



*Corso di Laurea Triennale in Informatica  
Università degli Studi della Basilicata*

# Reti di Calcolatori

Docente: Ugo Erra

*ugo.erra+reti@unibas.it*

14° Lezione – Livello di collegamento – II° parte

# Sommario



- **Indirizzi a livello di link**
- Ethernet
- Interconnessioni: hub e commutatori
- Cenni di PPP: protocollo punto-punto

# Indirizzi IPe MAC

- Indirizzo IP a 32 bit:
  - ▣ Indirizzo a livello di rete
  - ▣ Analogo all'indirizzo postale di una persona
  - ▣ Struttura gerarchica
    - Una parte identifica la rete ed una parte gli host
  - ▣ Da aggiornare quando una persona cambia residenza
- Indirizzo MAC a 48 bit
  - ▣ Indirizzo a livello di collegamento
  - ▣ Analogo al numero di codice fiscale di una persona
  - ▣ Struttura piatta
    - Ovvero non gerarchica
  - ▣ Non varia a seconda del luogo in cui la persona si trasferisce

# MAC – Media Access Control



- ❑ L'**indirizzo MAC** (o **MAC address**) viene detto anche *indirizzo fisico*, *indirizzo ethernet* o *indirizzo LAN*
- ❑ E' un codice di 48 bit (6 byte)
- ❑ Assegnato in modo univoco ad ogni scheda di rete ethernet prodotta al mondo
- ❑ MAC o *Media Access Control* viene utilizzato per l'accesso al mezzo fisico dal livello di collegamento (o Data Link) secondo lo standard IEEE 802

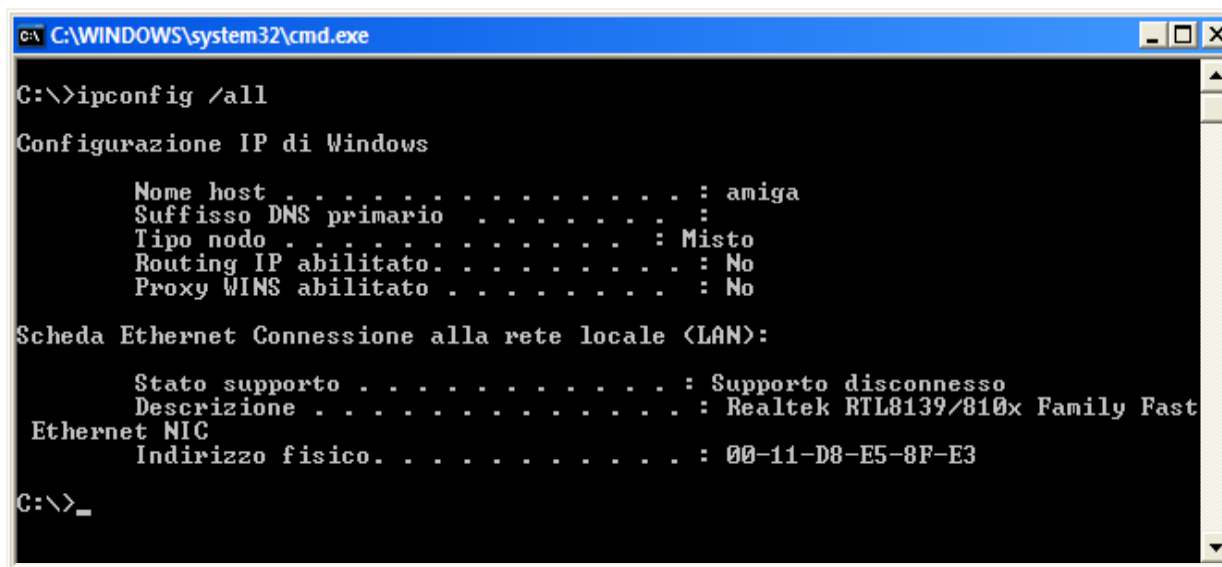
# Indirizzo MAC



- I 48 bit del codice sono suddivisi in 12 cifre esadecimali:
  - ▣ Le prime 6 cifre individuano il produttore dell'interfaccia di rete
  - ▣ Le successive corrispondono al numero di serie della scheda stessa
- L'indirizzo MAC si scrive normalmente in 6 ottetti separati da un trattino (es. 00-50-FC-A0-67-2C) ed i primi 3 ottetti sono detti OUI (Organizationally Unique Identifier)
  - ▣ Per questo tipo di indirizzi di solito si preferisce la notazione esadecimale anche per differenziarla dagli indirizzi IP che usano la notazione decimale

# MAC Address - 3

- Possiamo sempre ricavare il MAC address della scheda di rete
  - ▣ Sotto windows `ipconfig /all`



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>ipconfig /all

Configurazione IP di Windows

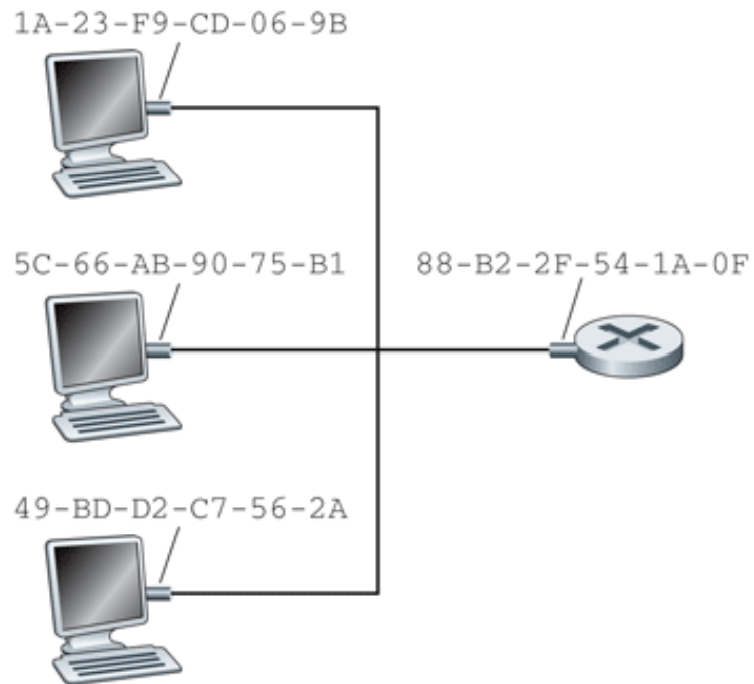
    Nome host . . . . . : amiga
    Suffisso DNS primario . . . . . :
    Tipo nodo . . . . . : Misto
    Routing IP abilitato. . . . . : No
    Proxy WINS abilitato . . . . . : No

Scheda Ethernet Connessione alla rete locale (LAN):

    Stato supporto . . . . . : Supporto disconnesso
    Descrizione . . . . . : Realtek RTL8139/810x Family Fast
Ethernet NIC
    Indirizzo fisico. . . . . : 00-11-D8-E5-8F-E3

C:\>_
```

# Indirizzi LAN e ARP



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

# Come usiamo gli indirizzi MAC?

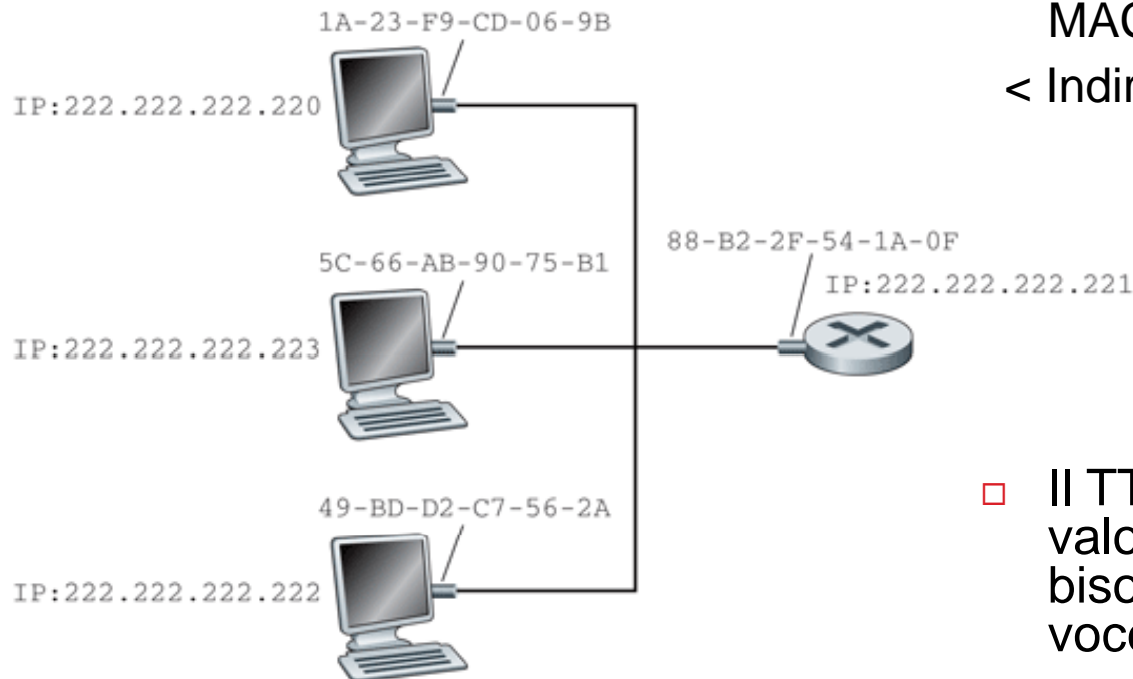
- Quando un nodo vuole spedire un pacchetto inserisce l'indirizzo MAC di destinazione nel frame
- Ogni scheda controllerà se l'indirizzo MAC corrisponde al suo
  - Se corrisponde al suo MAC l'adattatore estrae il datagramma e lo inoltra verso l'alto alla pila dei protocolli
  - Se non corrisponde al suo MAC lo cestina
- Nel caso di LAN broadcast il pacchetto sarà ricevuto da tutti gli adattatori (scheda di rete)
  - La destinazione sarà FF-FF-FF-FF-FF-FF

# 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:
  - ▣ Indirizzo MAC: analogo al codice fiscale di una persona
  - ▣ Indirizzo IP: analogo all'indirizzo postale di una persona
- L'indirizzo MAC garantisce la 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

# Protocollo per la risoluzione degli indirizzi (ARP)

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



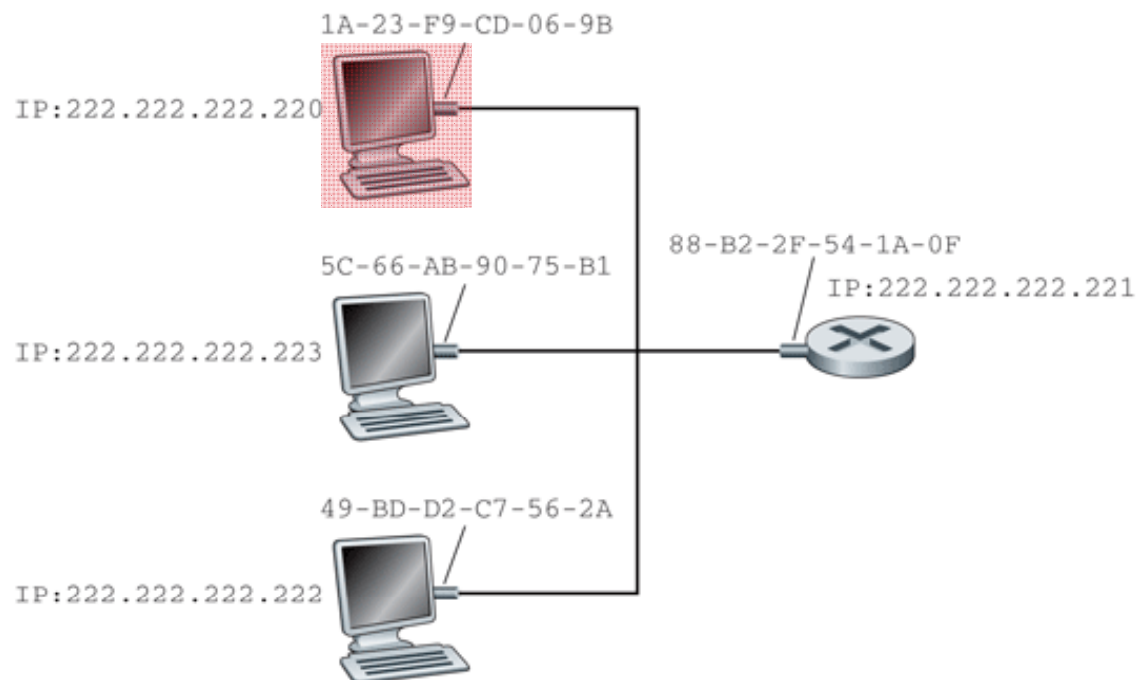
- Ogni nodo IP (host, router) nella LAN ha una tabella ARP
- La **tabella ARP** contiene la corrispondenza tra indirizzi IP e MAC

< Indirizzo IP; Indirizzo MAC; TTL >

- Il TTL o **tempo di vita** è un valore che indica quando bisognerà eliminare una data voce nella tabella
  - Il tempo di vita tipico è di 20 min

# Esempio tabella ARP

| Indirizzo IP    | Indirizzo MAC     | TTL      |
|-----------------|-------------------|----------|
| 222.222.222.221 | 88-B2-2F-54-1A-0F | 13:45:00 |
| 222.222.222.223 | 5C-66-AB-90-75-B1 | 13:52:00 |

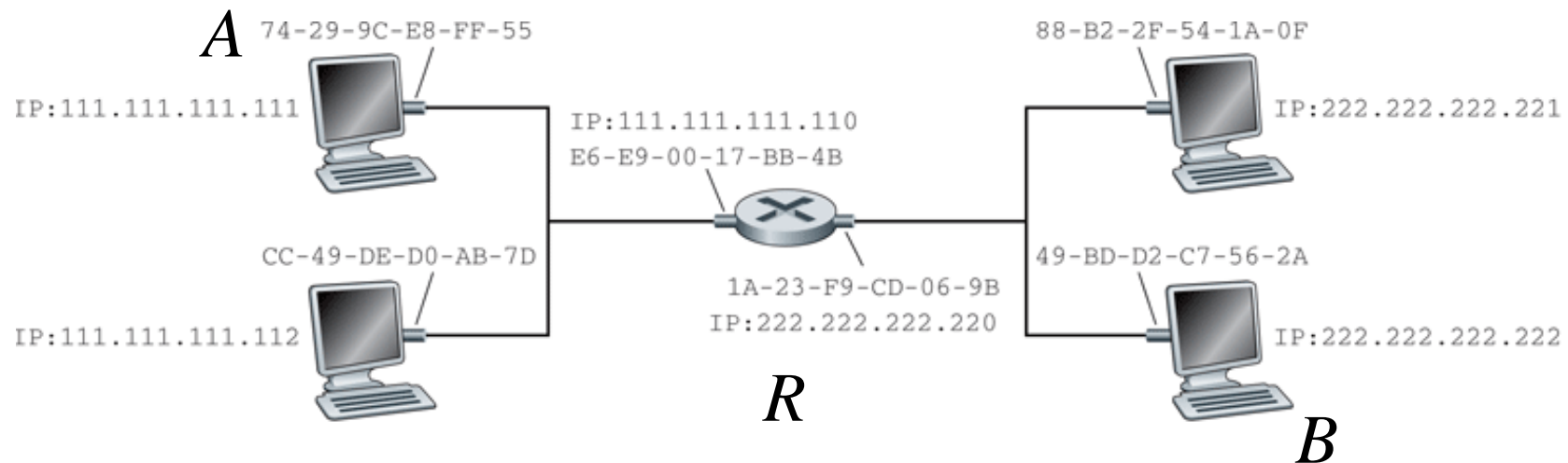


# Protocollo ARP nella stessa sottorete

- A vuole inviare un datagramma a *B* nella stessa sottorete e l'indirizzo MAC di *B* non è nella tabella ARP di *A*
- A trasmette un pacchetto *broadcast* di richiesta ARP, contenente l'indirizzo IP di *B*
  - Indirizzo MAC del destinatario = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - Tutte le macchine della LAN ricevono una richiesta ARP
- *B* riceve il pacchetto ARP, e risponde direttamente ad *A* comunicandogli il proprio indirizzo MAC
  - Il frame viene inviato all'indirizzo MAC di *A*
- ARP è un protocollo **plug-and-play**
  - La tabella ARP si costruisce automaticamente e non deve essere configurata dall'amministratore del sistema

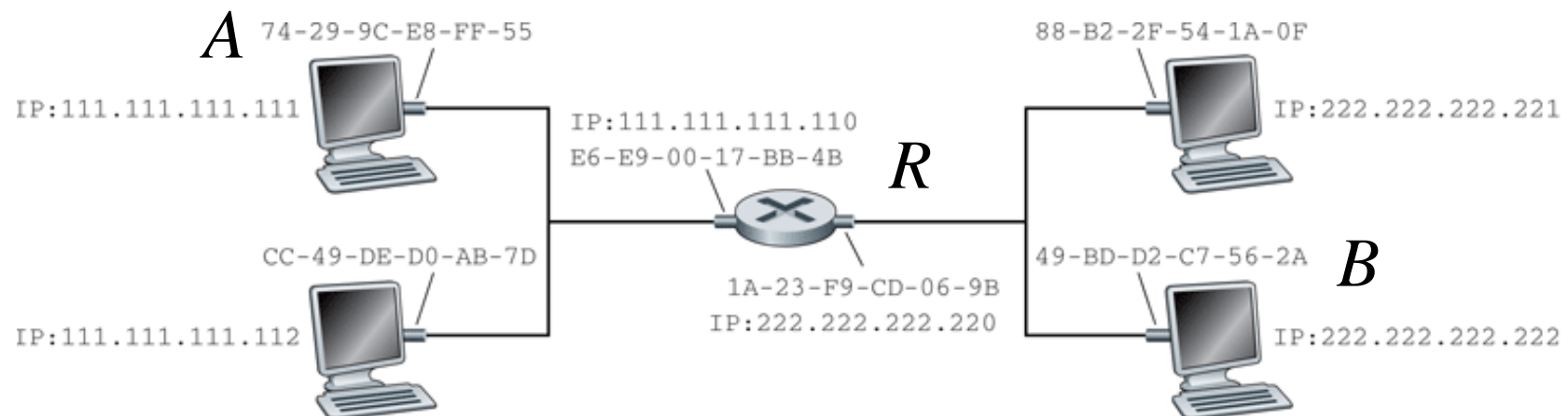
# Invio verso un nodo esterno alla sottorete

- Supponiamo di dover inviare un datagramma dal nodo *A* al nodo *B* attraverso il router *R*
- Ipotizziamo che *A* conosca l'indirizzo IP di *B*
- Il router *R* ha due tabelle ARP una per ciascuna delle due interfacce di rete



# Invio verso un nodo esterno alla sottorete

1. *A* crea un datagramma con origine *A* e destinazione *B*
2. *A* usa ARP per ottenere l'indirizzo MAC di *R*
3. *A* invia il datagramma a *R*
4. *R* riceve il datagramma
5. *R* rimuove il datagramma IP dal frame, e vede che la sua destinazione è *B*
6. *R* usa ARP per ottenere l'indirizzo MAC di *B*
7. *R* crea un frame contenente il datagramma IP da *A* a *B* e lo invia a *B*



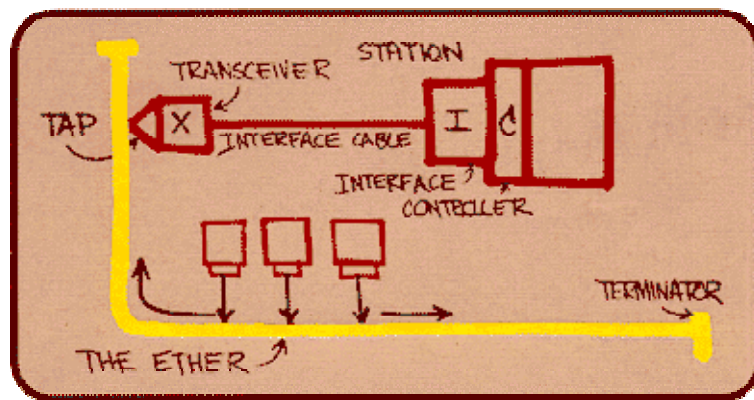
# Sommario



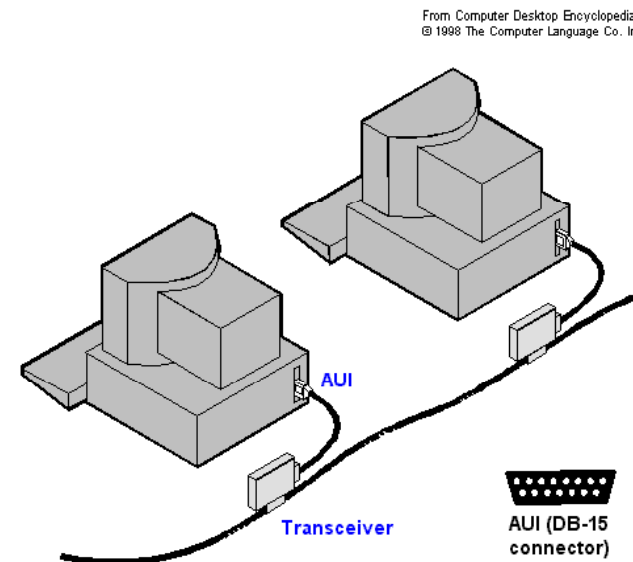
- Indirizzi a livello di link
- **Ethernet**
- Interconnessioni: hub e commutatori
- Cenni di PPP: protocollo punto-punto

# Ethernet

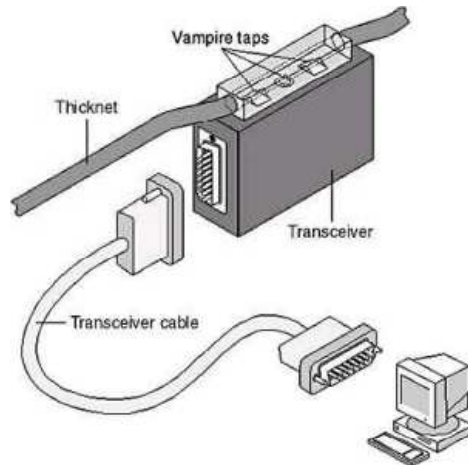
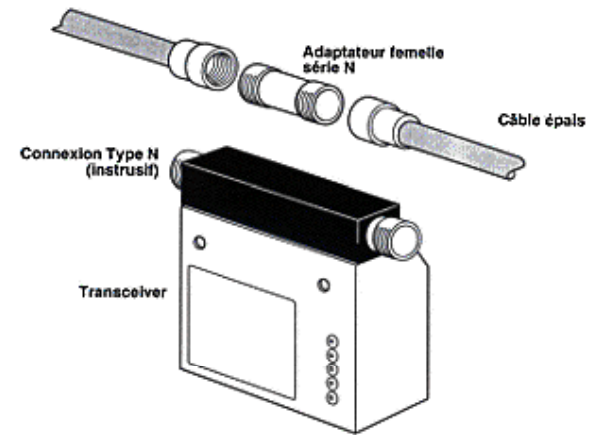
- Detiene una posizione dominante nel mercato delle LAN cablate
- È stata la prima LAN ad alta velocità con vasta diffusione
- Più semplice e meno costosa di token ring, FDDI e ATM
- Sempre al passo dei tempi con il tasso trasmissivo



Progetto originale di Bob Metcalfe che portò allo standard Ethernet

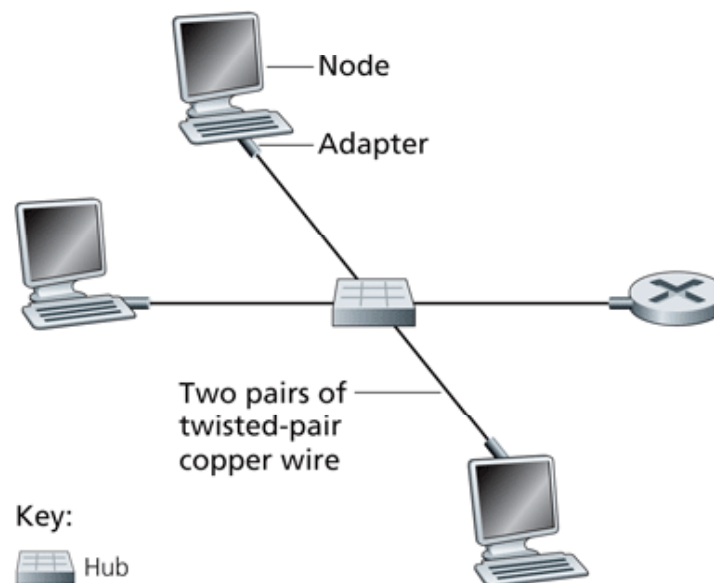


# Transceiver

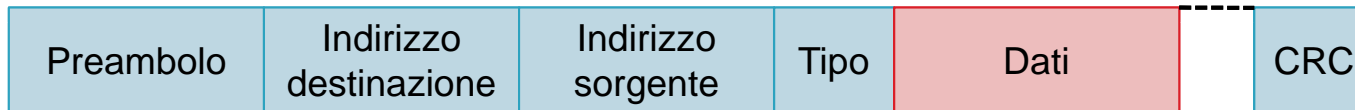


# Topologia a stella

- 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*)

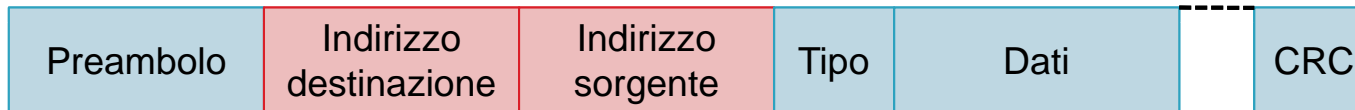


# Struttura dei pacchetti Ethernet - 1



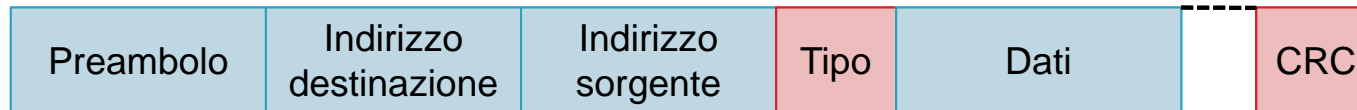
- L'adattatore trasmittente incapsula i datagrammi IP in un **pacchetto Ethernet**
- **Dati**
  - ▣ Contiene il datagramma IP. L'**unità massima di trasferimento** MTU varia da 46 byte ad un max di 1500 byte
  - ▣ Se il datagramma è più grande allora deve essere frammentato
  - ▣ Se il campo dati è più piccolo il campo dati deve essere riempito (*stuffed*)

# Struttura dei pacchetti Ethernet - 2



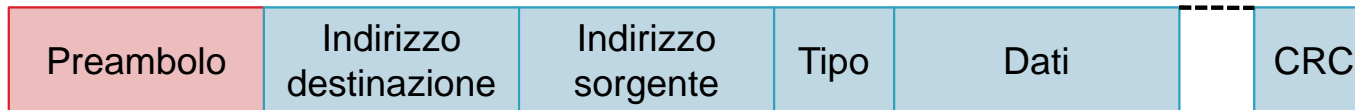
- Indirizzo di destinazione: 6 byte
  - ▣ Quando un adattatore riceve un pacchetto contenente l'indirizzo di destinazione o con l'indirizzo broadcast (es.: un pacchetto ARP), trasferisce il contenuto del campo dati del pacchetto al livello di rete
  - ▣ I pacchetti con altri indirizzi MAC vengono ignorati
- Indirizzo sorgente: 6 byte
  - ▣ Contiene l'indirizzo MAC della scheda che trasmette il pacchetto

# Struttura dei pacchetti Ethernet - 2



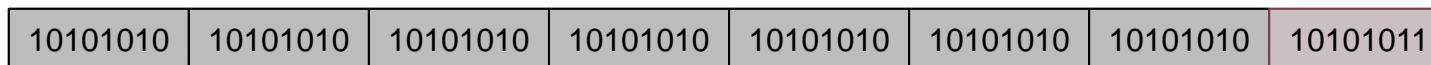
- Campo tipo
  - Consente a Ethernet di supportare vari protocolli di rete (in gergo questa è la funzione di “multiplexare” i protocolli)
- Controllo CRC
  - Consente all’adattatore ricevente di rilevare la presenza di un errore nei bit del pacchetto

# Struttura dei pacchetti Ethernet - 3



## □ Preambolo:

- I pacchetti Ethernet iniziano con un campo di otto byte strutturati nel seguente modo



- Servono per “attivare” gli adattatori dei riceventi e sincronizzare i loro orologi con quello del trasmittente

# Che servizio fornisce Ethernet?

- 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
- Ma come può un'applicazione rilevare la presenza di lacune?
  - ▣ 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*
- ❑ *Rilevazione della portante*
  - ▣ Non può trasmettere un pacchetto quando rileva che altri adattatori stanno trasmettendo
- ❑ *Rilevazione di collisione*
  - ▣ Annulla la propria trasmissione non appena rileva che un altro adattatore sta trasmettendo
- ❑ 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 chiamato *jam*
5. L'adattatore entra nella fase di **attesa esponenziale**

# Attesa esponenziale

- Quando l'adattatore riscontra l' $n$ -esima collisione consecutiva su un dato frame
- Stabilisce un valore  $K$  tra  $\{0,1,2,\dots,2^m-1\}$ 
  - Dove  $m$  è il minimo tra  $n$  e 10
- L'adattatore aspetta un tempo pari a  $K$  volte 512 bit e riprova a trasmettere
- La tecnica dell'attesa esponenziale cerca di stimare quanti siano gli adattatori coinvolti
  - Se sono numerosi il tempo di attesa potrebbe essere lungo

# Protocollo CSMA/CD di Ethernet

- Il **segnale di disturbo** (jam) ha la finalità di avvisare della collisione tutti gli altri adattatori che sono in fase trasmissiva
- Un **bit di tempo** corrisponde al tempo necessario a trasmettere un bit
  - ▣ Nel caso di Ethernet a 10 Mbps è uguale a 0,1 microsec
  - ▣ Per  $K - 1023$ , il tempo di attesa è di circa 50 msec

# Collisioni in Ethernet

- 1° collisione
  - ▣ Si sceglie  $K$  tra  $\{0,1\}$ 
    - Se si sceglie 1 l'adattatore attende 51,2 microsecondi
- 2° collisione
  - ▣ Si sceglie  $K$  tra  $\{0,1,2,3\} \dots$
- ...
- 10° collisione
  - ▣ Si sceglie  $K$  tra  $\{0,1,2,3,4, \dots, 1023\}$

# Efficienza di Ethernet

- Assumiamo:
  - $t_{prop}$  = tempo massimo che occorre al segnale per propagarsi fra una coppia di adattatori
  - $t_{trasm}$  = tempo necessario per trasmettere un pacchetto della maggior dimensione possibile

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

- Quando  $t_{prop}$  tende a 0, l'efficienza tende a 1
  - Se il ritardo di propagazione è nullo in caso di collisione si interrompe immediatamente la trasmissione
- Al crescere di  $t_{trasm}$ , l'efficienza tende a 1
  - Se un nodo si appropria del canale può trattenerlo per un periodo di tempo lungo
- Molto meglio di ALOHA, ancora decentralizzato, semplice e poco costoso

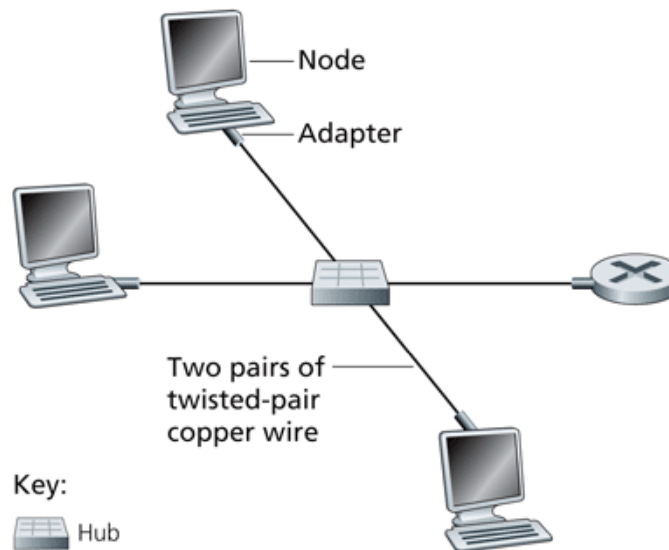
# Sommario



- Indirizzi a livello di link
- Ethernet
- **Interconnessioni: hub e commutatori**
- Cenni di PPP: protocollo punto-punto

# Tecnologie 10BaseT e 100BaseT

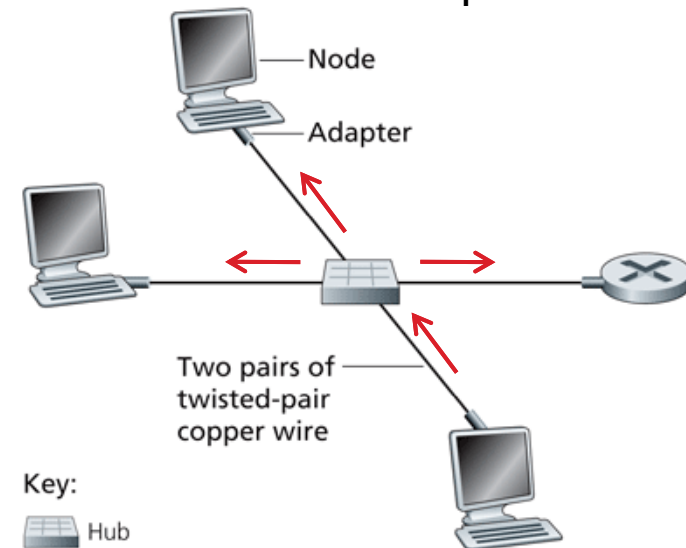
- Attualmente, molti adattatori Ethernet sono a 10/100 Mbps; possono quindi utilizzare sia 10BaseT sia 100BaseT
  - ▣ La lettera **T** è l'iniziale di **Twisted Pair** (doppino intrecciato)
- Ogni nodo ha una diretta connessione con l'hub (topologia a stella); la massima distanza tra un adattatore e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



# Hub



- ❑ L'**hub** (*ripetitore*) è un dispositivo che opera a livello fisico sui singoli bit
- ❑ All'arrivo di un bit, l'hub lo riproduce incrementandone l'energia e lo ritrasmette 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
  - ❑ Può fornire aspetti di gestione di rete (numero collisioni, traffico, etc...)

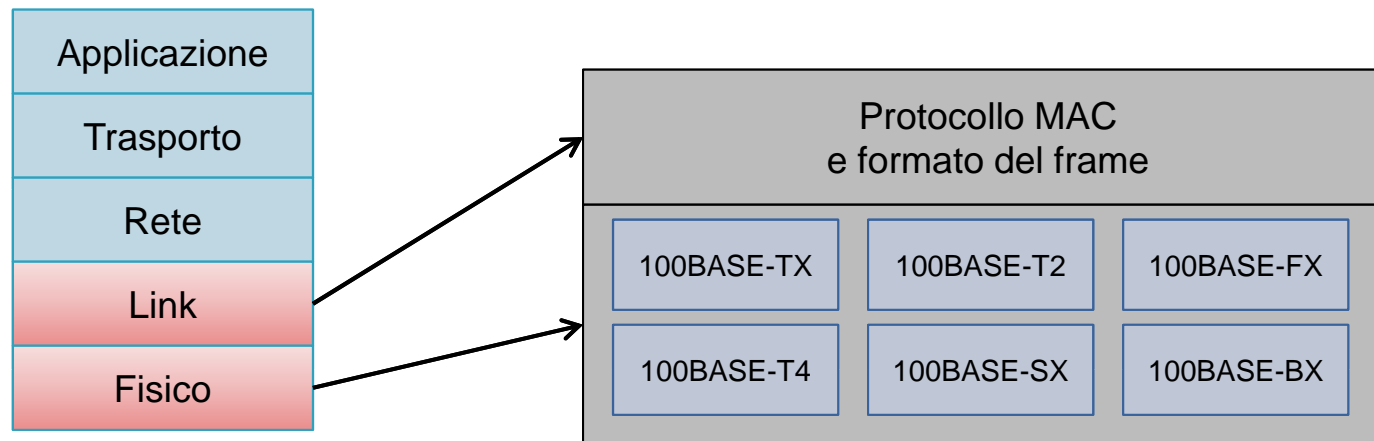


# Gigabit Ethernet



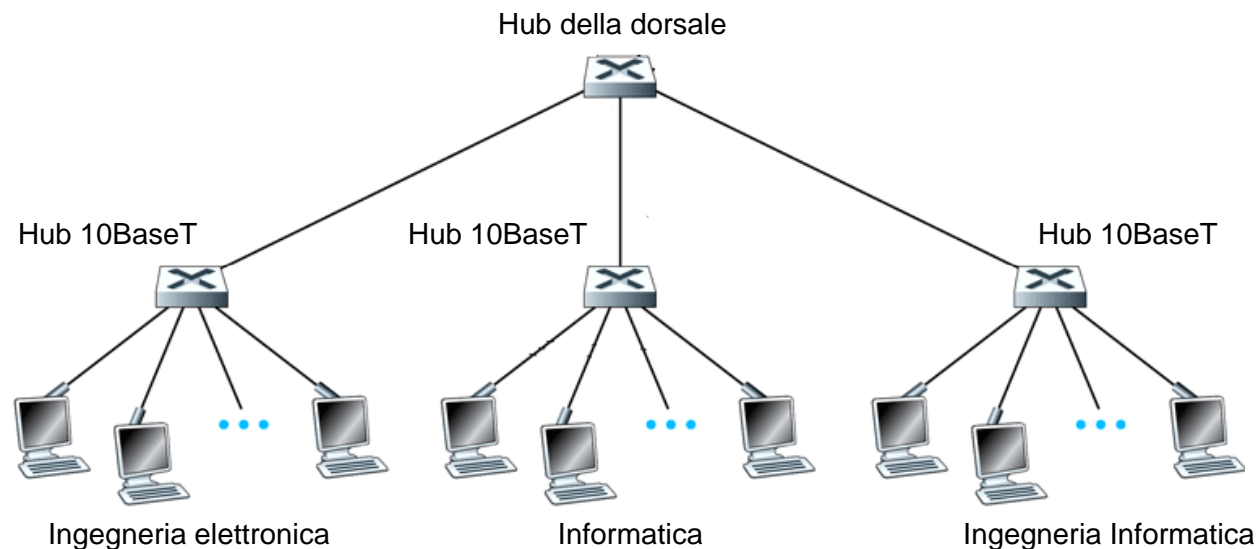
- Utilizza il formato del pacchetto standard di Ethernet
- I canali punto-punto utilizzano commutatori, mentre i canali broadcast utilizzano hub
- Utilizza CSMA/CD per i canali broadcast condivisi; è necessario limitare la distanza tra i nodi per ottenere un livello accettabile di efficienza
- Gli hub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

# Gli standard Ethernet



# Interconnessioni: hub e commutatori

- 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

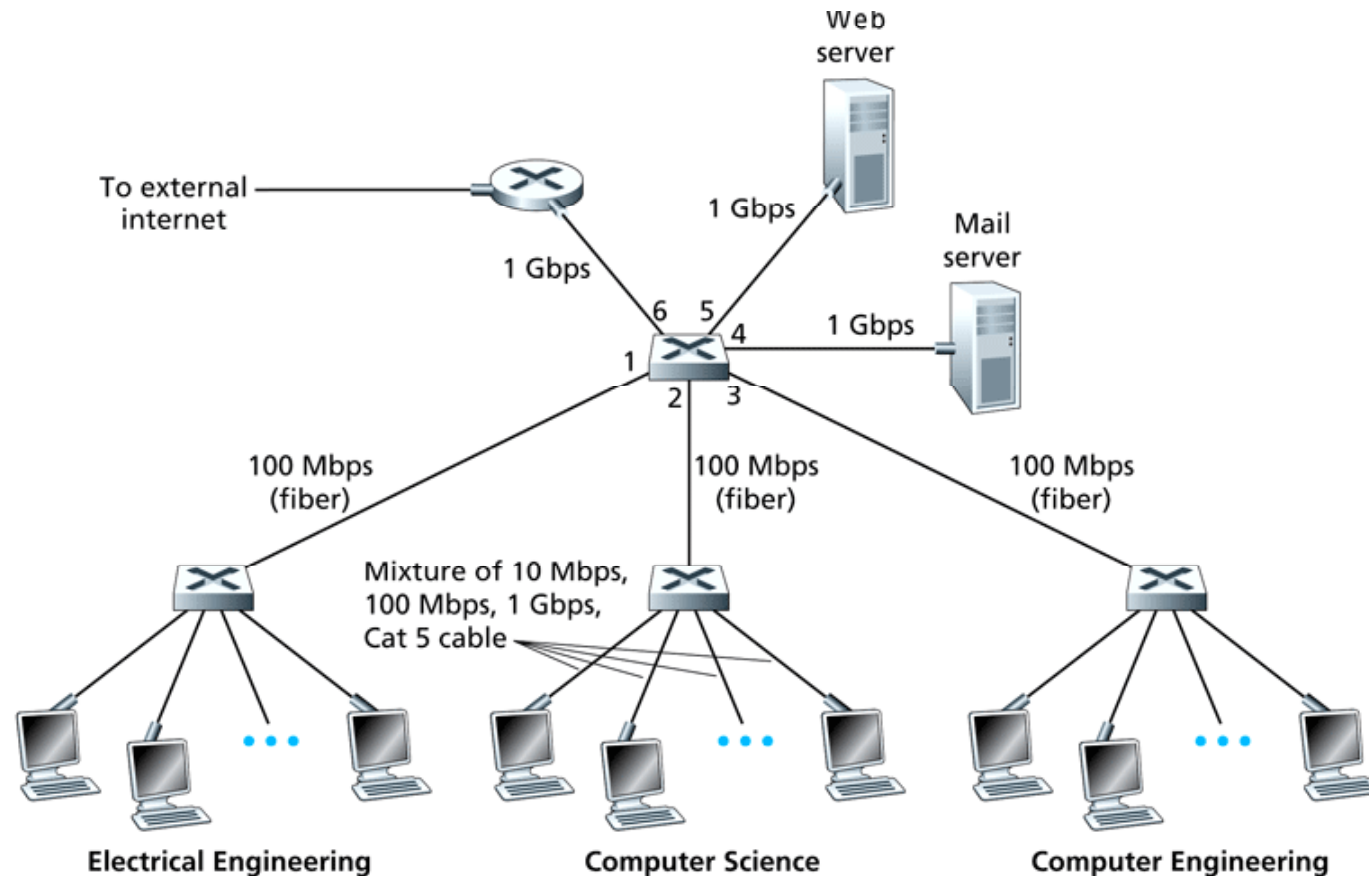


# Switch

- Uno switch è un dispositivo del livello di link
  - ▣ Filtra e inoltra i pacchetti Ethernet
    - Esamina l'indirizzo MAC 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



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

# Autoapprendimento

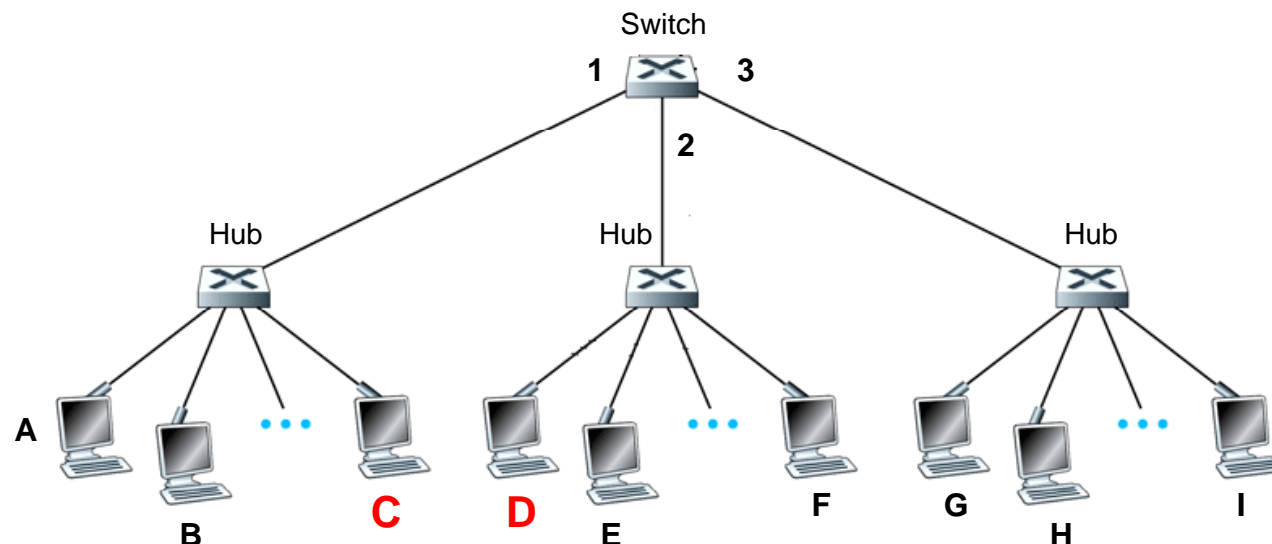
- Le operazioni sono eseguite mediante una **tabella di commutazione**
- Lo switch archivia nelle proprie tabelle:
  - ▣ L'indirizzo MAC, l'interfaccia e il momento dell'arrivo
  - ▣ Se lo switch non riceve pacchetti da un determinato indirizzo sorgente, lo cancella (tempo di invecchiamento, TTL = 60 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

# Filtraggio e inoltra

- Quando uno switch riceve un pacchetto:
  1. **if** esiste un entry nella tabella  
**then**{
  2.     **if** la destinazione è sullo stesso  
segmento da cui è arrivato il frame  
**then** cestina il frame
  3.     **else** inoltra il frame  
all'interfaccia indicata
  4.     }
  5. **else** inoltra il frame a tutti tranne  
all'interfaccia dalla quale è  
arrivato il pacchetto

# Switch: esempio

- Supponiamo che C invii un pacchetto a D

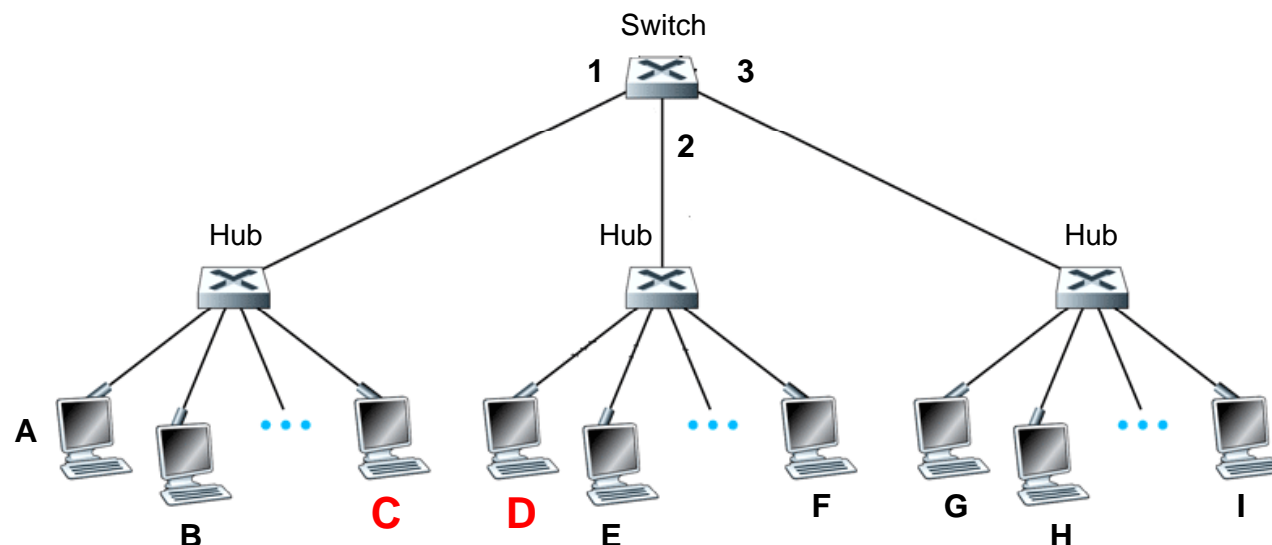


| Indirizzo | Interfaccia |
|-----------|-------------|
| A         | 1           |
| B         | 1           |
| E         | 2           |
| G         | 3           |
| C         | 1           |

- 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

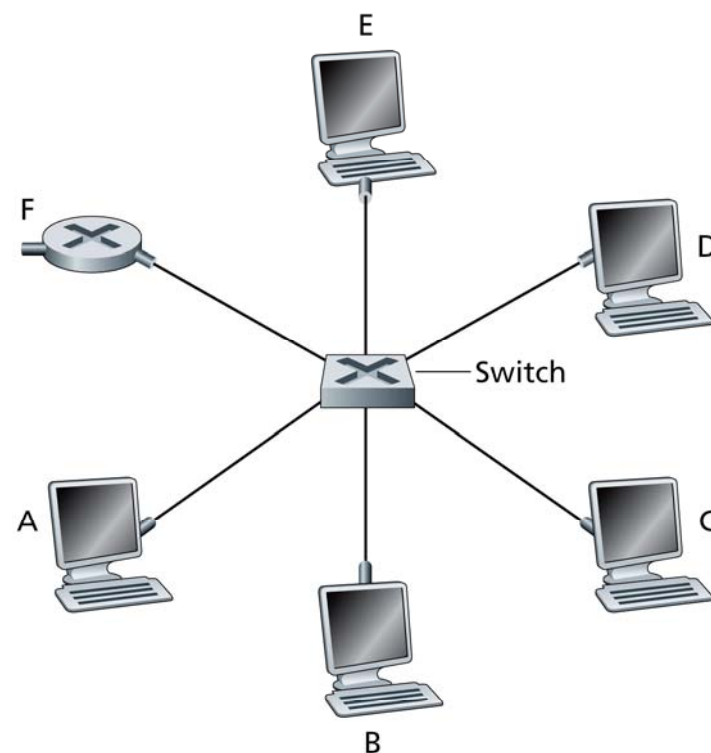


| Indirizzo | Interfaccia |
|-----------|-------------|
| A         | 1           |
| B         | 1           |
| E         | 2           |
| G         | 3           |
| C         | 1           |
| D         | 2           |

- 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 offrono diversi vantaggi
  - ▣ Gli host hanno una connessione diretta con lo switch
  - ▣ Esclude qualsiasi possibilità di collisione; opera in modalità full duplex
    - Commutazione: A-a-D e B-a-E simultaneamente, senza collisioni



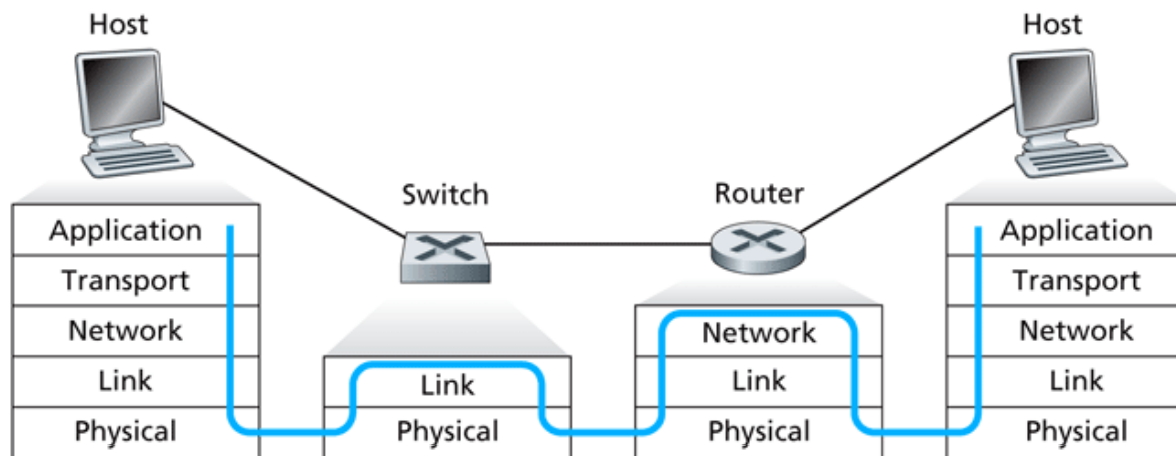
# Commutazione cut-through



- Nella **commutazione cut-through** lo switch inizia la trasmissione della parte iniziale del pacchetto anche se questo non è pervenuto integralmente
- Lo switch cut-through riduce il ritardo solamente di un tempo compreso tra 0,12 e 1,2 ms, ed esclusivamente con carichi leggeri del collegamento in uscita
- Un vantaggio piuttosto limitato...

# 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



# Sintesi delle caratteristiche

|                         | Hub | Router | Commutatore |
|-------------------------|-----|--------|-------------|
| Isolamento del traffico | No  | Si     | Si          |
| Plug and Play           | Si  | No     | Si          |
| Instradamento ottimale  | No  | Si     | No          |
| Cut-through             | Si  | No     | Si          |

# Sommario

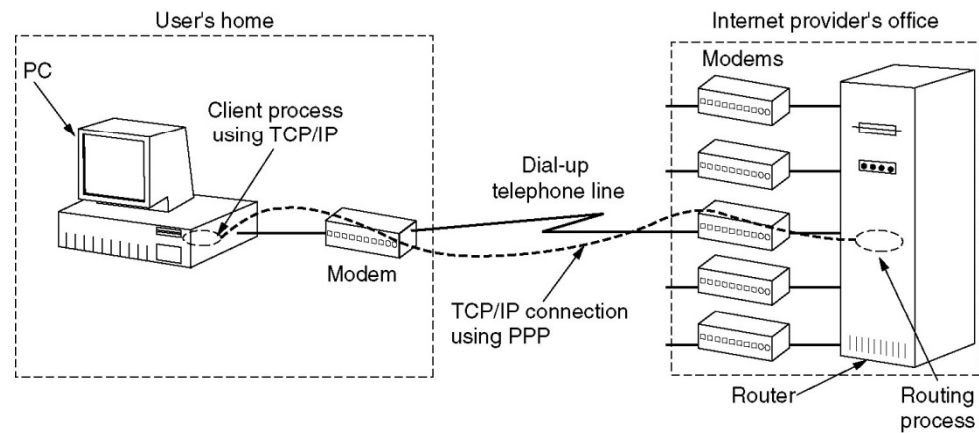


- Indirizzi a livello di link
- Ethernet
- Interconnessioni: hub e commutatori
- **Cenni di PPP: protocollo punto-punto**

# Protocollo PPP

- Il protocollo PPP (Point-to-Point Protocol) è pensato per Internet e basato su HDLC (controllo collegamento dati ad alto livello)
- Si può usare per connettere
  - ▣ Un PC domestico al router di un ISP
    - Si crea un collegamento dedicato tra PC e router
  - ▣ Due router
    - Per esempio il router di una LAN ad un altro router esterno
    - Le macchine sulla LAN si collegano ad Internet tramite il loro router
    - Talvolta in questo caso i frame PPP sono trasportati da frame HDLC

# Un computer collegato ad Internet



# Caratteristiche di PPP



- Orientato ai byte
- Usa il byte stuffing per il framing
  - ▣ Inserimento di zeri aggiuntivi
- Usa CRC con polinomio generatore di grado 16 o 32 bit
- Il campo dedicato ai dati è di lunghezza variabile e i dati possono venire dallo strato network o essere dati di negoziazione
- È previsto un campo per indicare a quale protocollo appartengono i dati trasportati

# Frame protocollo PPP

- Il frame PPP ha il seguente formato

