

Livello di collegamento: Ethernet, PPP

Gaia Maselli
maselli@di.uniroma1.it

Queste slide sono un adattamento delle slide fornite dal libro di testo e pertanto protette da copyright.

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

Livello di collegamento e reti locali

Livello di collegamento: introduzione e servizi

Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

Protocolli di accesso multiplo

Indirizzi a livello di collegamento

Ethernet

Switch a livello di collegamento

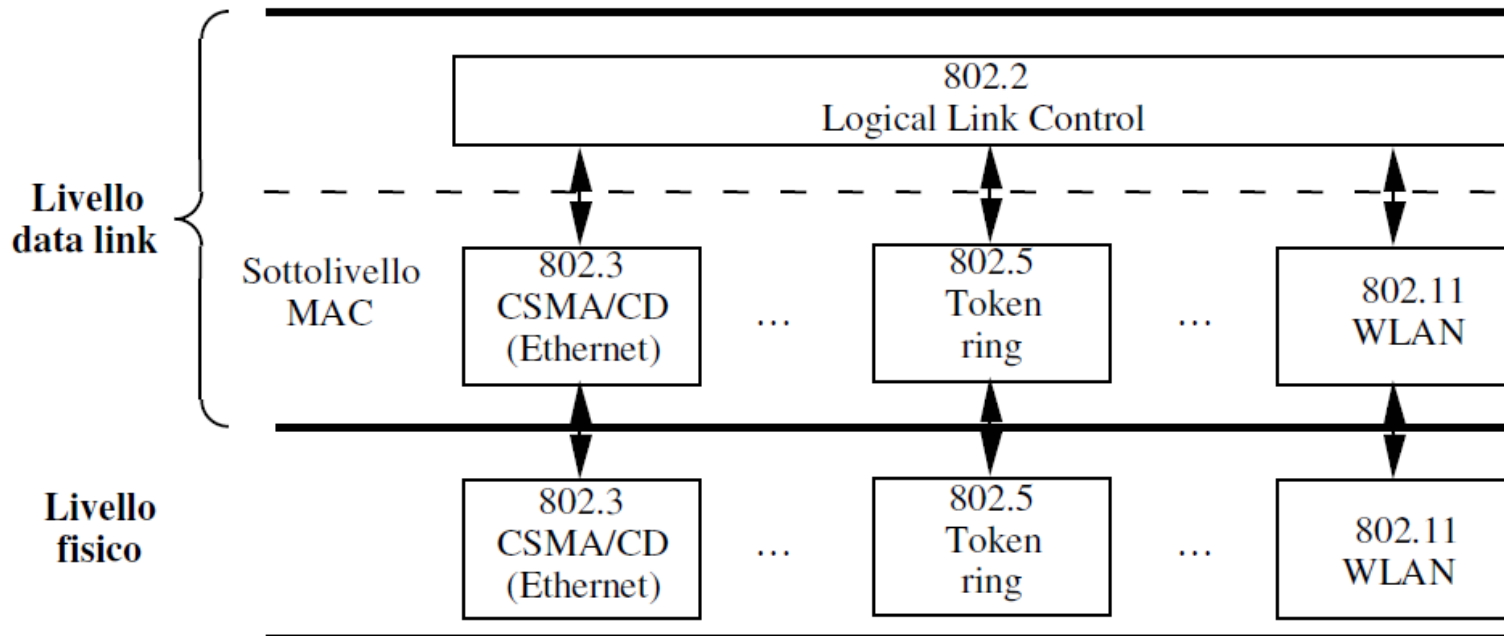
PPP: protocollo punto-punto

IEEE 802

- ❑ IEEE ha prodotto diversi standard per le LAN, collettivamente noti come IEEE 802. Essi includono gli standard per:
- ❑ **Specifiche generali** del progetto (802.1);
- ❑ **Logical link control, LLC** (802.2)
- ❑ **CSMA/CD** (802.3);
- ❑ **Token bus** (802.4, destinato a LAN per automazione industriale);
- ❑ **Token ring** (802.5);
- ❑ **DQDB** (802.6, destinato alle MAN);
- ❑ **WLAN** (802.11).

Standard IEEE 802

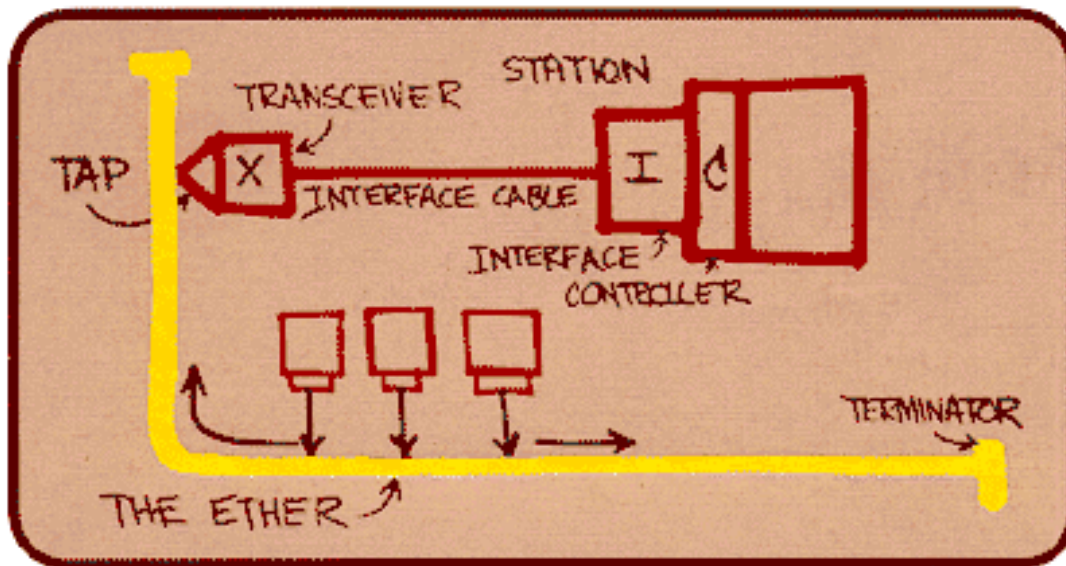
- I vari standard differiscono a livello fisico e nel sottolivello MAC, ma sono compatibili a livello data link.
 - Logical Link Control: rilevazione error, controllo flusso, parte del framing
 - MAC



Ethernet

Detiene una posizione dominante nel mercato delle LAN cablate.

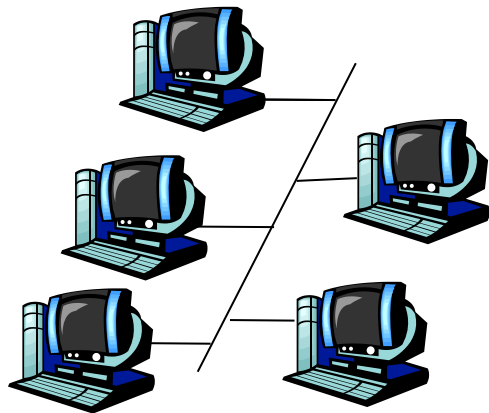
- ❑ È stata la prima LAN ad alta velocità con vasta diffusione.
- ❑ Più semplice e meno costosa di token ring, FDDI e ATM.
- ❑ Sempre al passo dei tempi con il tasso trasmissivo:
10 Mbps - 10 Gbps



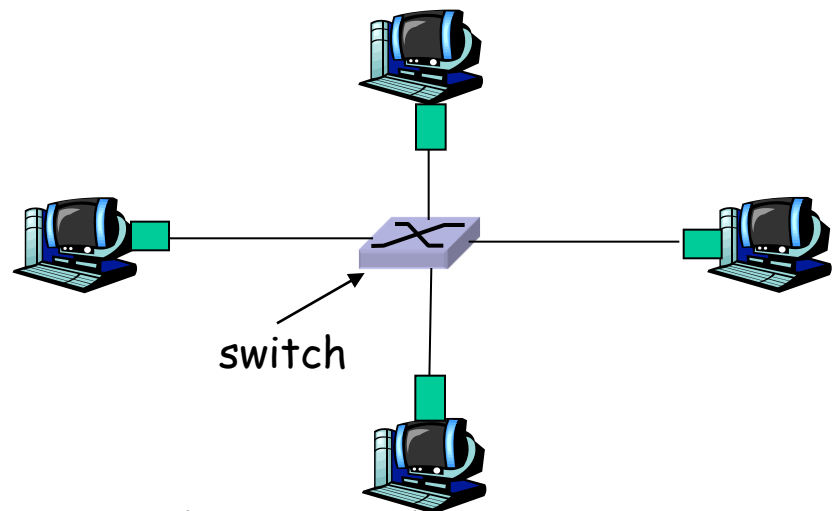
Il progetto originale di Bob Metcalfe che portò allo standard Ethernet.

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*).
- ❑ Ciascun nodo esegue un protocollo Ethernet separato e non entra in collisione con gli altri (ci sono ragioni tecniche dietro questa topologia con lo scopo di ridurre le collisioni)



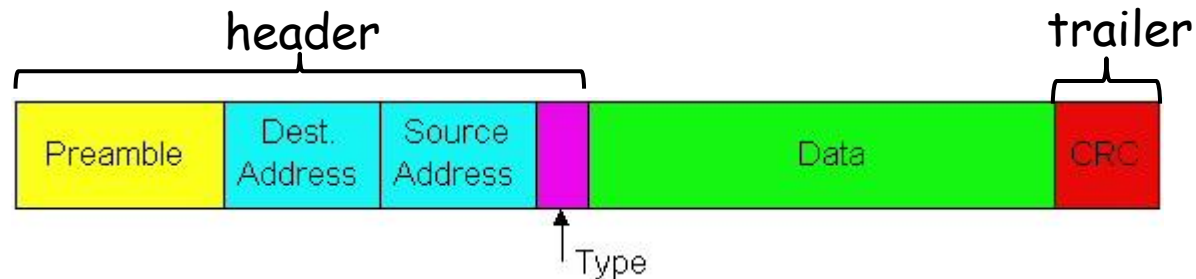
Bus: cavo coassiale



Topologia a stella

Struttura dei pacchetti Ethernet

La NIC (Network Interface Card) trasmittente incapsula i datagrammi IP in un **pacchetto Ethernet**.



□ **Preambolo:** 8 byte

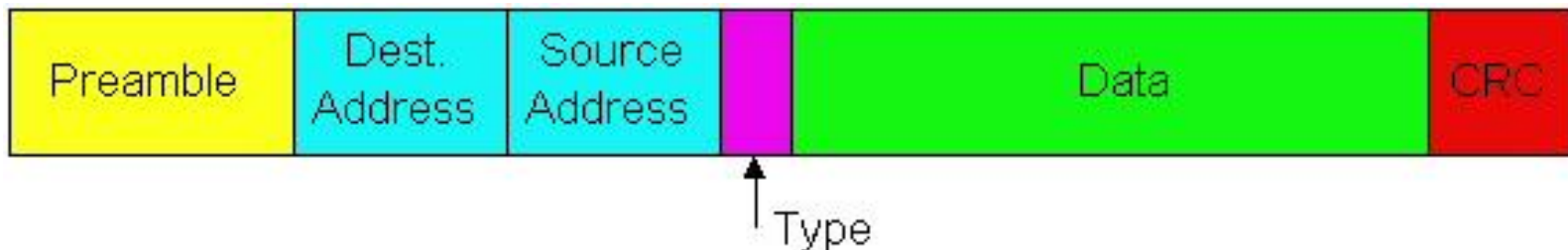
- I pacchetti Ethernet iniziano con un campo di otto byte: sette hanno i bit 10101010 e l'ultimo è 10101011. (gli ultimi due bit "11" indicano che inizia l'header MAC)
- Serve per "attivare" le NIC dei riceventi e sincronizzare i loro orologi con quello del trasmittente
- In realtà fa parte dell'header del livello **fisico** !!!!

□ **Indirizzi:** 6 byte

- Quando una NIC riceve un pacchetto contenente l'indirizzo di destinazione o con l'indirizzo broadcast (es.: un pacchetto ARP), trasferisce il contenuto del campo dati del pacchetto al livello di rete.
- I pacchetti con altri indirizzi MAC vengono ignorati

Struttura dei pacchetti Ethernet

- ❑ **Campo tipo:** 2 byte - consente a Ethernet di supportare vari protocolli di rete (in gergo questa è la funzione di "multiplexare" i protocolli).
- ❑ **Campo Dati** (da 46 a 1500 byte) contiene datagramma IP se il datagramma è inferiore alla dimensione minima (46 byte) il campo viene *stuffed* con degli zeri fino a raggiungere quel valore
- ❑ **Controllo CRC:** consente alla NIC ricevente di rilevare la presenza di un errore nei bit del pacchetto.



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:** la NIC 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.

Fasi operative del protocollo CSMA/CD

1. **Framing:** La NIC riceve un datagramma di rete dal nodo cui è collegato e prepara un pacchetto Ethernet.
2. **Carrier Sense e trasmissione:** Se il canale è inattivo, inizia la trasmissione. Se il canale risulta occupato, resta in attesa fino a quando non rileva più il segnale, a quel punto trasmette
3. **Collision detection:** Verifica, durante la trasmissione, la presenza di eventuali segnali provenienti da altre NIC. Se non ne rileva, considera il pacchetto spedito.
4. **Jamming:** Se rileva segnali da altre NIC, interrompe immediatamente la trasmissione del pacchetto e invia un segnale di disturbo (*jam*).
5. **Backoff esponenziale:** La NIC rimane in attesa. Quando riscontra l' n -esima collisione consecutiva, stabilisce un valore k tra $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$, dove m è il minimo tra n e 10. La NIC aspetta un tempo pari a K volte 512 bit e ritorna al Passo 2.

Protocollo CSMA/CD di Ethernet

Segnale di disturbo (*jam*):

48 bit - la finalità è di avvisare della collisione tutti gli altri NIC che sono in fase trasmissiva.

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

Attesa (backoff) esponenziale:

- **Obiettivo:** la NIC 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 $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$.

Efficienza di Ethernet

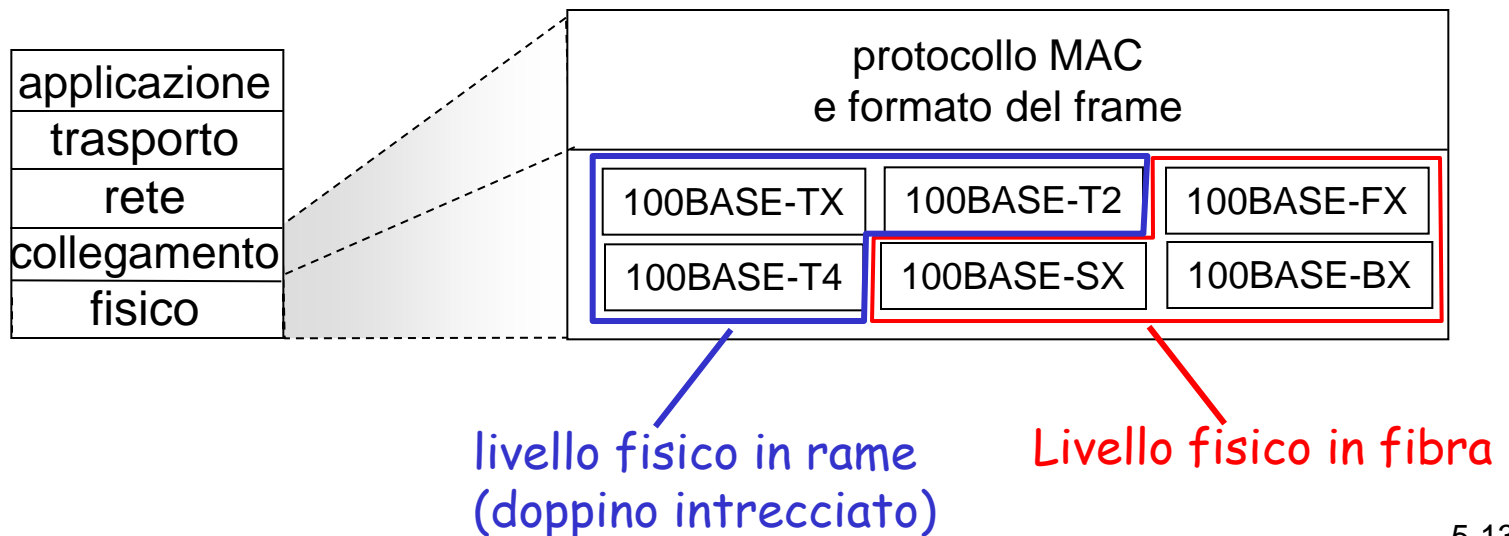
- T_{prop} = tempo massimo che occorre al segnale per propagarsi fra una coppia di NIC.
- t_{trasm} = tempo necessario per trasmettere un pacchetto della maggior dimensione possibile.

$$\text{efficienza} = \frac{1}{1 + 5t_{prop} / t_{trasm}}$$

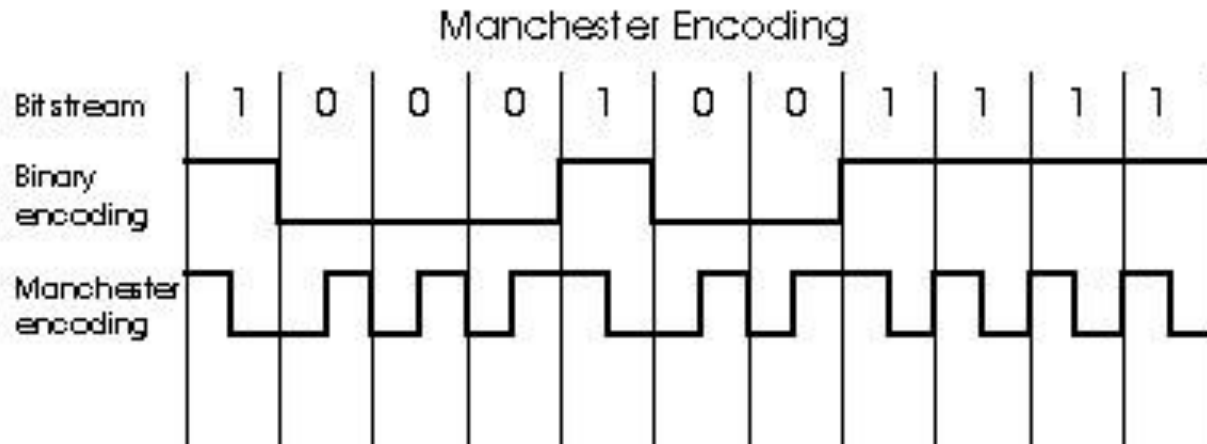
- Si evince che quando t_{prop} tende a 0, l'efficienza tende a 1.
- Al crescere di t_{trans} , l'efficienza tende a 1.
- Molto meglio di ALOHA: decentralizzato, semplice, e poco costoso.

Ethernet 802.3 : livelli di collegamento e fisico

- *multi* differenti standard Ethernet
 - protocollo MAC e formato del frame standard
 - differenti velocità: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10G bps
 - differenti mezzi trasmissivi del livello fisico: fibra, cavo



Codifica Manchester



- ❑ Usata in 10BaseT
- ❑ Durante la ricezione di ciascun bit si verifica una transizione.
- ❑ Permette di sincronizzare gli orologi degli adattatori trasmettenti e riceventi.
 - Non c'è bisogno di un clock centralizzato e globale tra i nodi!
- ❑ La codifica Manchester è un'operazione del livello fisico!

Livello di collegamento e reti locali

Livello di collegamento: introduzione e servizi

Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

Protocolli di accesso multiplo

Indirizzi a livello di collegamento

Ethernet

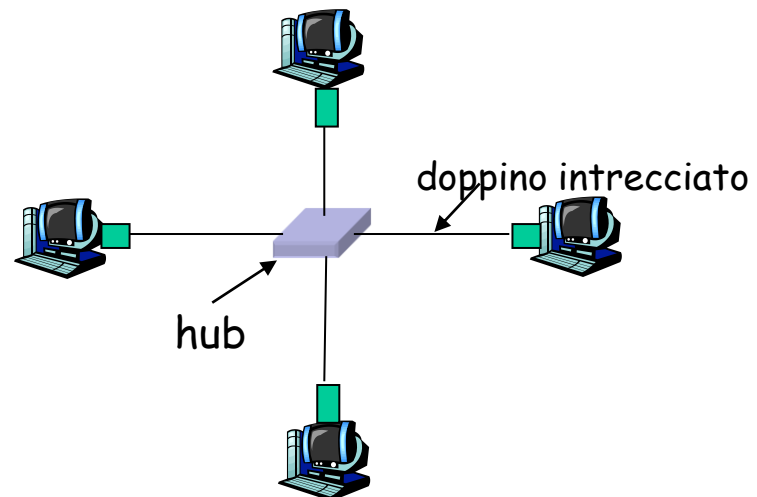
Switch a livello di collegamento

PPP: protocollo punto-punto

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 ciascuna NIC può sondare il canale per verificare se è libero e rilevare una collisione mentre trasmette

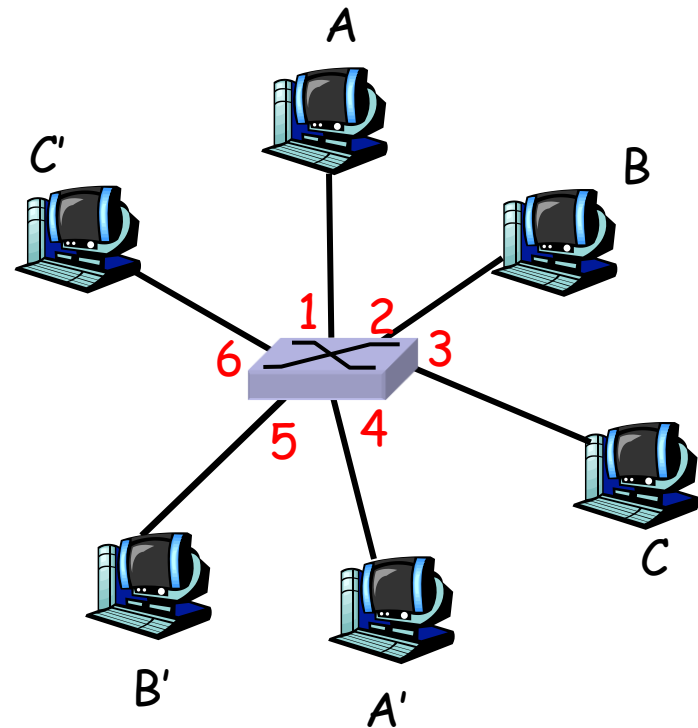


Switch

- ❑ **Dispositivo del livello di link: più intelligente di un hub, svolge un ruolo *attivo***
 - 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.

Switch: consente più trasmissioni simultanee

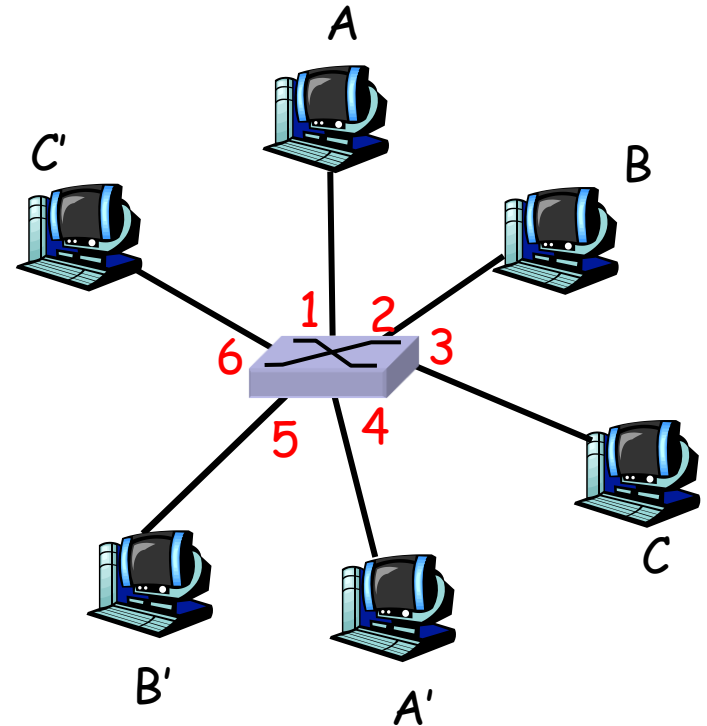
- ❑ Gli host hanno collegamenti dedicati e diretti con lo switch
- ❑ Gli switch bufferizzano i pacchetti
- ❑ Il protocollo Ethernet è usato su ciascun collegamento in entrata, ma non si verificano collisioni; full duplex
- ❑ **switching**: da A ad A' e da B a B' simultaneamente, senza collisioni
 - Non possibile con gli hub



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

Tabella di commutazione

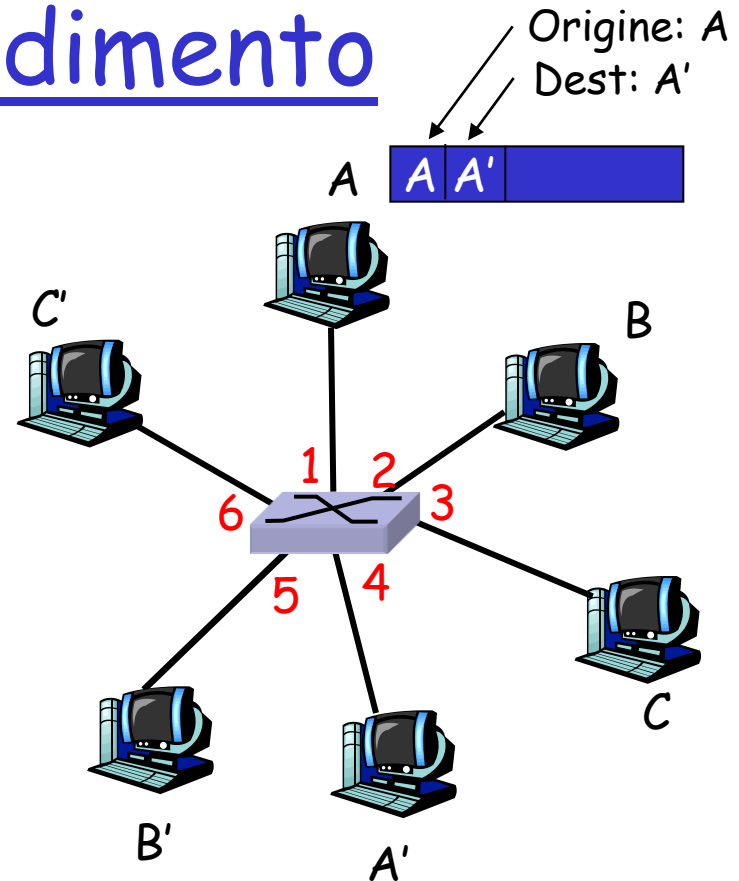
- **D:** come fa lo switch a sapere che A' è raggiungibile attraverso l'interfaccia 4 e B' attraverso l'interfaccia 5?
- **R:** ogni switch ha una **tabella di commutazione** (*switch table*), e ciascuna voce:
 - (indirizzo MAC del nodo, interfaccia che conduce al nodo, time stamp)
- Assomiglia a una tabella d'instradamento!
- **D:** come si creano e si mantengono le voci di una tabella di commutazione?
 - Come in un protocollo di instradamento?



*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 un pacchetto, lo switch "impara" l'indirizzo 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

}

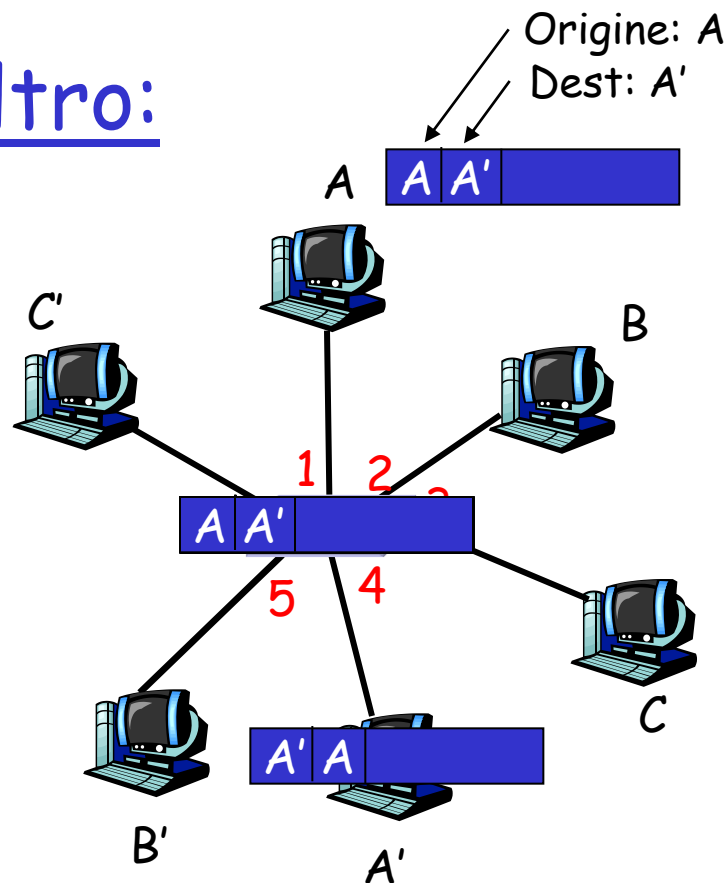
else flood

Lo inoltra a tutti tranne all'interfaccia dalla quale è arrivato il pacchetto

Autoapprendimento, inoltro: un esempio

- ❑ Destinazione del frame ignota: *flood*
- ❑ destinazione A, location nota: *selective send*

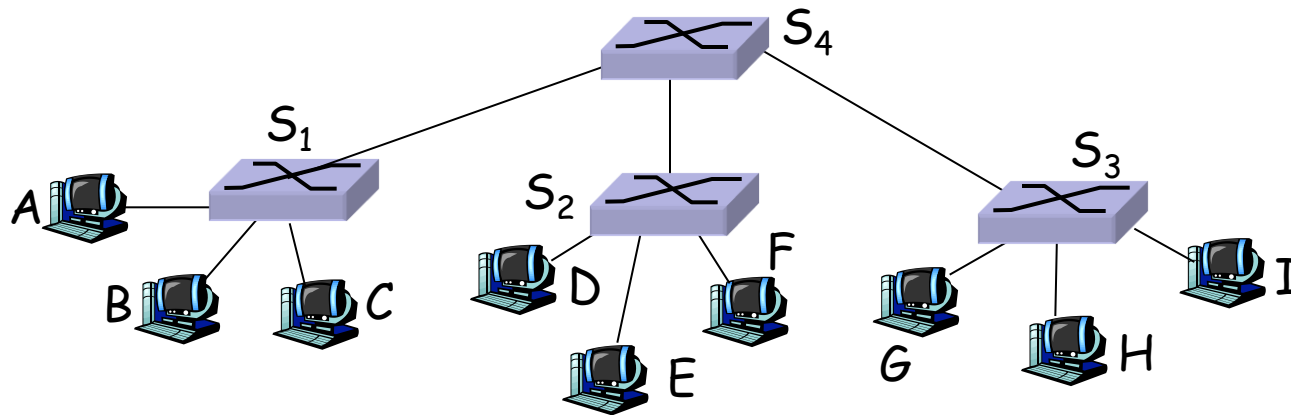
Indir. MAC	Interfaccia	TTL
A	1	60
A'	4	60



*Tabella di commutazione
(inizialmente vuota)*

Collegare gli switch

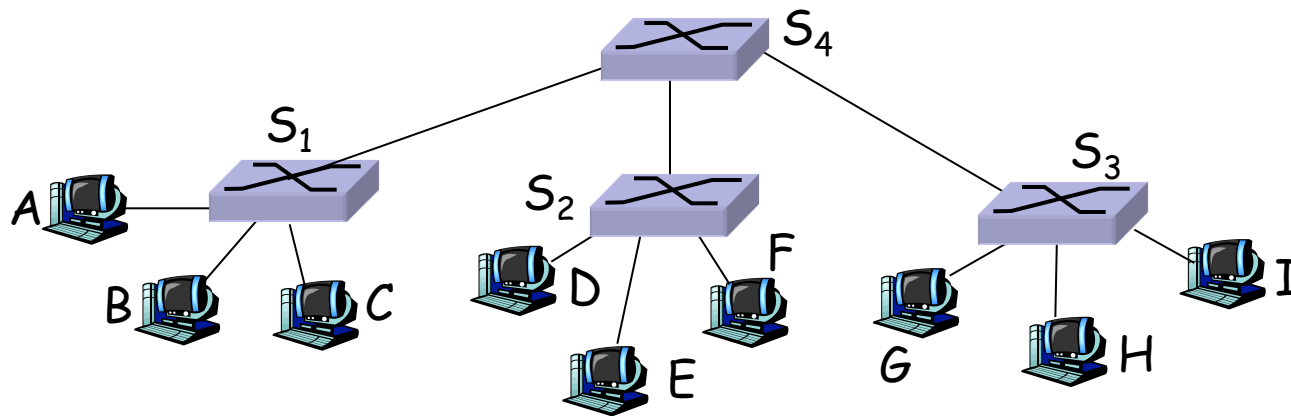
- Gli switch possono essere interconnessi



- D: per inviare da A a G, come fa S₁ a sapere che deve inoltrare il frame attraverso S₄ e S₃?
- A: autoapprende! (funziona esattamente come nel caso di un singolo switch!)

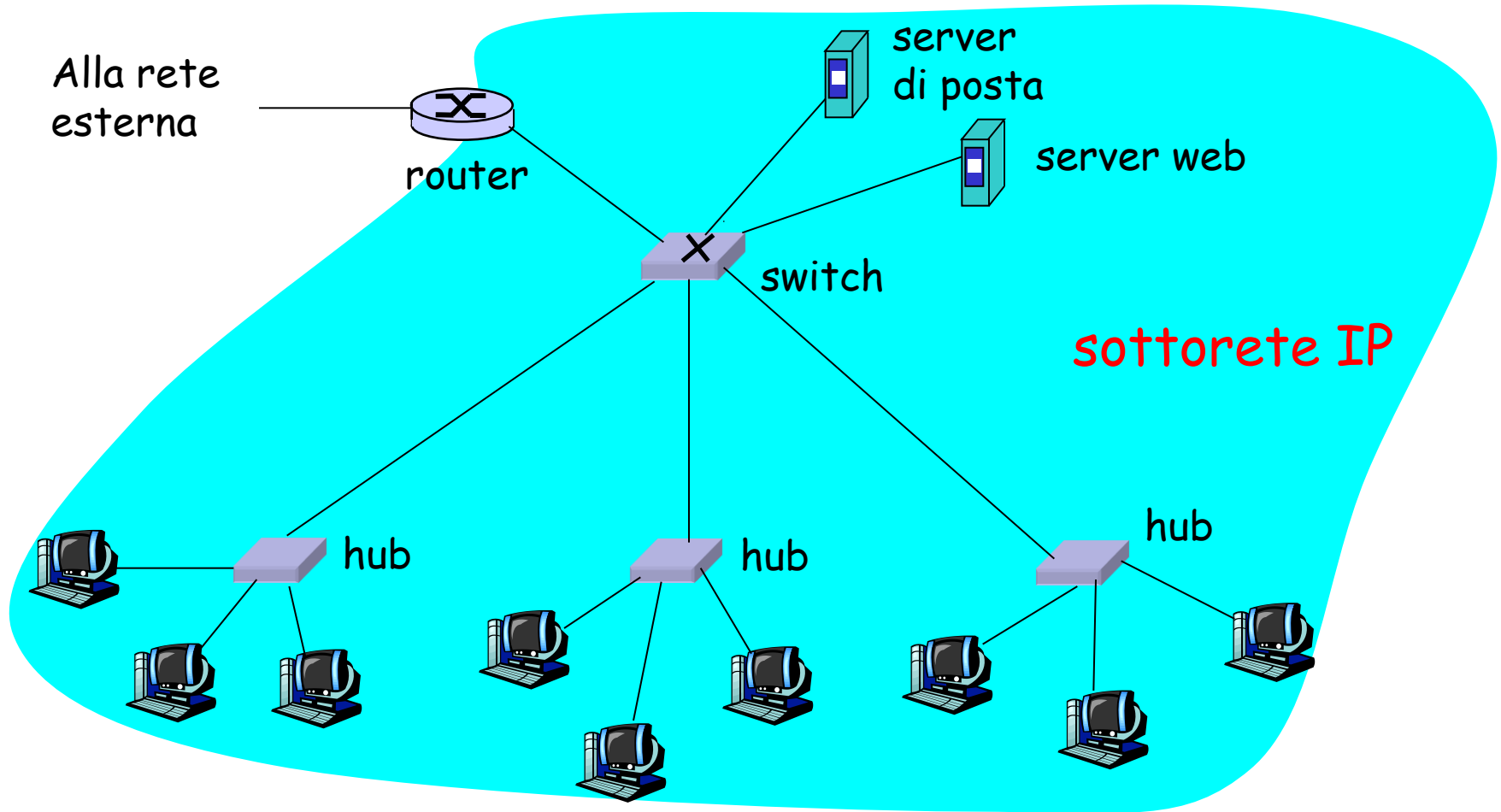
Esempio di apprendimento multi-switch

Supponiamo che C invii un frame a I, e che I risponda a C



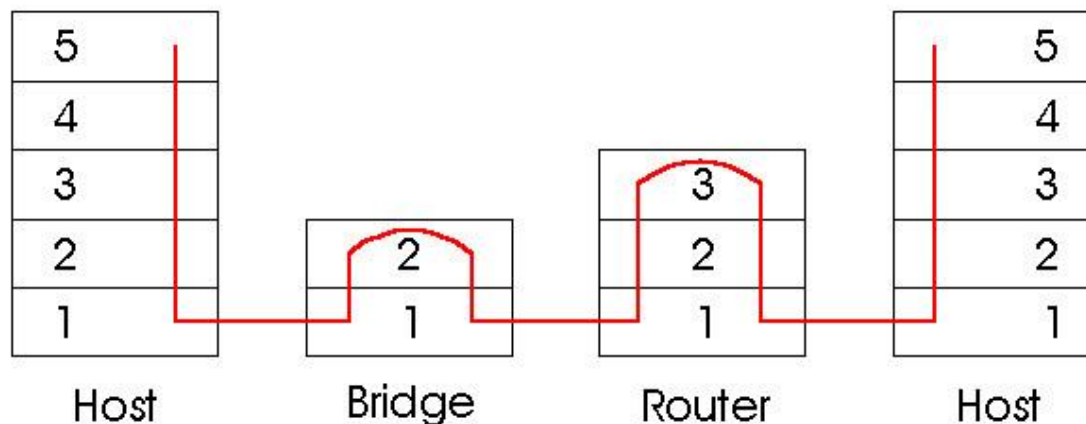
D: illustrate le tabelle di commutazione e l'inoltro dei pacchetti in S₁, S₂, S₃, S₄

Esempio di rete di un'istituzione



Switch e router a confronto

- ❑ Entrambi sono dispositivi store-and-forward
 - router: dispositivi a livello di rete (esaminano le intestazioni del livello di rete)
 - switch: dispositivi a livello di collegamento
- ❑ 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



Livello di collegamento e reti locali

Livello di collegamento: introduzione e servizi
Tecniche di rilevazione e correzione degli errori
Protocolli di accesso multiplo
Indirizzi a livello di collegamento
Ethernet
Switch a livello di collegamento
PPP: protocollo punto-punto

Protocollo punto-punto

- Un mittente, un destinatario, un collegamento: estremamente semplice.
 - non c'è protocollo di accesso al mezzo (MAC)
 - non occorre indirizzamento MAC esplicito
 - il collegamento potrebbe essere una linea telefonica serale commutata, un collegamento SONET/SDH, una connessione X.25 o un circuito ISDN
- Protocolli punto-punto DLC più diffusi:
 - PPP (*point-to-point protocol*)
 - HDLC (*high-level data link control*)

Requisiti di IETF per il progetto PPP [RFC 1547]

- ❑ **Framing dei pacchetti:** il protocollo PP del mittente incapsula un pacchetto a livello di rete all'interno del un pacchetto PPP a livello di link.
- ❑ **Trasparenza:** il protocollo PPP non deve porre alcuna restrizione ai dati che appaiono nel pacchetto a livello di rete.
- ❑ **Rilevazione degli errori** (ma non la correzione)
- ❑ **Disponibilità della connessione:** il protocollo deve rilevare la presenza di eventuali guasti a livello di link e segnalare l'errore al livello di rete.
- ❑ **Negoziazione degli indirizzi di rete:** PPP deve fornire un meccanismo ai livelli di rete comunicanti per ottenere o configurare gli indirizzi di rete.

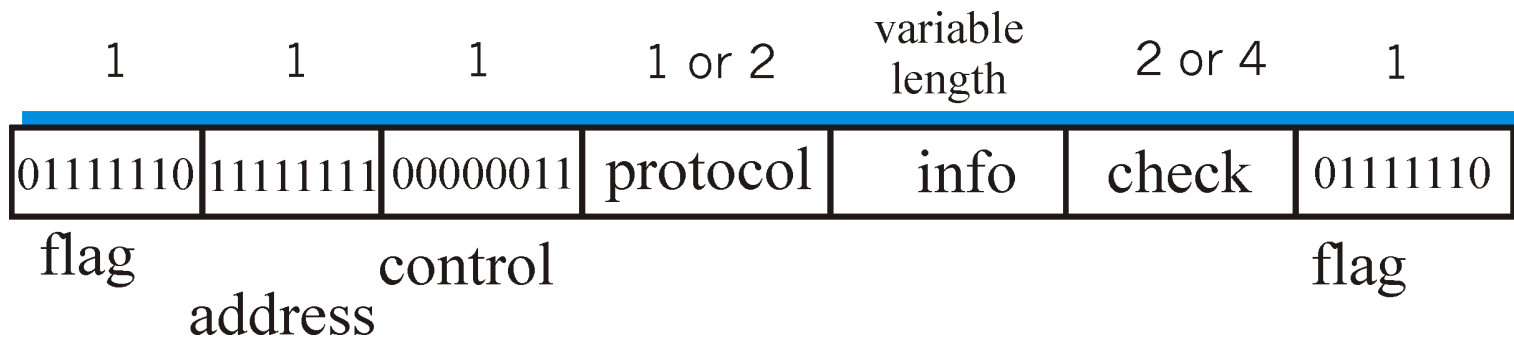
Requisiti che PPP non deve implementare

- ❑ Correzione degli errori.
- ❑ Controllo di flusso.
- ❑ Sequenza (non deve necessariamente trasferire i pacchetti al ricevente mantenendo lo stesso ordine).
- ❑ Collegamento multipunto (es., polling).

Correzione degli errori, controllo di flusso,
ri-ordinamento dei pacchetti
sono delegati ai livelli superiori!

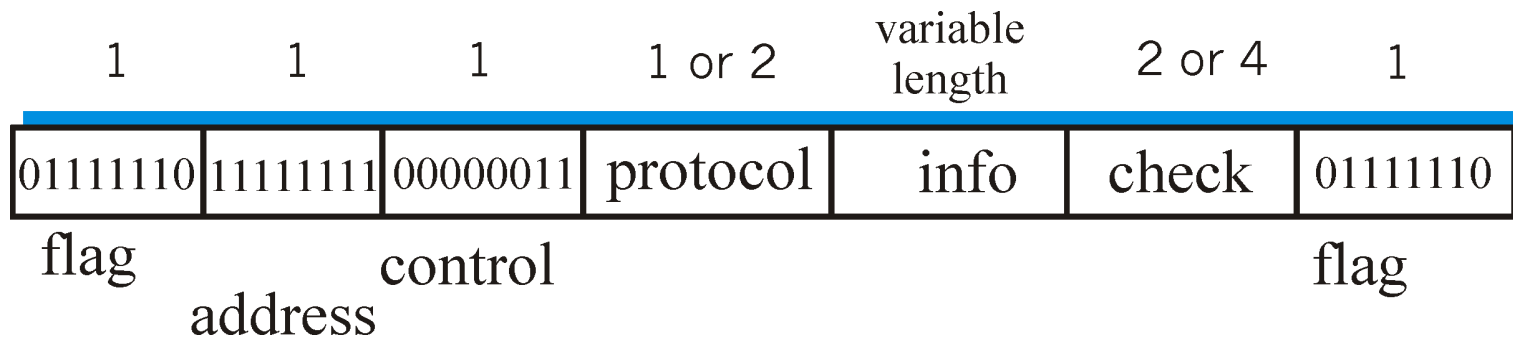
Formato dei pacchetti dati PPP

- ❑ **Flag:** ogni pacchetto inizia e termina con un byte con valore 01111110
- ❑ **Indirizzo:** unico valore (11111111)
- ❑ **Controllo:** unico valore; ulteriori valori potrebbero essere stabiliti in futuro
- ❑ **Protocollo:** indica al PPP del ricevente qual è il protocollo del livello superiore cui appartengono i dati incapsulati



Formato dei pacchetti dati PPP

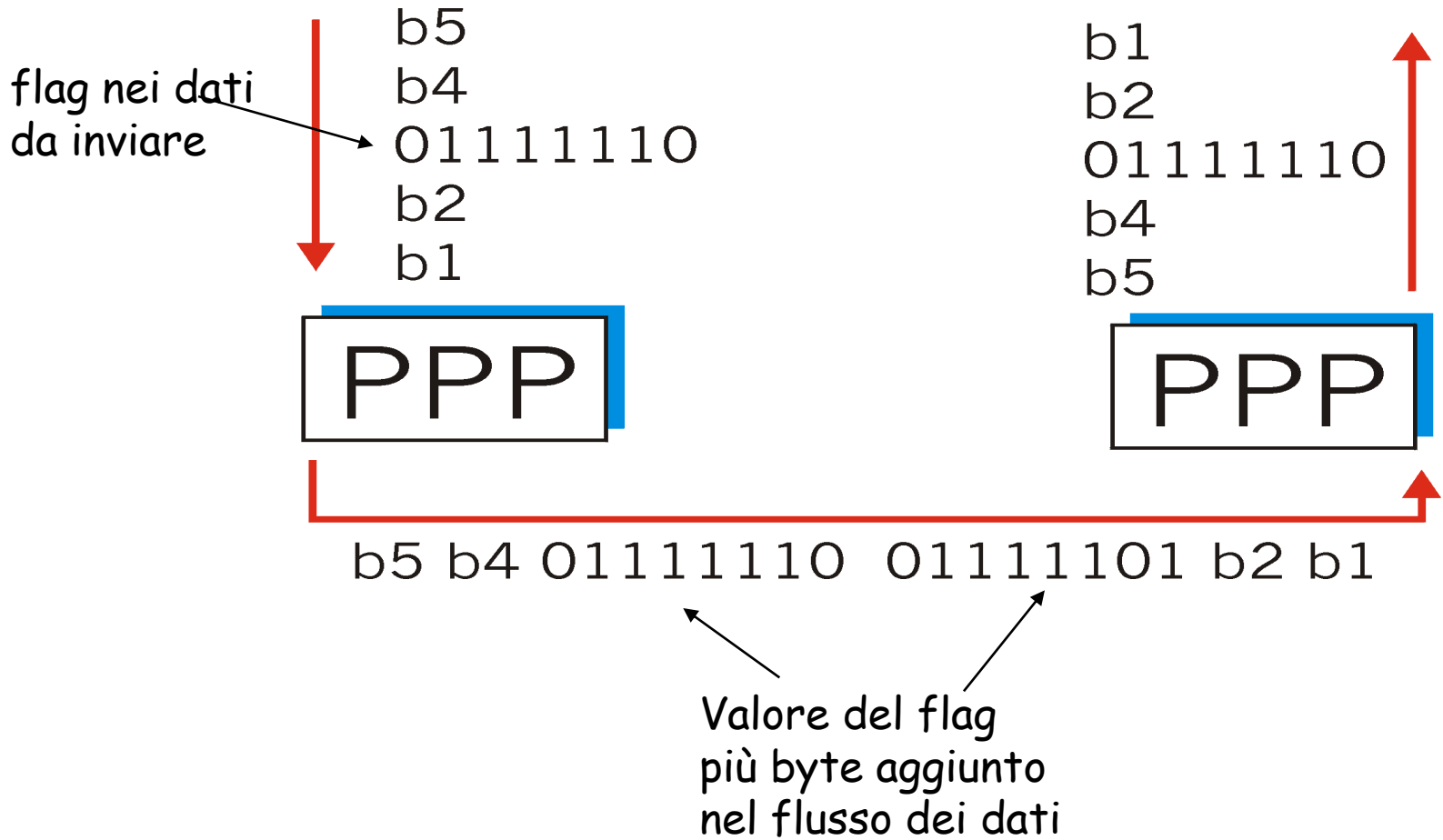
- **informazioni:** incapsula il pacchetto trasmesso da un protocollo del livello superiore (come IP) sul collegamento PPP.
- **checksum:** utilizzato per rilevare gli errori nei bit contenuti in un pacchetto; utilizza un codice a ridondanza ciclica HDLC a due o a quattro byte.



Riempimento dei byte (Byte stuffing)

- ❑ Requisito di trasparenza: nel campo informazioni deve essere possibile inserire una stringa <01111110>
 - D: se compare <01111110> come fa il ricevente a rilevare in modo corretto la fine del frame PPP?
- ❑ **Mittente**: aggiunge ("stuff") un byte di controllo <01111101> prima di ogni byte di dati <01111110> e <01111101
- ❑ **Destinatario**:
 - Singolo 01111110: valore di flag
 - Scarta il byte 01111101

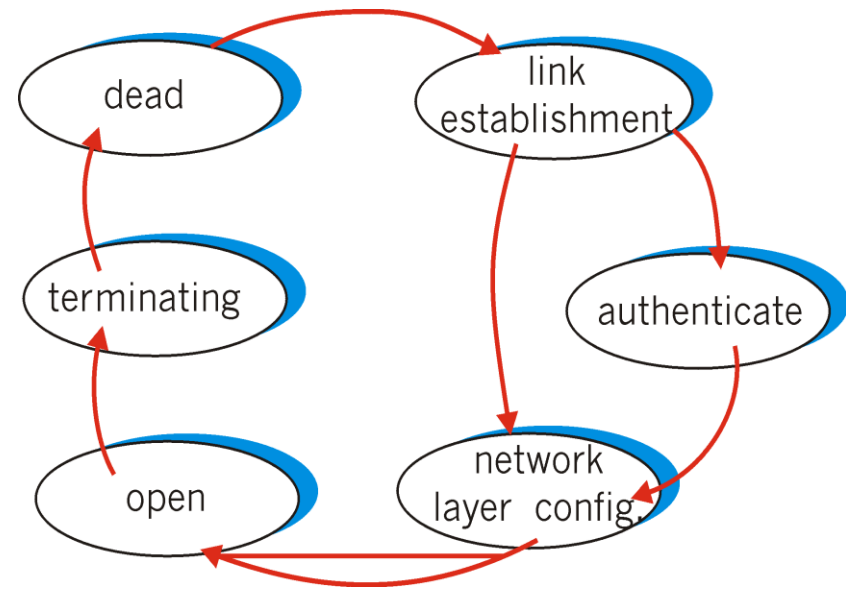
Byte stuffing



Protocollo di controllo del collegamento e protocolli di rete

Prima di avviare lo scambio di dati, i due peer devono configurare il collegamento:

- ❑ **Configurazione del collegamento PPP** (massima dimensione del pacchetto, autenticazione).
- ❑ **Scambio dei pacchetti di controllo propri del livello di rete**
 - per IP: viene utilizzato il protocollo di controllo IP (IPCP) e i dati IPCP sono inseriti in un pacchetto PPP (il cui campo protocollo contiene 8021) in modo analogo a quello in cui i dati LCP sono inseriti in un pacchetto PPP



facciamo il punto

- ❑ Abbiamo **completato il nostro viaggio** attraverso la pila dei protocolli (ad eccezione del livello fisico)
- ❑ Abbiamo una **solida conoscenza dei principi del networking**, e anche degli aspetti pratici
- ❑ Potremmo fermarci qui... ma ci sono ancora **un sacco di argomenti interessanti!**
 - Wireless
 - Sicurezza di rete
 - ...