

Lo strato di collegamento Ethernet

**Indirizzamento nello strato di
collegamento**

Indirizzi MAC

■ Indirizzo IP a 32 bit (Strato di rete)

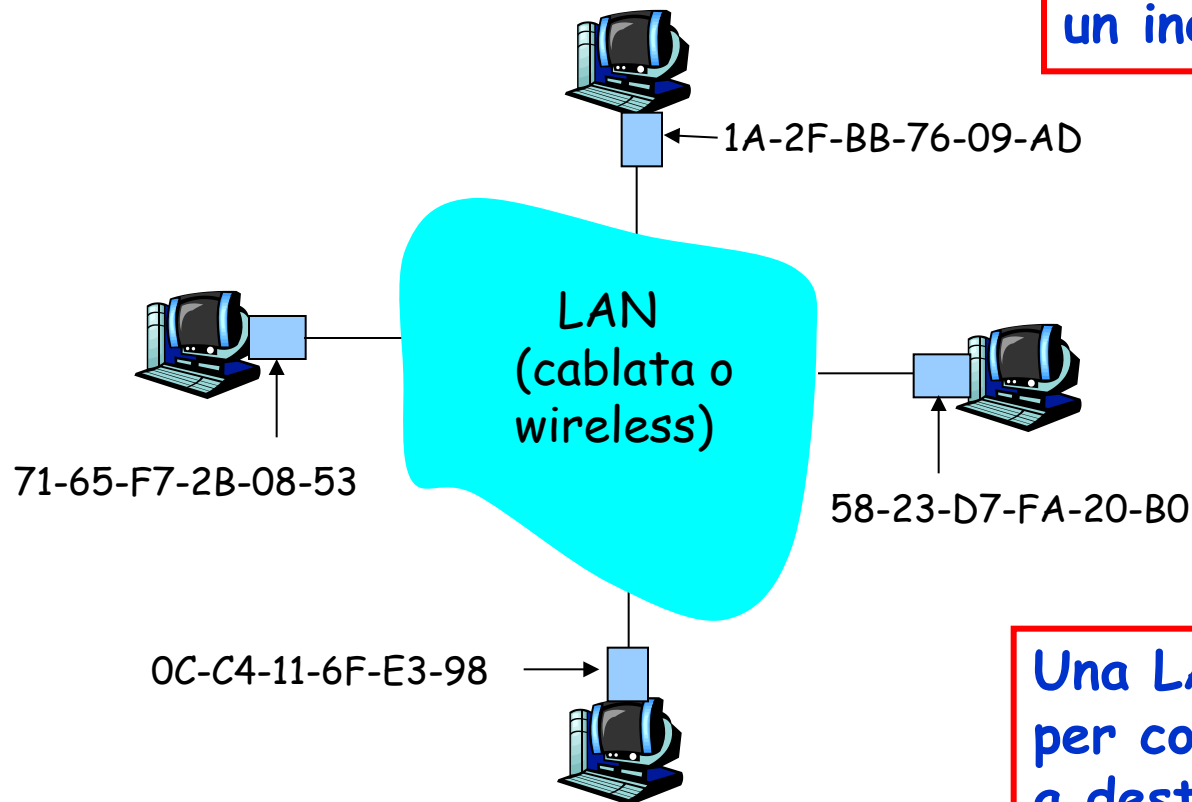
- Indirizzo a livello di rete
- Analogo all'indirizzo postale di una persona
- Ha una struttura gerarchica e deve esser aggiornato quando una persona cambia residenza (cambia rete)

■ Indirizzo MAC (strato di data link)

- 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 (indipendente dalla rete)
- Indirizzo a 48 bit (per la maggior parte delle LAN)

Indirizzi MAC

Ciascuna scheda di rete ha
un indirizzo MAC univoco



Indirizzo broadcast:
FF-FF-FF-FF-FF-FF

Una LAN usa l'indirizzo MAC
per consegnare le unità dati
a destinazione

■ = scheda di rete

Indirizzi MAC

- La IEEE sovrintende alla gestione degli indirizzi MAC
- Quando una società vuole costruire schede di rete, compra un blocco di spazio di indirizzi (**unicità degli indirizzi**)
- 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.

Address Resolution Protocol (ARP)

Come si determina
l'indirizzo MAC di B se si
conosce solo l'indirizzo IP di B?

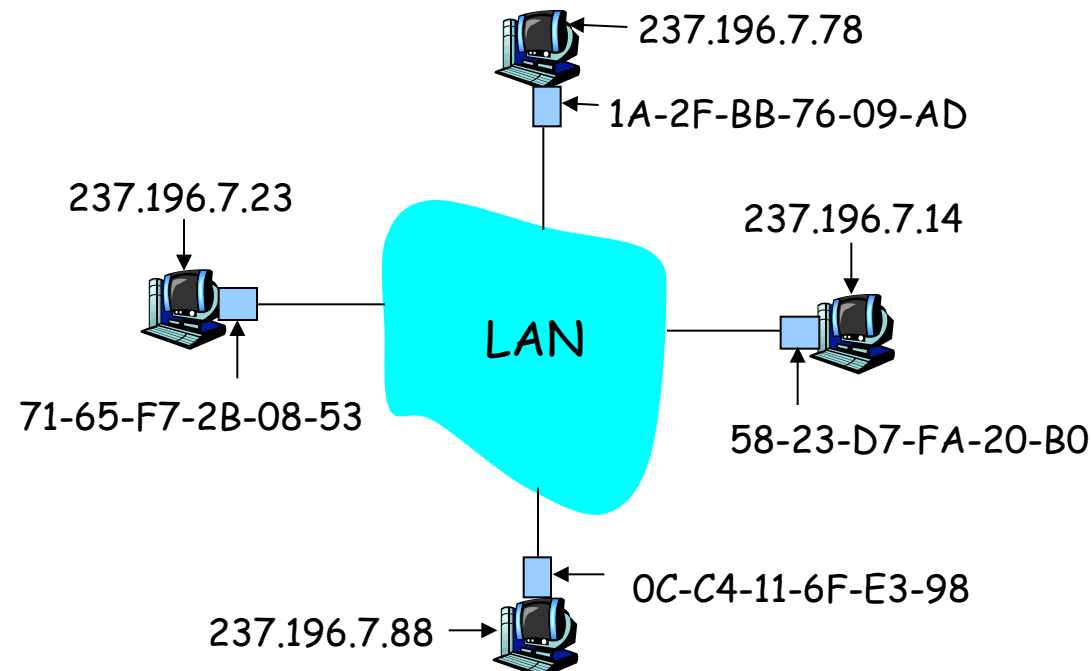
- Ogni nodo IP (host, router) nella LAN ha una **tabella ARP**

- **Tabella ARP**

- contiene la corrispondenza tra indirizzi IP e MAC

< **Indirizzo IP; Indirizzo MAC; TTL** >

- TTL (tempo di vita)
 - valore che indica quando bisognerà eliminare una data voce nella tabella
 - il tempo di vita tipico è di 20 min

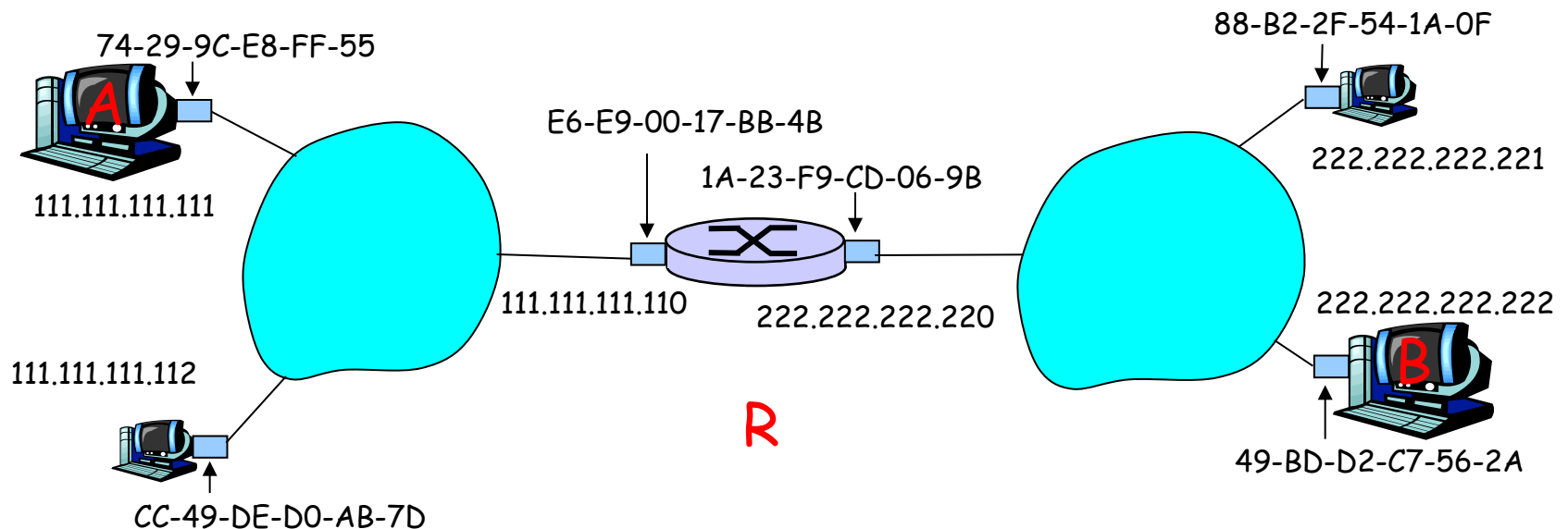


Protocollo ARP nella stessa sottorete

- A vuole inviare un pacchetto a B, e l'indirizzo MAC di B non è nella tabella ARP di A
- A trasmette in un pacchetto broadcast il messaggio di richiesta ARP, contenente l'indirizzo IP di B
 - Indirizzo MAC del destinatario
FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Tutte le host della LAN ricevono la richiesta ARP
- B riceve il pacchetto ARP, e risponde ad A comunicandogli il proprio indirizzo MAC
 - il frame viene inviato all'indirizzo MAC di A che è scritto nel messaggio ARP
- Il messaggio di risposta ARP è inviato in un pacchetto standard
- ARP è "plug-and-play":
 - La tabella ARP di un nodo si costituisce automaticamente e non deve essere configurata dall'amministratore del sistema

Invio verso un nodo esterno alla sottorete

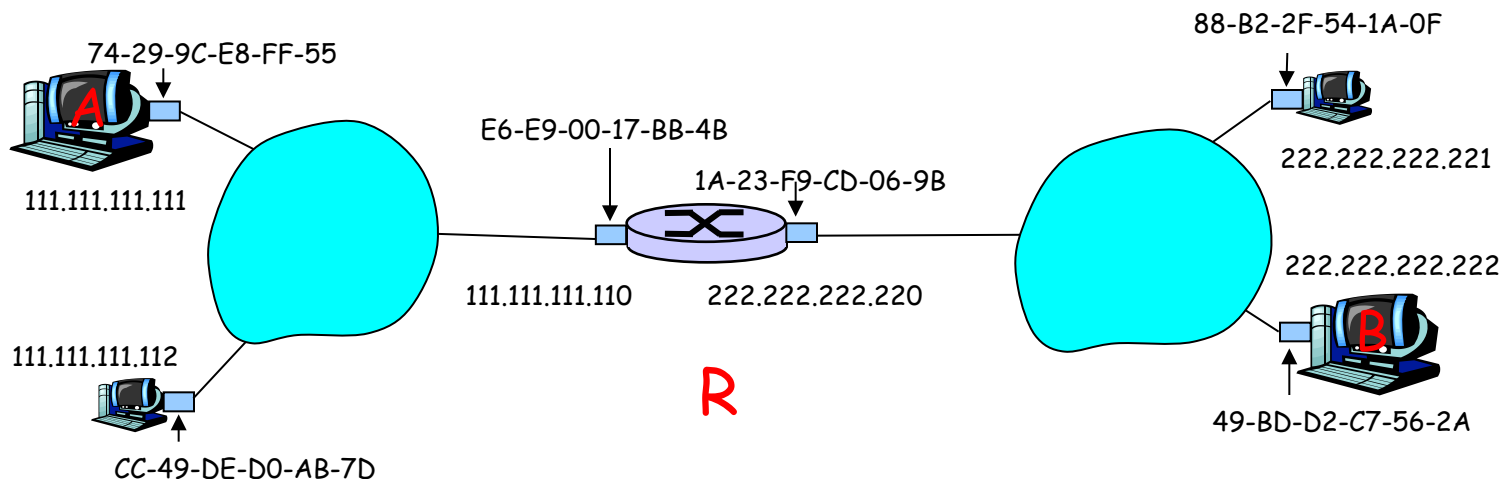
- Invio di un pacchetto da A a B tra due LAN diverse attraverso un router R
- E' necessario che A conosca l'indirizzo IP di B



- Il router R ha due tabelle ARP, una per ciascuna LAN

Invio verso un nodo esterno alla sottorete

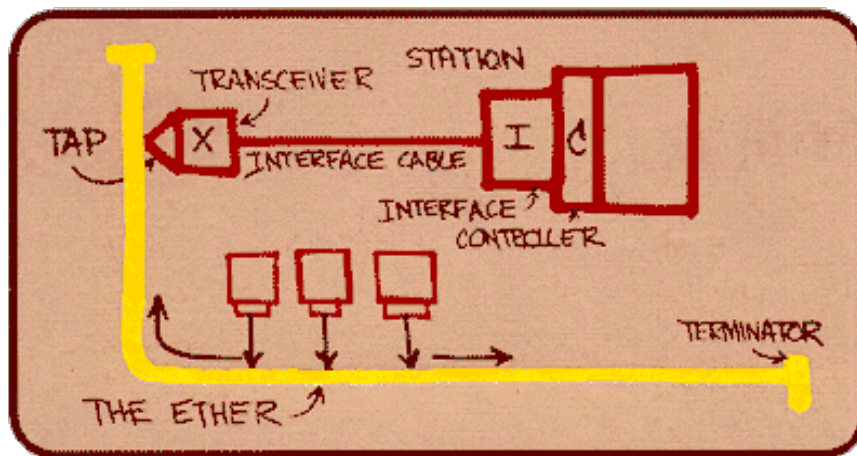
- A crea un pacchetto con origine A, e destinazione B
- A usa ARP per ottenere l'indirizzo MAC di R
- A invia il pacchetto a R
- R rimuove il pacchetto IP dalla frame Ethernet, e vede che la destinazione è B
- R usa ARP per ottenere l'indirizzo MAC di B
- R crea un frame contenente il pacchetto IP e lo invia a B.



Ethernet

Ethernet

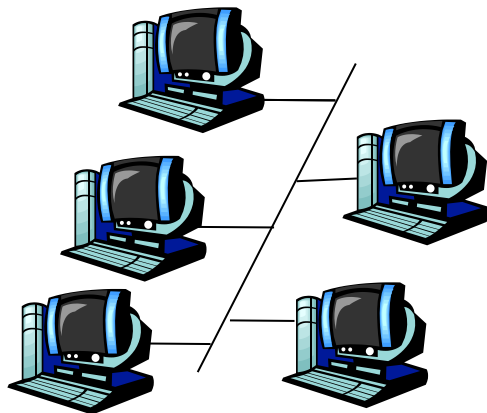
- 1970 ALOHAnet radio network deployed in Hawaiian islands
- 1973 Metcalf and Boggs invent Ethernet, random access in wired net
- 1979 DIX Ethernet II Standard
- 1985 IEEE 802.3 LAN Standard (10 Mbps)
- 1995 Fast Ethernet (100 Mbps)
- 1998 Gigabit Ethernet
- 2002 10 Gigabit Ethernet



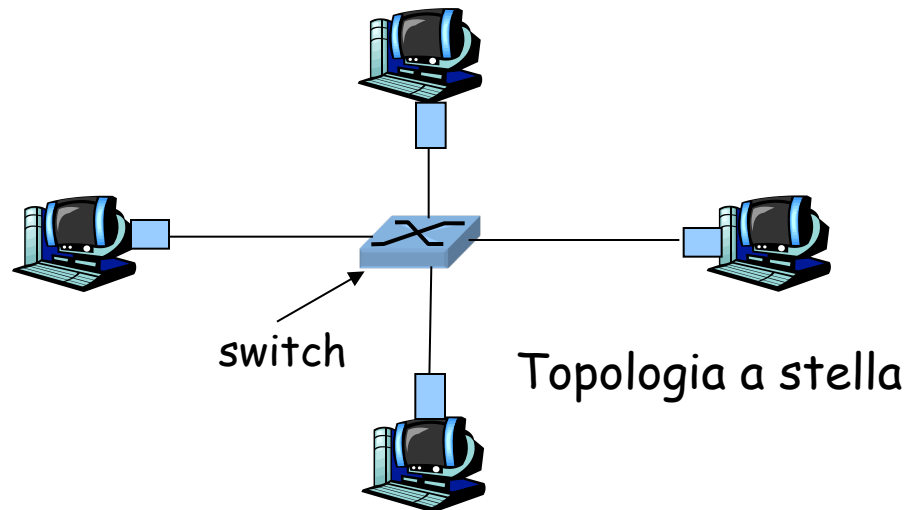
Il progetto originale di Bob Metcalfe che portò allo standard Ethernet

Topologia a bus o a stella

- La topologia a bus originale è stata sostituita dalla topologia a stella alla metà degli anni 90
- Al centro della stella è collocato un elemento denominato **hub** o **switch** che esegue le funzioni di commutazione delle frame sui rami della stella
- Ciascun nodo esegue un protocollo Ethernet separato e non entra in collisione con gli altri



Bus: cavo coassiale



IEEE 802.3 MAC

■ CSMA/CD

■ Parametro principale di sistema: Slot Time

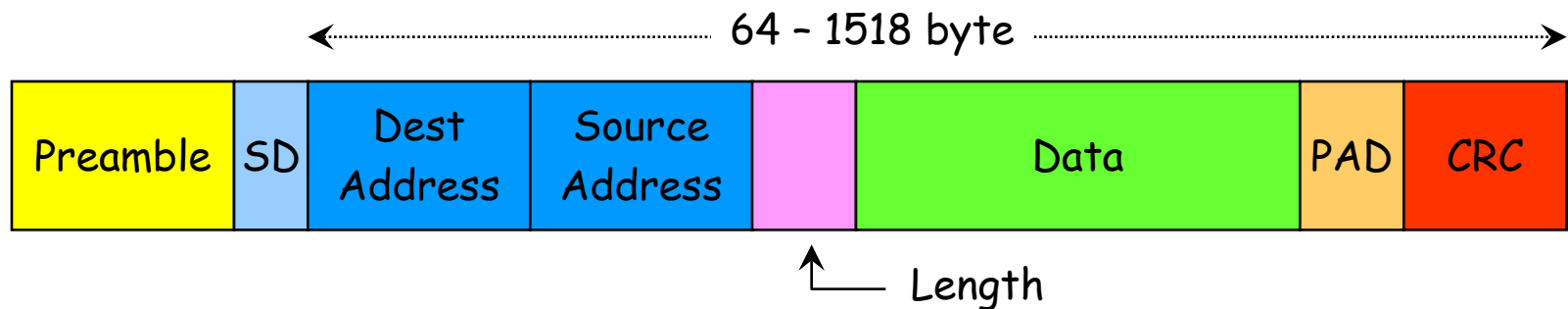
- limite superiore per rivelare una collisione ($2t_{\text{prop}}$)
- limite superiore per acquisire il canale in trasmissione
- limite superiore per la lunghezza di una frame in caso di collisione
- quanto per il calcolo del tempo di ritrasmissione in caso di collisione
- $\max\{\text{round-trip propagation, MAC jam time}\}$

IEEE 802.3: Parametri originali

- **Transmission Rate: 10 Mbit/s**
- **Lunghezza minima di una frame: 512 bit = 64 byte**
- **La lunghezza deve essere tale per cui $L/R > 2t_p \rightarrow L > 2 \cdot (d/v_{prop}) \cdot R = 2 \cdot (5 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8) \cdot 10 \cdot 10^6 \rightarrow 500 \text{ bit} \rightarrow 512 \text{ bit}$**
- **Slot time: $512 \text{ bit} / 10 \text{ Mbit/s} = 51.2 \mu\text{sec}$**
 - $51.2 \mu\text{sec} \times 2 \times 10^5 \text{ km/sec} = 10.24 \text{ km}$ (round trip delay)
 - 5.12 km estensione massima della rete
- **Regola**
 - ogni incremento di 10 volte del bit rate, determina la diminuizione di 10 volte della lunghezza massima della rete

Frame Ethernet (IEEE 802.3)

- La scheda di rete trasmittente incapsula i pacchetti IP in una frame Ethernet



- **Preambolo (7 byte)**
 - Ogni byte ha la configurazione 10101010 (onda quadra)
 - Serve per "attivare" le schede di rete dei riceventi e a sincronizzare i loro clock con quello del trasmittente
- **Start Delimiter (1 byte)**
 - ha configurazione 10101011
 - indica l'inizio della frame

Frame Ethernet (IEEE 802.3)

- **Source e Destination Address (6 byte ciascuno)**
 - Sono gli indirizzi MAC del mittente e del destinatario della frame
 - Quando una scheda di rete riceve una frame contenente nel campo destination address il proprio indirizzo MAC o l'indirizzo broadcast (es.: un pacchetto ARP), copia la frame nel buffer di ricezione
 - Le frame con altri indirizzi MAC vengono ignorate
- **Length (2 byte)**
 - Indica il numero di byte del campo informativo
 - Lunghezza massima della frame 1518 byte (esclusi preamble e SD)
 - Lunghezza massima del campo informativo 1500 bytes
- **PAD**
 - assicura che la lunghezza minima di una frame sia 64 byte
- **CRC (4 byte)**

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

- il ricevente non invia alcun riscontro
- Il flusso delle frame può presentare fenomeni di perdita

Fasi operative del protocollo CSMA/CD

- La scheda di rete prepara una frame Ethernet
- Se il canale è inattivo, inizia la trasmissione. Se il canale risulta occupato, resta in attesa fino a quando non rileva più il segnale
- Verifica, durante la trasmissione, la presenza di eventuali segnali provenienti da altri adattatori
- Se non ne rileva considera il pacchetto spedito
- Se rileva segnali da altri adattatori (**collisione**), interrompe immediatamente la trasmissione del pacchetto e **invia un segnale di disturbo** (jam)
- La scheda di rete calcola l'intervallo di backoff
- Se si è arrivati all'n-esima collisione consecutiva, stabilisce un valore k tra $\{0, 1, 2, \dots, 2^n - 1\}$
- La scheda di rete aspetta un tempo pari a K volte 512 bit

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.

■ Intervallo di bit

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

■ Intervallo di backoff

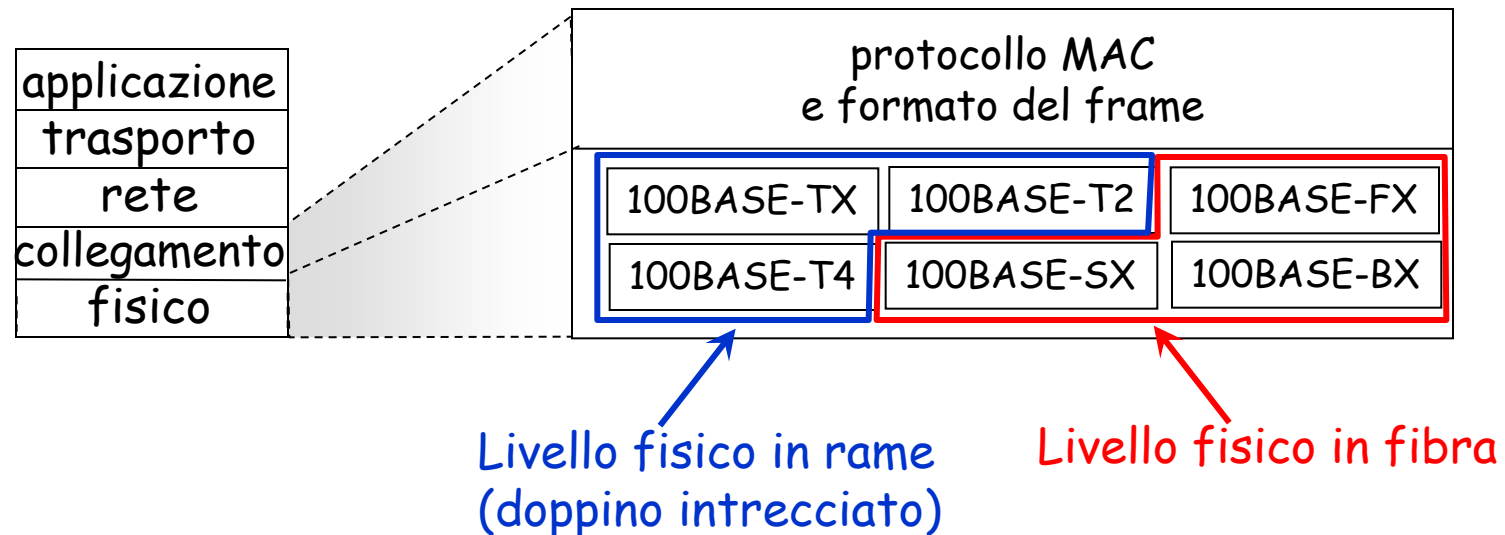
- ha lo scopo di adattare il tempo di attesa al numero di nodi coinvolti nella collisione
- Prima collisione: sceglie K tra $\{0,1\}$; il tempo di attesa è pari a K volte 512 bit.
- Dopo la seconda collisione: sceglie K tra $\{0,1,2,3\}$...
- Dopo dieci collisioni, sceglie K tra $\{0,1,2,3,4,...,1023\}$

Ethernet 802.3

livelli di collegamento e fisico

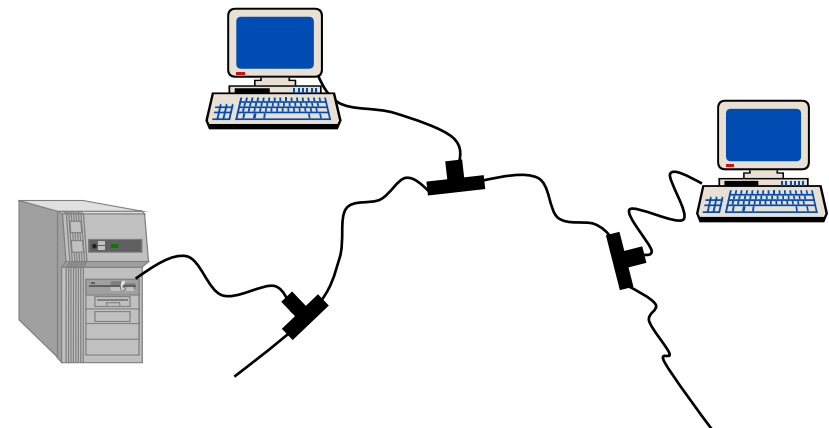
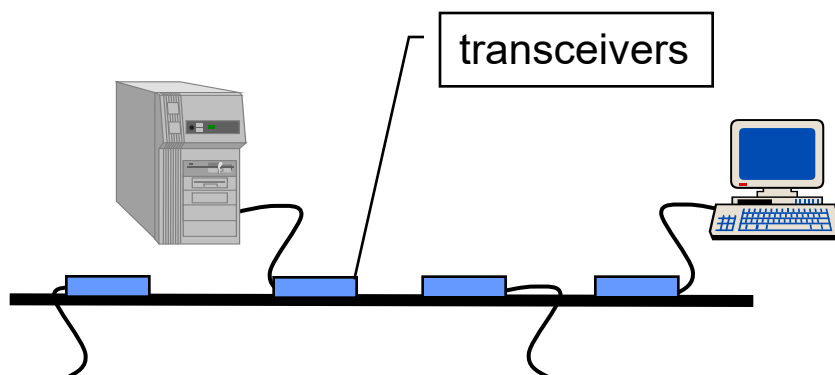
■ Molti standard Ethernet

- protocollo MAC e formato della frame unici
- differenti velocità: 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s
- differenti mezzi trasmissivi: fibra, cavo



IEEE 802.3 Physical Layer (10 Mbit/s)

	10base <u>5</u>	10base <u>2</u>	10base <u>T</u>	10base <u>FX</u>
Medium	Thick coax	Thin coax	<u>T</u> wisted pair	Optical <u>f</u> iber
Max. Segment Length	<u>5</u> 00 m	<u>2</u> 00 m	100 m	2 km
Topology	Bus	Bus	Star	Point-to-point link



Fast Ethernet (100 Mbit/s)

	100baseT4	100baseT	100baseFX
Medium	Twisted pair category 3 UTP 4 pairs	Twisted pair category 5 UTP two pairs	Optical fiber multimode Two strands
Max. Segment Length	100 m	100 m	2 km
Topology	Star	Star	Star

- Identico formato di frame rispetto alla versione a 10 Mbit/s
- La topologia a bus non è prevista
- Standard attualmente prevalente

Gigabit Ethernet (1 Gbit/s)

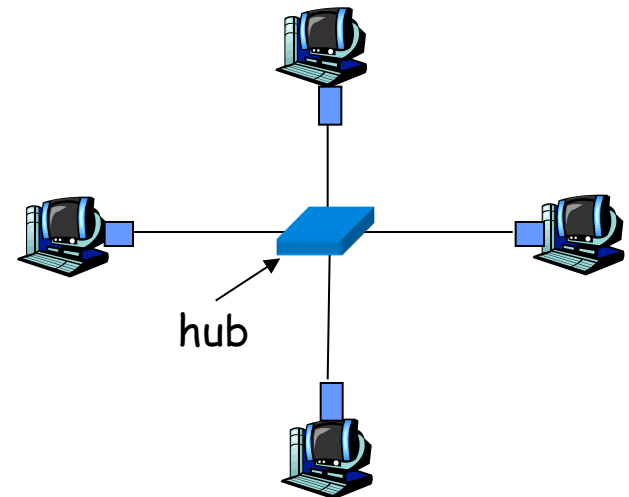
	1000baseSX	1000baseLX	1000baseCX	1000baseT
Medium	Optical fiber multimode Two strands	Optical fiber single mode Two strands	Shielded copper cable	Twisted pair category 5 UTP
Max. Segment Length	550 m	5 km	25 m	100 m
Topology	Star	Star	Star	Star

- Il time slot è incrementato a 512 byte
- Le frame di lunghezza minima sono estese a 512 byte
- Adozione del "Frame bursting" in modo che le stazioni possano trasmettere un insieme di frame di lunghezza breve
- Il CSMA-CD è sostanzialmente abbandonato
- Questo tipo di reti è largamente adottato nel backbone di reti aziendali

Hub e switch

Hub (repeater)

- Opera allo strato fisico
- Rigenera il segnale analogico (re-shaping, re-timing re-trasmitting) e lo ritrasmette su tutte le interfacce
- decodifica e ri-codifica il codice di linea (Manchester)
- rileva collisioni e le inoltra su tutte le porte
- isola segmenti di rete se si verificano 30 collisioni consecutive
- Permette di aumentare le dimensioni di una LAN rispettando
 - a) Limite teorico imposto dal CSMA/CD
 - b) Limiti al numero massimo di ripetitori utilizzabili



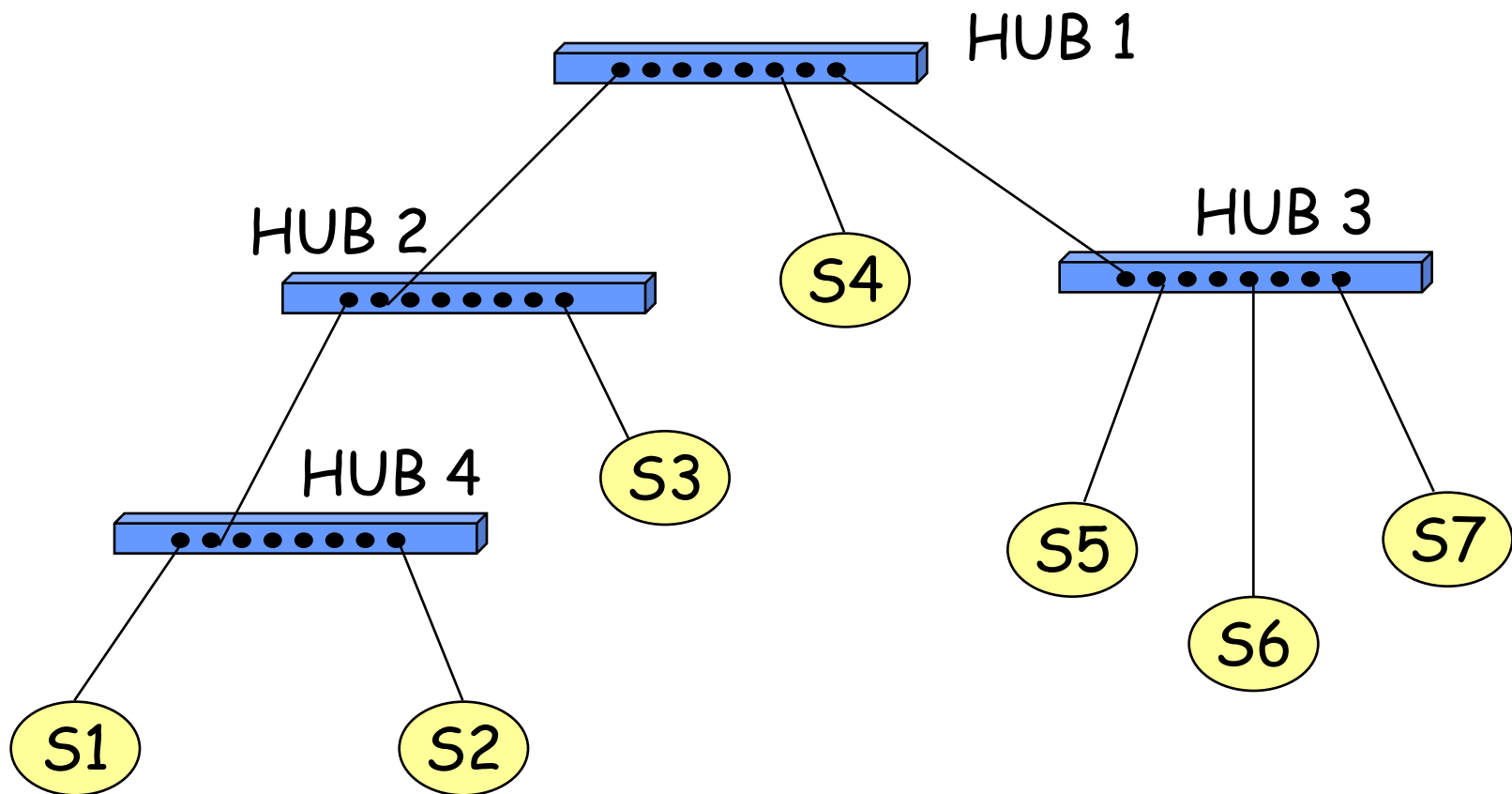
Hub (Repeater)

■ Dominio di collisione

- Sezione di rete in cui qualsiasi coppia di stazioni che trasmettono contemporaneamente generano una collisione

- La sezione di rete collegata da hub (repeater) fa parte di un unico dominio di collisione

Esempio di dominio di collisione



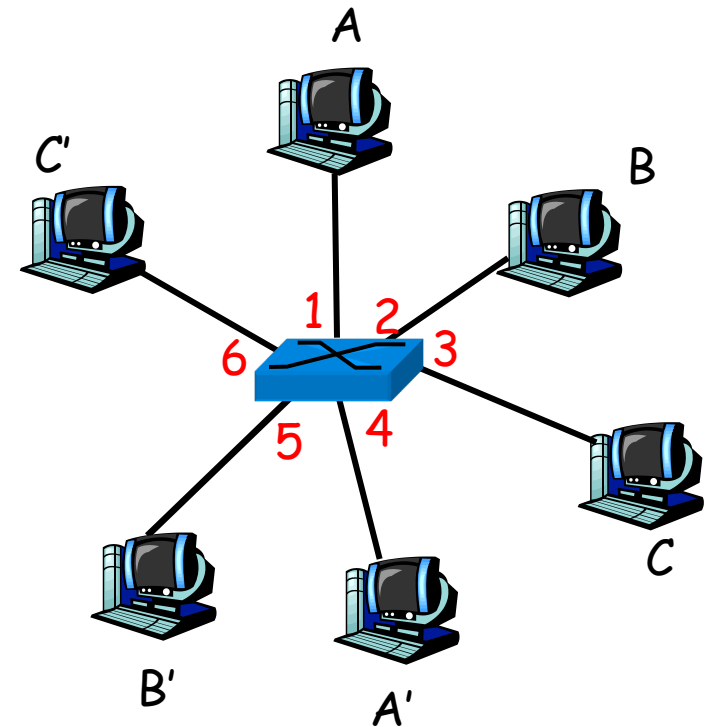
Switch (Bridge)



- **Dispositivo intelligente a livello di link, svolge un ruolo attivo**
 - Filtra e inoltra le frame Ethernet
 - Esamina l'indirizzo MAC di destinazione e, se possibile, lo invia all'interfaccia corrispondente alla sua destinazione
 - Quando un pacchetto è stato inoltrato nel segmento, usa CSMA/CD per accedere al segmento
- **Permette di collegare tra loro differenti domini di collisione**
- **Trasparente**
 - Gli host sono inconsapevoli della presenza di switch
- **Plug-and-play, autoapprendimento**
 - Gli switch non hanno bisogno di essere configurati, apprendono autonomamente la topologia di rete e le regole di instradamento delle frame

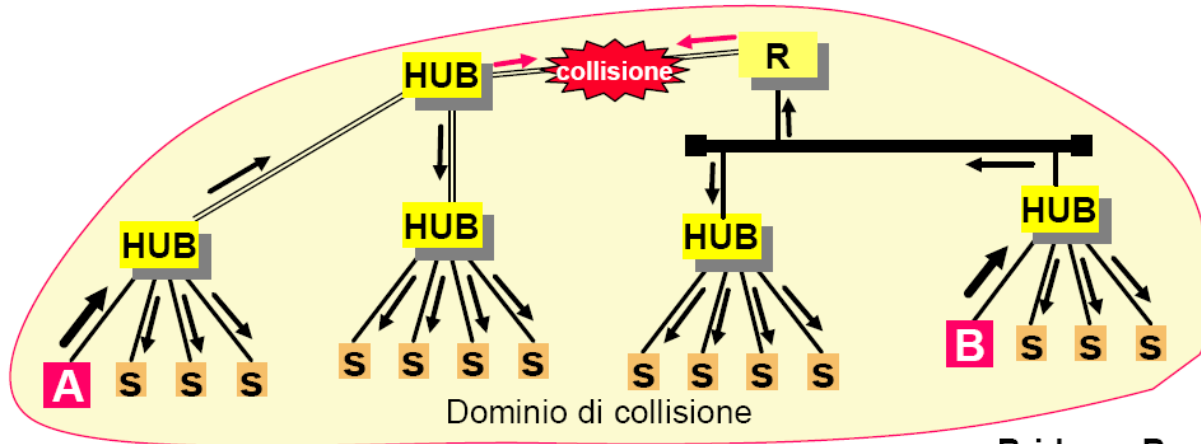
Switch (Bridge)

- Gli host hanno collegamenti dedicati e diretti con lo switch
- Gli switch bufferizzano le frame
- Il protocollo di accesso è usato su ciascun collegamento in entrata, ma non si verificano collisioni
 - collegamenti full duplex
- Trasmissione simultanea da A ad A' e da B a B', senza collisioni
 - Non possibile con gli hub "stupidi"



*switch con sei interfacce
(1,2,3,4,5,6)*

Domini di collisione



Repeater e Hub connettono più segmenti LAN che fanno parte dello stesso dominio di collisione

Bridge e Router e Switch connettono domini di collisione distinti

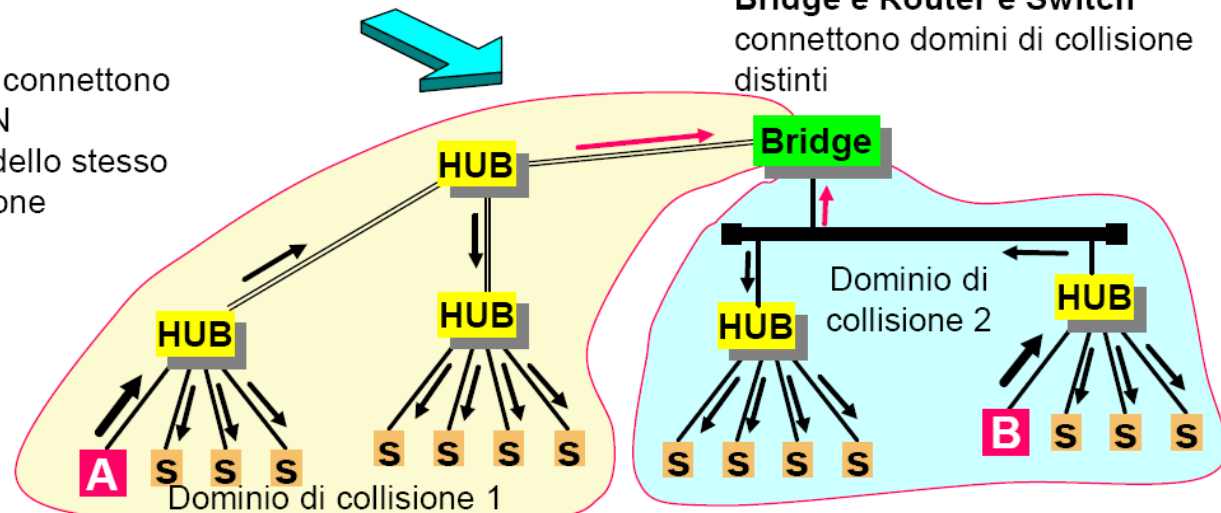
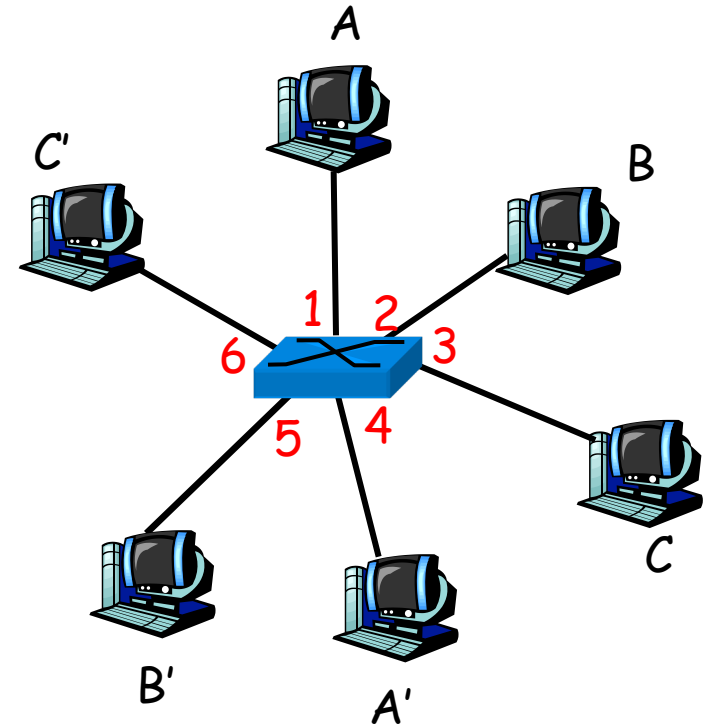


Tabella di commutazione

- Ogni switch ha una tabella di commutazione (**switch table**)
- Ogni record comprende
 - indirizzo MAC di un nodo
 - interfaccia che conduce al nodo
 - time stamp
- Come si creano e si mantengono i record di una tabella di commutazione ?
 - Auto apprendimento



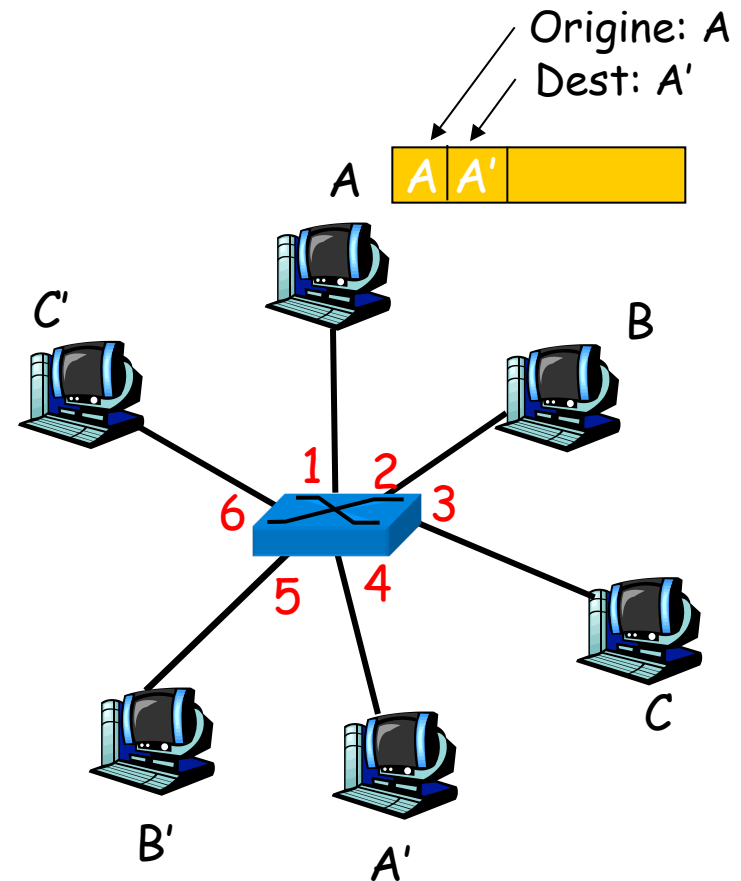
*switch con sei interfacce
(1,2,3,4,5,6)*

Switch: autoapprendimento

- Lo switch **apprende** quali nodi possono essere raggiunti attraverso determinate interfacce
 - quando riceve una frame, lo switch "impara" l'indirizzo MAC del mittente
 - registra la coppia mittente/indirizzo nella sua tabella di commutazione

Indir. MAC	Interfaccia	TTL
A	1	60

Tabella di commutazione (inizialmente vuota)



Switch: filtraggio e inoltra

Quando uno switch riceve un pacchetto

1. Registra il collegamento associato con l'host mittente
2. Indicizza la tabella utilizzando gli indirizzi MAC

if entry found for destination
 then{

 if dest on segment from which frame arrived
 then drop the frame

 else forward the frame on interface indicated

 }

else flood



*Lo inoltra su tutte le interfacce
tranne quella dalla quale
è arrivata la frame*

Esempio

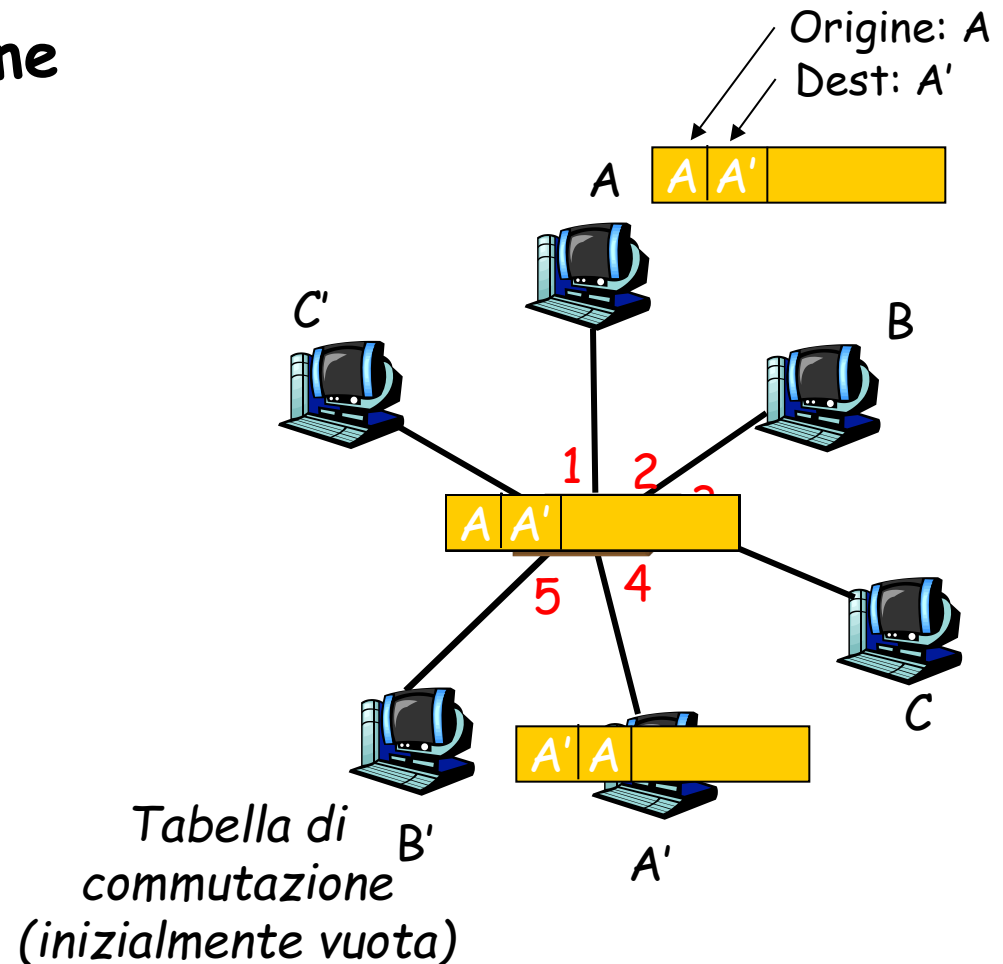
- Destinazione del frame ignota:

flood

- Destinazione A, location nota:

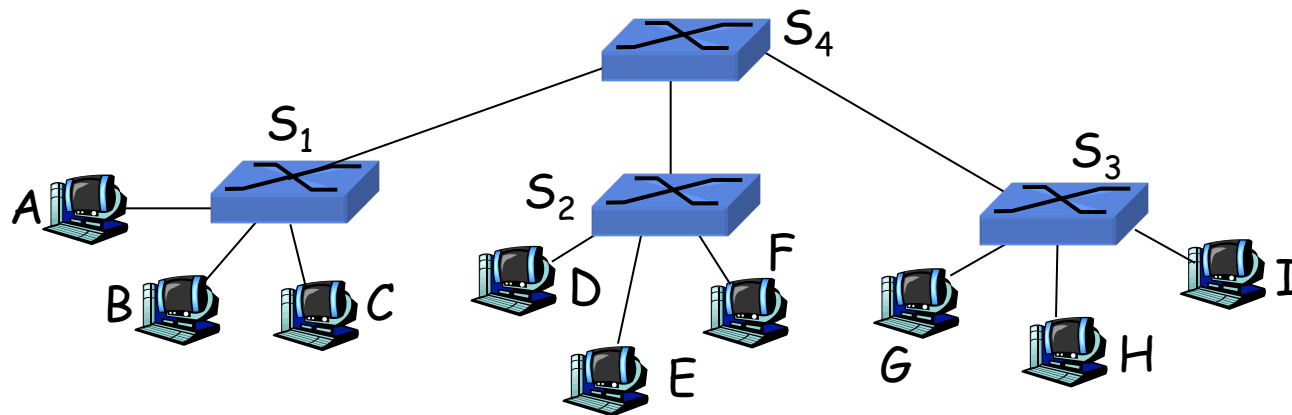
selective send

Indir. MAC	Interfaccia	TTL
A	1	60
A'	4	60



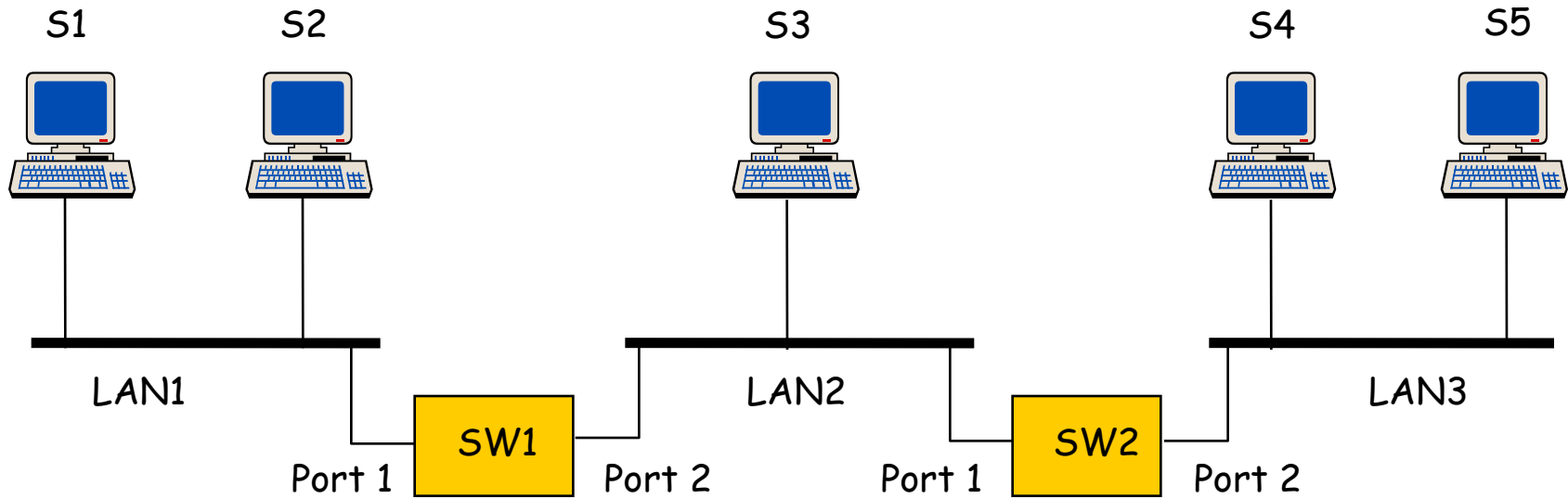
Collegamento tra switch

- Gli switch possono essere interconnessi



- Per inviare una frame da A a G, come fa S₁ a sapere che deve inoltrare il frame attraverso S₄ e S₃ ?
- Autoapprende (funziona esattamente come nel caso di un singolo switch)

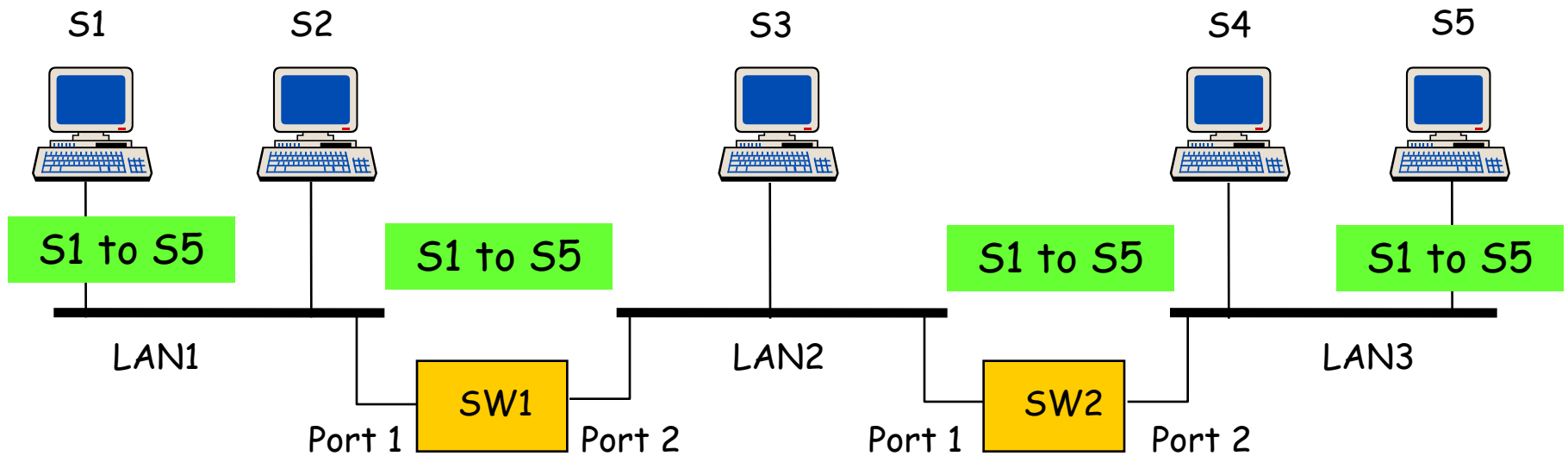
Esempio



Address	Port

Address	Port

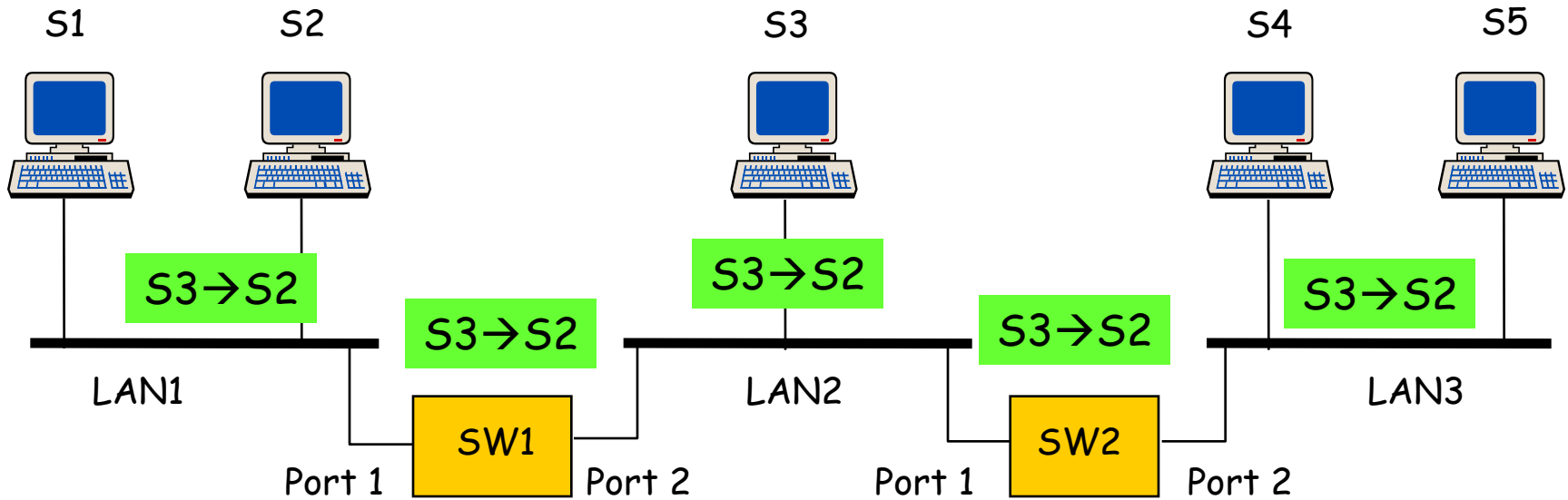
S1 → S5



Address	Port
S1	1

Address	Port
S1	1

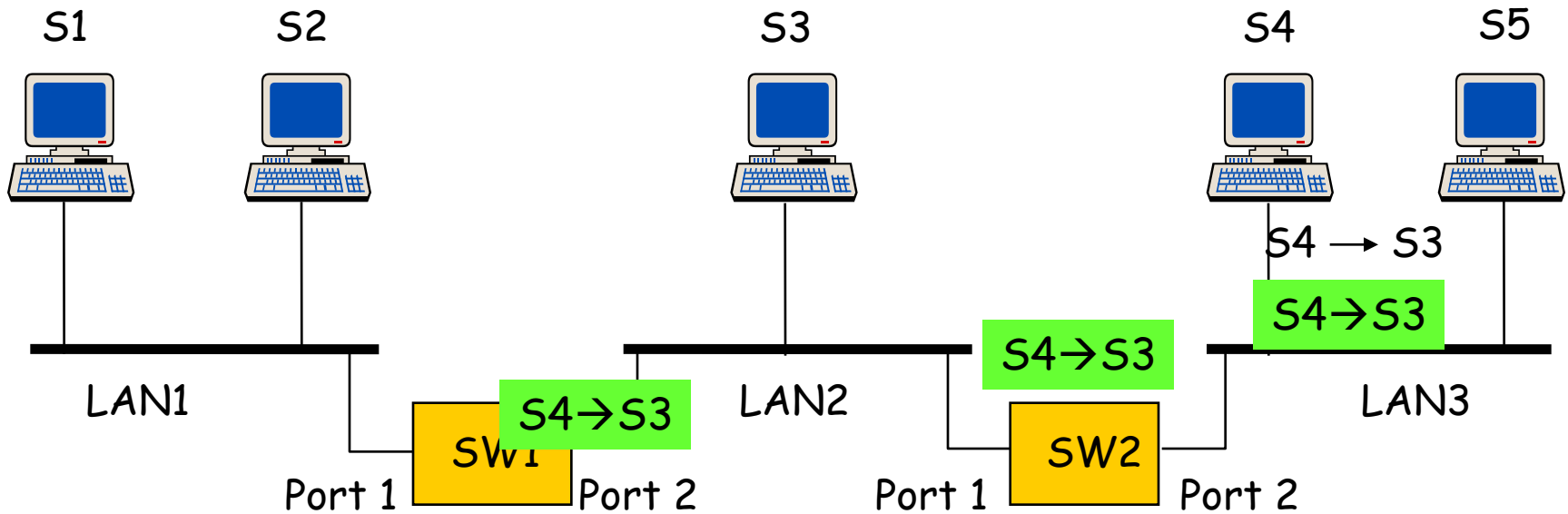
$S3 \rightarrow S2$



Address	Port
S1	1
S3	2

Address	Port
S1	1
S3	1

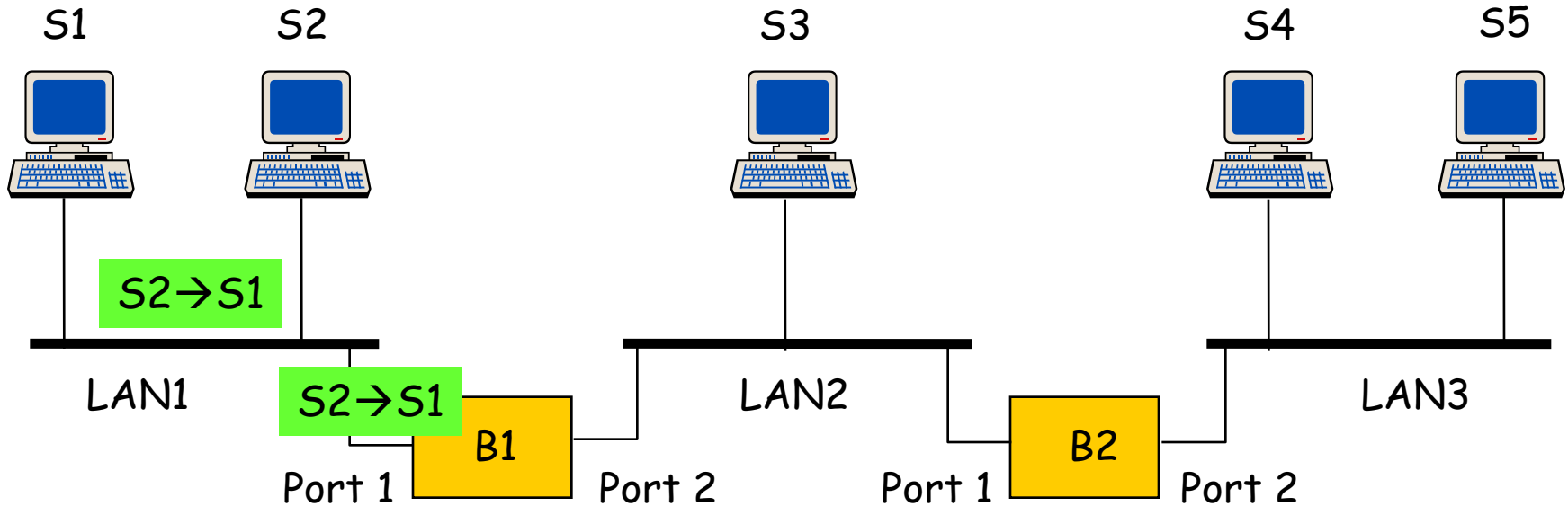
S4→S3



Address	Port
S1	1
S3	2
S4	2

Address	Port
S1	1
S3	1
S4	2

$S2 \rightarrow S1$



Address	Port
S1	1
S3	2
S4	2
S2	1

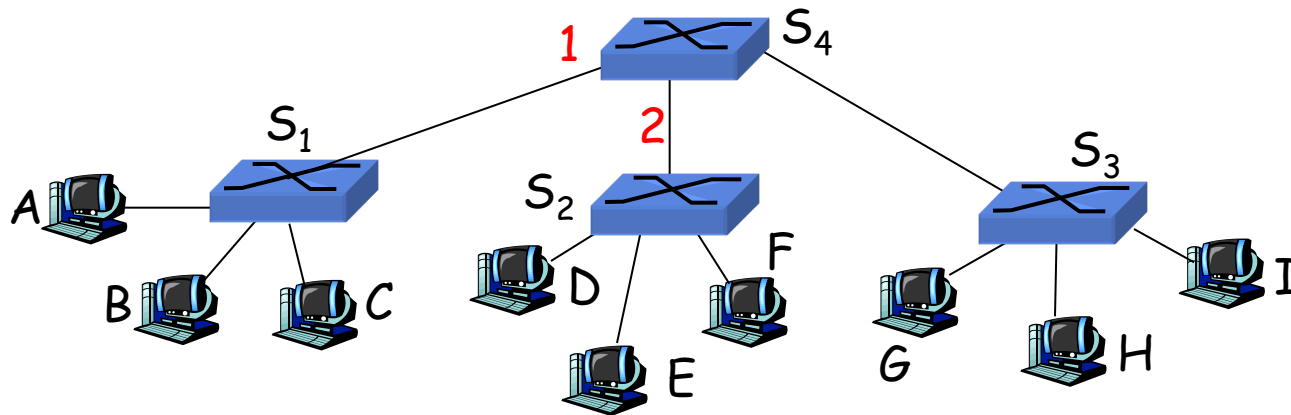
Address	Port
S1	1
S3	1
S4	2

Adaptive Learning

- In una rete statica il processo di apprendimento conduce allo stato in cui tutti gli indirizzi sono memorizzati
- In situazioni pratiche, le stazioni sono aggiunte, rimosse o spostate in una rete
 - Si introduce un timeout che forza periodicamente la ripetizione dell'apprendimento di ogni indirizzo
 - Le informazioni che non vengono rinfrescate sono cancellate dopo un tempo massimo (ageing time - 300s valore consigliato dallo standard)
 - Se una frame arriva su una porta che differisce da quella memorizzata nella switch table, questa viene aggiornata immediatamente

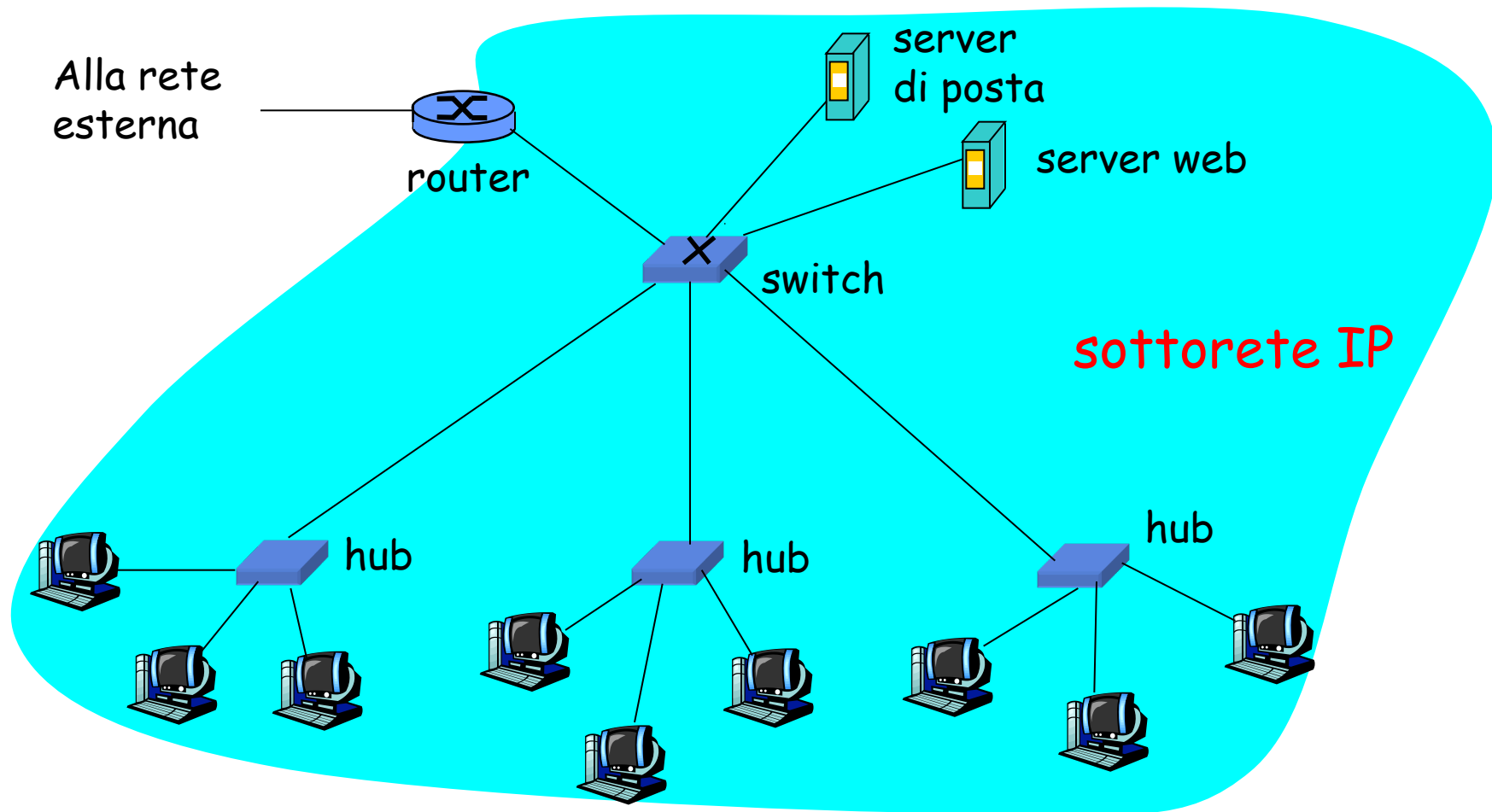
Esercizio

- Si ipotizzi che *C* invii un frame a *I*, e che *I* risponda a *C*



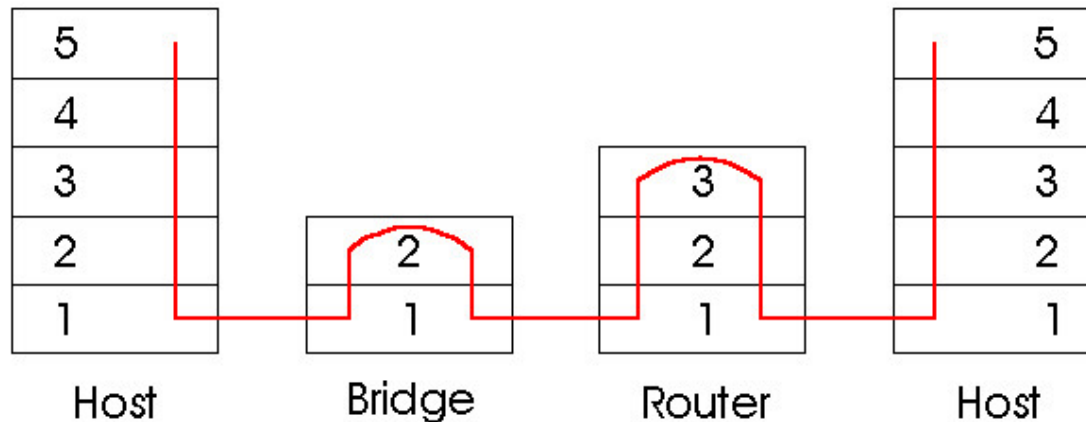
- Illustrate le tabelle di commutazione e l'inoltro delle frame in S₁, S₂, S₃, S₄

Esempio di rete di un'istituzione

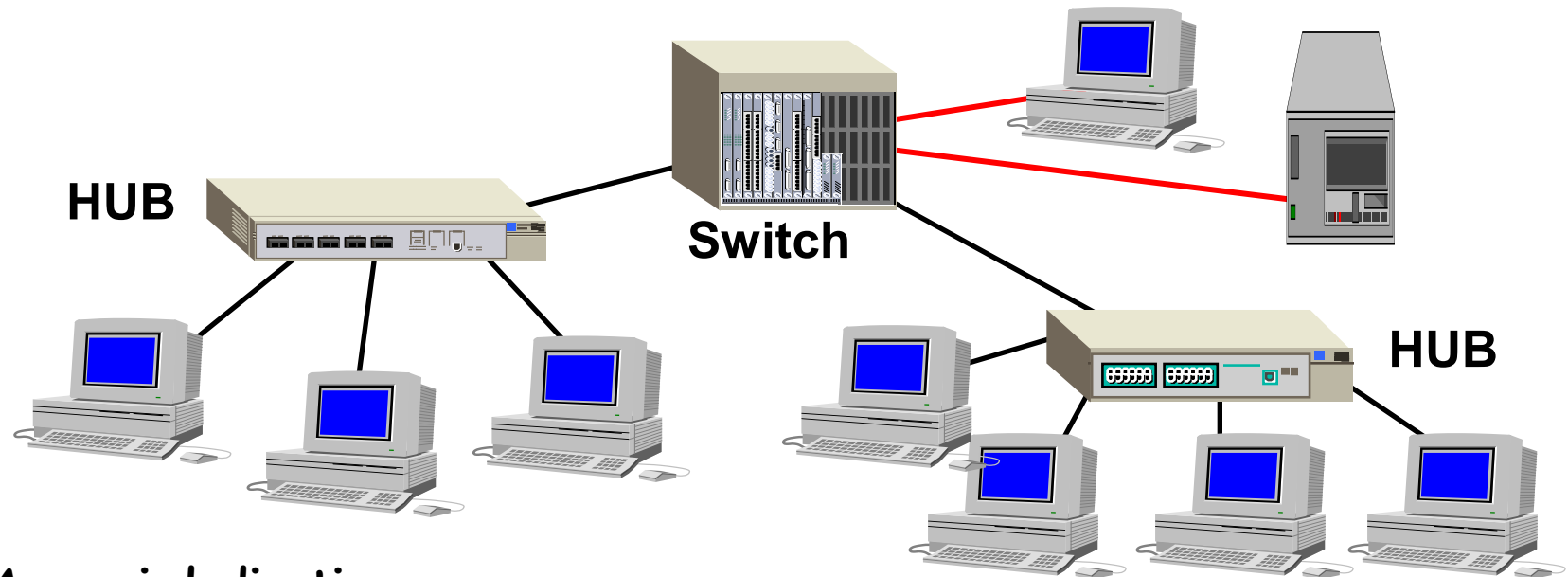


Switch e router a confronto

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



Posizione dello Switch?



- **Accessi dedicati**

- Utilizzo pesante e continuativo di risorse di rete
 - server
 - stazioni per video-comunicazione
 - etc.
- **Accessi condivisi**

- Stazioni che generano traffico discontinuo