

Università di Roma Tor Vergata  
Corso di Laurea triennale in Informatica  
**Sistemi operativi e reti**  
A.A. 2017-18

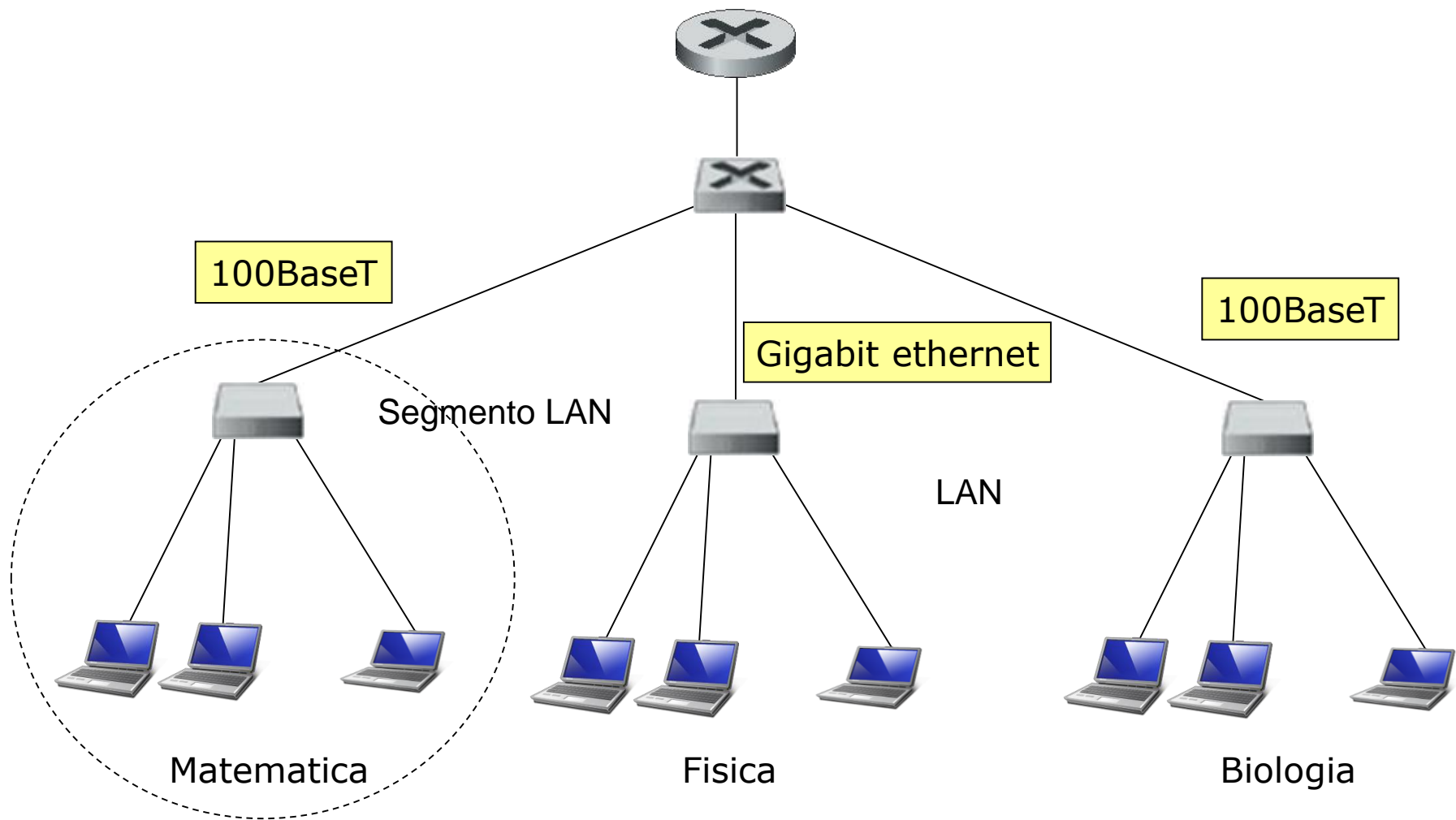
Pietro Frasca

**Parte II: Reti di calcolatori**  
**Lezione 23**

Martedì 5-06-2018

# Gli switch

- Gli switch sono **dispositivi dello strato di collegamento** in quanto elaborano i frame di Ethernet.
- Infatti, gli switch sono tipi di **commutatori di pacchetto** che filtrano e rinviando 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, 1 Gbit e 10 Gbit.
- Inoltre, quando si usano gli switch per l'interconnessione dei segmenti LAN le dimensioni della LAN possono essere molto estese.
- Il funzionamento dello switch si basa sulle operazioni di inoltro e filtraggio.
- Il **filtraggio** (*filtering*) è la funzione che uno switch esegue per determinare se un frame ricevuto deve essere rinviato da qualche porta o no.
- **L'inoltro** (*forwarding*) è l'operazione per determinare la porta da cui un frame deve essere rinviato.
- Il filtraggio e l'inoltro nello switch sono eseguiti mediante una tabella.

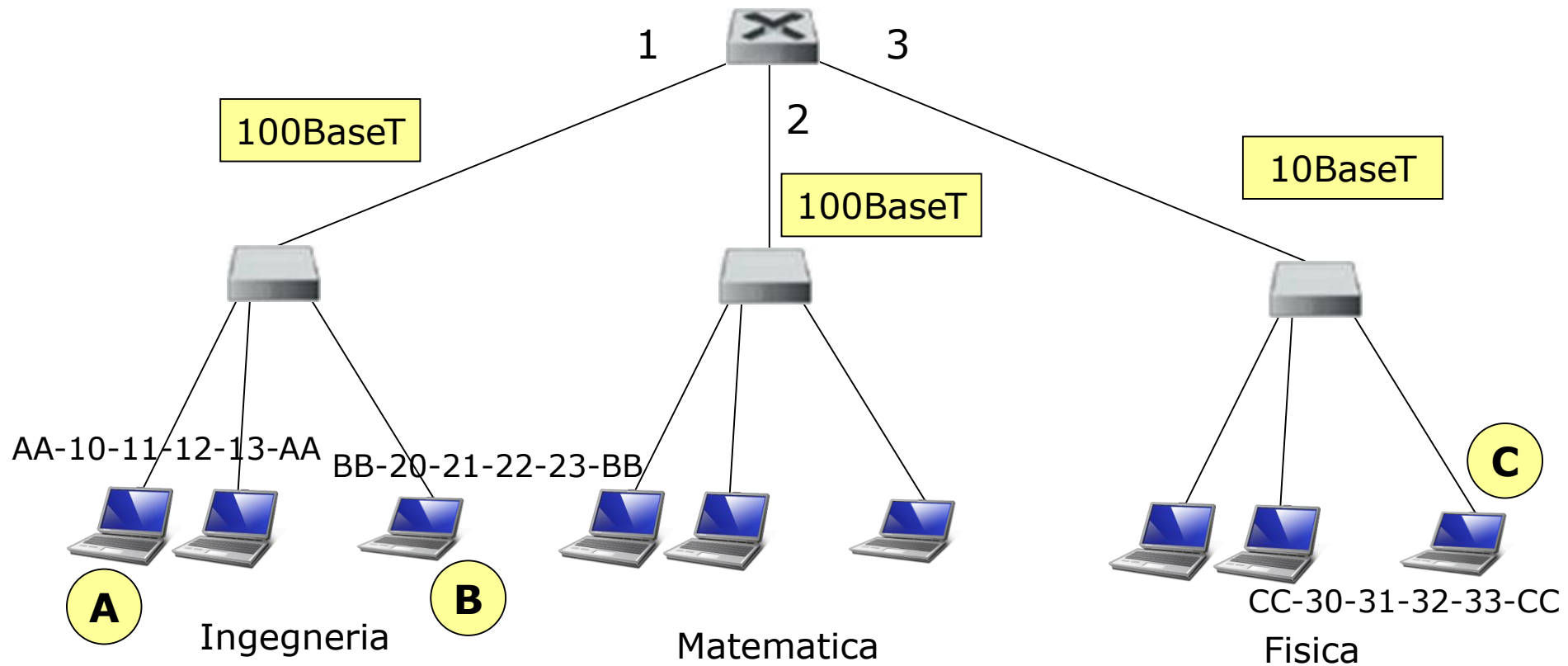
- Una riga nella tabella dello switch contiene
  - **l'indirizzo LAN di un nodo,**
  - **La porta (interfaccia) dello switch che conduce al nodo**
  - **il tempo in cui la riga è stata inserita nella tabella.**

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

Per descrivere 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. Pertanto, non è necessario rinviare il frame ad un'altra porta, quindi 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**.
- Con tale funzionamento, 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.

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



- 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**.
- 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**.

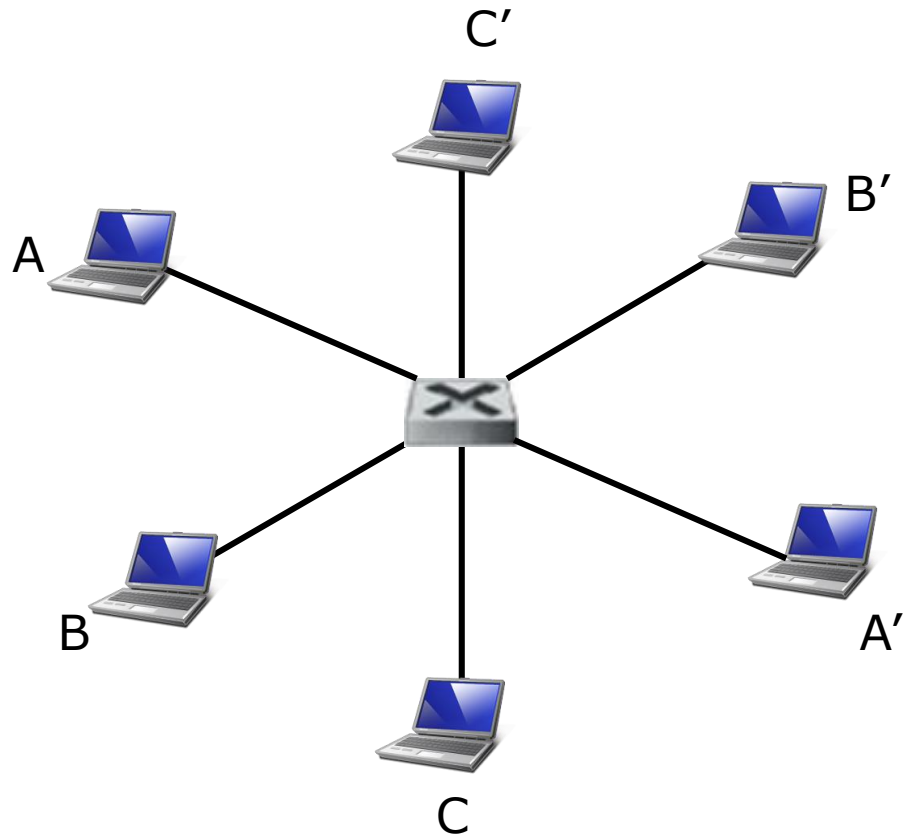


- Quindi il comportamento delle interfacce dello switch è molto simile a quello delle schede di rete dei dispositivi.
- Una importante caratteristica degli switch è che possono essere usati per unire segmenti di diverse tecnologie Ethernet.
- Quando si usano switch come dispositivi di interconnessione, teoricamente si possono realizzare LAN di dimensioni molto estese.
- Tuttavia, non è conveniente costruire reti molto grandi utilizzando esclusivamente gli switch come dispositivi di interconnessione: le grandi reti utilizzano sempre dei router.

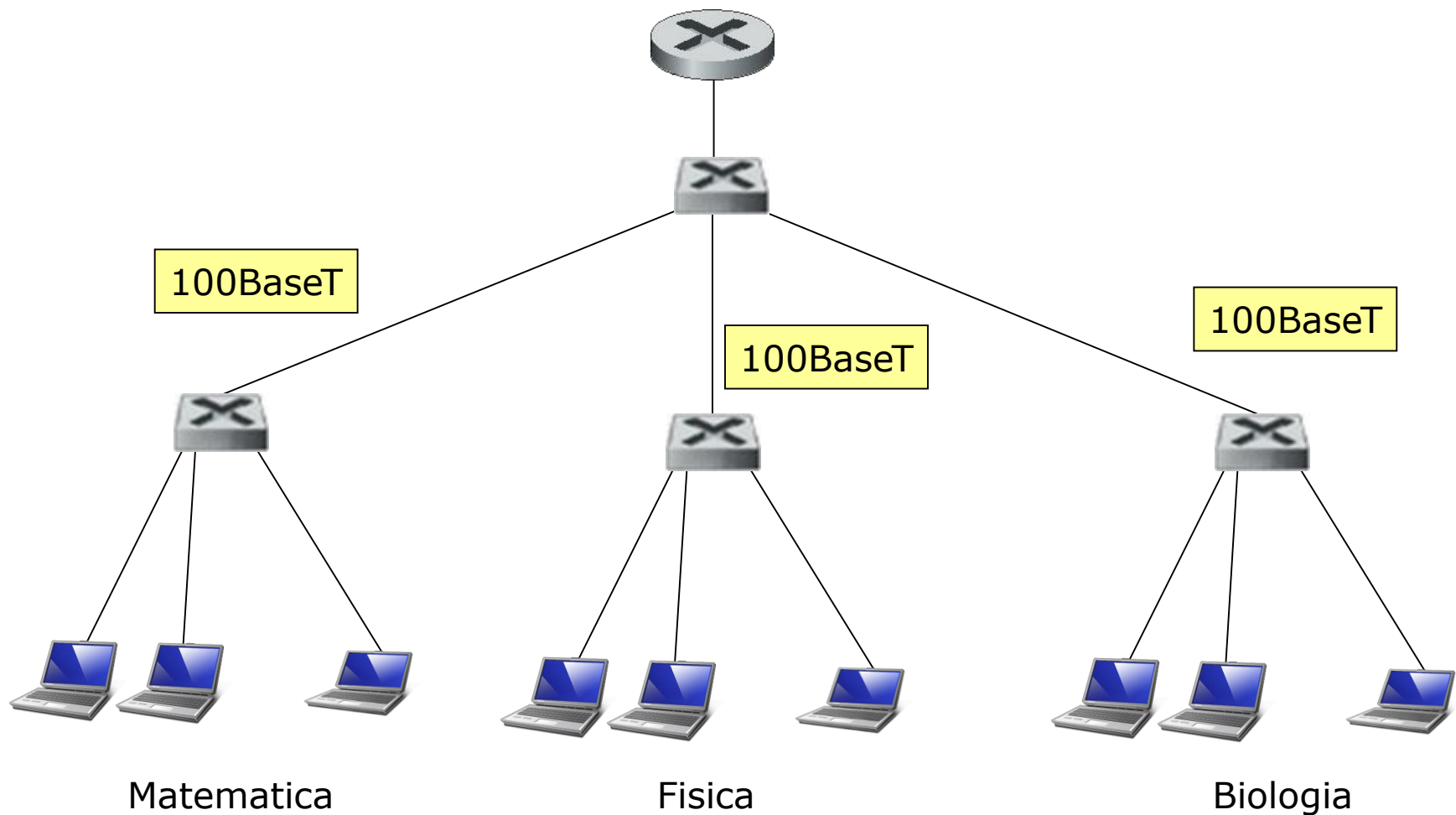
# Auto-apprendimento

- Uno switch costruisce la sua tabella automaticamente e dinamicamente. Questo funzionamento, plug-and-play è realizzato come segue.
  - 1. La tabella dello switch è inizialmente vuota.
  - 2. Quando un frame arriva a un'interfaccia e l'indirizzo di destinazione del frame non è nella tabella, lo switch memorizza copie del frame nei buffer di uscita di *tutte* le altre interfacce.
  - 3. Per ciascun **frame ricevuto**, lo switch memorizza nella sua tabella
    - (a) **l'indirizzo LAN** contenuto nel *campo indirizzo sorgente del frame*,
    - (b) **l'interfaccia da cui arriva il frame**,
    - (c) **il tempo in cui il frame è memorizzato**.
  - 4. Quando un frame arriva a una delle interfacce e l'indirizzo di destinazione del frame è presente nella tabella, allora lo switch **rinvia il frame all'interfaccia appropriata**.

- (5) Lo switch **cancella un indirizzo** dalla tabella se per un certo periodo di tempo (tempo di invecchiamento, *aging time*) non riceve alcun frame con quell'indirizzo come **indirizzo mittente**.
- Un'altra importante caratteristica degli switch è che possono funzionare in modalità **full-duplex**, cioè, possono inviare e ricevere frame nello stesso momento. Ovviamente, nella modalità full-duplex non viene usato il CSMA/CD.
- Gli switch possono avere molte porte con diverse velocità di trasmissione a 10, 100 Mbit/s e a 1 Gbit/s.
- Uno switch con un elevato numero di porte consente una connessione diretta (**accesso punto-punto**) fra gli host e lo switch stesso.



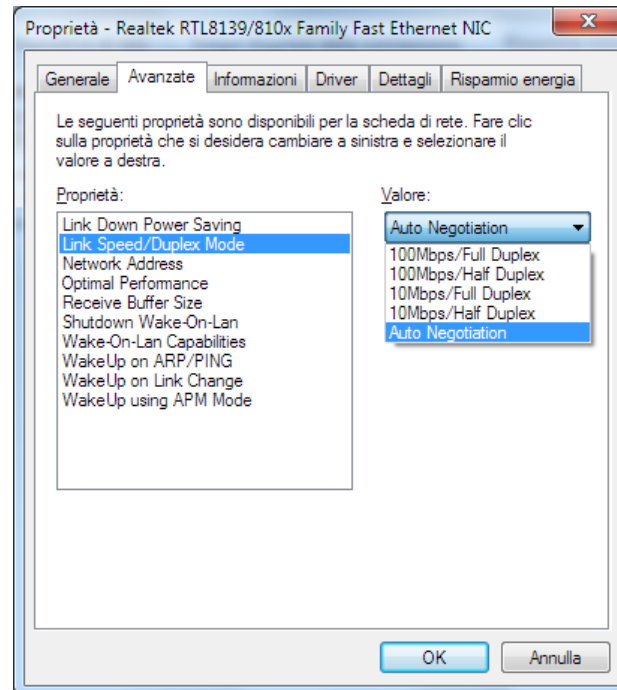
Switch che fornisce accesso ethernet dedicato a sei host



Lan Ethernet cablata con switch. Schema a più livelli.

- Vediamo ora come gli switch, e gli host direttamente connessi ad essi, funzionano nella modalità full-duplex.
- Grazie all'accesso punto-punto, quando l'host A trasmette un frame nel mezzo trasmissivo (ad esempio un cavo UTP o una fibra ottica) che lo connette allo switch, non c'è possibilità che il frame collida con una trasmissione di altri host o dello switch.
- Poiché gli switch hanno un comportamento «store and forward», cioè memorizzano e rinviando frame, uno switch trasmetterà al massimo un frame alla volta su qualunque porta alle quali sono connessi gli host. Quindi con le connessioni dirette, non è necessario l'uso del CSMA/CD.
- Generalmente un adattatore attiva in modo automatico la modalità full-duplex quando un host è connesso ad uno switch.

- Per esempio, nella figura precedente, l'host A può inviare un file ad A' mentre B invia un file a B' e C sta inviando un file a C'. Se ciascun host ha una scheda dell'adattatore a 100 Mbit/s, allora il throughput complessivo durante il simultaneo trasferimento dei file è di 300 Mbit/s.
- Se A e A' hanno adattatori a 100 Mbit/s e i restanti host hanno adattatori a 1000 Mbit/s, allora il throughput complessivo durante i tre trasferimenti simultanei dei file è 2100 Mbit/s.



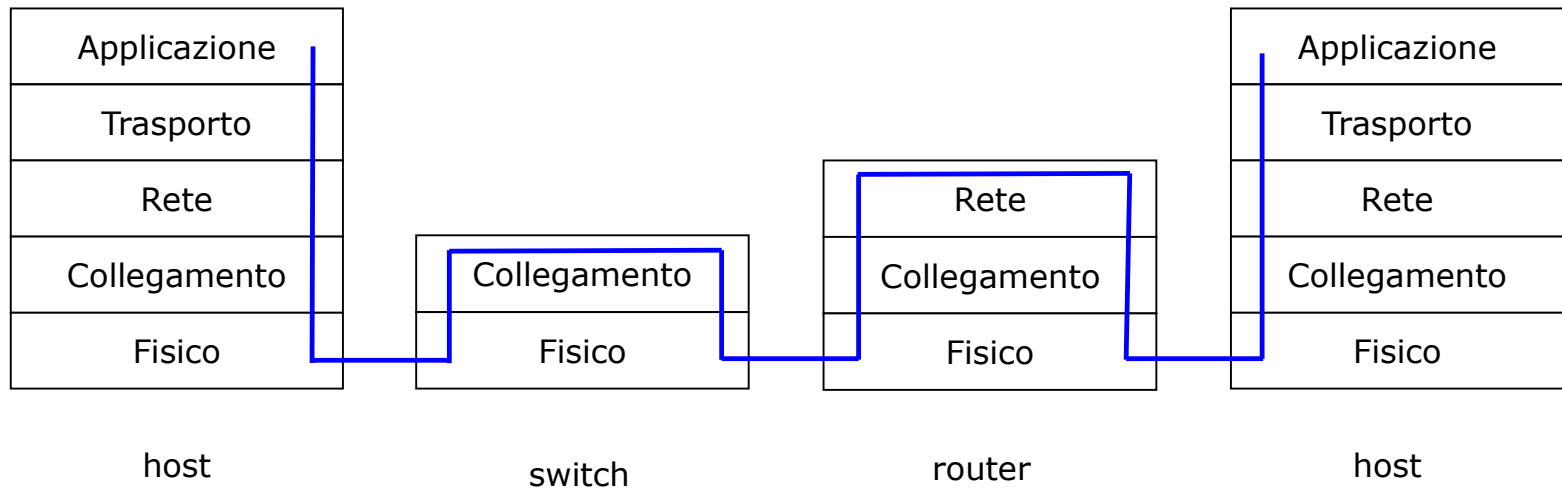
Esempio di configurazione della velocità di trasmissione/modalità full duplex per un adattatore di un host (windows).

# Confronto tra switch e router

- Come descritto, i router sono commutatori di pacchetto che instradano i pacchetti usando gli indirizzi IP dello strato di rete (livello 3) mentre gli switch sono commutatori di pacchetto dello strato di collegamento (livello 2).
- Generalmente, gli switch hanno velocità di commutazione dei pacchetti più alte di quelle dei router in quanto devono solo elaborare i frame del livello 2, mentre i router devono elaborare anche i datagram del livello 3 e, inoltre, eseguono i protocolli di instradamento.
- Gli switch non offrono alcuna protezione contro le **inondazioni broadcast**. Infatti, se un host, a causa di un'applicazione o di un guasto, trasmette un flusso continuo di frame broadcast di Ethernet, gli switch inoltreranno tutti questi frame, causando il blocco dell'intera rete.

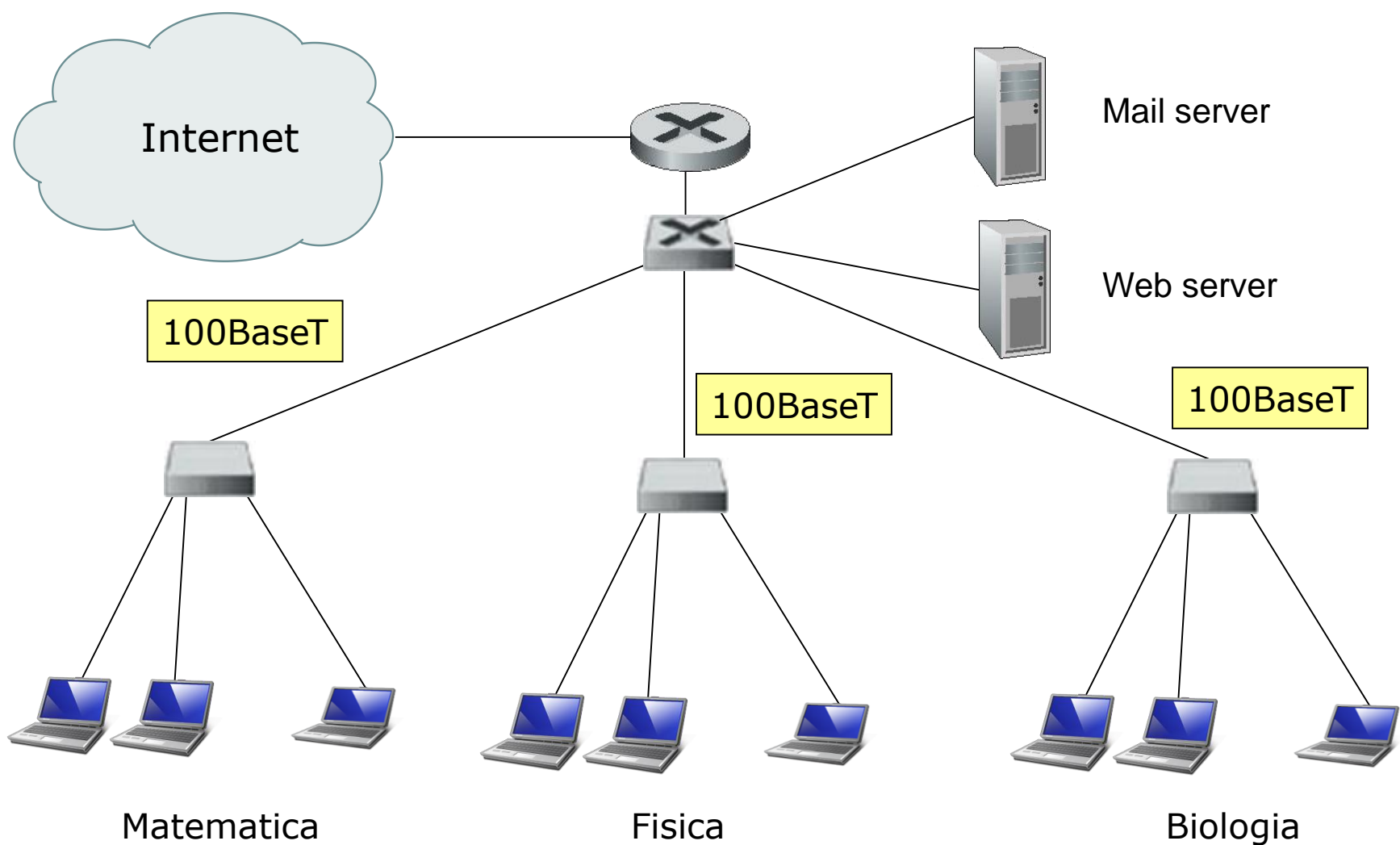


- I router, invece, bloccano le inondazioni broadcast dello strato di collegamento.
- Per reti piccole, costituite da poche centinaia di host con pochi segmenti LAN gli switch sono sufficienti, perché localizzano il traffico e incrementano il throughput aggregato senza necessità di configurazione.
- Ma le reti più grandi, costituite da migliaia di host, oltre agli switch è necessario usare i router.
- I router forniscono un più completo isolamento del traffico, e usano percorsi più "intelligenti" fra gli host della rete.

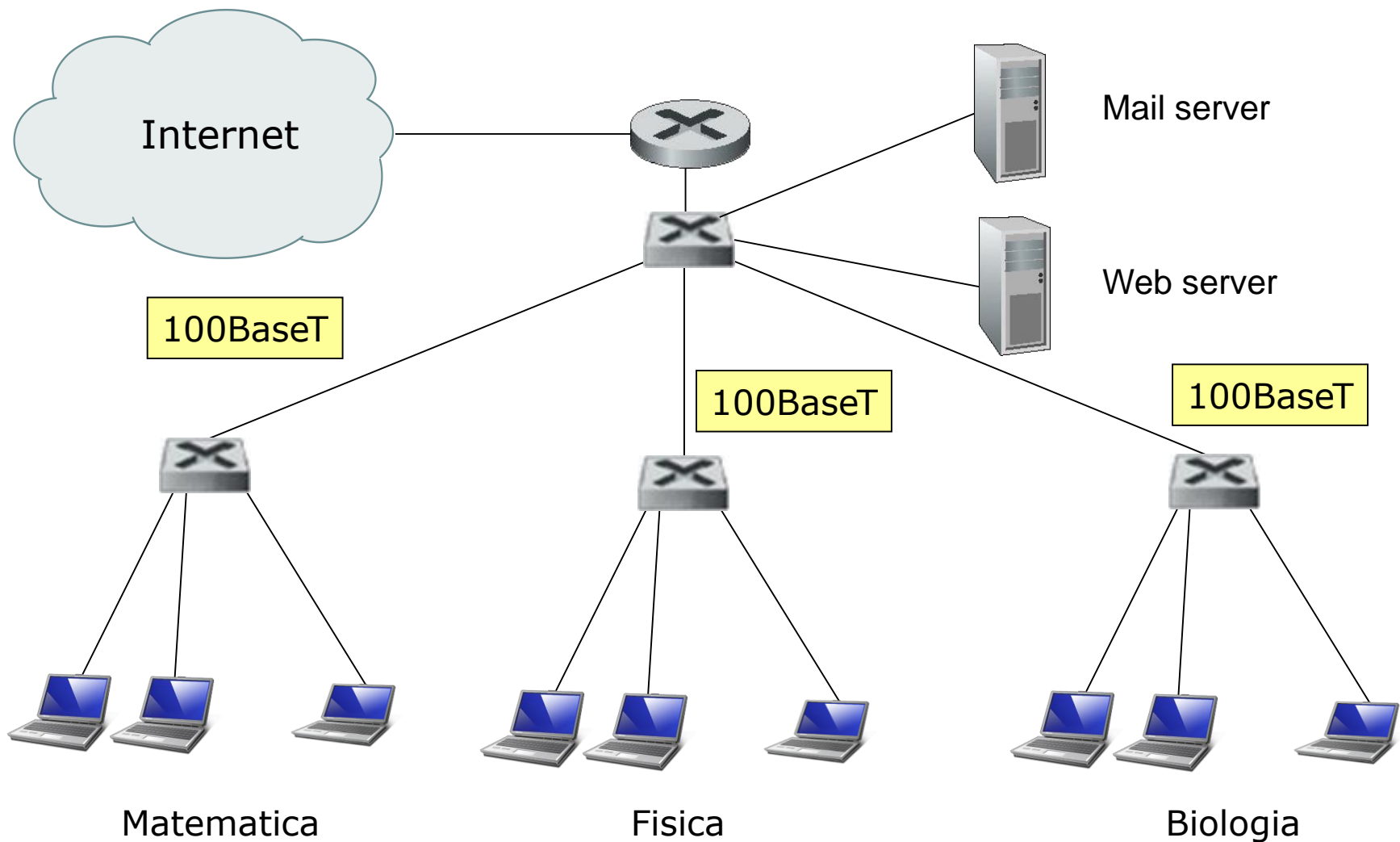


Elaborazione dei pacchetti in switch, router e host.

- La figura seguente mostra una rete che usa hub, switch e router.
- ciascuno dei tre dipartimenti ha i suoi segmenti Ethernet a 100 Mbit/s con il proprio hub.
- Poiché ciascun hub dipartimentale ha una connessione allo switch, tutto il traffico intradipartimentale è confinato ai segmenti Ethernet del dipartimento
- I server Web e di posta elettronica hanno ciascuno un accesso dedicato a 100 Mbit/s al commutatore. Infine, un router, che porta a Internet ha un accesso dedicato a 100 Mbit/s al commutatore.



Rete con hub, switch e router.

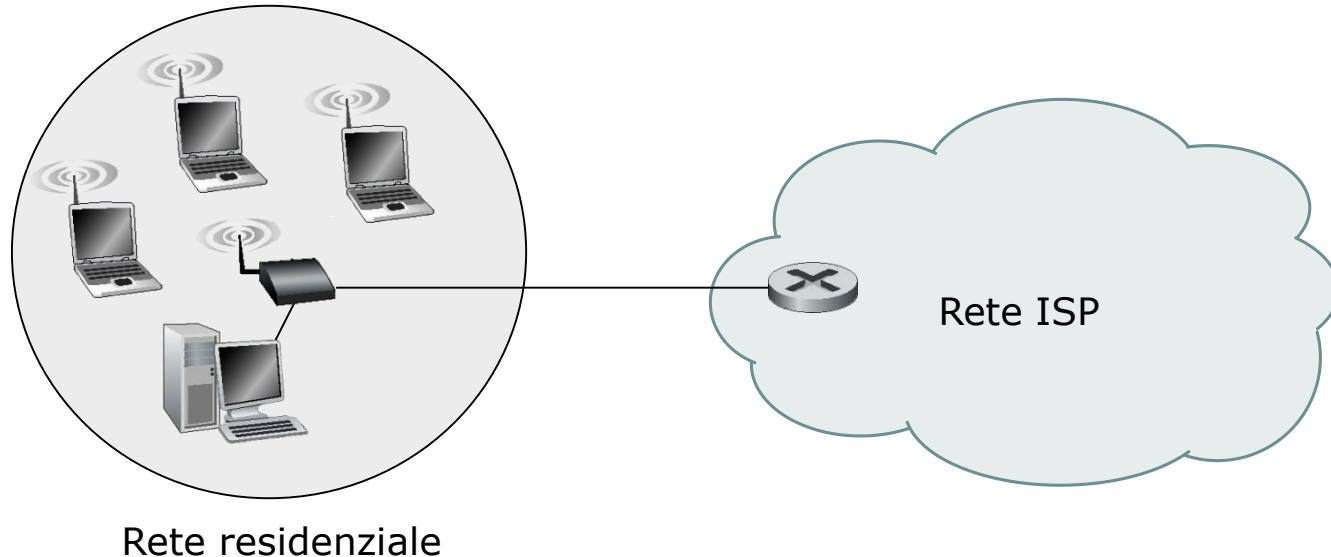


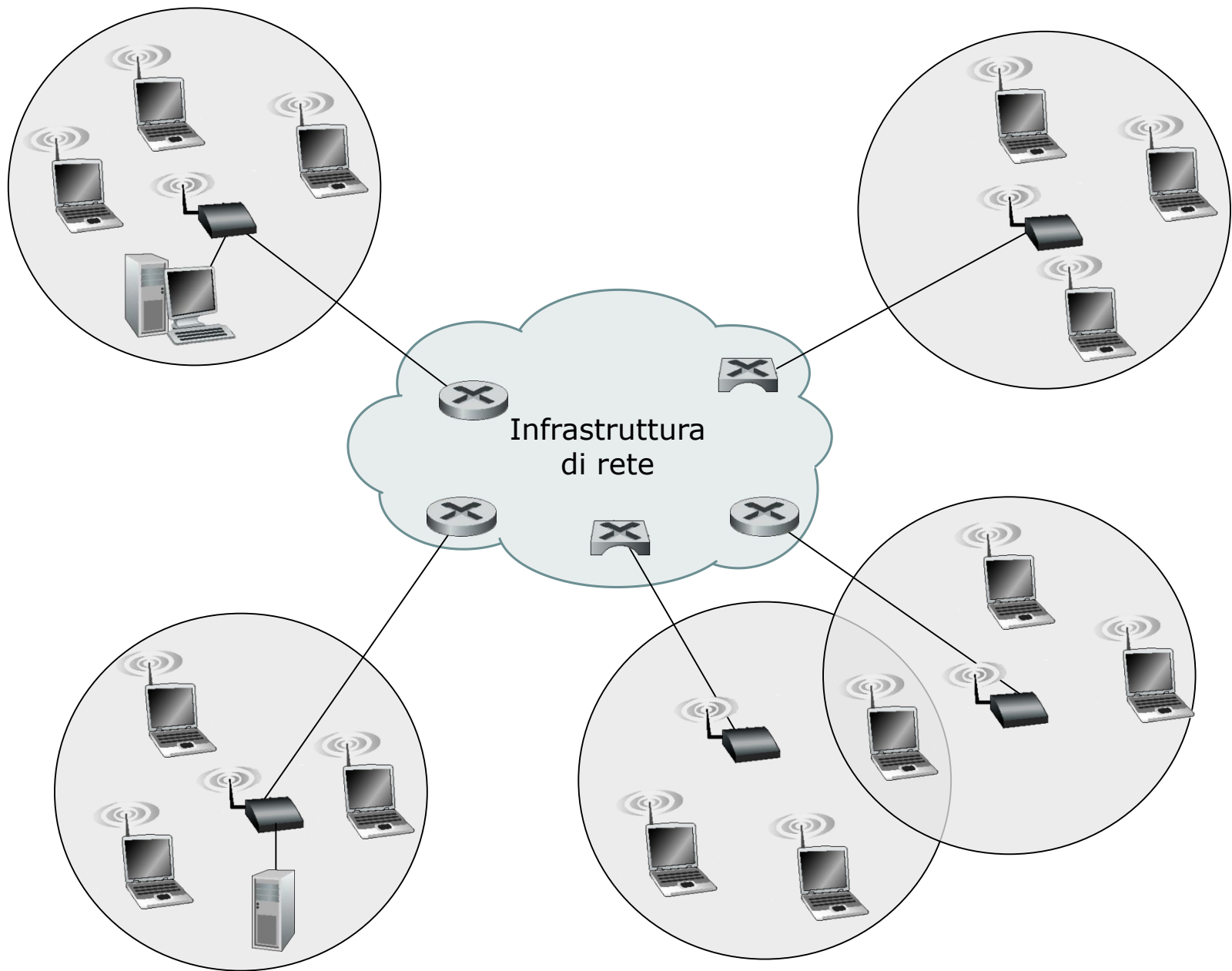
Rete con switch e router (Topologia attuale  
con prestazioni migliori).

# Reti wireless

- Le reti wireless sono oggi una delle tecnologie più diffuse per l'accesso a Internet. Si trovano in vari tipi di ambiente come nelle case, posti pubblici, nelle università, in posti di lavoro, etc.
- Una rete wireless è costituita dai seguenti componenti:
  - **Host wireless.** Possono essere dispositivi di vario tipo come ad esempio PC, portatili, tablet, smartphone, smart TV. Gli host possono essere fissi o mobili.
  - **Collegamenti wireless.** Un host si connette alla stazione base o a un altro host attraverso un canale wireless. Attualmente, ci sono varie tecnologie wireless ciascuna caratterizzata da una diversa velocità di trasmissione e una massima distanza di copertura.
  - **Stazione base (access point).** Una stazione base provvede alla trasmissione e alla ricezione dei pacchetti che gli host ad essa associati trasmettono e ricevono. Un host per trasmettere in una rete wireless deve essere "**associato**" a una stazione base.

- La stazione base è connessa a una rete, per esempio ad una rete residenziale o a una rete ethernet cablata aziendale e funziona quindi come ripetitore tra gli host wireless ad essa associati e la rete fissa. Nelle reti domestiche gli access point (AP), gli switch e la tecnologia NAT sono inclusi nel modem ADSL.
- Gli host associati a un AP, funzionano come gli host connessi con cavi a una rete ethernet cablata, in quanto tutti i servizi di rete come l'assegnazione degli indirizzi e l'instradamento, sono forniti dalla rete cui lo AP è connesso.



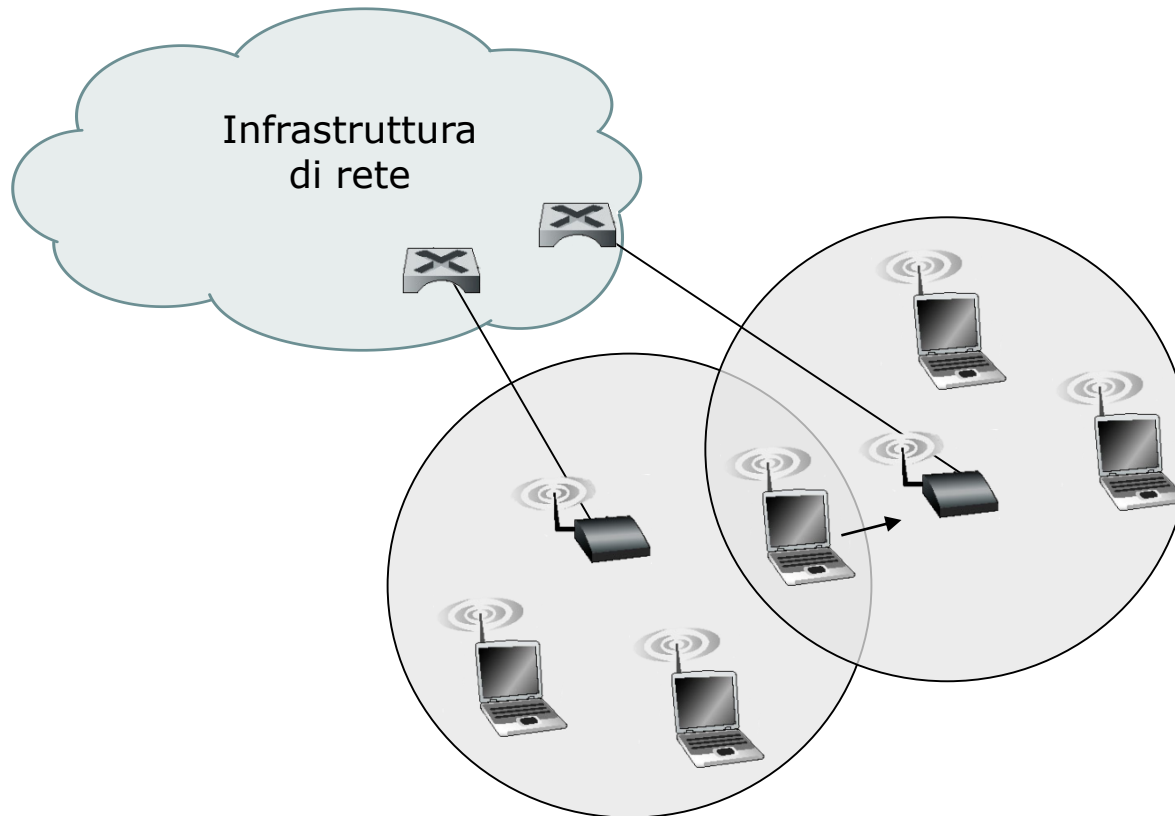




- Le **reti ad hoc**, sono reti wireless nelle quali gli host non hanno un'infrastruttura a cui connettersi. Pertanto, gli stessi host devono provvedere a tutti i servizi di rete necessari per la comunicazione, compresi i servizi d'instradamento e di assegnazione degli indirizzi.



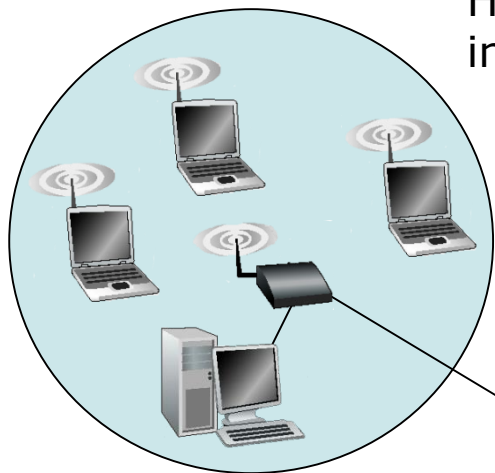
Quando un host si sposta dall'area di copertura di una stazione base a un'altra, cambierà il suo punto di collegamento con la rete globale. Questo processo è chiamato **bandoff**.



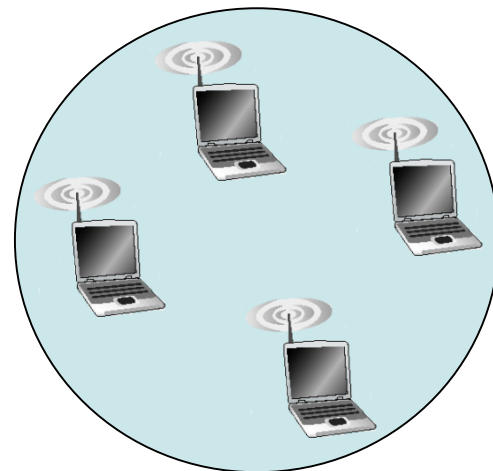
- **Infrastruttura di rete.** E' la rete più ampia con la quale l'host wireless potrebbe volersi connettere.

- Le componenti di una rete wireless, possono essere combinate in vari modi, formando diverse tipologie di rete.
  - **Hop singolo, con infrastruttura.** Queste reti hanno una stazione base che si collega a una rete cablata, ad esempio una LAN la quale è connessa a Internet. Inoltre, tutte le comunicazioni sono tra la stazione base e gli host su un singolo hop wireless. Un esempio è la rete 802.11 (wi-fi).
  - **Hop singolo, senza infrastruttura.** Manca la stazione base. Tuttavia, uno dei nodi di questa rete può coordinare la trasmissione degli altri nodi. Un esempio di questa classe sono le reti Bluetooth e 802.11 in modalità ad hoc.
  - **Hop multipli, con infrastruttura.** È presente una stazione base, collegata ad una LAN. Tuttavia, alcuni nodi potrebbero comunicare con altri nodi wireless, per raggiungere la stazione base.
  - **Reti a hop multipli e senza infrastruttura** non c'è un AP. I nodi possono dover ritrasmettere i messaggi a parecchi altri nodi per raggiungere la destinazione. I nodi possono anche essere mobili e la connettività tra loro può cambiare, come in una classe di reti nota come **rete mobile ad hoc**.

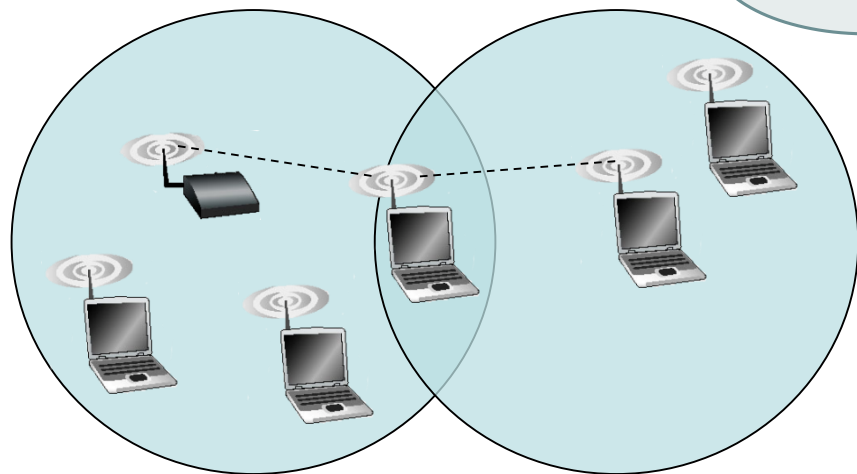
Hop singolo con  
infrastruttura



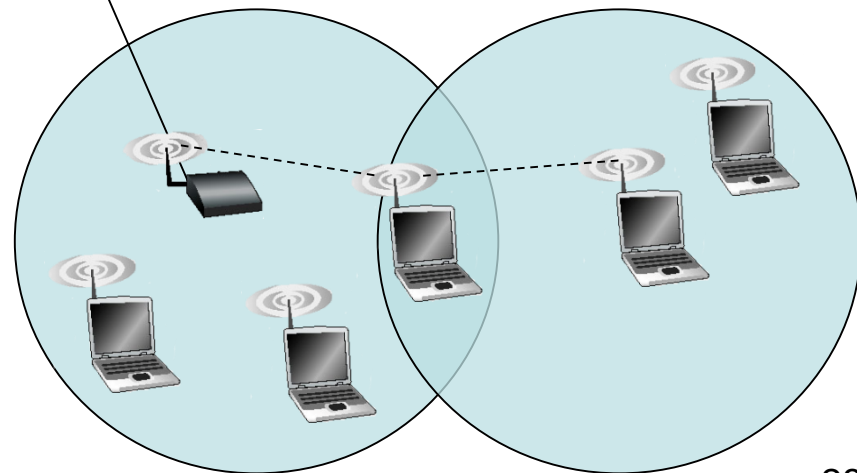
Rete ad hoc



Hop multipli senza  
infrastruttura



Hop multipli con  
infrastruttura



# Collegamenti wireless e caratteristiche di rete

- Descriviamo le più importanti caratteristiche delle reti wireless.
  - **Attenuazione del segnale.** Le onde elettromagnetiche si attenuano quando incontrano ostacoli come le pareti degli ambienti, oggetti di vario tipo e anche persone in movimento. Tuttavia, anche in mancanza di ostacoli, l'intensità del segnale diminuisce al crescere della distanza percorsa.
  - **Interferenze da parte di altre sorgenti.** Dispositivi elettronici di vario tipo che trasmettono nella stessa banda di frequenza interferiscono tra loro. Per esempio, i telefoni a 2,4 GHz e le LAN 802.11 trasmettono nella stessa banda di frequenze e quindi, se usati contemporaneamente, possono interferire producendo errori nella trasmissione. Inoltre il rumore elettromagnetico ambientale, come ad esempio, le onde elettromagnetiche prodotte da un motore o di un forno a microonde, può generare interferenze.
  - **Propagazione su più cammini.** La propagazione su più cammini si verifica quando una parte delle onde elettromagnetiche trasmesse riflettendosi su oggetti, pareti,

- pavimenti, persone in movimento, etc. seguono poi percorsi multipli di diversa distanza tra il trasmittente e il ricevitore. Questo fenomeno genera una miscelazione dei segnali multipli che fornisce un segnale risultante degradato che giunge al nodo ricevente.
- Da quanto descritto, è evidente che gli errori di trasmissione saranno più frequenti nelle reti wireless che nelle reti cablate.
- Pertanto, nelle reti wireless, a livello di collegamento, oltre alla rilevazione degli errori CRC, si utilizzano protocolli di **trasferimento affidabile**.
- In generale, i nodi wireless ricevono un segnale elettromagnetico distorto dovuto alla miscelazione del segnale trasmesso dal mittente e un rumore di fondo dell'ambiente. Il **rapporto segnale rumore (SNR, *signal to noise ratio*)** è una misura che esprime il rapporto tra l'intensità del segnale utile ricevuto e l'intensità del rumore.
- L'SNR si esprime in **Decibel (dB)**, che è definito come venti volte il logaritmo in base 10 del rapporto dell'ampiezza del

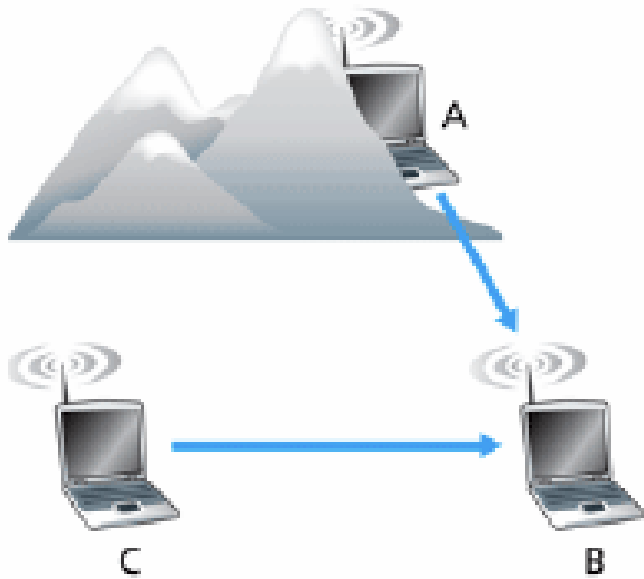
segnale ricevuto e l'ampiezza del rumore. Più è grande l'SNR migliore è la comunicazione.

$$\text{SNR} = 20\log_{10}(\text{S/N})$$

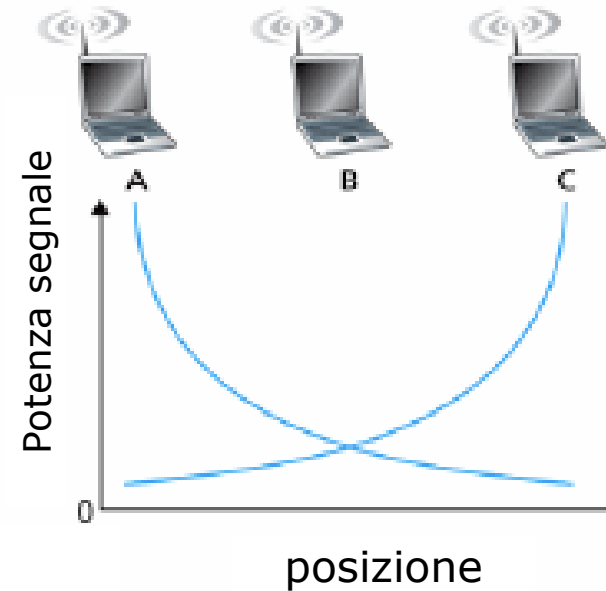
- Un altro parametro, il **BER (bit error rate)** indica la probabilità che si verifichino errori di trasmissione.
- Il BER viene espresso in funzione dell'SNR, per diverse tecniche di modulazione, che vengono usate per codificare i dati per la trasmissione su un canale wireless ideale.
- Per un data tecnica di modulazione (ad esempio BSPK 1 Mbps, QAM16 4 Mbps, QAM256 8Mbps), ***maggiore è SNR minore sarà il BER.***
- Poiché un host mittente può aumentare SNR aumentando la potenza di trasmissione, potrà anche diminuire, entro certi limiti, la probabilità che si verifichino errori nella trasmissione. Tuttavia aumentando la potenza di trasmissione, il mittente consuma più energia ed aumenta la probabilità che le trasmissioni possano interferire fra loro.

- SNR e BER possono cambiare a causa della mobilità o dei cambiamenti delle caratteristiche dell'ambiente.
- Modulazioni adattative sono usate nelle reti 802.11 (wi-fi), nelle reti 802.16 (Wi-Max) e nei sistemi dati cellulari. Questo consente, per esempio, di selezionare la tecnica di modulazione che fornisce la più alta velocità di trasmissione possibile senza superare una specifica soglia del BER.
- L'elevata quantità di errori non è l'unica differenza tra i collegamenti wireless e quelli cablati. Ricordiamo che, nel caso dei canali cablati condivisi, ciascun nodo riceve i frame trasmessi da tutti gli altri nodi. Nei collegamenti wireless, l'accesso multiplo è molto più complesso che nelle reti cablate a causa di problemi come il **terminale nascosto** e il **fading**.
- Per descrivere il problema del terminale nascosto consideriamo la figura seguente in cui supponiamo che gli host A e C stiano trasmettendo. Il **problema del terminale nascosto**, è dovuto alla presenza di ostacoli fisici nell'ambiente, come ad esempio, edifici, alberi, etc, che





- **Problema del terminale nascosto**
  - B, A possono comunicare
  - B, C possono comunicare
  - A, C non possono comunicare ma possono causare interferenza presso la destinazione B



- **Fading:**
  - B, A possono comunicare
  - B, C possono comunicare
  - A, C non possono comunicare ma causano interferenza presso B

potrebbero impedire ad A e a C di comunicare, anche se le loro trasmissioni interferiscono presso la destinazione B.

- Un secondo scenario nel quale si crea una collisione non rilevabile dalla stazione ricevente è quella in cui si verifica il **fading** (evanescenza) del segnale che si propaga nell'ambiente. La figura mostra il caso in cui A e C si trovano posizionati in modo tale che il loro segnale non è sufficientemente potente da essere rilevato a vicenda, ma le loro trasmissioni interferiscono con la stazione ricevente B.
- Questi problemi rendono l'accesso multiplo nelle reti wireless molto più complesso che nelle reti cablate.