

Livello di collegamento:
Indirizzamento, Protocollo ARP,
Ethernet, switch, VLAN, PPP

Gaia Maselli

maselli@di.uniroma1.it

Parte di queste slide sono state prese dal materiale associato ai libri:

- 1) B.A. Forouzan, F. Mosharraf – Reti di calcolatori. Un approccio top-down. Copyright © 2013 McGraw-Hill Education Italy srl. Edizione italiana delle slide a cura di Gabriele D'Angelo e Gaia Maselli
- 2) Computer Networking: A Top Down Approach , 6th edition. All material copyright 1996-2009 J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

Indirizzi MAC

□ Indirizzo IP a 32 bit:

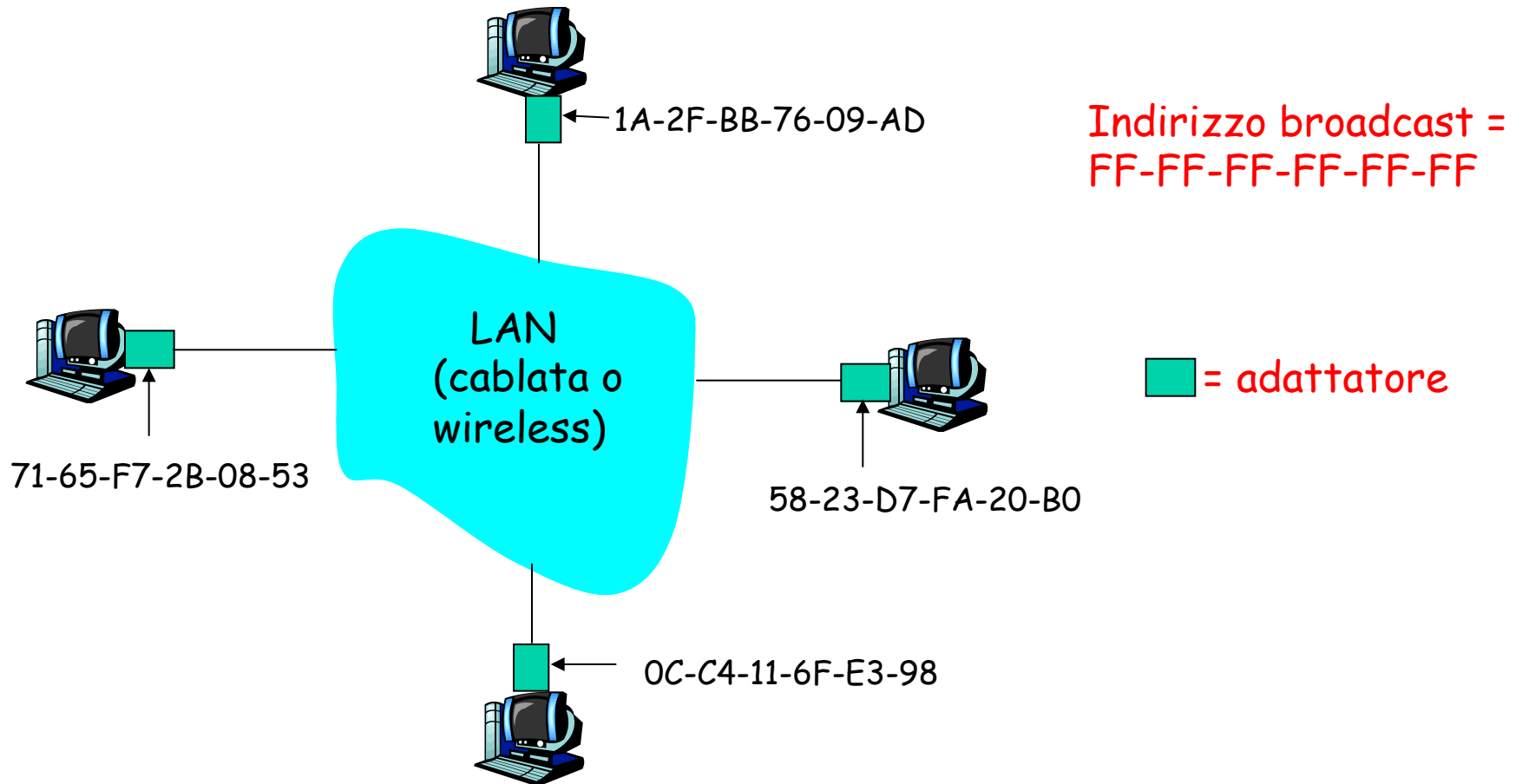
- Indirizzo a *livello di rete*.
- Individuano con esattezza i punti di Internet dove sono connessi gli host sorgente e destinazione
- Indirizzi IP sorgente e destinazione definiscono le estremità della rete ma non dicono attraverso quali collegamenti deve passare il datagramma

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

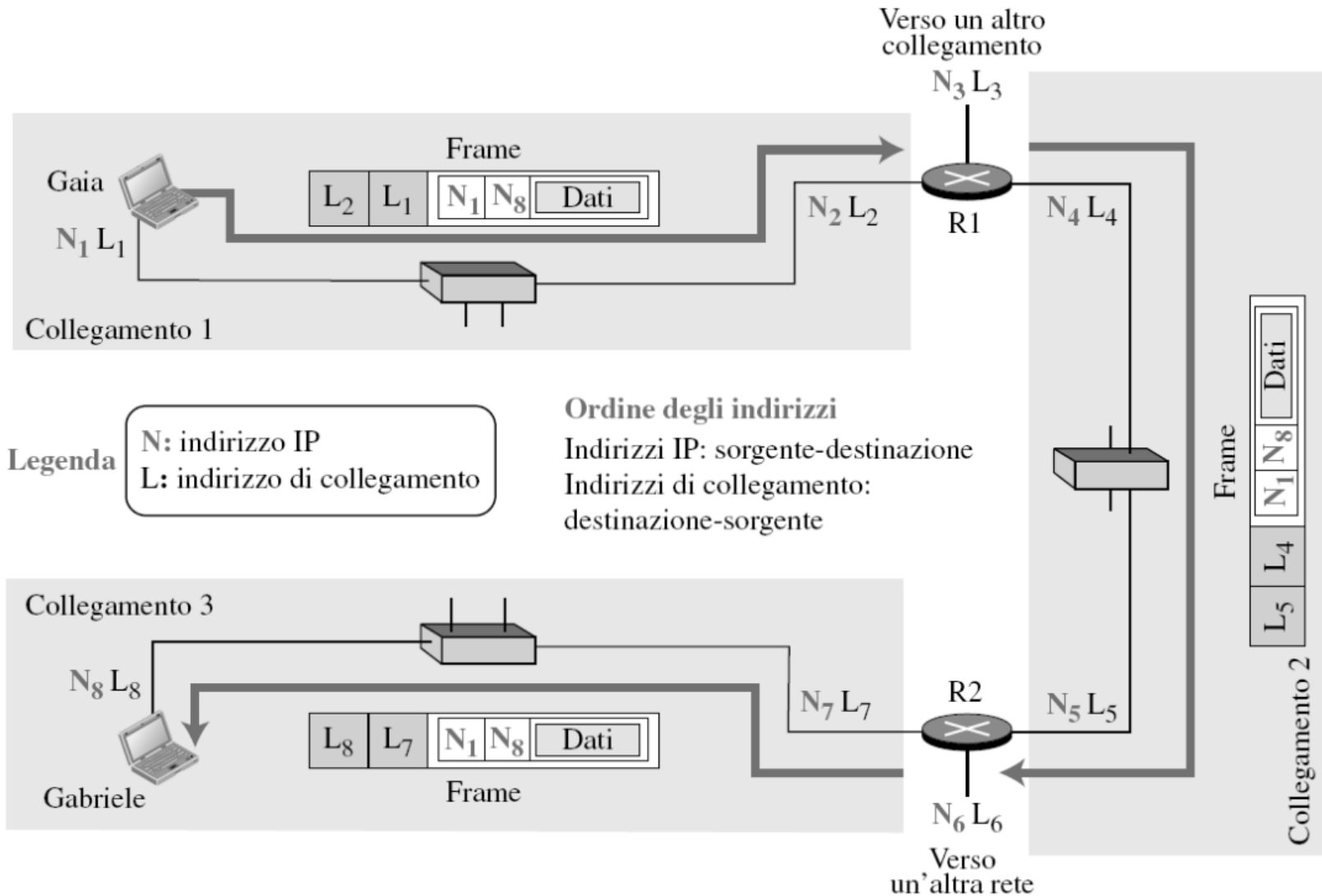
- Quando un datagramma passa dal livello di rete al livello di collegamento, viene incapsulato in un frame con una intestazione che contiene gli indirizzi di collegamento della sorgente e destinazione del frame (non del datagramma).
- Indirizzo a 48 bit (6 byte, rappresentati in esadecimali).

Indirizzi MAC

Ciascun adattatore di una LAN ha un indirizzo MAC univoco .



Indirizzi IP e MAC



Indirizzi MAC

- ❑ La IEEE sovrintende alla gestione degli indirizzi MAC.
- ❑ Quando una società vuole costruire adattatori, 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.
- Come vengono determinati gli indirizzi di collegamento dalla sorgente alla destinazione?
 - Address Resolution Protocol (ARP)

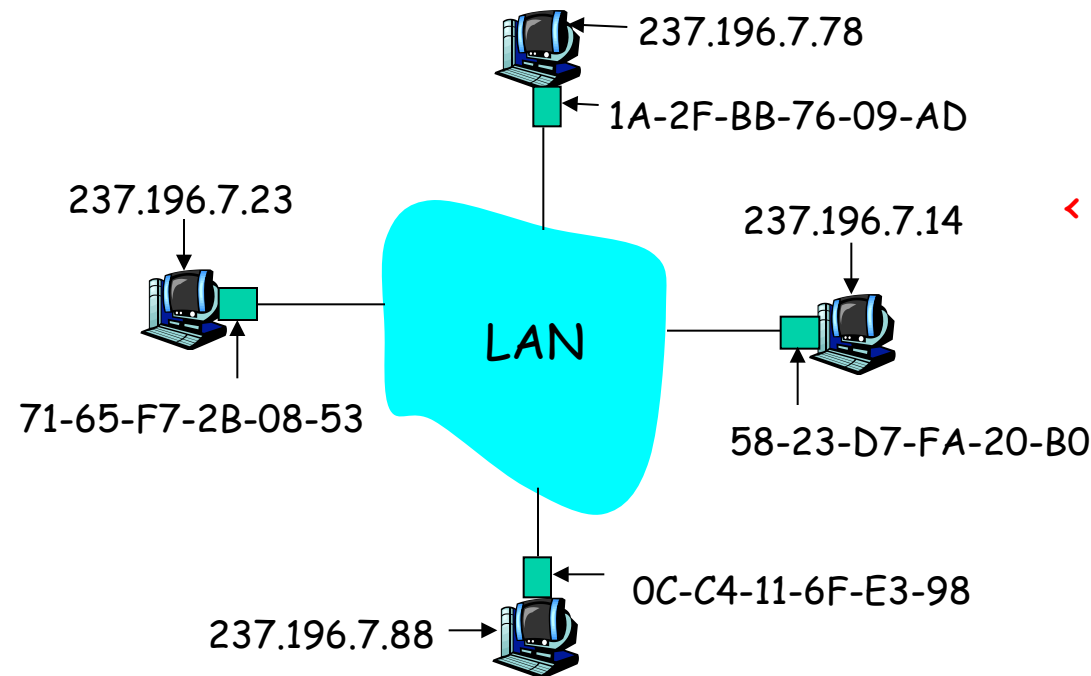
Protocollo per la risoluzione degli indirizzi (ARP)

Domanda: 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.

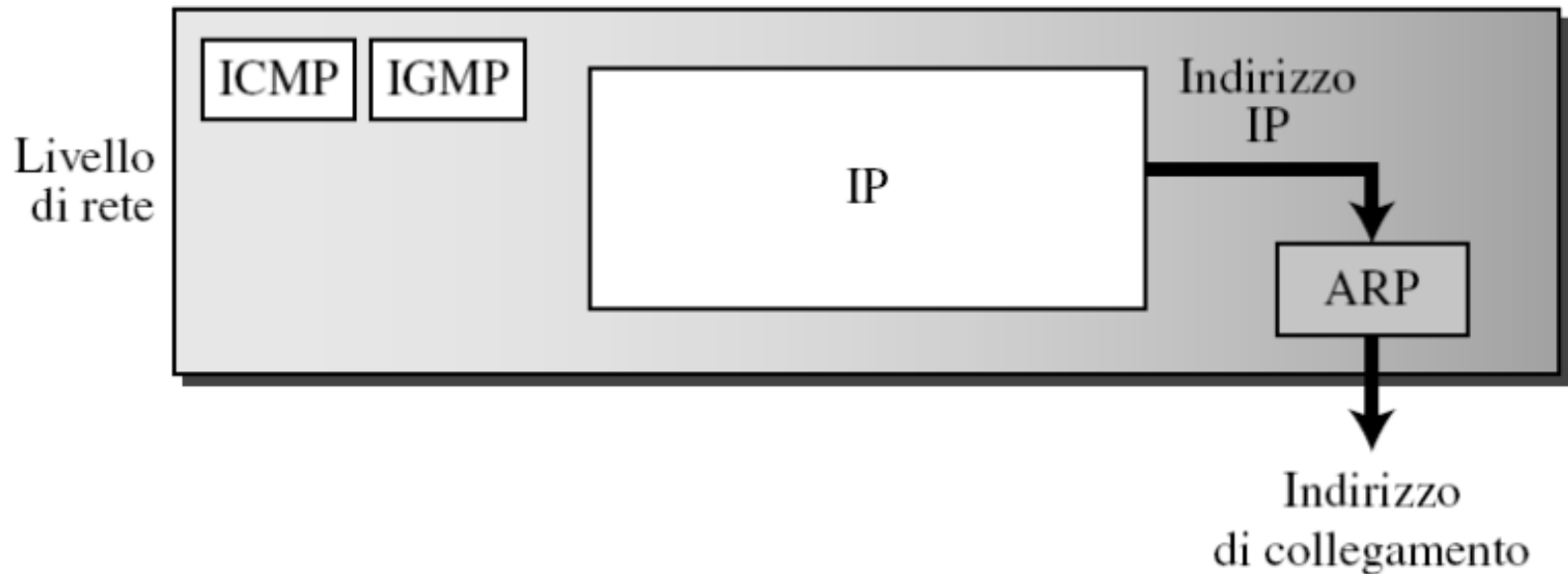
< Indirizzo IP; Indirizzo MAC; TTL >

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



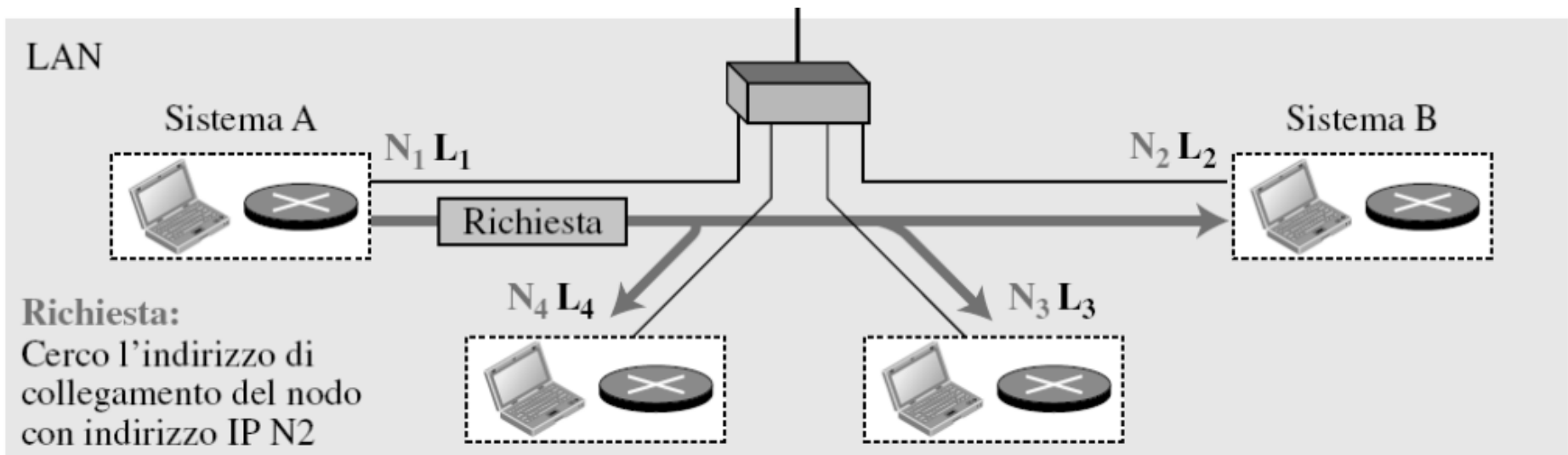
Esempio di tabella ARP

IP Address	MAC Address	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

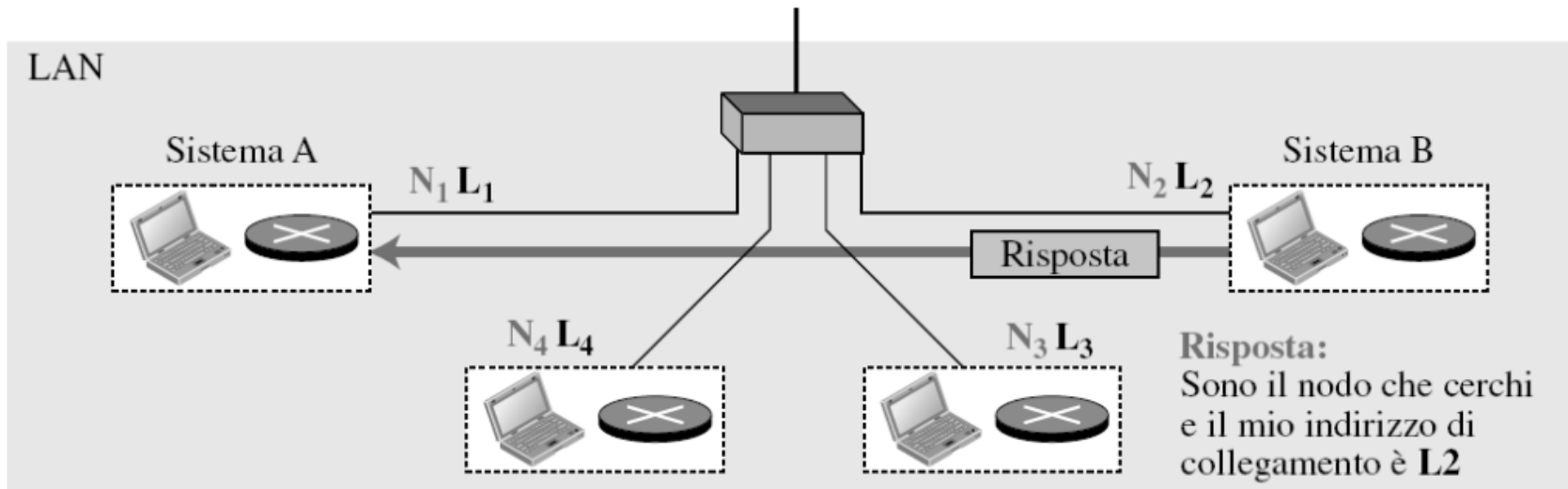
- ❑ A vuole inviare un datagramma a B, e l'indirizzo MAC di B non è nella tabella ARP di A.
- ❑ A trasmette in un pacchetto **broadcast** il messaggio di richiesta ARP, contenente l'indirizzo IP di B.
 - Indirizzo MAC del destinatario
= FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Tutte le macchine della LAN ricevono una richiesta ARP.



a. La richiesta ARP è inviata in broadcast

Protocollo ARP nella stessa sottorete

- Ogni nodo nella rete riceve ed elabora il pacchetto di richiesta ARP ma solo il nodo con l'indirizzo IP specificato risponde
- *B* riceve il pacchetto ARP, e risponde ad *A* comunicandogli il proprio indirizzo MAC.
 - il frame viene inviato all'indirizzo MAC di *A* (in unicast).
- Il messaggio di richiesta ARP è inviato in un pacchetto broadcast mentre 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.



b. La risposta ARP è inviata in unicast

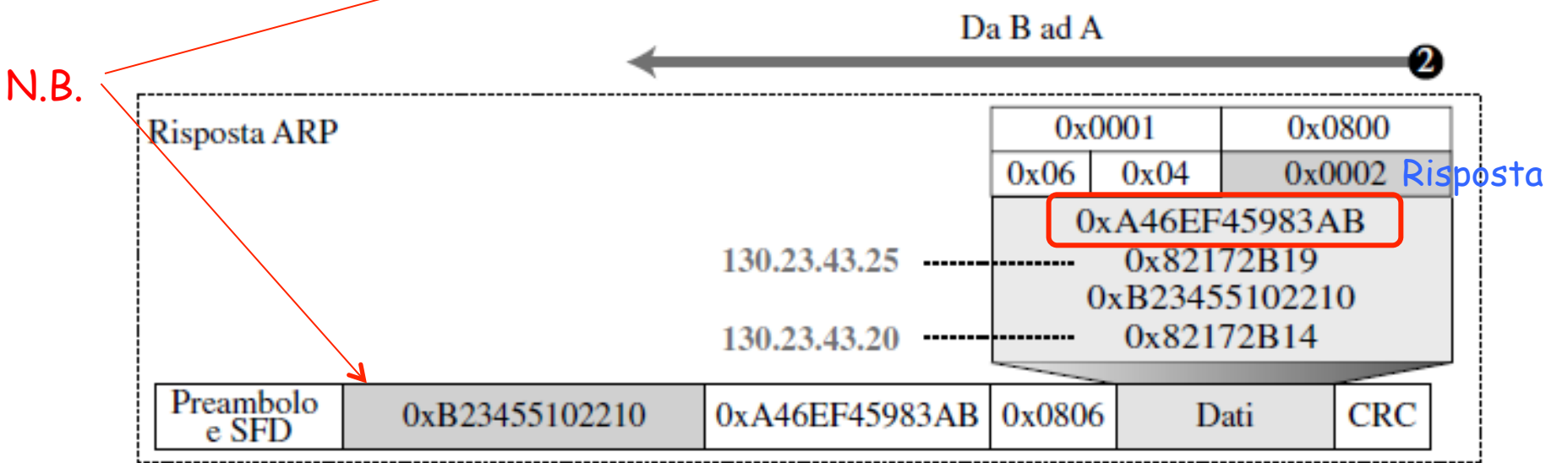
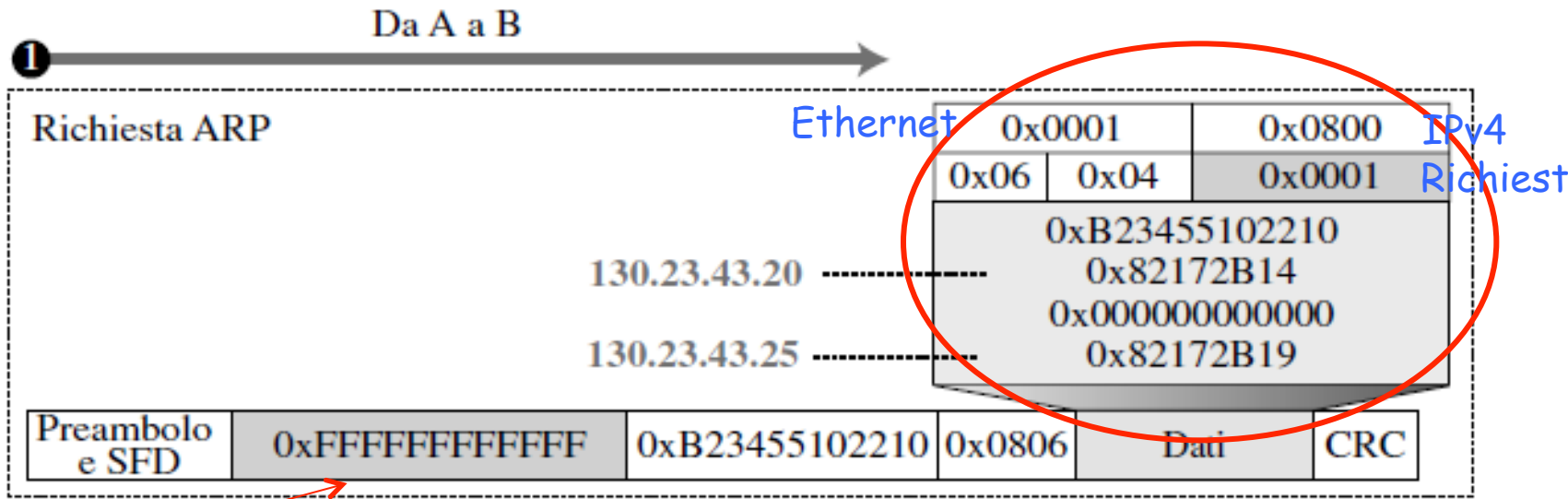
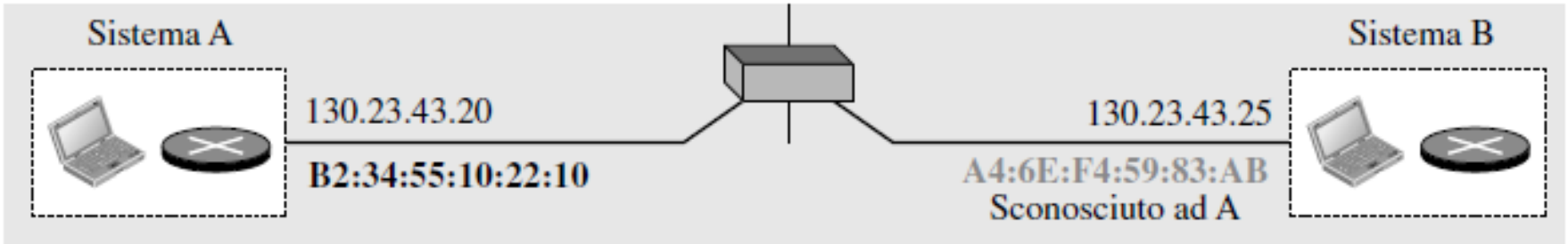
Formato del pacchetto ARP

0	8	16	31
Hardware Type		Protocol Type	
Hardware length	Protocol length	Operation Richiesta:1, Risposta:2	
Source hardware address			
Source protocol address			
Destination hardware address (vuoto nelle richieste)			
Destination protocol address			

Hardware: protocollo di collegamento della LAN o WAN

Protocol: protocollo del livello di rete

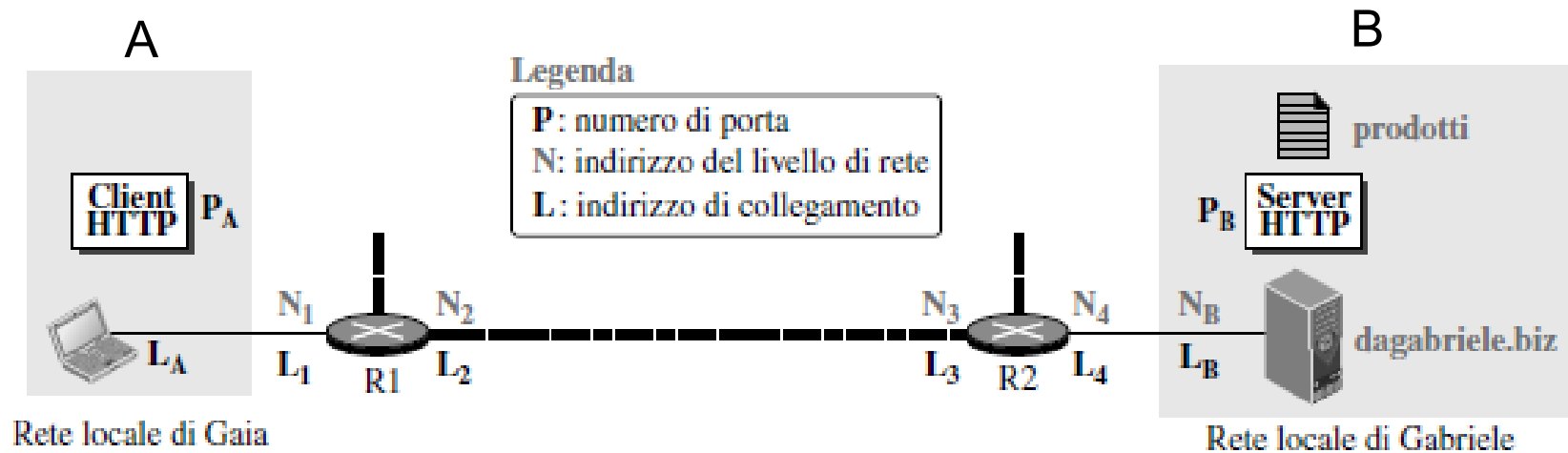
I pacchetti ARP vengono incapsulati direttamente all'interno di frame di livello di collegamento



Indirizzamento

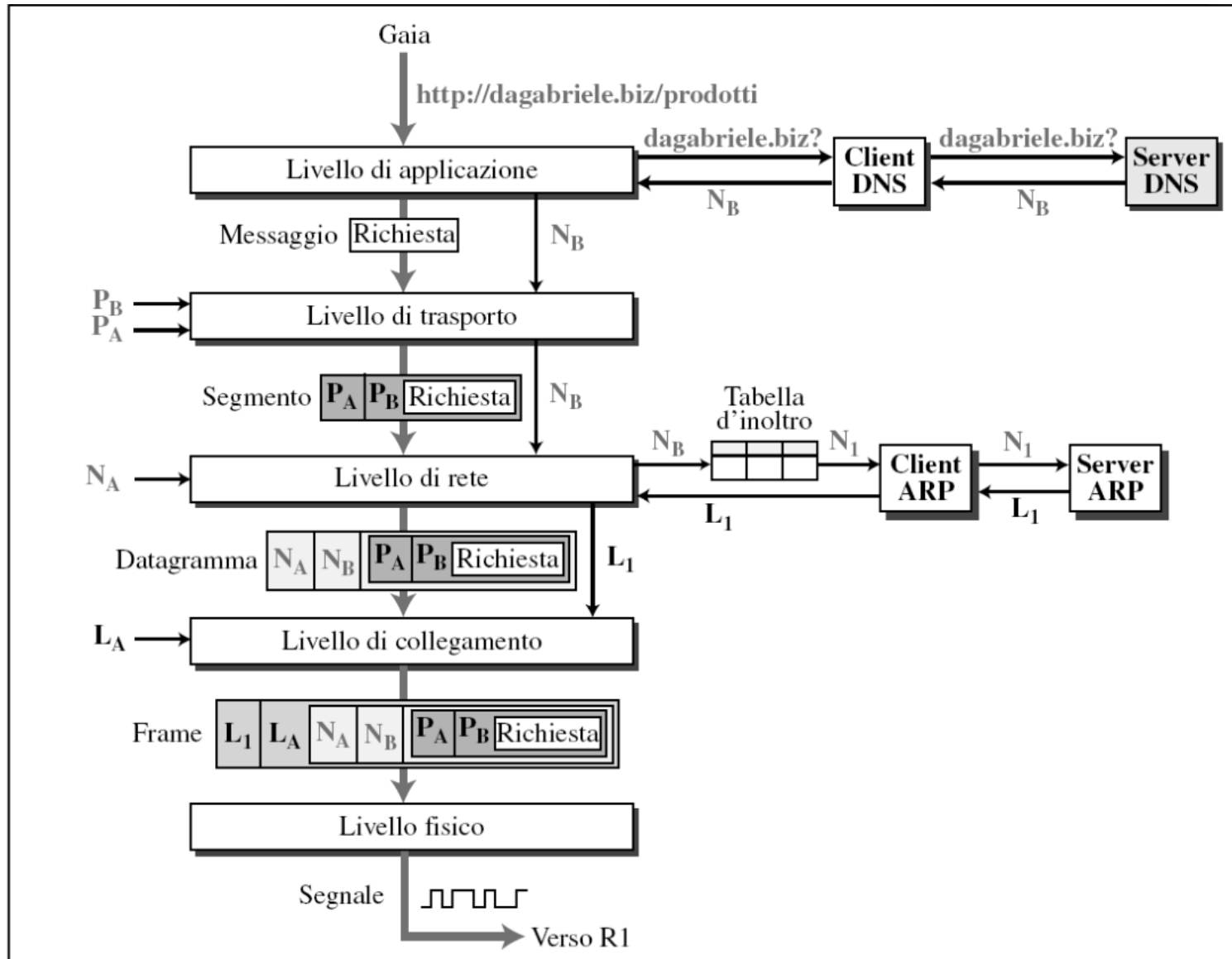
- ❑ Indirizzamento nei 4 livelli dello stack TCP/IP
- ❑ A livello fisico non c'è indirizzamento: il livello si occupa di trasferire i singoli bit che vengono spediti in broadcast nel mezzo trasmissivo e ricevuti da tutti i nodi che sono collegati

Invio verso un nodo esterno alla sottorete



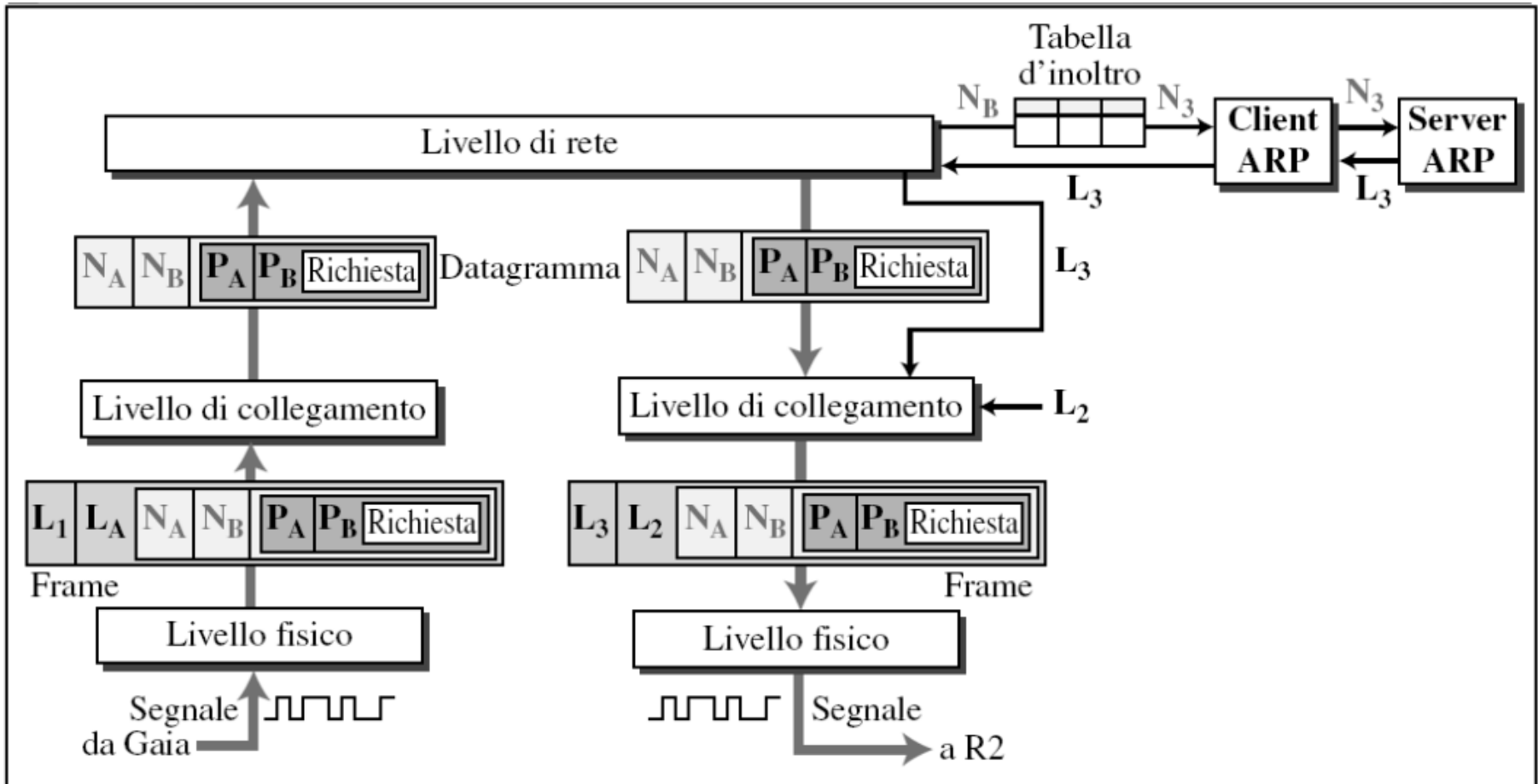
Richiesta HTTP da A verso B
<http://dagabriele.biz/prodotti>

Flusso di pacchetti alla sorgente (A)



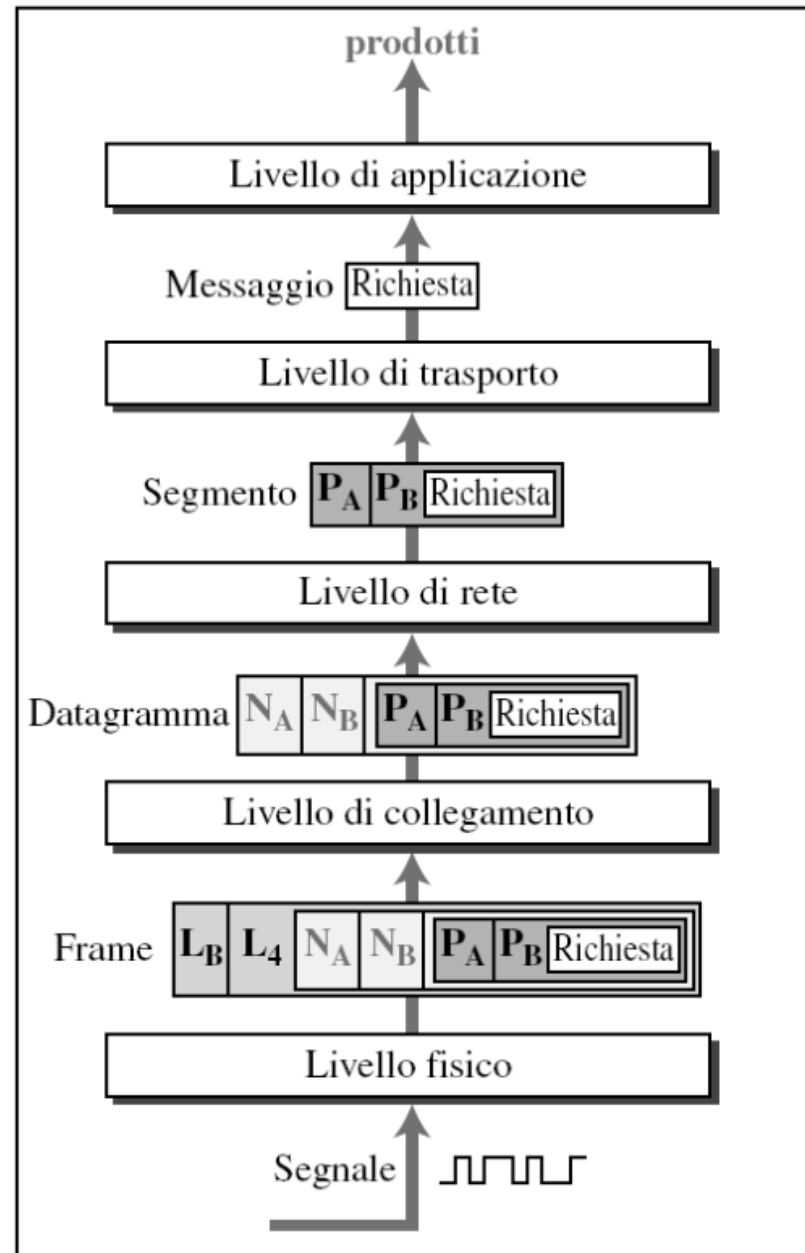
Flusso di pacchetti nel computer di Gaia

Attività nel router R1



Flusso di pacchetti nel router R1

Flusso di pacchetti alla destinazione (B)



LAN cablate: Ethernet

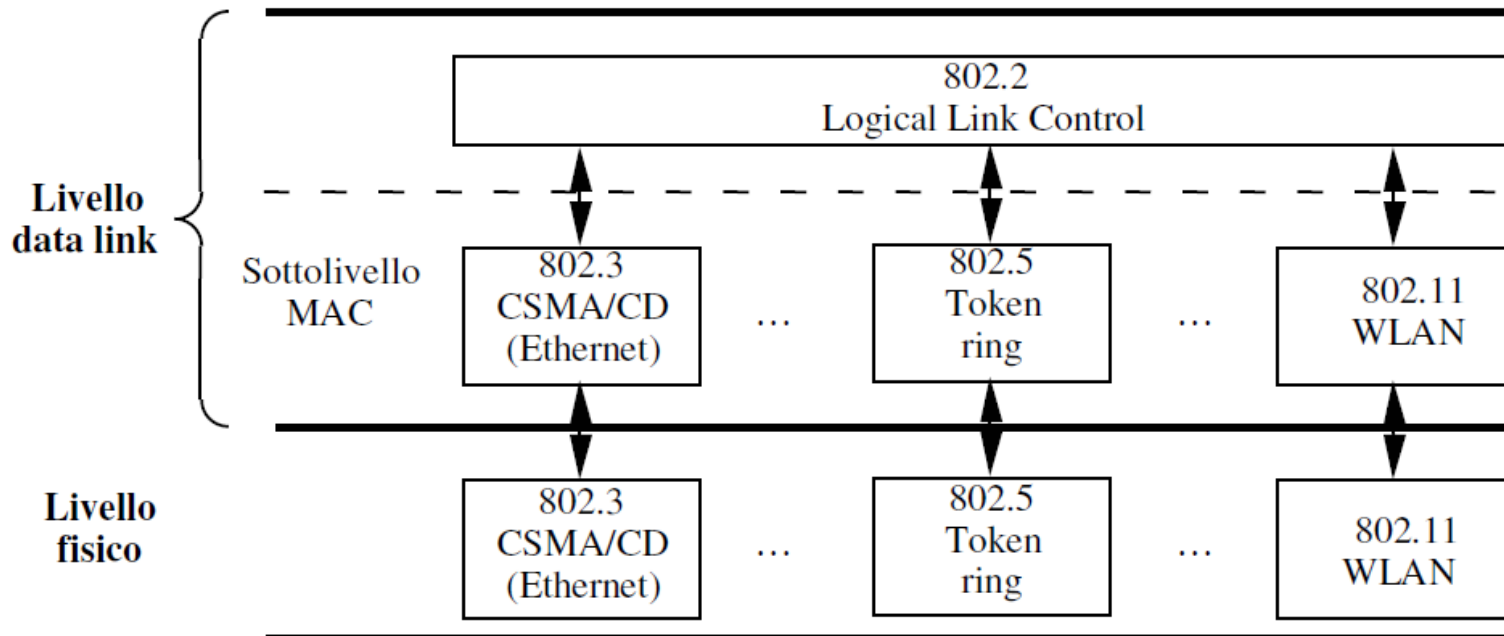
- Nel 1985 la IEEE Computer Society iniziò un progetto chiamato *Progetto 802* con l'obiettivo di definire uno standard per l'interconnessione tra dispositivi di produttori differenti
- **Scopo: definire le funzioni del livello fisico e di collegamento dei protocolli LAN**
- Risultato: standard IEEE 802

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

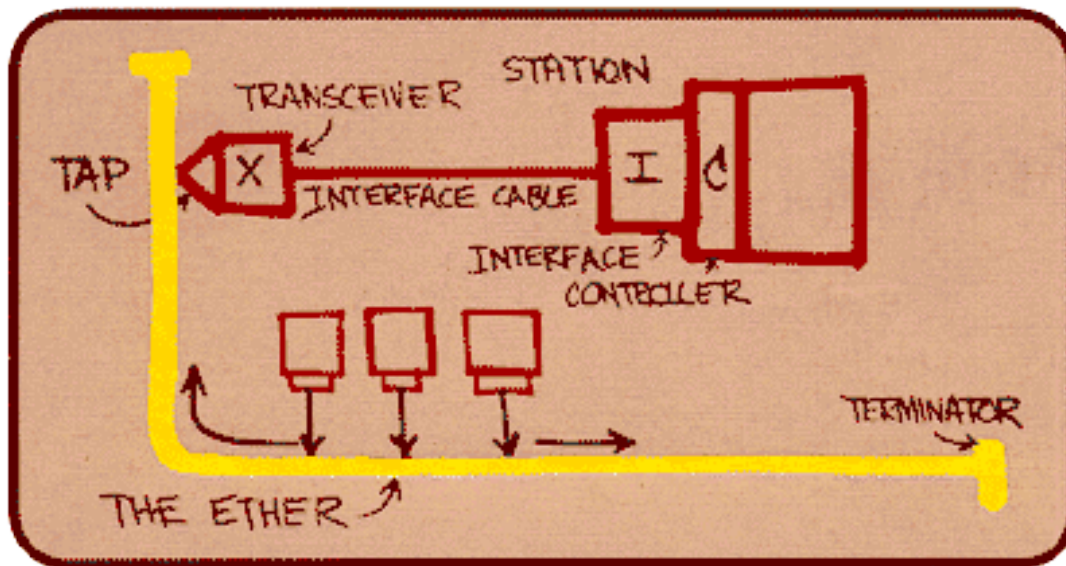
- I vari standard differiscono a livello fisico e nel sottolivello *MAC*, ma sono compatibili a livello data link.
 - Logical Link Control: rilevazione errori, controllo flusso, parte del framing
 - *MAC*



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 (Ethernet standard) - 10 Gbps (10 Gigabit Ethernet)



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

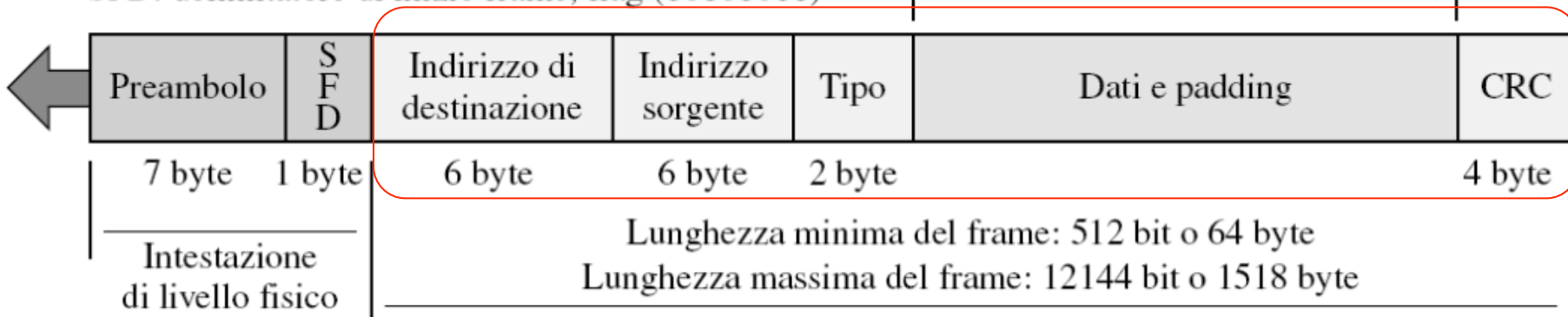
Ethernet standard (10Mbps): formato dei frame

Preambolo: 56 bit, bit 0 e 1 alternati

SFD: delimitatore di inizio frame, flag (10101011)

Lunghezza minima del payload: 46 byte

Lunghezza massima del payload: 1500 byte



- ❑ **Preambolo:** 7 byte
 - ❑ Sette byte hanno i bit 10101010
 - ❑ Serve per "attivare" le NIC dei riceventi e sincronizzare i loro orologi con quello del trasmittente
 - ❑ Fa parte dell'header del livello **fisico!**
- ❑ **SFD (Start Frame Delimeter):** 1 byte (10101011)
 - ❑ Flag che definisce l'inizio del frame (ultima possibilità di sincronizzazione)
 - ❑ Gli ultimi due bit "11" indicano che inizia l'header MAC

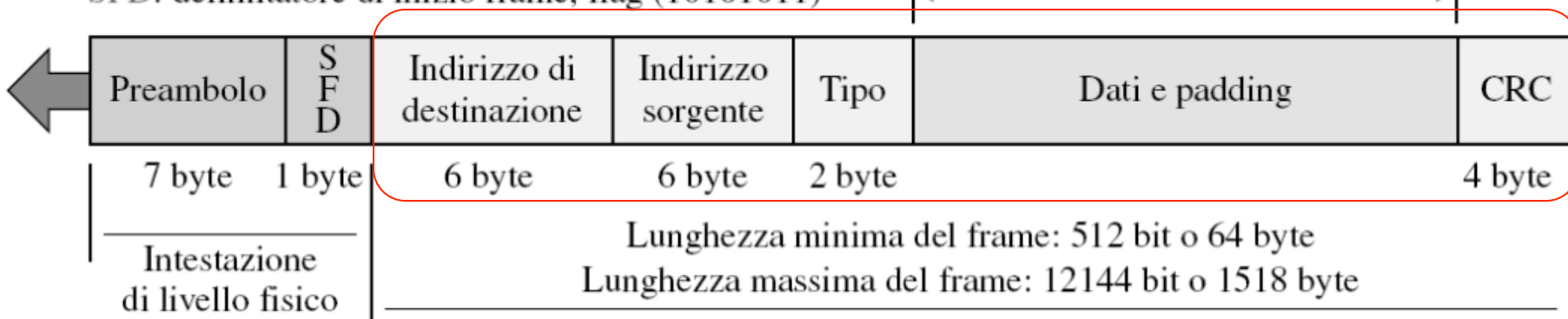
Ethernet standard (10Mbps): formato dei frame

Preambolo: 56 bit, bit 0 e 1 alternati

SFD: delimitatore di inizio frame, flag (10101011)

Lunghezza minima del payload: 46 byte

Lunghezza massima del payload: 1500 byte



□ **Indirizzi sorgente e destinazione:** 6 byte

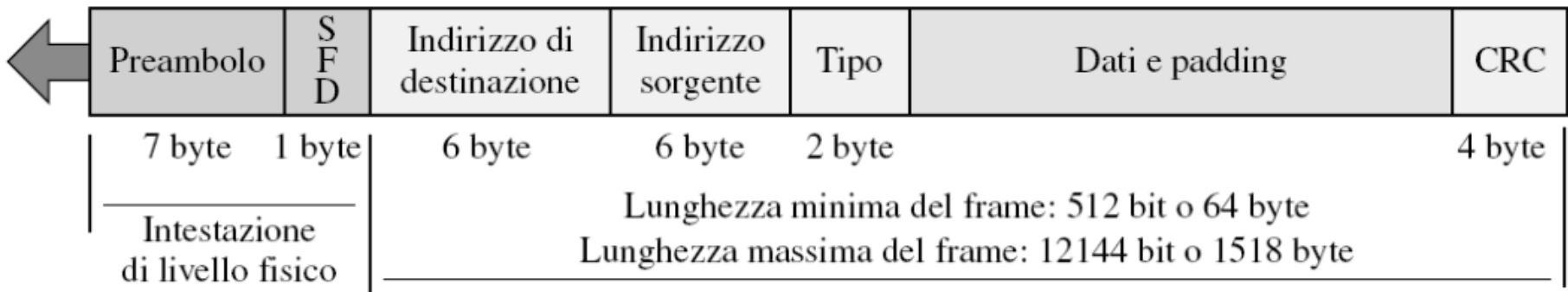
- Quando una NIC riceve un pacchetto contenente il proprio indirizzo di destinazione o l'indirizzo broadcast (es.: un pacchetto ARP), trasferisce il contenuto del campo dati del pacchetto al livello di rete.
- I pacchetti con altri indirizzi MAC vengono ignorati

Ethernet standard (10Mbps)

Preambolo: 56 bit, bit 0 e 1 alternati

SFD: delimitatore di inizio frame, flag (10101011)

Lunghezza minima del payload: 46 byte
Lunghezza massima del payload: 1500 byte



- ❑ **Tipo:** 2 byte per multiplexing/demultiplexing - il protocollo di livello superiore del pacchetto incapsulato nel frame (IP, ARP, OSPF, etc.).
- ❑ **Dati** (da 46 a 1500 byte) contiene datagramma di rete.
Se il datagramma è inferiore alla dimensione minima (46 byte) il campo viene *stuffed* con degli zeri fino a raggiungere quel valore
- ❑ **CRC:** consente alla NIC ricevente di rilevare la presenza di un errore nei bit sui campi indirizzo, tipo e dati.

Ethernet standard (10 Mbps)

- ❑ **Senza connessione:** non è prevista nessuna forma di handshake preventiva con il destinatario prima di inviare un pacchetto.
- ❑ **Non affidabile (come IP e UDP):** la NIC ricevente non invia un riscontro.

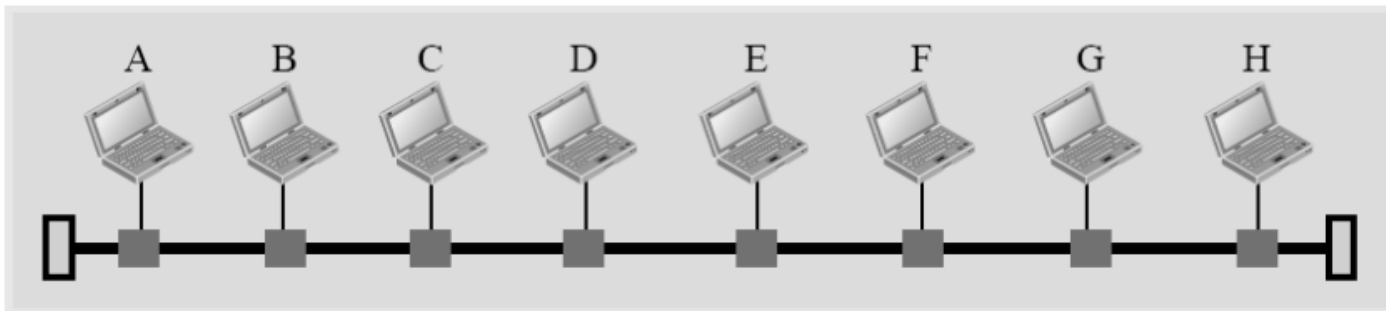
Ethernet standard (10 Mbps)

- ❑ Lunghezza minima del frame: 64 byte (512 bit)
 - 18 byte di intestazione e trailer
 - 46 byte di dati provenienti dal livello superiore, se inferiore si esegue padding (bit nulli di riempimento)
 - Necessaria per il corretto funzionamento del CSMA/CD
- ❑ Lunghezza massima del frame: 1518 byte
 - 18 byte di intestazione e trailer
 - 1500 byte di dati
 - Necessaria per evitare che una stazione possa monopolizzare il mezzo e per ragioni storiche (la memoria era molto costosa e questa restrizione permetteva di ridurre la memoria necessaria nei buffer dei dispositivi)

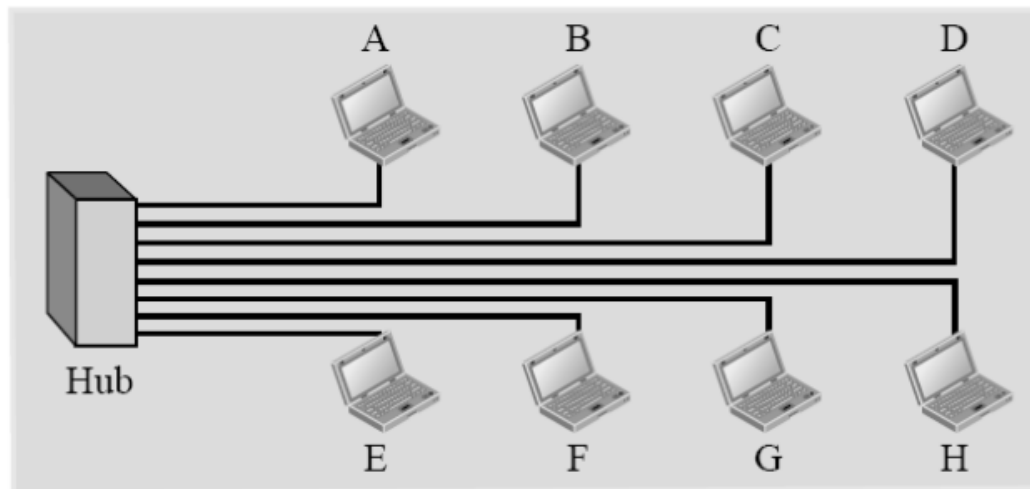
Indirizzi

- ❑ Tutte le stazioni che fanno parte di una ethernet sono dotate di una Network Interface Card (NIC) o scheda di rete
- ❑ La NIC fornisce un indirizzo di rete di livello di collegamento
- ❑ Gli indirizzi vengono trasmessi da sinistra verso destra, byte per byte, ma per ciascun byte il bit meno significativo viene inviato per primo e quello più significativo per ultimo

Implementazione di Ethernet standard

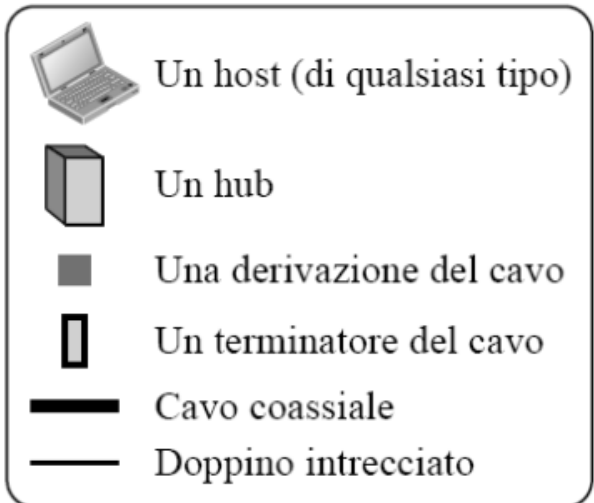


a. Rete LAN con topologia a bus che utilizza un cavo coassiale.



b. Rete LAN con topologia a stella che utilizza un hub.

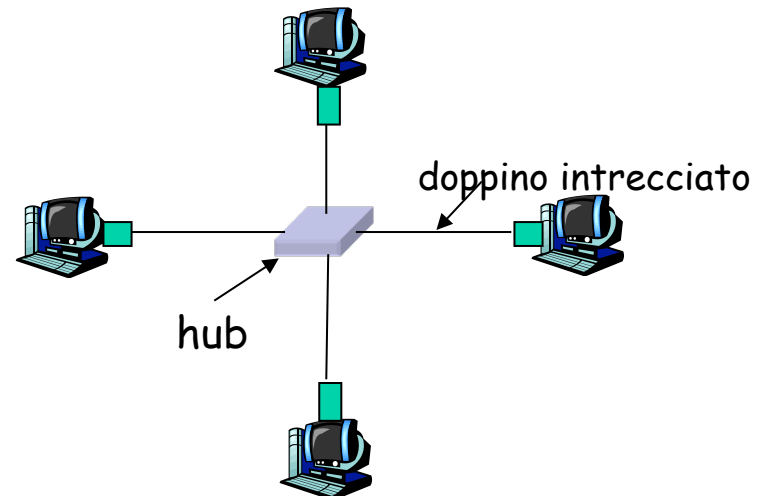
Legenda



Repeater e Hub

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

- opera a **livello fisico**
- 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



Fasi operative del protocollo CSMA/CD

1. **Framing**: La NIC riceve un datagramma di rete dal nodo cui è collegato e prepara un frame Ethernet.
2. **Carrier Sense e trasmissione**: Se il canale è inattivo ($100\mu\text{s}$), 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* di 48 bit).
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 altre NIC che sono in fase trasmissiva.

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 $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$.

Fast ethernet (100 Mbps)

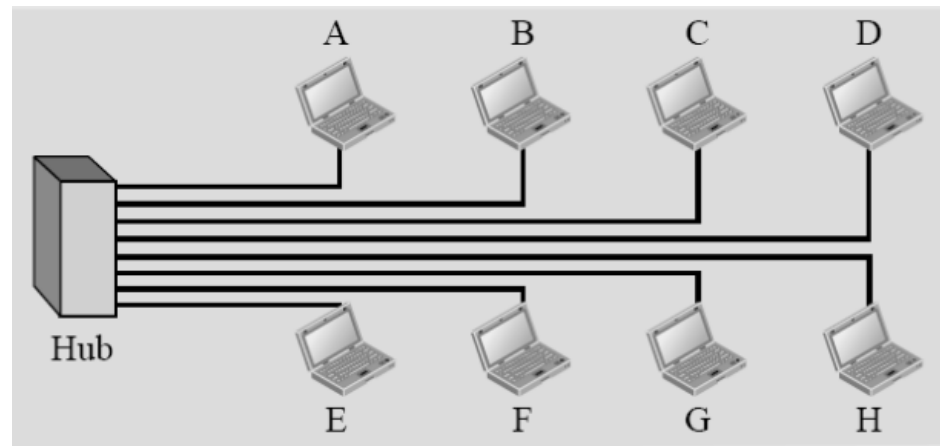
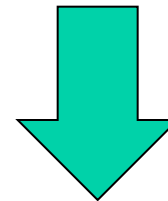
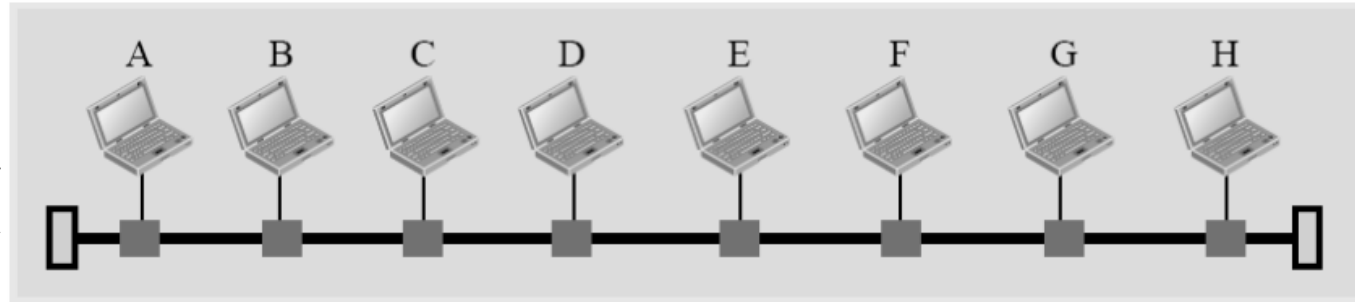
- ❑ Negli anni 90 apparvero sul mercato alcune tecnologie LAN con rate superiore a 10 Mbps (FDDI)
- ❑ Ethernet Standard si è evoluta a Fast Ethernet (100 Mbps) mantenendo compatibilità con la versione precedente
 - Sottolivello MAC rimasto invariato, compreso il formato del frame e le sue dimensioni
 - Problemi con funzionamento di CSMA/CD?

Metodo di accesso Fast Ethernet

- ❑ Il funzionamento corretto del CSMA/CD dipende dalla velocità di trasmissione, dalla dimensione minima del frame, dalla lunghezza massima della rete
- ❑ Se si vuole mantenere la dimensione minima del frame a 512 bit allora bisogna modificare la lunghezza massima della rete
 - Se la trasmissione è 10 volte più veloce e il frame è ancora di 512 bit, allora le collisioni devono essere rilevate 10 volte più velocemente, quindi la rete deve essere 10 volte più corta!

Prima soluzione

Abbandonare la topologia a stella, utilizzare un hub passivo con topologia a stella ma fissare la dimensione massima della rete a 250 metri invece che 2500 della versione standard

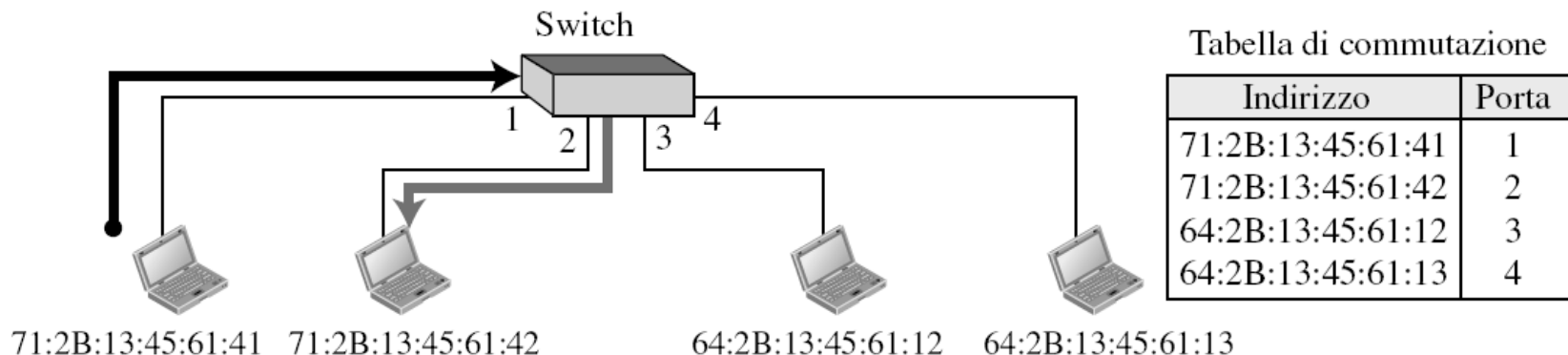


Seconda soluzione

- ❑ Si usa uno switch di collegamento dotato di buffer per memorizzare i frame e connessione full duplex per ciascun host
- ❑ Il mezzo trasmissivo è privato per ciascun host e non c'è bisogno di usare CSMA/CD dal momento che gli host non sono più in competizione
- ❑ Lo switch riceve un frame da un host, lo memorizza nel buffer, verifica l'indirizzo di destinazione e invia il frame attraverso l'interfaccia corrispondente
- ❑ Il singolo mezzo condiviso è stato modificato in molti mezzi punto-punto

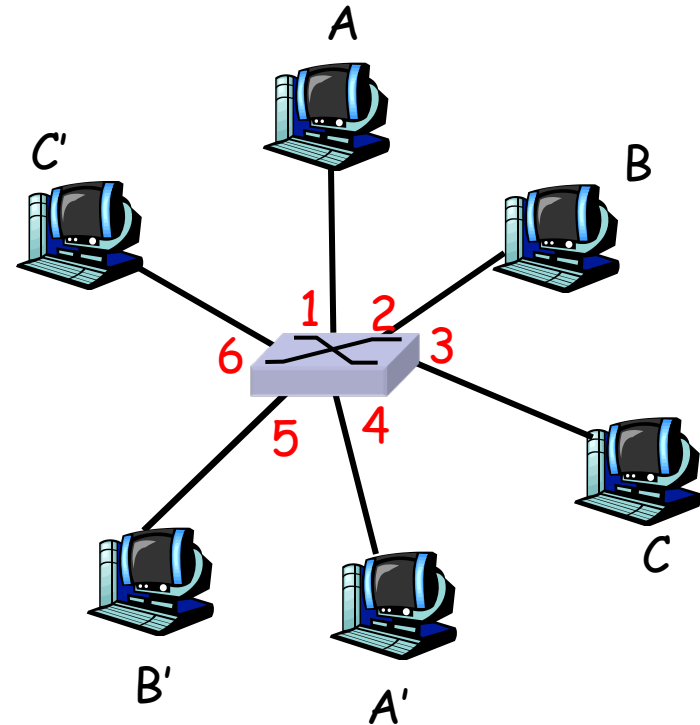
Switch

- ❑ **Dispositivo del livello di link: più intelligente di un hub, svolge un ruolo *attivo***
 - Opera a **livello di collegamento**
 - Filtra e inoltra i pacchetti Ethernet.
 - Esamina l'indirizzo di destinazione e lo invia all'interfaccia corrispondente alla sua destinazione.
- ❑ **Trasparente**
 - Gli host non sono consapevoli della presenza dello switch.



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)*

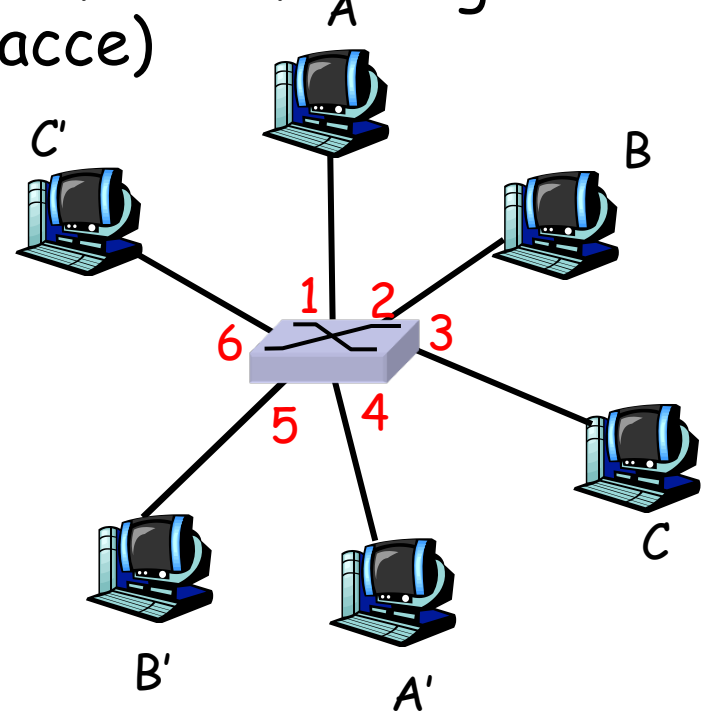
Gigabit Ethernet

- ❑ Successiva versione di Ethernet a 1000 Mbps
- ❑ Topologia a stella con switch
- ❑ No collisioni
 - La massima lunghezza del cavo dipende solo dall'attenuazione del segnale
- ❑ 10 Gigabit Ethernet (fibra ottica): uso nelle MAN

Switch: apprendimento

- ❑ Inizialmente gli switch venivano configurati staticamente
- ❑ Ora c'è un meccanismo dinamico di auto-apprendimento
 - Non hanno bisogno di essere configurati
 - Una tabella dinamica associa automaticamente gli indirizzi MAC alle porte (interfacce)

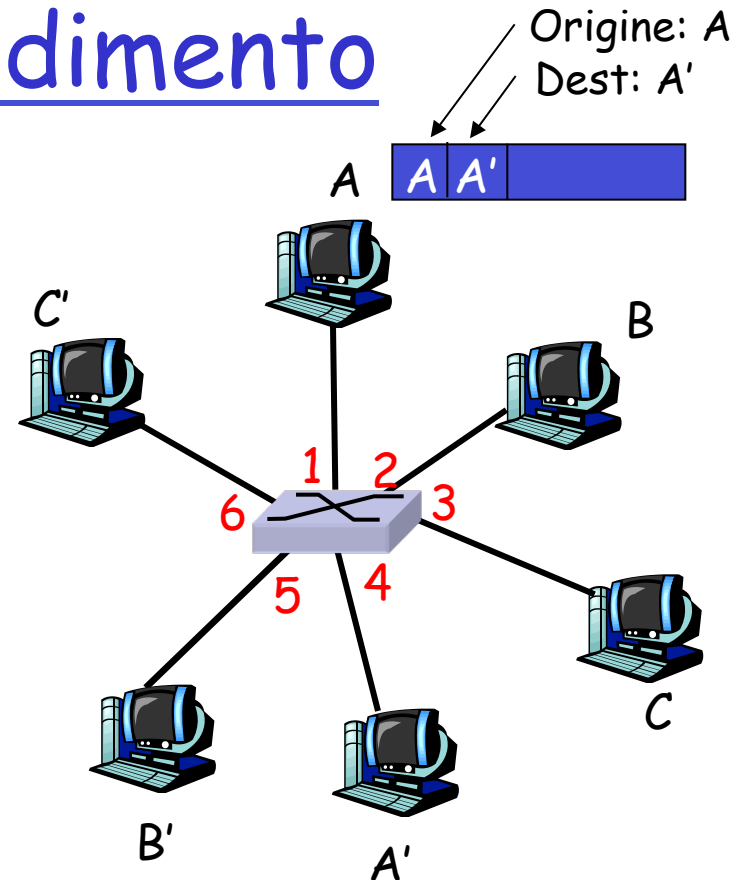
- ❑ D: come fa lo switch a creare la **tabella di commutazione** (*switch table*)?



*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/interfaccia nella sua tabella di commutazione



Indir. MAC	Interfaccia	TTL
A	1	60

*Tabella di commutazione
(inizialmente vuota)*

Autoapprendimento, inoltre: un esempio

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

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

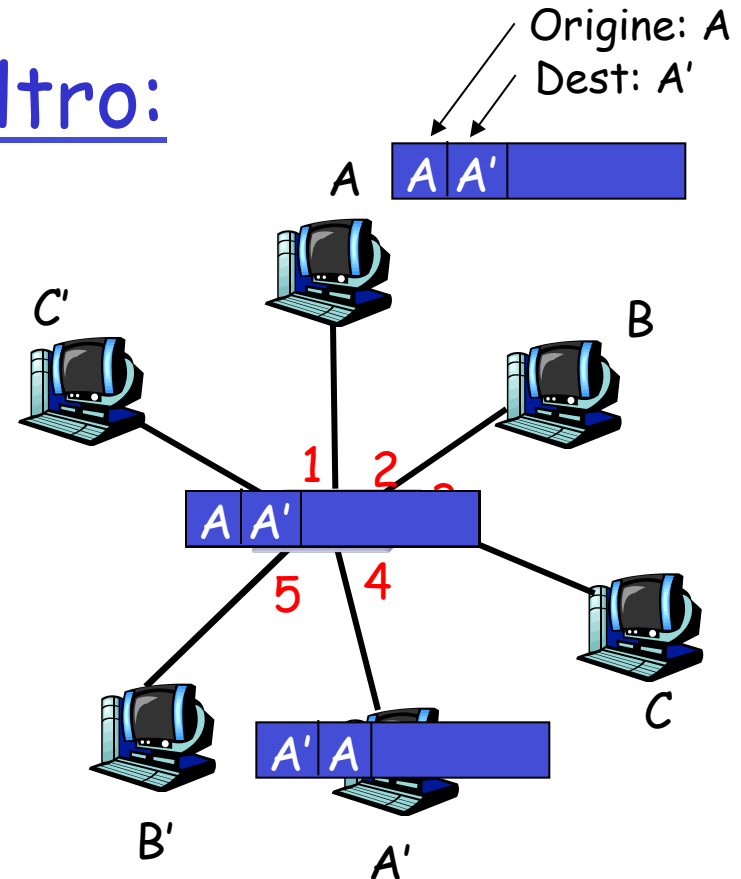


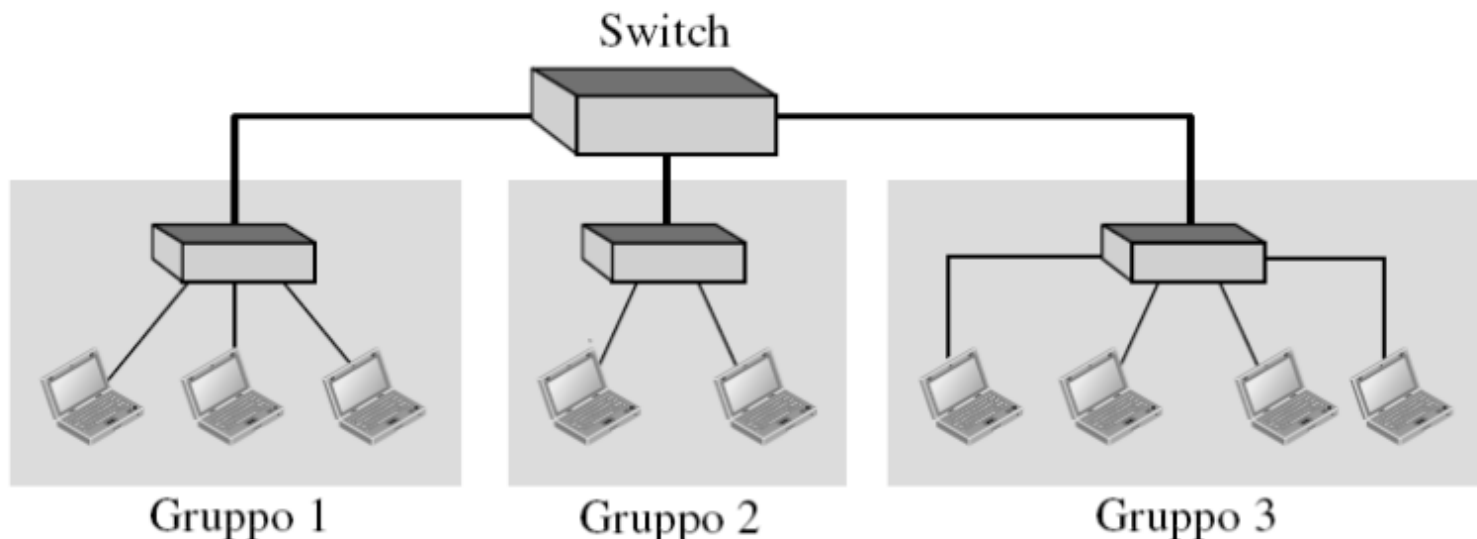
Tabella di commutazione
(inizialmente vuota)

Proprietà degli switch

- ❑ Sono dispositivi plug-and-play: non richiedono intervento dell'amministratore di rete o dell'utente
- ❑ Eliminano le collisioni: bufferizzano i frame e non trasmettono più di un frame alla volta su ogni *segmento* di rete
- ❑ Interconnettono link eterogenei: collegamenti che operano a diverse velocità possono essere collegati a uno switch
- ❑ Aumentano la sicurezza della rete e migliorano il network management
 - No packet sniffer
 - Forniscono informazioni su uso di banda, collisioni, tipi di traffico, etc.

LAN virtuali: motivazioni

- ❑ Supponiamo di avere uno switch che collega 3 LAN (interconnesse mediante switch) e 3 gruppi di lavoro
- ❑ Cosa succede se una persona del primo gruppo viene spostata in un altro gruppo?



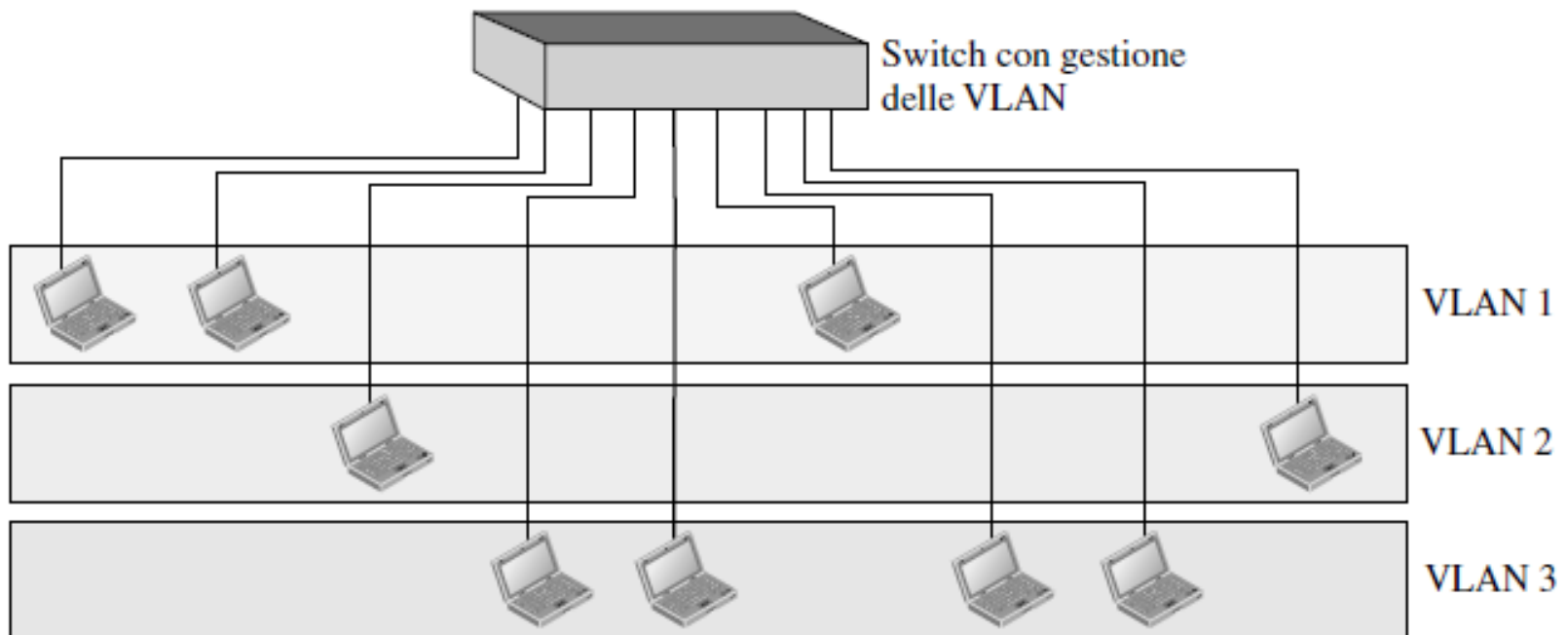
LAN virtuali: motivazioni

E ancora..

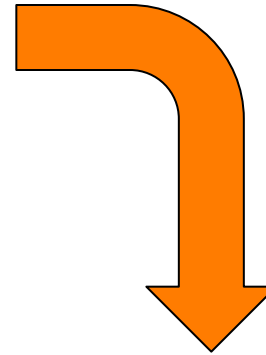
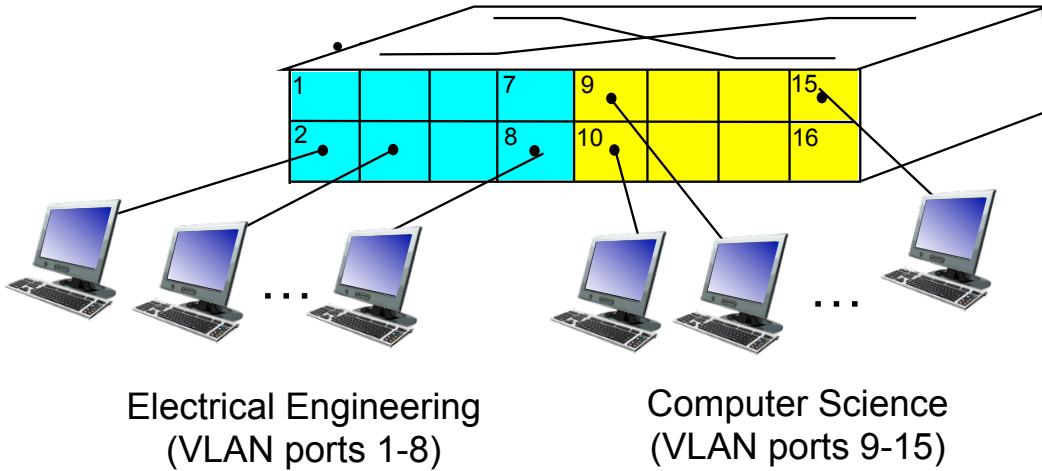
Se invece di 3 gruppi si hanno 10 gruppi di poche persone, bisognerebbe avere 10 switch? Oppure un unico switch che non rispecchia la separazione tra gruppi e non isola il traffico?

VLAN

- ❑ Rete locale configurata per mezzo del software anziché del cablaggio fisico
- ❑ La LAN viene suddivisa in segmenti logici anziché fisici
- ❑ Una LAN può essere suddivisa in più VLAN
- ❑ Il gruppo di appartenenza è definito dal software



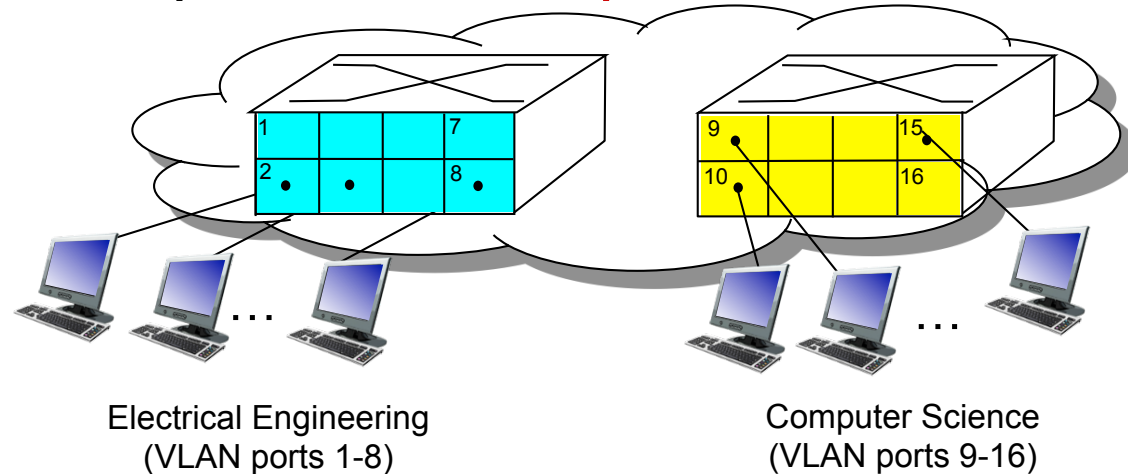
Uno switch con 2 LAN



Virtual Local Area Network

switch(es) supporting VLAN capabilities can be configured to define multiple **virtual** LANS over single physical LAN infrastructure.

... operates as **multiple** virtual switches

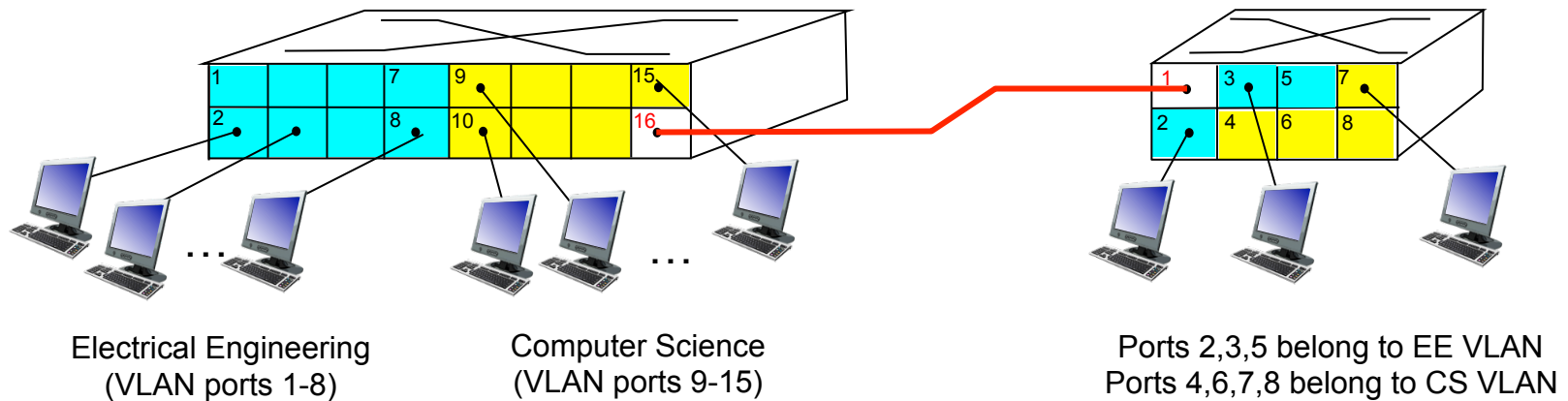


LAN virtuali

- ❑ Management software dello switch permette all'amministratore di rete di dichiarare quali porte appartengono a una data LAN
- ❑ Lo switch mantiene una tabella di associazioni porta-VLAN

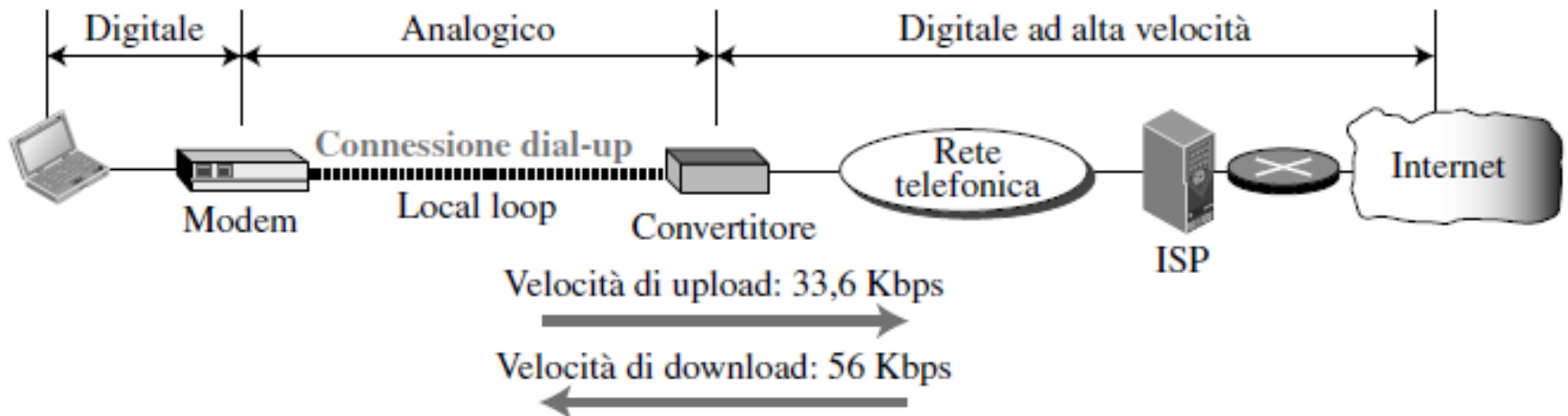
VLAN

- ❑ Supponiamo di avere partecipanti a due gruppi in edifici diversi
- ❑ VLAN trunking: una porta speciale su ogni switch viene configurata come porta trunk per interconnettere i due switch. La porta trunk appartiene a entrambe le VLAN e riceve i frame indirizzati a entrambi le VLAN



Reti punti-punto

- ❑ Alcune reti punto-punto (telefoniche dial-up e ADSL) sono usate per fornire agli utenti accesso a Internet
- ❑ Collegamento dedicato tra due dispositivi
- ❑ Non utilizzano il controllo di accesso al mezzo condiviso (MAC) ma protocolli dedicati come il Point-to-point protocol



Point-to-point protocol

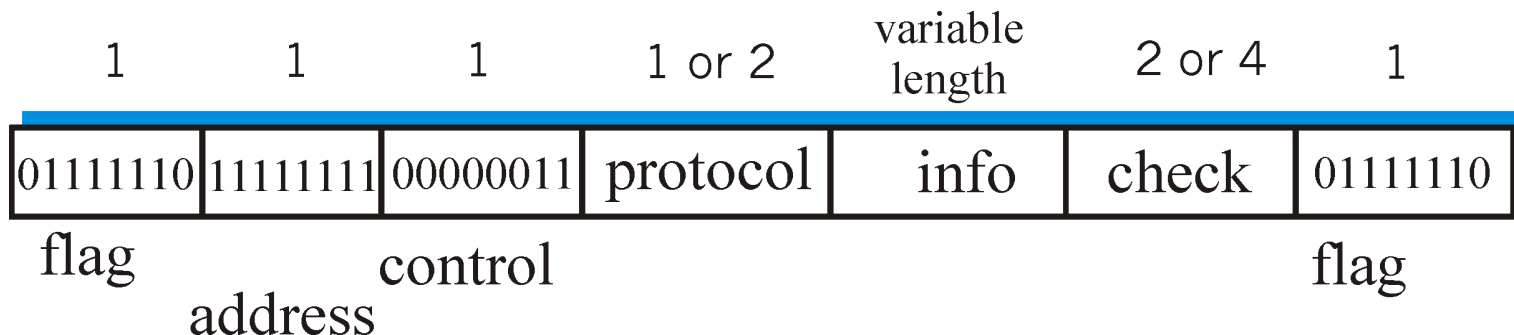
- ❑ Il protocollo Punto-punto è stato sviluppato dall' Internet Engineering Task Force (IETF) come mezzo per trasmettere dati per più di una rete sullo stesso collegamento seriale in un modo standard e indipendente dal produttore.
- ❑ Può trasportare traffico IP, Novell IPX, AppleTalk, DECnet
- ❑ Un 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 seriale commutata, un collegamento a fibra ottica

Requisiti di IETF per il progetto PPP [RFC 1547]

- ❑ **Framing dei pacchetti:** il protocollo PPP del mittente incapsula un pacchetto a livello di rete all'interno del un pacchetto PPP a livello di link.
- ❑ **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.

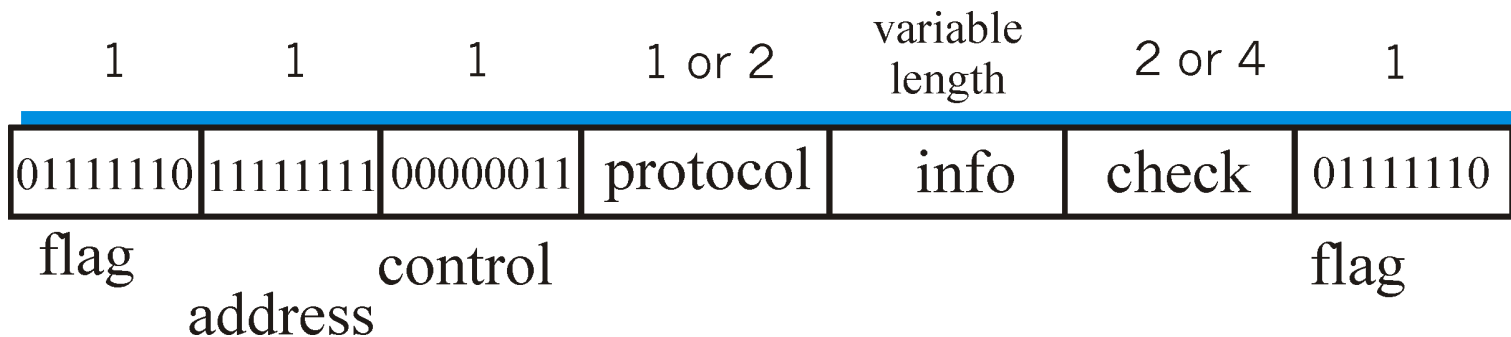
Formato dei pacchetti dati PPP

- ❑ **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.



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
- ❑ Ci sono ancora argomenti da vedere!
 - Wireless
 - il laboratorio SDN