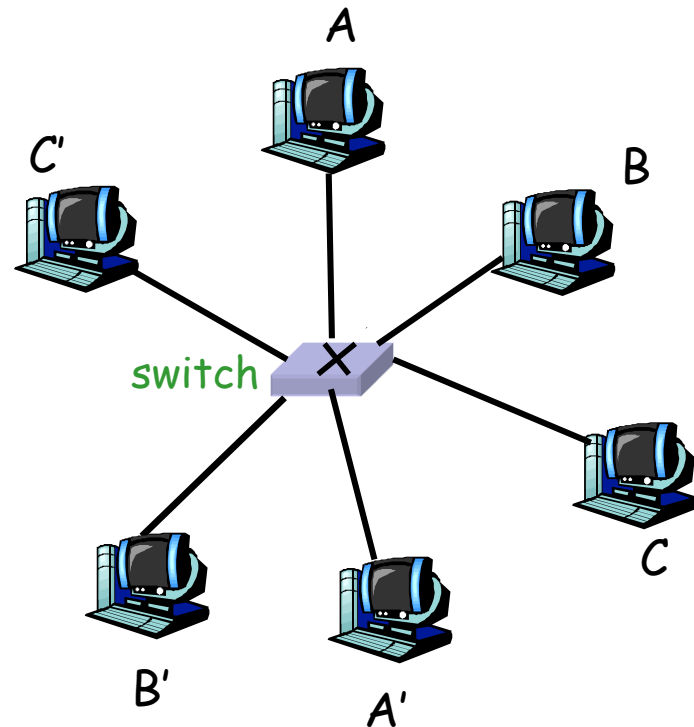


- Lo switch riceve il pacchetto da D:
 - annota nella tabella di commutazione che D si trova nell'interfaccia 2
 - poiché C si trova già nella tabella, lo switch inoltra il pacchetto solo all'interfaccia 1.
- Il pacchetto viene ricevuto da C.

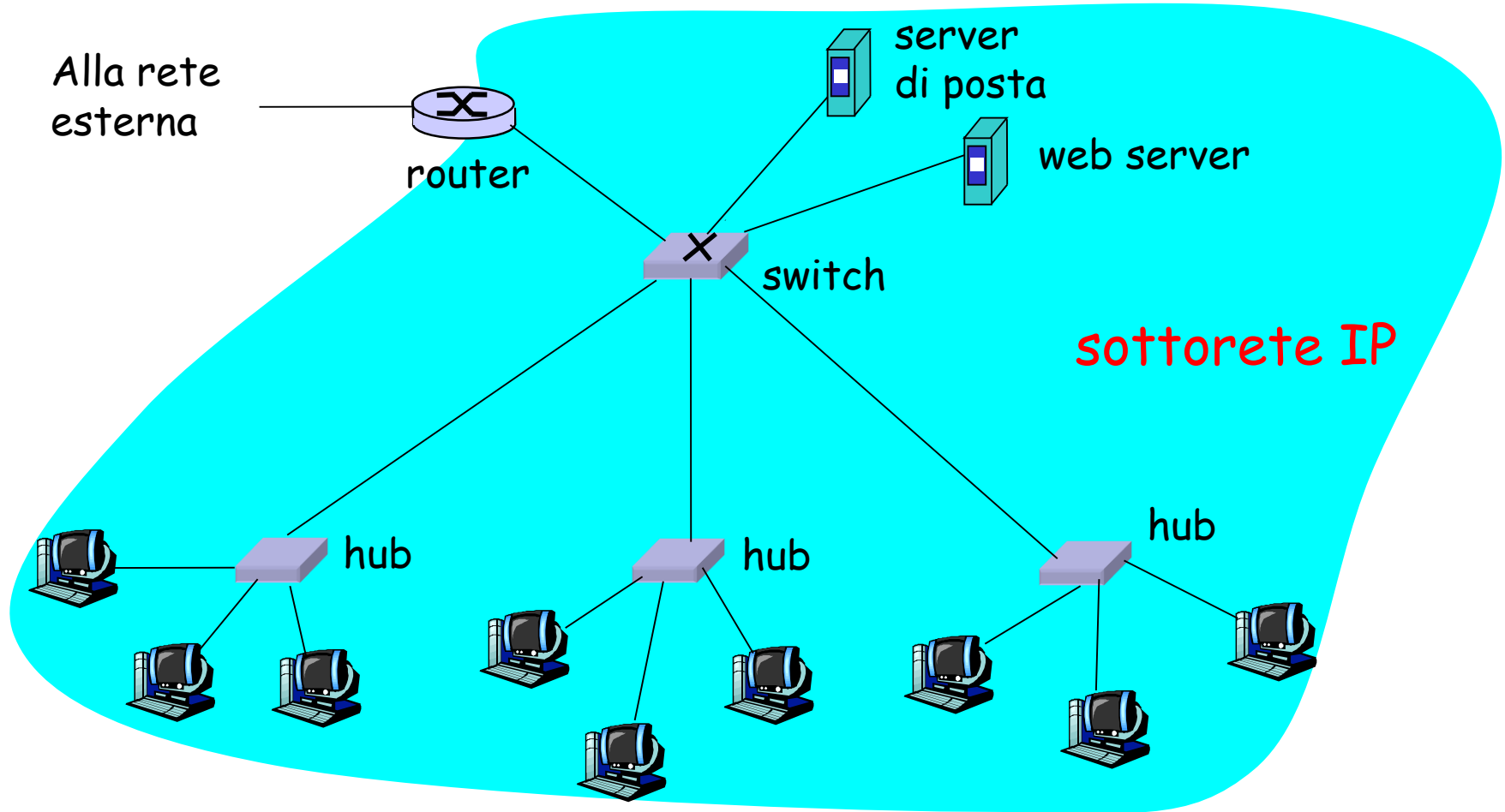
Switch: accesso dedicato

- ❑ Switch con molte interfacce.
- ❑ Gli host hanno una connessione diretta con lo switch.
- ❑ Esclude qualsiasi possibilità di collisione; opera in modalità full duplex.

Commutazione: A-a-A' e B-a-B' simultaneamente, senza collisioni.

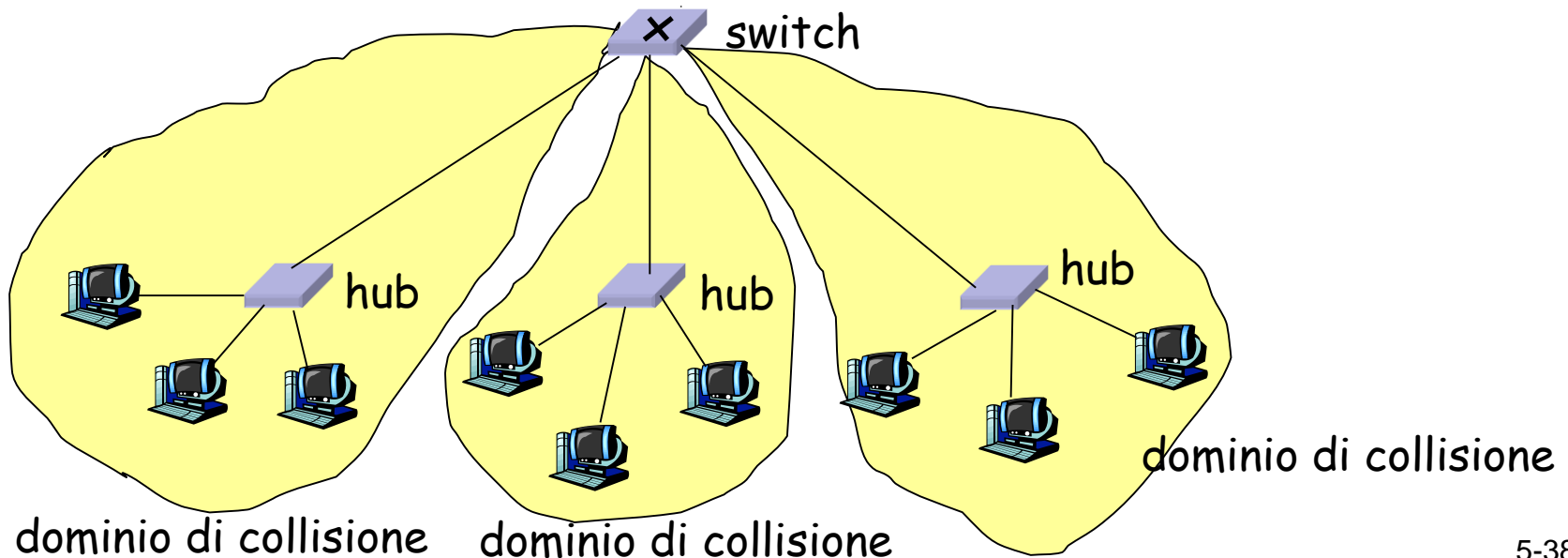


Esempio di rete di un'istituzione



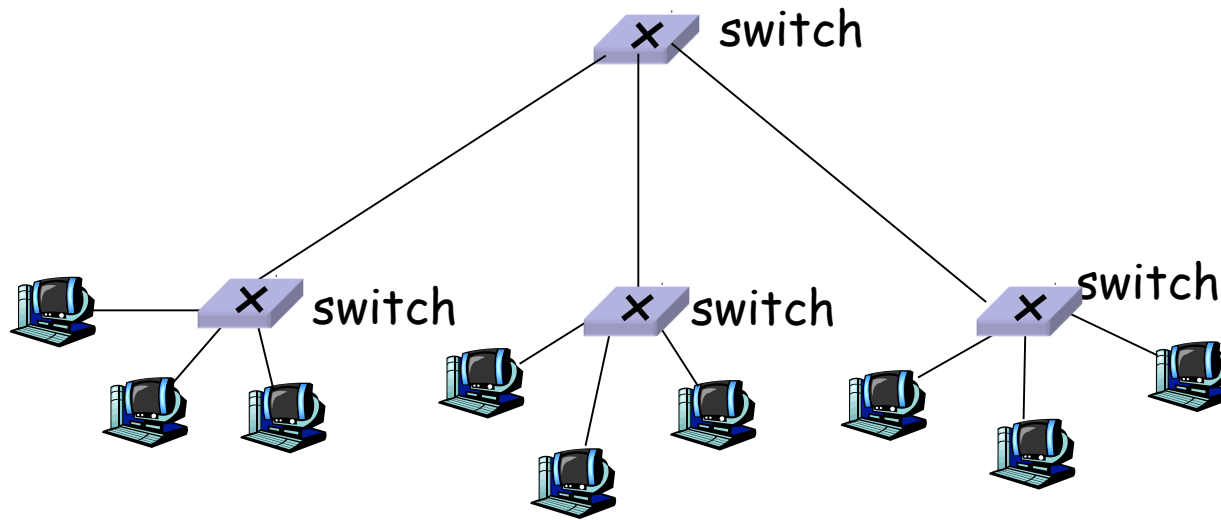
Switch: isolamento del traffico

- ❑ Lo switch spezza la subnet in segmenti di LAN
- ❑ Lo switch **filtra** i pacchetti:
 - i frame di un segmento di solito non entrano negli altri
 - i segmenti diventano **domini di collisione** separati



Switch: isolamento del traffico

- Non si hanno più collisioni
 - Sono tutti collegamenti punto-punto



Switch e router a confronto

- ❑ Entrambi sono dispositivi store-and-forward
 - router: dispositivi a livello di rete
 - switch: dispositivi a livello di link
- ❑ I router mantengono tabelle d'inoltro e implementano algoritmi d'instradamento
- ❑ Gli switch mantengono tabelle di commutazione e implementano il filtraggio e algoritmi di autoapprendimento

