

Università di Roma Tor Vergata
Corso di Laurea triennale in Informatica
Sistemi operativi e reti
A.A. 2016-17

Pietro Frasca

Parte II: Reti di calcolatori
Lezione 22 (46)

Venerdì 26-05-2017

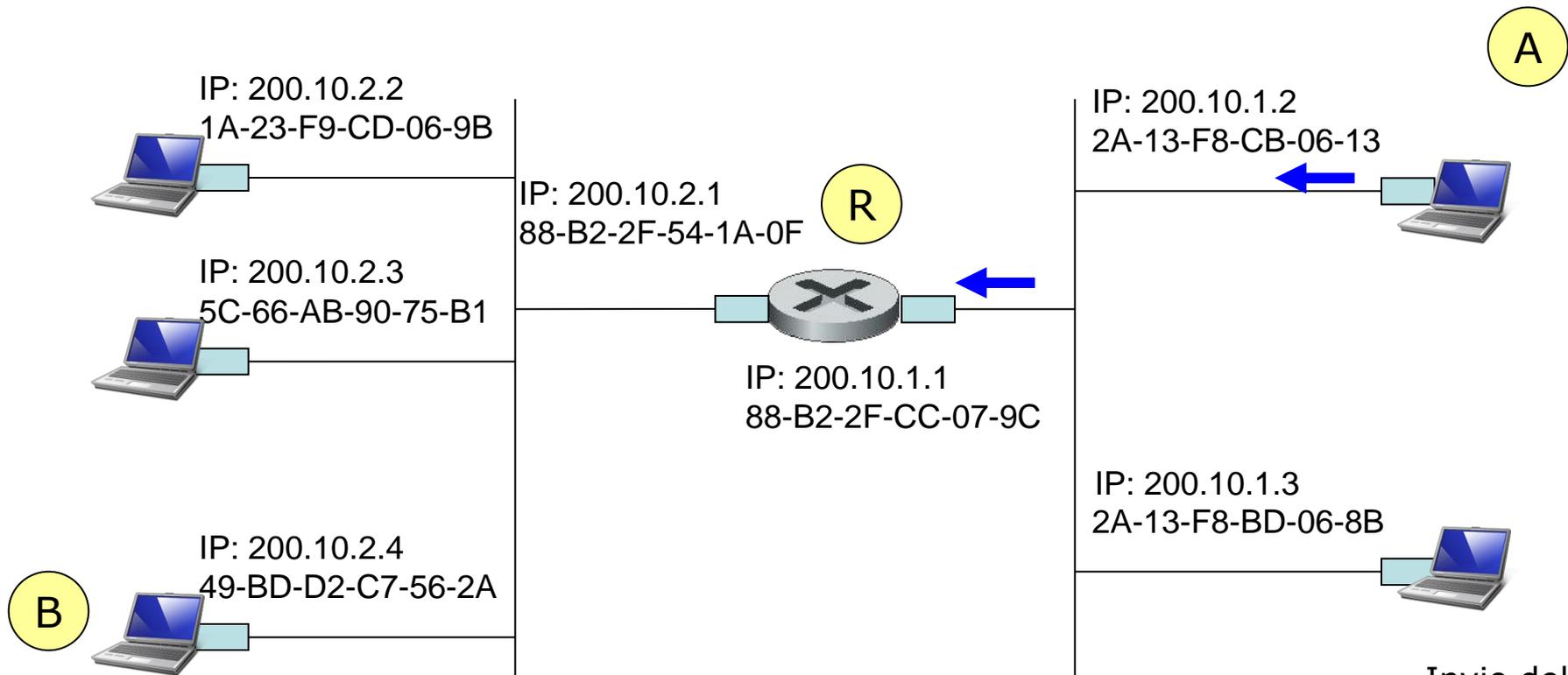
- La figura mostra la tabella ARP nel nodo 200.10.1.2.

Indirizzo IP	Indirizzo MAC	TTL
200.10.1.1	88-B2-2F-54-1A-0F	13:45:00
200.10.1.3	5C-66-AB-90-75-B1	13:52:00

- Per ciascuna corrispondenza di indirizzi la tabella contiene anche un campo **tempo di vita** (**TTL**, *Time-To-Live*), che indica quando una riga sarà eliminata dalla tabella. Un **tempo di vita tipico** per una riga è di **20 minuti** dal momento in cui è stata inserita nella tabella ARP.
- Man mano che un nodo comunica con altri nodi, riempie la tabella arp. La tabella ARP di un nodo si costruisce quindi automaticamente, non deve essere configurata manualmente, anche se è possibile aggiungervi righe manualmente.
- **E' da notare che l'ARP risolve solo gli indirizzi IP per i nodi nella stessa LAN.**

Invio di datagram a un nodo esterno alla LAN

- Abbiamo visto il funzionamento di ARP quando entrambi i nodi, mittente e destinatario, appartengono alla stessa LAN.
- Vediamo ora il caso in cui i due nodi appartengono a LAN diverse.
- Un tale scenario è mostrato nella figura seguente, che mostra una semplice rete costituita da due LAN interconnesse mediante un router.
- Ora, ci sono due tipi di nodi: gli host e il router. Un router ha un indirizzo IP e un indirizzo LAN per *ciascuna* delle sue interfacce.



Invio del frame contenente il datagram (al router)

A	2A-13-F8-CB-06-13	88-B2-2F-CC-07-9C	ALTRI CAMPI DEL FRAME	DATAGRAM
R	88-B2-2F-54-1A-0F	FF-FF-FF-FF-FF-FF	200.10.2.1	200.10.2.4
B	49-BD-D2-C7-56-2A	88-B2-2F-54-1A-0F	200.10.2.4	200.10.2.1

Il router inoltra il datagram sulla rete 200.10.2.0 /24
Utilizza ARP per conoscere l'indirizzo LAN di B.

- Supponiamo ora che l'host **A** (200.10.1.2) voglia inviare un datagram IP all'host **B** (200.10.2.4). L'host mittente passa il datagram al suo adattatore. Ma questo host deve anche indicare al suo adattatore un appropriato indirizzo LAN di destinazione.
- Per il nostro esempio, vediamo che per inviare un datagram da **A** a un nodo connesso alla **LAN 2**, il datagram deve prima essere inviato all'interfaccia del router 200.10.1.1.
- Come abbiamo visto, la tabella di inoltrò nell'host A indicherà che per raggiungere l'host B, il datagram deve prima essere inviato all'interfaccia 200.10.1.1 del router.
- Allora, l'appropriato indirizzo LAN per il frame è quello dell'adattatore dell'interfaccia 200.10.1.1 del router, cioè, 88-B2-2F-CC-07-9C che l'host mittente può ottenere attraverso l'uso dell'ARP.

- Quando l'adattatore mittente invia un frame al router, l'adattatore **crea un frame contenente il datagram** e lo invia nella LAN 1. L'adattatore del router sulla LAN 1 riconosce che il frame è indirizzato ad esso, e allora lo passa allo strato di rete del router.
- Il router ora deve determinare la corretta interfaccia su cui il datagram deve essere inoltrato. Questo compito è svolto nel router, dal protocollo di instradamento dello strato di rete, il quale consulta la tabella di instradamento.
- Nel nostro esempio, questa tabella dice al router che il datagram deve essere rinviato attraverso l'interfaccia 200.10.2.1.
- Questa interfaccia passa quindi il datagram al suo adattatore, che lo incapsula in un nuovo frame.
- Prima di inviarlo nella LAN 2, il router ottiene l'indirizzo della destinazione finale mediante l'ARP come descritto precedentemente.

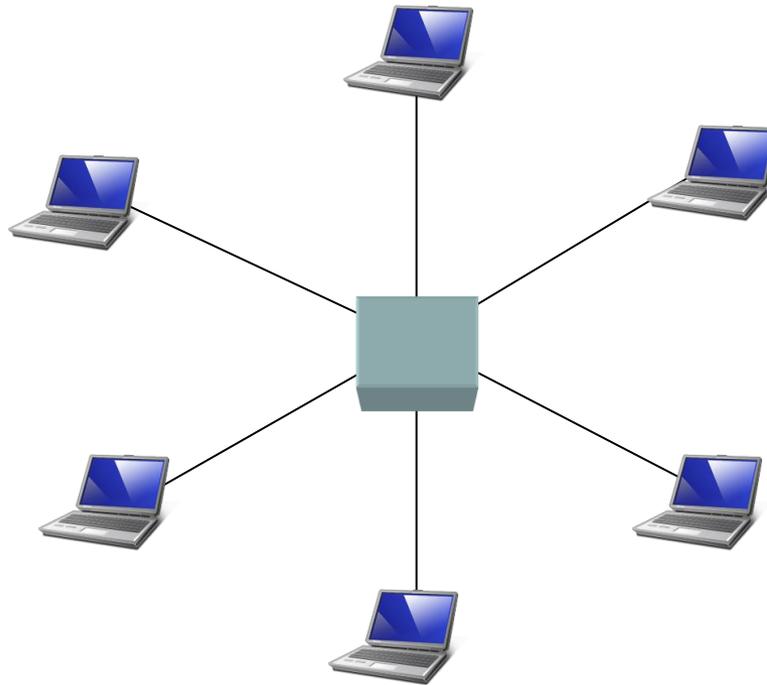
- Generalmente i sistemi operativi, come ad esempio linux, unix e windows dispongono di un comando **arp** che consente di visualizzare la tabella **arp**.

```
C:\Users\Pietro>arp -a
```

```
Interfaccia: 160.80.10.167 --- 0xa
Indirizzo Internet      Indirizzo fisico      Tipo
160.80.10.1             2c-6b-f5-38-46-00    dinamico
160.80.10.11            00-08-02-91-20-40    dinamico
160.80.10.24            00-21-b7-08-a3-84    dinamico
160.80.10.215          00-08-02-4f-87-fa    dinamico
160.80.10.255          ff-ff-ff-ff-ff-ff    statico
```

Ethernet

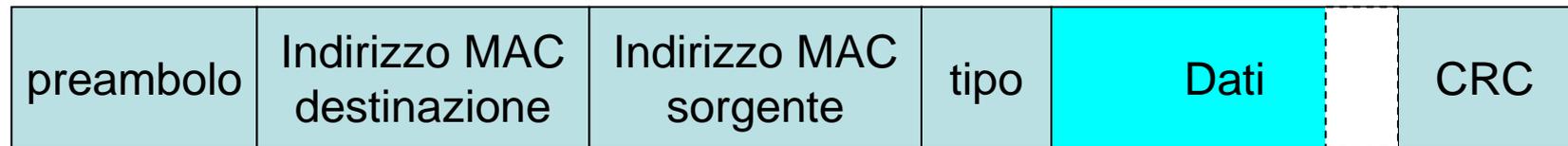
- Ethernet è attualmente la tecnologia LAN più diffusa.
- Nata nella metà degli anni '70, Ethernet si è evoluta, mantenendo nel tempo la sua posizione prevalente sul mercato.
- La tecnologia Ethernet più nuova ha una **topologia a stella** con la quale i nodi sono collegati tramite switch o hub (tecnologia in disuso). Le connessioni tra nodi e switch sono realizzate prevalentemente con cavo UTP e fibra ottica.
- La velocità di trasmissione di Ethernet può assumere valori differenti: 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s e 10 Gbit/s.
- Anche se Ethernet ha diverse versioni, tutte condividono alcune importanti caratteristiche. Prima di vedere le differenti tecnologie, descriviamo le caratteristiche comuni.



Ethernet con topologia a stella. I nodi sono connessi tramite switch o hub (in disuso).

Struttura del frame di Ethernet

- Tutte le tecnologie Ethernet hanno in comune la stessa intestazione del frame che è di 26 byte.



- **Preambolo** (8 byte). Il campo preambolo è di otto byte con valori fissi. I primi sette byte hanno valore **10101010**, l'ottavo byte ha valore **10101011**. I primi sette byte servono per sincronizzare i clock degli adattatori riceventi con quello del mittente. Gli ultimi due bit del preambolo indicano l'inizio dei campi del frame, a partire dal campo indirizzo MAC di destinazione.

- **Indirizzo di destinazione** (6 byte). Contiene l'indirizzo LAN dell'adattatore di destinazione. Se un adattatore riceve un frame con un indirizzo di destinazione uguale al suo indirizzo LAN o all'indirizzo LAN broadcast, esso passa il contenuto del campo dati al protocollo specificato nel **campo tipo**, altrimenti ignora il frame.
- **Indirizzo sorgente** (6 byte). Questo campo contiene l'indirizzo LAN dell'adattatore del nodo mittente.
- **Tipo** (2 byte). Questo campo specifica il protocollo dello strato superiore a cui ethernet deve consegnare il campo dati (generalmente ad un protocollo dello strato di rete). Ricordiamo che oltre ad IP esistono anche altri protocolli dello strato di rete che usano Ethernet, come ad esempio Novell, IPX o AppleTalk ciascuno dei quali ha un caratteristico numero di tipo. Anche, il protocollo ARP è identificato da un numero di tipo (0x0806).

- **Campo dati.** Questo campo può avere una lunghezza compresa tra 46 e 1500 byte e contiene generalmente il datagram IP. La dimensione minima del campo dati è di **46 byte**. Questo implica che se il campo dati è più corto di 46 byte, esso deve essere "**riempito**" con byte fino a raggiungere la dimensione di 46 byte. Se il frame è stato riempito con byte addizionali, lo strato di rete nel nodo destinatario, usa il campo **lunghezza del datagram IP** per rimuovere i dati di riempimento. L'**MTU** (*Maximum Transfer Unit*) per Ethernet è di **1500 byte**. Pertanto, se il datagram IPv4 è più lungo di 1500 byte, allora l'host mittente deve ridurre la dimensione del segmento o i router devono frammentare il datagram.
- **Controllo a ridondanza ciclica (CRC)** (4 byte). Come già descritto, il campo CRC è usato per individuare la presenza di errori nel frame. Il campo CRC viene calcolato nell'adattatore mittente in funzione degli altri bit del frame, esclusi i bit del preambolo. Quando il frame arriva all'adattatore destinatario, questo esegue le operazioni di verifica per stabilire se il risultato è uguale a quello contenuto nel campo CRC. Se il risultato non è uguale al contenuto del campo CRC, allora l'adattatore ricevente rileva un errore nel frame.

Servizio senza connessione non affidabile

- Tutte le tecnologie Ethernet forniscono allo strato di rete un **servizio senza connessione** non affidabile analogo ai servizi senza connessione forniti da IP nello strato di rete e da UDP nello strato di trasporto.
- La mancanza di affidabilità può causare una perdita di dati ma rende Ethernet semplice ed economica.
- Anche se non si sono verificate collisioni, un frame, quando è ricevuto, può contenere errori dovuti a disturbi nel canale di comunicazione. In particolare, l'adattatore ricevente verifica il frame con il controllo CRC, ma non invia alcun riscontro al mittente. L'adattatore mittente quindi non sa se il destinatario ha ricevuto il frame senza errori.
- Quando un frame non supera il controllo CRC, l'adattatore ricevente lo scarta.

- Se ci sono perdite di dati dovute ai frame Ethernet scartati, l'applicazione ricevente, come abbiamo visto in precedenza, se usa il TCP, recupera i segmenti persi mentre se usa UDP, allora i dati saranno effettivamente persi.

Funzionamento di CSMA/CD di Ethernet

1. L'adattatore mittente riceve un datagram dallo strato di rete e costruisce un frame Ethernet.
2. Se il canale è libero, inizia a trasmettere. Se il canale è occupato, attende fino a quando diventa libero.
3. Durante la trasmissione, ascolta continuamente il canale per verificare la presenza di eventuali segnali provenienti da altri adattatori. Se non ne rileva, considera il frame spedito con successo.
4. Se rileva collisioni, interrompe immediatamente la trasmissione del frame e invia un **segnale di disturbo** di 48 bit detto **jam**. Questo segnale serve per avvisare tutti gli altri nodi che sono in attesa di trasmettere che è avvenuta una collisione.
5. Quando l'adattatore rileva una collisione rimane in attesa (esponenziale). In particolare, quando riscontra l'**n-esima** collisione consecutiva, sceglie casualmente un valore **K** tra $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$, dove **m** è dato da **min(n, 10)**.

L'adattatore aspetta un tempo pari a **K volte la durata di 512 bit** e ritorna al Passo 2.

- La durata di un **bit** dipende dalla velocità di trasmissione ed è quindi di 0,1 μ s per Ethernet a 10 Mbps, 0,01 μ s per Ethernet a 100 Mbps.
- La tecnica dell'**attesa esponenziale** cerca di stimare quanti siano gli adattatori coinvolti. Se sono numerosi il tempo di attesa potrebbe essere lungo.
- Nella prima collisione si sceglie K tra $\{0,1\}$; il tempo di attesa è pari a K volte della durata di 512 bit.
 - Se si sceglie 1 l'adattatore attende 5,12 microsecondi
 - Alla seconda collisione si sceglie K tra $\{0,1,2,3\}$...
 - ...
 - Dopo dieci e più collisioni, sceglie K tra $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$
 - L'attesa massima per la 100baseT è quindi di $512 \cdot 1023 \cdot 0,01$ us = 5,24 msec

Efficienza di Ethernet

- Quando su un canale broadcast c'è un solo nodo che trasmette, lo può fare alla massima velocità consentita (10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps). Ma se i nodi a trasmettere sono molti l'effettiva velocità di trasmissione può essere molto inferiore.
- Definiamo **efficienza di ethernet** la frazione di tempo media durante la quale i frame sono trasmessi sul canale senza collisioni, quando sono presenti un elevato numero di nodi in fase di trasmissione, con un elevata quantità di frame da inviare.

Indichiamo con:

Tprop = **tempo massimo** che occorre al segnale per propagarsi fra una coppia di adattatori;

Ttrasm = tempo necessario per trasmettere un frame della maggiore dimensione possibile (circa 1.2 ms per ethernet 10baseT e 0.12 ms per 100baseT);

una semplice approssimazione è data da:

$$\text{Efficienza} = 1 / (1 + 5 \cdot T_{prop} / T_{trasm})$$

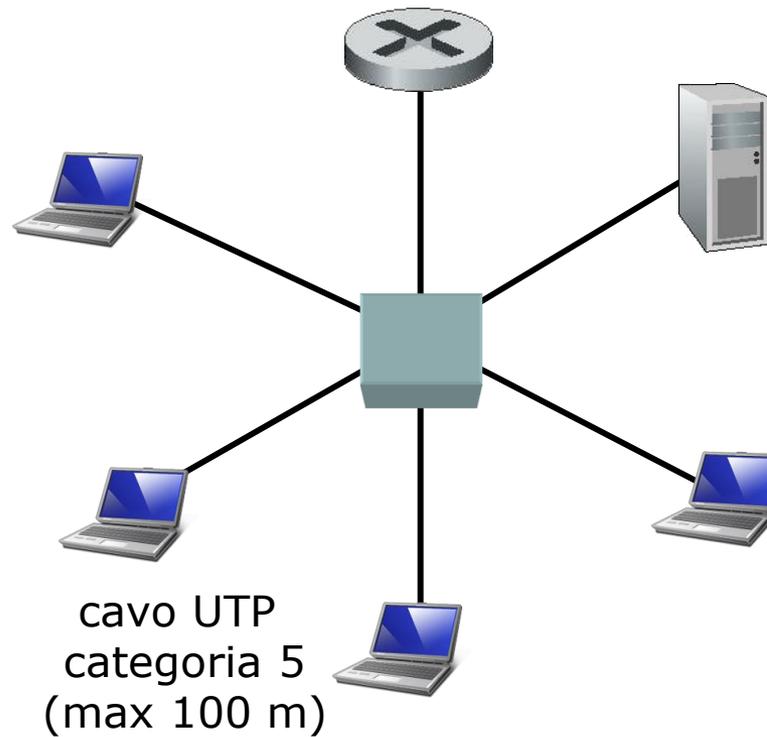
- Quando ***Tprop*** tende a 0, l'efficienza tende a 1.
- Al crescere di ***Ttrasm***, l'efficienza tende a 1.

Tecnologie Ethernet

- Le più diffuse tecnologie Ethernet oggi sono la **10BaseT** e **100BaseT (Fast Ethernet)**, che usano cavi costituiti da coppie di doppino in rame in una **topologia a stella** e hanno velocità di trasmissione di 10 e 100 Mbit/s e la **Gigabit Ethernet**, che usa sia fibre ottiche sia doppini in rame e trasmette alla velocità di 1 Gbit/s.
- Ethernet 10 Gbps è stata standardizzata nel 2007, fornisce prestazioni ancora più elevate.
- La **10Base2**, che usa un sottile cavo coassiale con una topologia a bus condiviso e che ha una velocità di trasmissione di 10 Mbit/s è una **tecnologia obsoleta**.
- Queste tecnologie Ethernet sono standardizzate dai gruppi di lavoro **IEEE 802.3**. Per questo motivo, la LAN Ethernet è chiamata anche **LAN 802.3**.

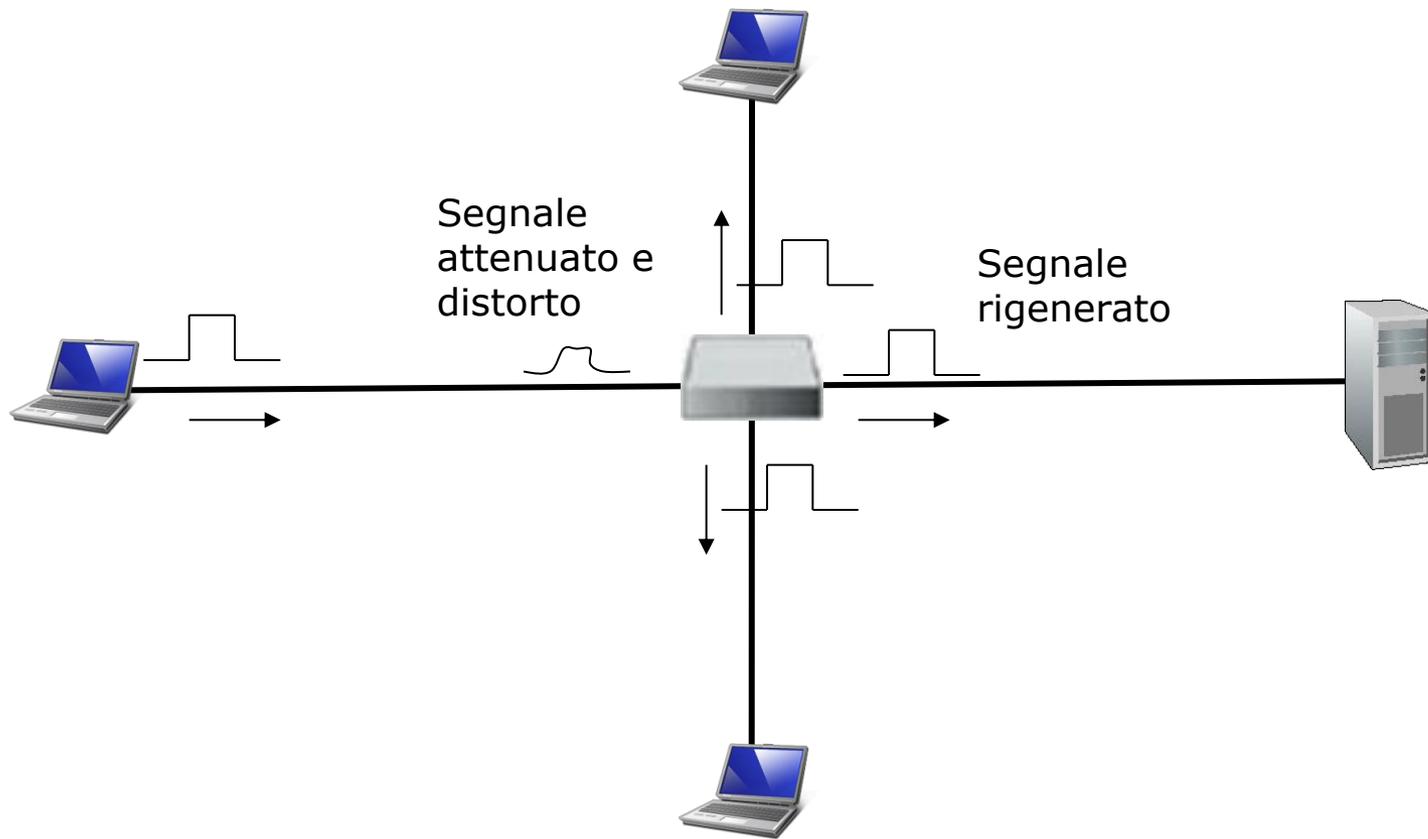
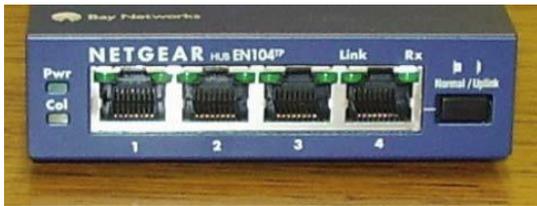
10BaseT e 100BaseT

- Ethernet 100BaseT è la tecnologia più diffusa oggi.
- Sia l'Ethernet 10BaseT sia la 100BaseT hanno una **topologia a stella**, come mostra la figura seguente.
- Nella topologia a stella i nodi (host, router o altri dispositivi) sono connessi tramite dispositivi di interconnessione detti **switch o hub (ripetitore multiporta o concentratore)**.
- Ciascun nodo è connesso tramite il suo adattatore con un cavo con lo switch o l'hub.
- Il cavo per la connessione è di tipo **UTP categoria 5** che a ciascuna estremità ha un connettore **RJ-45**, simile al connettore RJ-11 usato per la telefonia.
- La "**T**" in 10BaseT e in 100BaseT indica il "**doppino**" (***twisted pair***). Per entrambe le tecnologie, 10BaseT e 100BaseT, la massima lunghezza della connessione fra un adattatore e l'hub è **100 metri**; la massima distanza fra due nodi qualsiasi è quindi **200 metri**.



Ethernet con topologia a stella. I nodi sono connessi tramite hub o switch.

- La distanza massima può essere aumentata usando più hub in cascata, switch e link in fibra ottica. Spesso si usano collegamenti in fibra ottica per collegare hub o switch situati in edifici diversi.
- Un **hub** è un dispositivo, costituito da due o più porte, che elabora solo il segnale fisico e non il frame. Quando riceve un segnale da una porta, l'hub si limita a rigenerarlo e a trasmetterlo attraverso tutte le altre porte. Dato che gli hub trasmettono in broadcast, ciascun adattatore deve usare il protocollo CSMA/CD.
- Gli hub forniscono anche **funzioni di gestione della rete**. Per esempio se un adattatore è difettoso e invia continuamente a raffica frame Ethernet, l'hub rileverà il problema e disattiverà la porta cui l'adattatore è connesso. In tal modo gli altri nodi della Ethernet 10/100BaseT continueranno a comunicare.
- Inoltre, molti hub possono fornire informazioni e fare un resoconto a, un host che è direttamente collegato all'hub. Il software di monitoraggio che gira sull'host dispone di un'interfaccia grafica che mostra statistiche e grafici, come larghezza di banda usata, tassi di collisione, dimensioni medie dei frame e così via. Il gestore della rete può usare queste informazioni sia per la correzione dei problemi, sia per pianificare eventuali estensioni della LAN.



- Molti adattatori Ethernet sono oggi a 10/100/1000 Mbit/s. Questo significa che essi possono usare tutte e tre le tecnologie.
- La 100BaseT, usa il cavo UTP di **categoria 5** (con doppini di alta qualità, con fili con molti avvolgimenti). A differenza dalla 10BaseT, **la 100BaseT** non usa la codifica Manchester, adotta invece un sistema di codifica più efficiente, detto **4B5B**.
- La fibra ottica è costosa per l'elevato prezzo dei suoi connettori, ma ha una eccellente immunità ai disturbi. Gli standard IEEE 802 permettono a una LAN di avere un'area geografica più vasta quando si usano le fibre per il collegamento dei nodi.

Gigabit Ethernet e Ethernet a 10 Gbit/s

- La Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z su fibra e IEEE 802.3ab su rame) ha una velocità di trasmissione di 1 Gbit/s ed è un'estensione degli standard Ethernet a 10 e a 100 Mbit/s. Ha una topologia a stella ed utilizza switch o hub.
- Ha lo stesso formato del frame standard di Ethernet.
- Permette sia l'uso di collegamenti punto-punto, sia l'uso del canale broadcast condiviso.
- I collegamenti punto-punto sono usati con gli **switch** mentre i canali broadcast sono usati con gli hub.
- Usa il **CSMA/CD** per i canali broadcast condivisi.
- Con i canali punto-punto consente di operare in **full-duplex** a 1 Gbit/s in entrambe le direzioni.

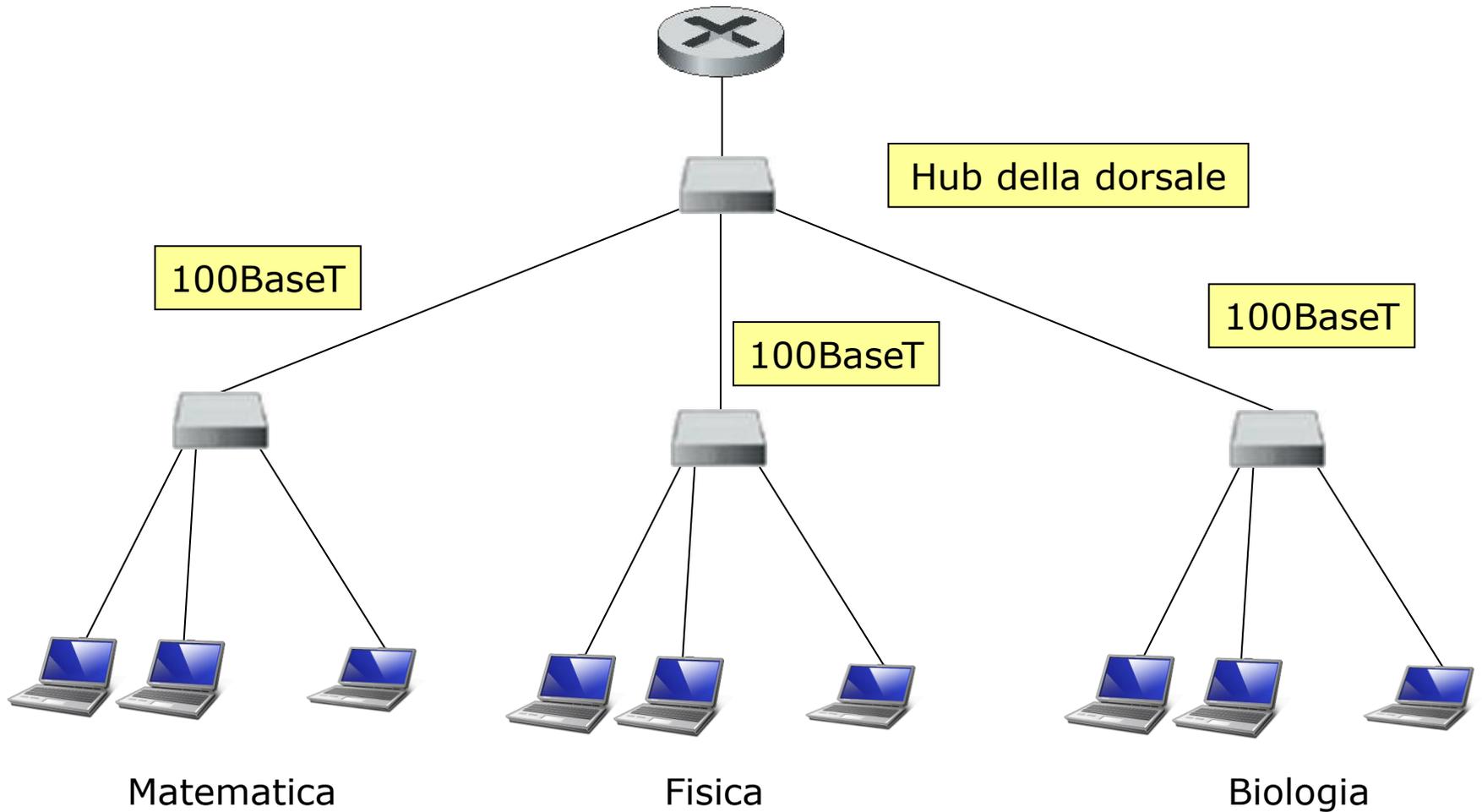
- La Gigabit Ethernet spesso viene utilizzata come dorsale per connettere tra loro più LAN Ethernet a 10/100 Mbit/s.
- Come mezzo trasmissivo usa sia fibre ottiche che il cavo UTP di categoria 5e, 6 o 6e.

Interconnessioni: hub, e switch

- Aziende, università, enti etc. di solito sono composte da diversi reparti, dipartimenti e uffici, a volte anche molto distanti tra loro, che devono essere collegati tra loro mediante una o più LAN Ethernet.
- Considereremo ora due diverse soluzioni per l'interconnessione delle LAN: hub e switch.

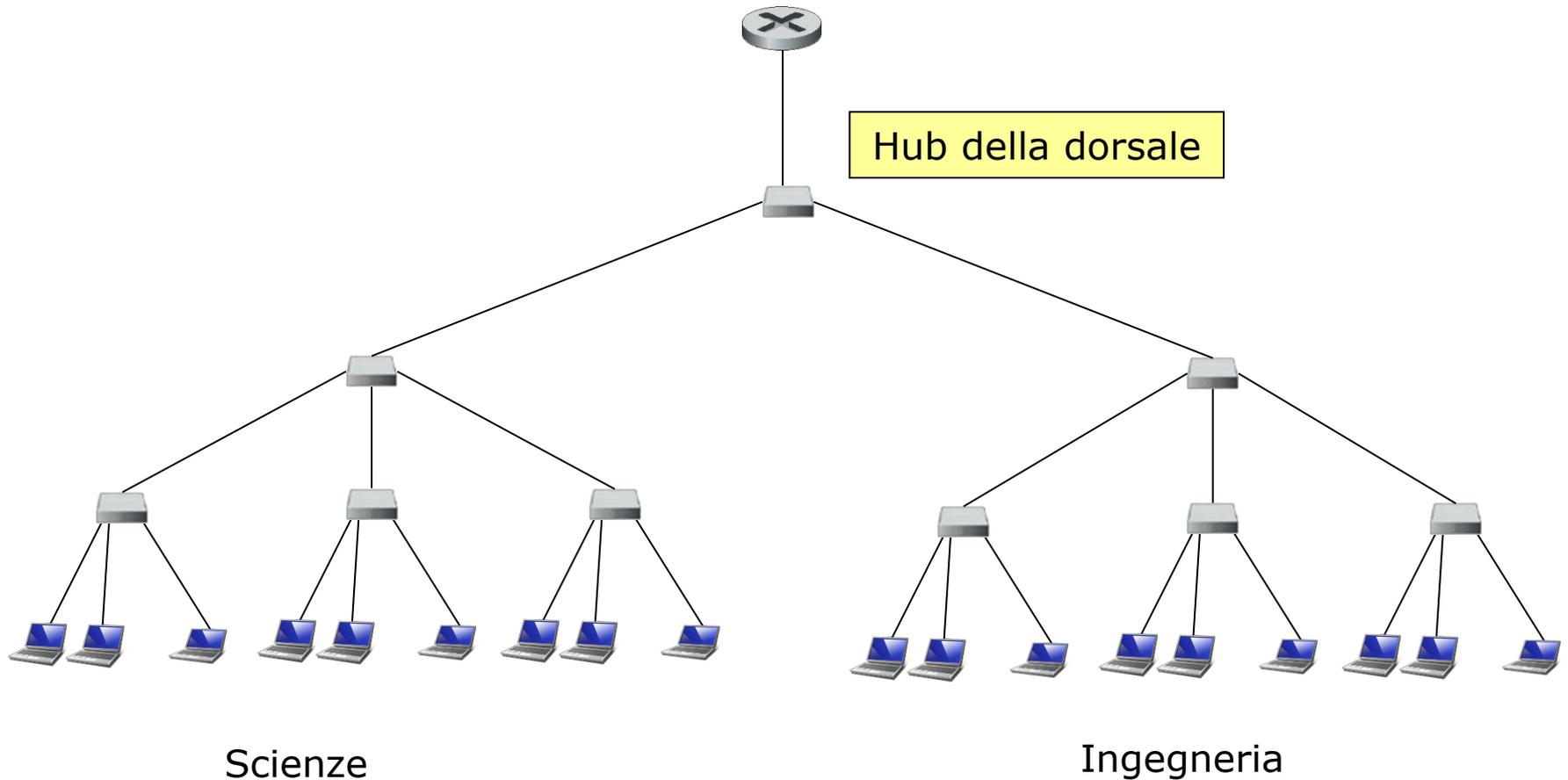
Gli hub

- Un modo di interconnettere le LAN è di usare gli hub, sebbene questi dispositivi siano oggi sempre meno usati.
- Gli hub sono dispositivi di strato fisico che elaborano solo il segnale e non il frame.
- La figura seguente mostra come possono essere interconnesse le LAN di tre dipartimenti di un'università.
- Ciascun host è connesso a una porta di un hub. Un quarto hub, detto hub della dorsale, collega gli hub dei dipartimenti.
- Lo schema mostrato nella figura è detto a **più livelli (*multi-tier*)**, in quanto gli hub sono connessi gerarchicamente.



Lan Ethernet cablate con hub. Schema a più livelli.

- È anche possibile creare uno schema a più di due livelli; per esempio un livello per i dipartimenti, uno per le facoltà (per esempio, Scienze, Ingegneria, ecc.) e uno per l'ateneo.
- In uno schema a più livelli di hub, ci riferiremo all'intera rete interconnessa come a **una LAN**, e ci riferiremo alla parte della LAN del dipartimento (cioè, all'hub del dipartimento e agli host collegati a questo hub) come a un **segmento LAN**. Con l'interconnessione con hub tutti i segmenti LAN appartengono allo stesso **dominio di collisione**, cioè, se due o più nodi sui segmenti LAN trasmettono nello stesso momento, si verificherà una collisione e tutti i nodi che trasmettono entreranno nella fase di attesa esponenziale.

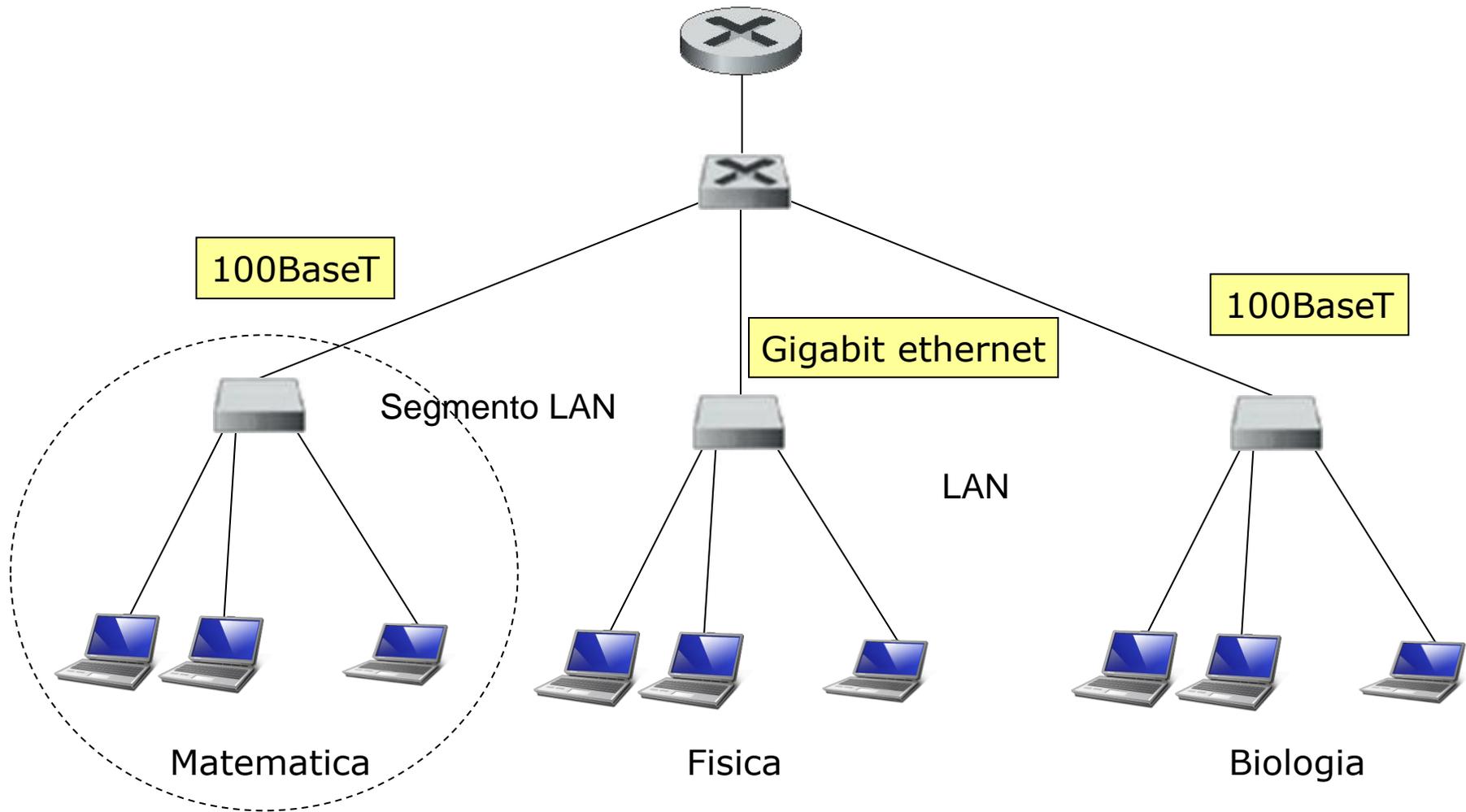


Lan Ethernet cablate con hub. Schema a più livelli.

- Quando più segmenti LAN sono interconnessi tramite un hub allora i domini di collisione indipendenti di ciascun segmento si uniscono in un unico, più esteso, dominio di collisione.
- Così, se in una LAN con **N segmenti**, ciascun segmento ha un throughput massimo di **100 Mbps**, pari a un throughput aggregato di **$N \cdot 100$ Mbps**, una volta interconnessi tramite hub, **il throughput massimo aggregato si riduce a 100 Mbps**.
- **Con gli hub non è possibile interconnettere segmenti hub che hanno differenti tecnologie ethernet.** Infatti gli hub sono sostanzialmente dei ripetitori di segnale, non hanno buffer per memorizzare i frame e non possono quindi interconnettere segmenti LAN con velocità diverse.

Gli switch

- A differenza degli hub, che sono dispositivi dello strato fisico, gli switch sono **dispositivi dello strato 2** in quanto elaborano i frame di Ethernet.
- Infatti, gli switch sono tipi di **commutatori di pacchetto** che filtrano e rinviano i frame usando **l'indirizzo LAN di destinazione**. Uno switch, quando riceve un frame da una porta, esamina l'indirizzo LAN di destinazione contenuto nell'intestazione del frame e rinvia il frame dalla porta che lo porterà verso la destinazione.
- La figura seguente mostra come i tre dipartimenti possono essere interconnessi con uno switch.
- Anche quando i dipartimenti sono interconnessi da switch, **l'intera rete interconnessa costituisce una LAN**, e le porzioni dipartimentali della rete sono **segmenti LAN**.
- Ma a differenza dello schema con hub a più livelli, con gli switch **ogni segmento LAN possiede un dominio di collisione isolato**.



Tre segmenti LAN Ethernet connessi da uno switch.

- Gli switch possono interconnettere **differenti tecnologie LAN**, tra cui le Ethernet 10, 100 Mbps e 1 Gbit.
- Inoltre, quando si usano gli switch per l'interconnessione dei segmenti LAN le dimensioni della LAN possono essere molto estese.

Switch: inoltrato e filtraggio |

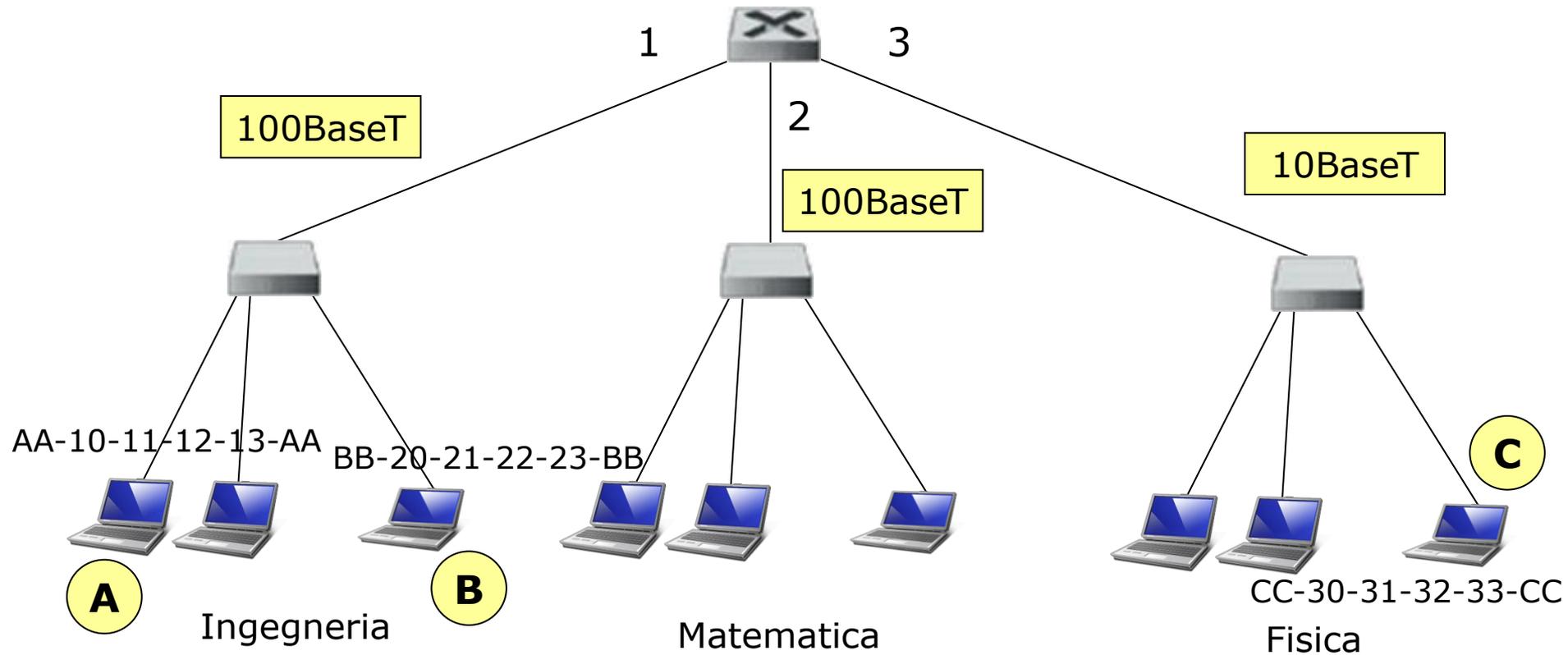
- Il **filtraggio** (*filtering*) è la funzione che uno switch esegue per determinare se un frame deve essere rinviato da qualche porta o no.
- **L'inoltrato** (*forwarding*) è l'operazione per determinare la porta da cui un frame deve essere rinviato.
- Il filtraggio e l'inoltrato nello switch sono eseguiti mediante una tabella.
- Una riga nella tabella dello switch contiene
 - **l'indirizzo LAN di un nodo,**
 - **La porta (interfaccia) dello switch che conduce al nodo**
 - **il tempo in cui la riga è stata inserita nella tabella.**

Indirizzo LAN	porta	Tempo
BB-20-21-22-23-BB	1	9:32
CC-30-31-32-33-CC	3	9:36

- Per capire come avviene il filtraggio e l'inoltro eseguito dallo switch, supponiamo che un frame con un indirizzo di destinazione DD-40-41-42-43-DD arrivi alla porta **X** dello switch.
- Lo switch verifica se nella sua tabella esiste l'indirizzo LAN DD-40-41-42-43-DD e se lo trova ricava la corrispondente porta **Y**.
- Se **X** è uguale a **Y**, allora il frame proviene dallo stesso segmento LAN che contiene l'adattatore DD-40-41-42-43-DD destinatario. Non c'è quindi bisogno di rinviare il frame ad un'altra porta, pertanto lo switch scarta il frame.
- Se **X** è diverso da **Y**, allora il frame deve essere inoltrato al segmento LAN collegato alla porta **Y**. Lo switch esegue l'inoltro memorizzando il frame in un **buffer associato alla porta Y**.

- In tal modo uno switch mantiene domini di collisione separati per ciascuno dei diversi segmenti LAN collegati alle sue interfacce. Questo funzionamento permette anche a gruppi di nodi su differenti segmenti LAN di comunicare simultaneamente senza interferire tra loro.
- Esaminiamo il funzionamento di uno switch per la rete nella figura seguente.
- Supponiamo che all'istante t_0 , la tabella dello switch sia come in figura e supponiamo che al tempo t_1 l'host **A** invii un frame all'host **B** (**BB-20-21-22-23-BB**). Il frame arriva anche all'interfaccia **1** dello switch. Lo switch esamina la sua tabella e vede che la destinazione è sul segmento di LAN collegato all'interfaccia **1**. Lo switch allora filtra (cioè, non rinvia) il frame.
- Supponiamo che successivamente, al tempo t_2 , sia l'host **C** ad inviare un frame all'host **B**. In questo caso **il frame arriva all'interfaccia 3**. Lo switch esamina ancora la sua tabella e vede che la destinazione è sull'interfaccia **1**; allora inoltra il frame al buffer di uscita associato all'interfaccia **1**.

Indirizzo LAN	porta	Tempo
BB-20-21-22-23-BB	1	9:32
CC-30-31-32-33-CC	3	9:36



- Da questo esempio risulta evidente che se la tabella dello switch è completa, lo switch isola i domini di collisione dei dipartimenti mentre permette agli host dei dipartimenti di comunicare.
- A differenza dell'hub, **in questo esempio**, quando uno switch rinvia un frame su una porta, esso utilizza il protocollo **CSMA/CD**.
- Quindi il comportamento delle interfacce dello switch è molto simile a quello degli adattatori del nodo.
- Una importante caratteristica degli switch è che possono essere usati per unire segmenti di diverse tecnologie Ethernet.
- Quando si usano switch come dispositivi di interconnessione, teoricamente non c'è limite all'estensione geografica di una LAN.
- Tuttavia, non è conveniente costruire reti molto grandi utilizzando esclusivamente gli switch come dispositivi di interconnessione: le grandi reti utilizzano sempre dei router.