



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

# Reti di Calcolatori

Docente: Ugo Erra

*ugo.erra+reti@unibas.it*

9° Lezione – Livello di rete– I° parte

# Livello di rete



- Obiettivi:
  - ▣ Capire i principi che stanno dietro i servizi del livello di rete
  - ▣ Instradamento (scelta del percorso)
  - ▣ Scalabilità
  - ▣ Funzionamento di un router
  - ▣ Argomenti avanzati: IPv6, mobilità
- Implementazione in Internet

# Sommario



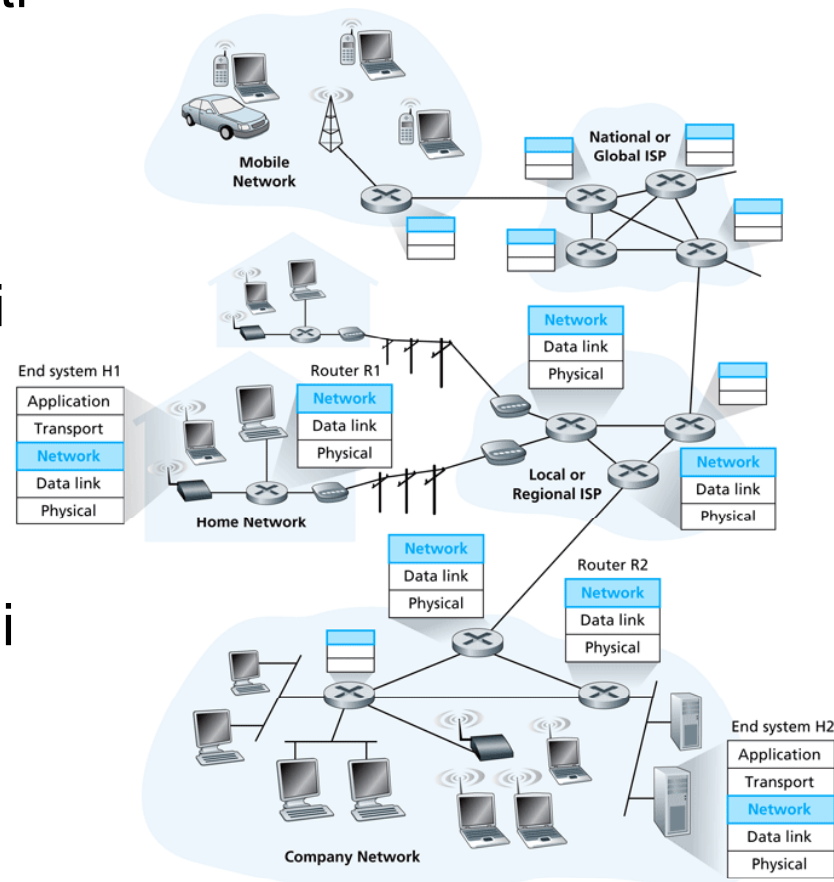
- **Introduzione**
- Reti a circuito virtuale e a datagramma
- Funzionamento di un router

# Dove ci troviamo?



# Livello di rete

- Il livello di rete prende i segmenti dal livello di trasporto nell'host mittente
- Sul lato mittente, incapsula i segmenti in datagrammi
- Sul lato destinatario, consegna i segmenti al livello di trasporto
- Protocolli del livello di rete si trovano negli host e nei router
- Il router esamina i campi intestazione in tutti i datagrammi IP che lo attraversano



# Funzioni chiave del livello di rete



- Lo scopo del livello di rete è quello di spostare pacchetti da un host ad un altro
- Questo processo viene realizzato attraverso due funzioni:
  - ▣ **Inoltro** (*forwarding*): trasferisce i pacchetti dall'input di un router all'output del router appropriato
  - ▣ **Instradamento** (*routing*): determina il percorso seguito dai pacchetti dall'origine alla destinazione
    - Attraverso gli algoritmi di instradamento

# Un'analogia



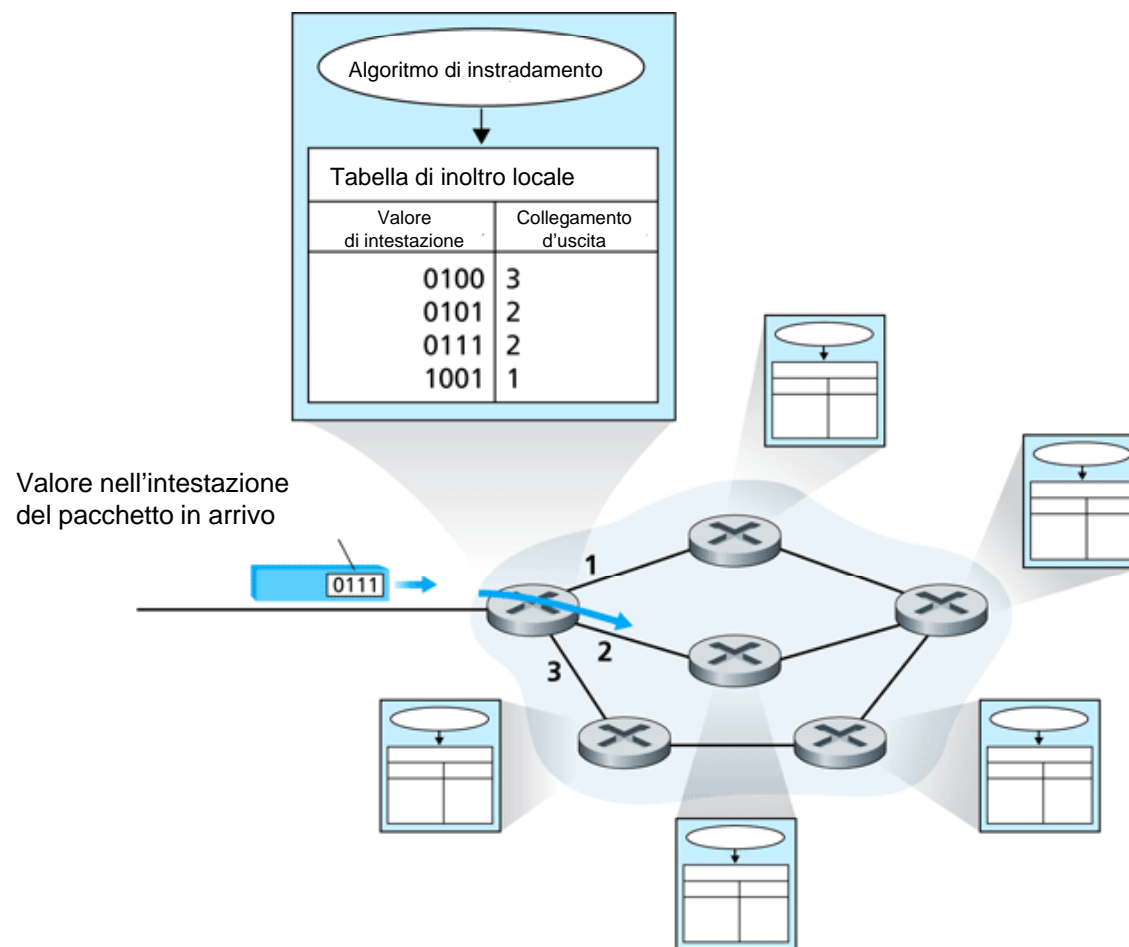
- Come analogia possiamo considerare un viaggio da un città all'altra
  - ▣ Instradamento: processo di pianificazione di un viaggio dall'origine alla destinazione
  - ▣ Inoltro: processo di attraversamento di un determinato svincolo

# Inoltro



- Per inoltrare i pacchetti il router estrae dal pacchetto un valore utilizzato come indice nella **tabella d'inoltro** (*forwarding table*)
- Il valore estratto dalla tabella indica su quale interfaccia d'uscita il pacchetto deve essere inviato
- In base al tipo di protocollo il valore estratto può essere l'indirizzo di destinazione oppure la connessione cui appartiene

# Esempio di inoltr



# Impostazione della connessione

- Una terza funzione importante in qualche architettura a livello di rete è l'**impostazione della connessione**
  - ATM, frame relay, X.25
- Prima che i datagrammi fluiscano, due host e i router stabiliscono una connessione virtuale
  - I router vengono coinvolti
- Servizio di connessione tra livello di trasporto e livello di rete:
  - Rete: tra due host
  - Trasporto: tra due processi

# Modello di servizio del livello di rete

- Qual è il modello di servizio per il “canale” che trasporta i datagrammi dal mittente al destinatario?
- Servizi per un singolo datagramma:
  - ▣ Consegna garantita
  - ▣ Consegna garantita con un ritardo inferiore a 40 msec
- Servizi per un flusso di datagrammi:
  - ▣ Consegna in ordine
  - ▣ Minima ampiezza di banda garantita
  - ▣ Restrizioni sul lasso di tempo tra la trasmissione di due pacchetti consecutivi

# Best effort per IP



- Il protocollo di rete IP segue la filosofia **best effort** (massimo impegno)
- Il protocollo IP garantisce che farà tutto il possibile per portare a termine l'operazione
- Non garantisce affatto che l'operazione verrà compiuta, né in che modo

# Altre architetture di rete

- L'architettura ATM offre più modelli di servizi

Architettura di Rete	Modello di servizio	Garanzia sulla banda	Garanzia di consegna	Ordinamento	Temporizzazione	Indicazione di congestione
Internet	Best-effort	Nessuna	Nessuna	Non garantito	Non mantenuta	No
ATM	CBR	Tasso costante garantito	Si	Rispettato	Mantenuta	Non si verifica congestione
ATM	ABR	Minimo garantito	Nessuna	Rispettato	Non mantenuta	Si

# Sommario



- Introduzione
- **Reti a circuito virtuale e a datagramma**
- Funzionamento di un router

# Reti a circuito virtuale e a datagrammi

- Le reti possono offrire servizi con e senza connessioni
  - ▣ Le **reti a datagramma** offrono solo il servizio senza connessione
  - ▣ Le **reti a circuito virtuale (VC)** mettono a disposizione solo il servizio con connessione
- Ci sono alcune analogie con quanto avviene a livello di trasporto ma:
  - ▣ La connessione è implementata da host a host
    - Invece nel livello di rete è implementato anche nei router
  - ▣ Non si può scegliere
    - Il livello di rete offre un servizio senza connessione o con connessione ma non entrambi
  - ▣ Le implementazioni sono fundamentalmente diverse

# Reti a circuito virtuale



- Il percorso tra origine e destinazione si comporta in modo analogo a un circuito telefonico
- Il pacchetto di un circuito virtuale ha un numero VC nella propria intestazione
- Un circuito virtuale può avere un numero VC diverso su ogni collegamento
- Ogni router sostituisce il numero VC con un nuovo numero

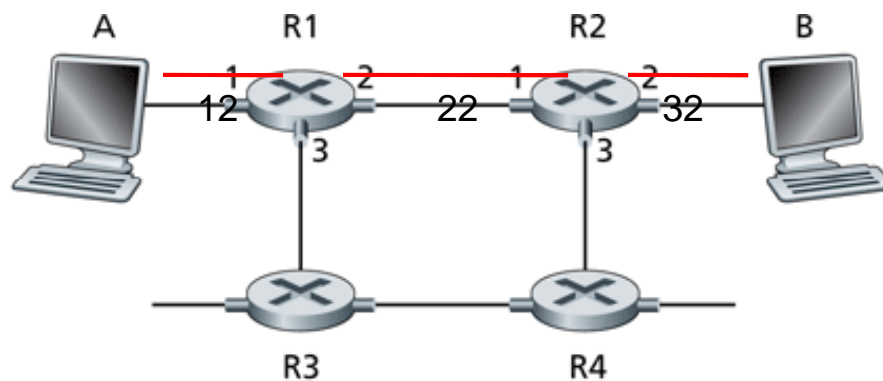
# Implementazione



- Un circuito virtuale consiste in:
  - ▣ Un percorso tra gli host origine e destinazione
  - ▣ Numeri VC, uno per ciascun collegamento
  - ▣ Righe nella tabella d'inoltro in ciascun router
- Il pacchetto di un circuito virtuale ha un numero VC nella propria intestazione
- Il numero VC del pacchetto cambia su tutti i collegamenti lungo un percorso
- Un nuovo numero VC viene rilevato dalla tabella d'inoltro

# Tabella d'inoltro

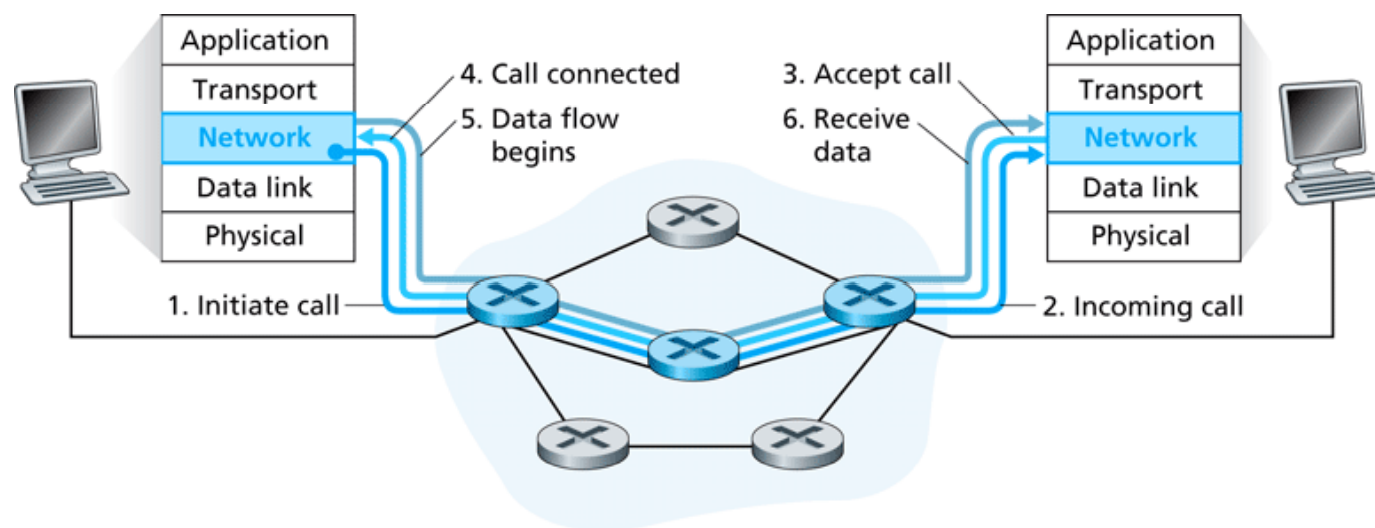
Tabella d'inoltro per R1			
Interfaccia in ingresso	Numero VC entrante	Interfaccia in uscita	Numero VC uscente
1	12	2	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...	...	...	...



I router mantengono le informazioni sullo stato delle connessioni

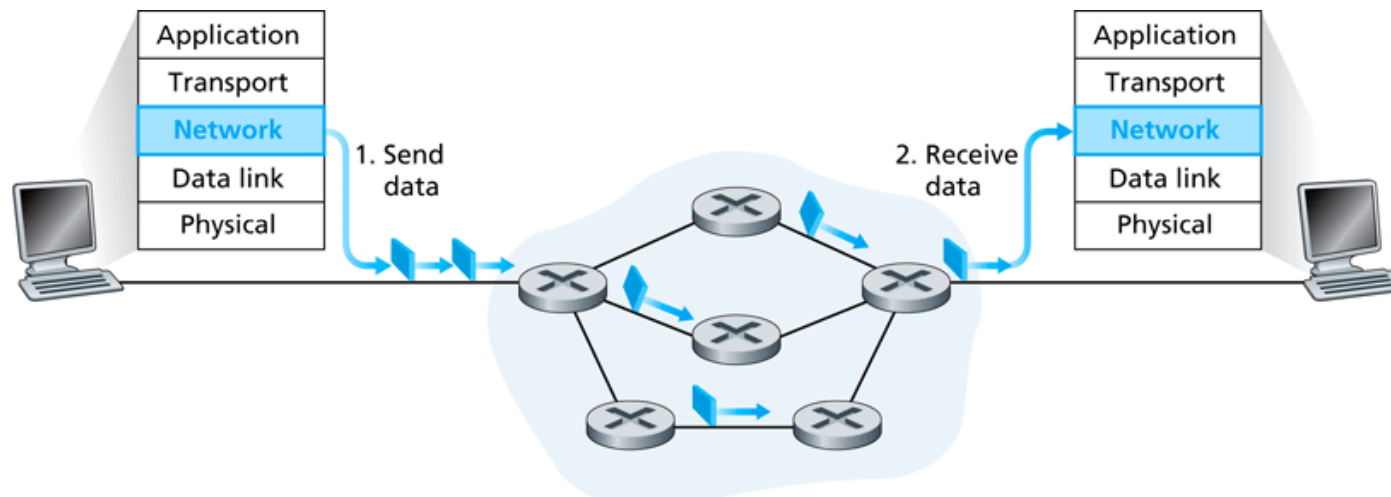
# Protocolli di segnalazione

- I protocolli di segnalazione permettono l'invio di messaggi dai sistemi terminali per avviare o concludere un circuito virtuale
  - ▣ Usati in ATM, frame-relay e X.25
  - ▣ Non usati in Internet



# Reti a datagrammi

- L'impostazione della chiamata non avviene a livello di rete
- I router della rete a datagramma non conservano informazioni sullo stato dei circuiti virtuali (perché non ce ne sono)
- I pacchetti vengono inoltrati utilizzando l'indirizzo dell'host destinatario
  - ▣ I pacchetti passano attraverso una serie di router che utilizzano gli indirizzi di destinazione per inviarli



# Tabelle d'inoltro

- Consideriamo indirizzi di destinazione a 32 bit (come nei datagrammi IP)
  - ▣ Una tabella d'inoltro dovrebbe avere una riga per ogni possibile indirizzo per un totale di 4 miliardi di indirizzi!
- Una tabella d'inoltro per un router dotato di 4 interfacce abbiamo

Intervallo degli indirizzi di destinazione					Interfaccia
da	11001000	00010111	00010000	00000000	0
a	11001000	00010111	00010111	11111111	
da	11001000	00010111	00011000	00000000	1
a	11001000	00010111	00011000	11111111	
da	11001000	00010111	00011001	00000000	2
a	11001000	00010111	00011111	11111111	
altrimenti					3

# Un tabella d'inoltro alternativa

Corrispondenza di un prefisso			Interfaccia
11001000	00010111	00010	0
11001000	00010111	00011000	1
11001000	00010111	00011	2
Altrimenti			3

- Esempi:
  - ▣ 11001000 00010111 00010110 10100001
  - ▣ 11001000 00010111 00011000 10101010
- Nel caso di corrispondenze multiple si adotta la **regola di corrispondenza a prefisso più lungo**
- Questo meccanismo funziona bene se le interfacce di collegamento gestiscono blocchi di indirizzi contigui
  - ▣ Diversamente le tabelle di inoltro tendono a crescere

# Perché reti a circuito virtuale o a datagrammi?

## □ **Internet** (datagrammi)

- Necessità di scambiare dati tra differenti calcolatori
  - Servizi elastici, non vi sono eccessivi requisiti di tempo
- L'interconnessione è semplice (computer)
  - È adattabile, effettua controlli e recupera errori
  - Rete interna non complessa, la complessità sta agli estremi
- Svitati tipi di link
  - Caratteristiche differenti
  - Difficile uniformarne il servizio

## □ **ATM** (CV)

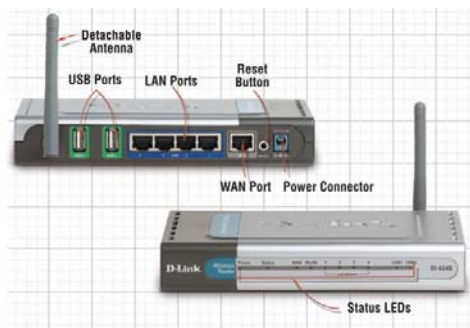
- Deriva dal mondo della telefonia
- Conversazione telefonica:
  - Requisiti stringenti in termini di tempo e affidabilità
  - Necessità di servizi garantiti
- Sistemi terminali “stupidi”
  - Telefoni
  - La complessità sta nella rete interna

# Sommario



- Introduzione
- Reti a circuito virtuale e a datagramma
- **Funzionamento di un router**

# L'evoluzione dei router



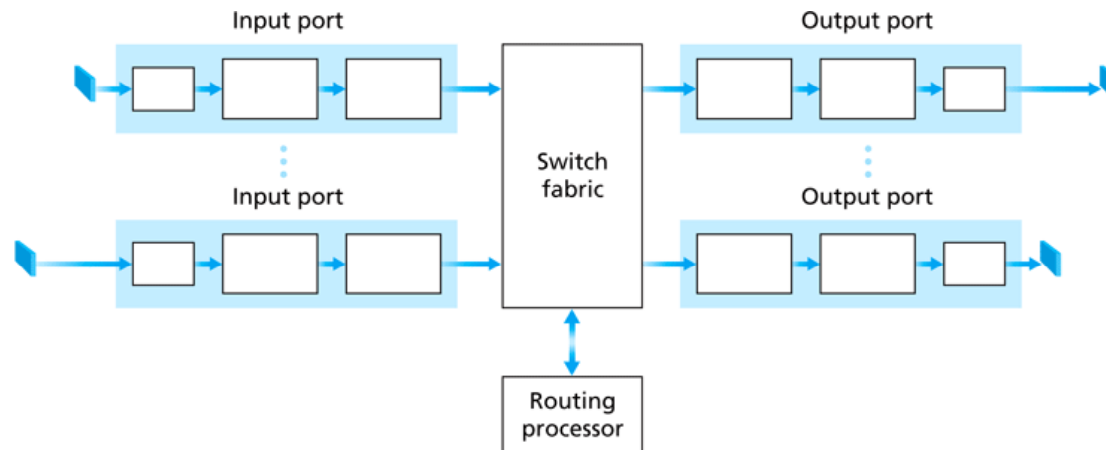
# Funzione d'inoltro



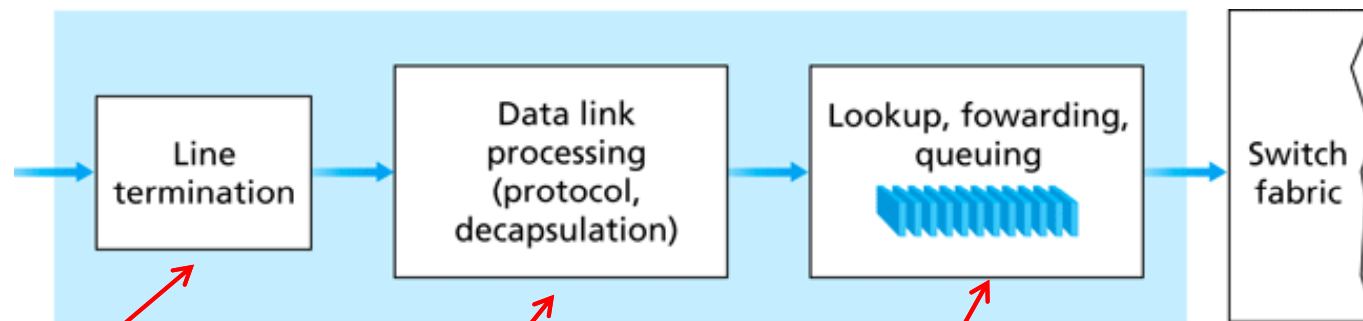
- Le **funzioni d'inoltro** specificano in che modo i router trasferiscono i dati dal collegamento di ingresso al collegamento di uscita
  - ▣ Altri termini sono **inoltro** e **commutazione**
- Le funzioni principali di un router sono:
  - ▣ Far girare i protocolli/algoritmi d'instradamento (RIP, OSPF, BGP)
  - ▣ Inoltrare i datagrammi dai collegamenti in ingresso a quelli in uscita

# L'interno di un router

- Un generico router possiede quattro componenti:
  - ▣ Porte di ingresso
  - ▣ Struttura di commutazione
  - ▣ Porte d'uscita
  - ▣ Processore di instradamento



# Porte d'ingresso



## Livello Fisico:

Ricezione a livello di bit

## Livello link:

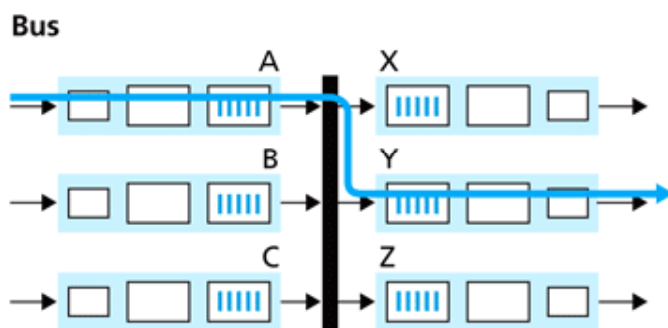
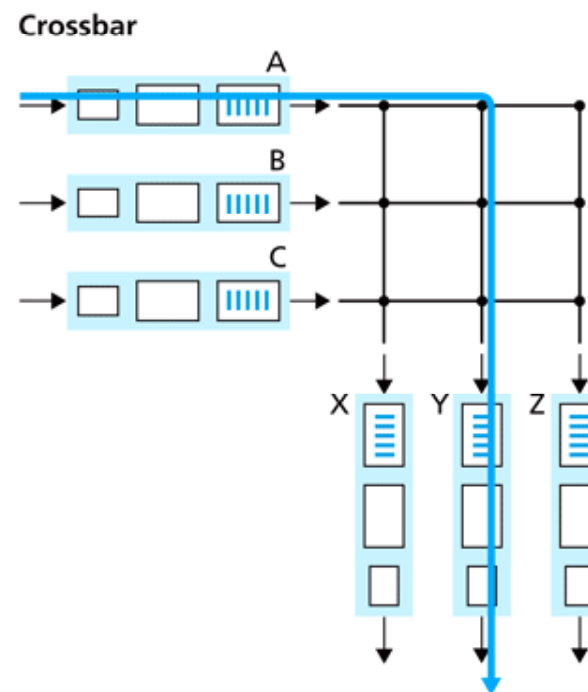
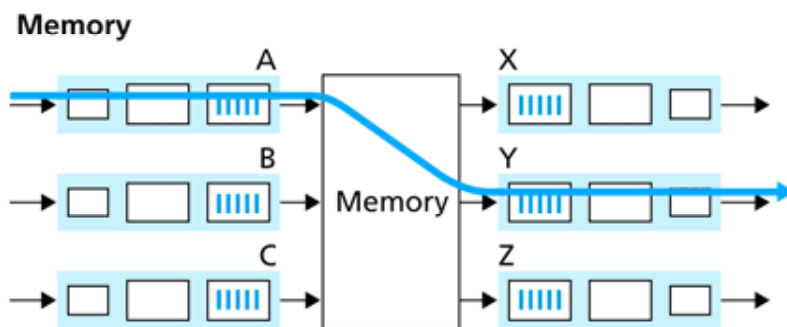
Ad esempio Ethernet

## Commutazione decentralizzata:

- Determina la porta d'uscita dei pacchetti utilizzando le informazioni della tabella d'inoltro
- Obiettivo: completare l'elaborazione allo stesso **tasso della linea**
- Accodamento: se il tasso di arrivo dei datagrammi è superiore a quello di inoltro

Esempio: Per un collegamento da 2.5Gbps e pacchetti da 256 byte è necessario effettuare 1 milione di ricerche al secondo

# Tecniche di commutazione

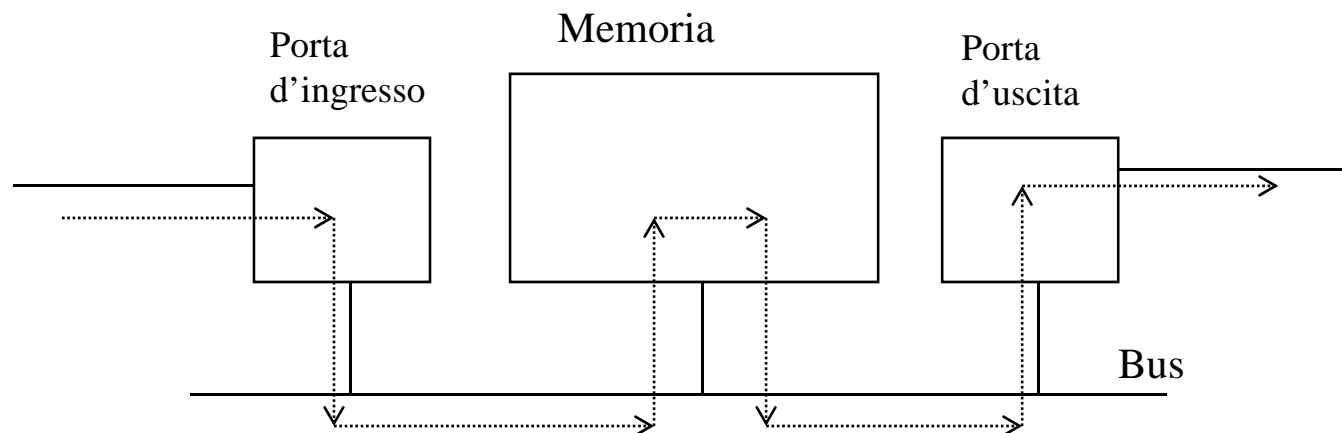


Key:



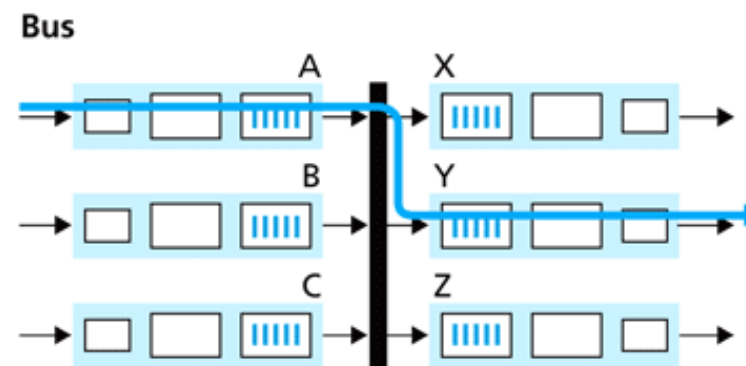
# Commutazione in memoria

- Implementata dalla prima generazione di router
- Erano tradizionali calcolatori e la commutazione era effettuata sotto il controllo diretto della CPU
- Il pacchetto veniva copiato nella memoria del processore
- I pacchetti venivano trasferiti dalle porte d'ingresso a quelle d'uscita con una frequenza totale inferiore a  $B/2$ 
  - ▣  $B$  era l'ampiezza di banda della memoria



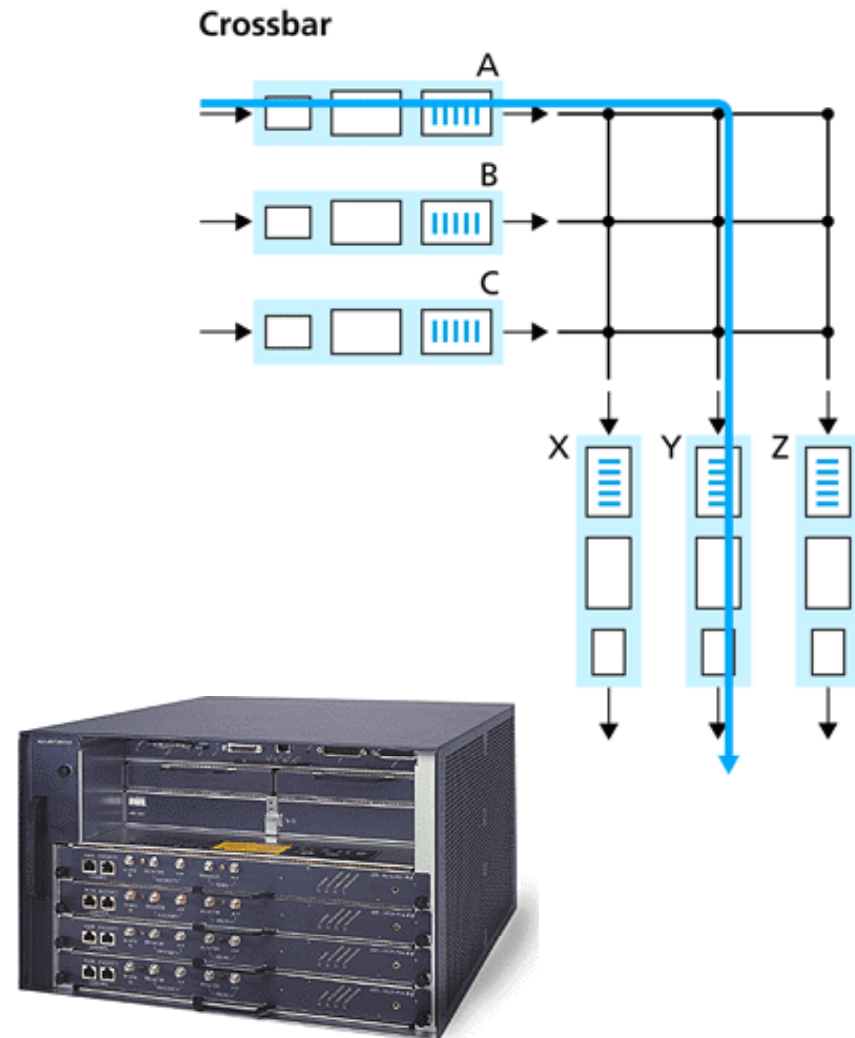
# Commutazione tramite Bus

- Le porte d'ingresso trasferiscono un pacchetto direttamente alle porte d'uscita su un bus condiviso
- La larghezza di banda della commutazione è limitata da quella del bus
- Cisco 1900 opera con bus da 1 Gbps: è sufficiente per router che operano in reti d'accesso o in quelle aziendali

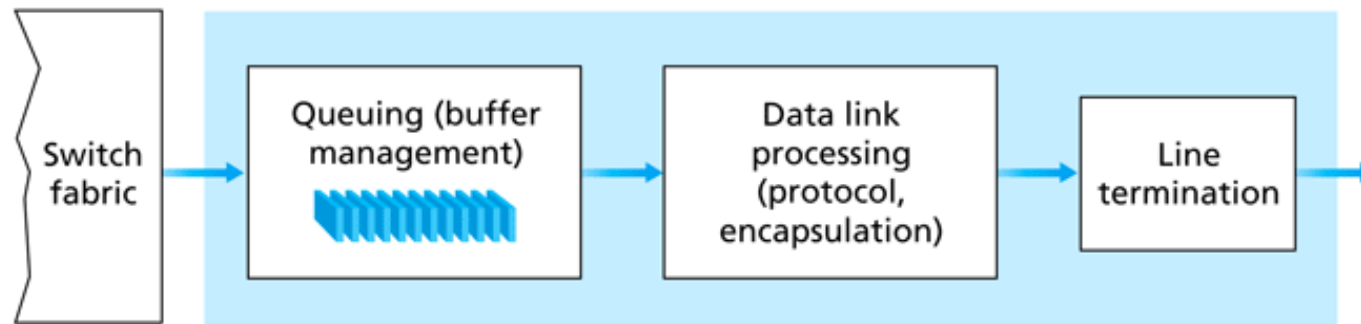


# Commutazione attraverso rete d'interconnessione

- Supera il limite di banda di un singolo bus condiviso
- Tendenza attuale: frammentazione dei pacchetti IP a lunghezza variabile in celle di lunghezza fissa
- Switch Cisco 12000: usano una rete d'interconnessione che raggiunge i 60 Gbps nella struttura di commutazione



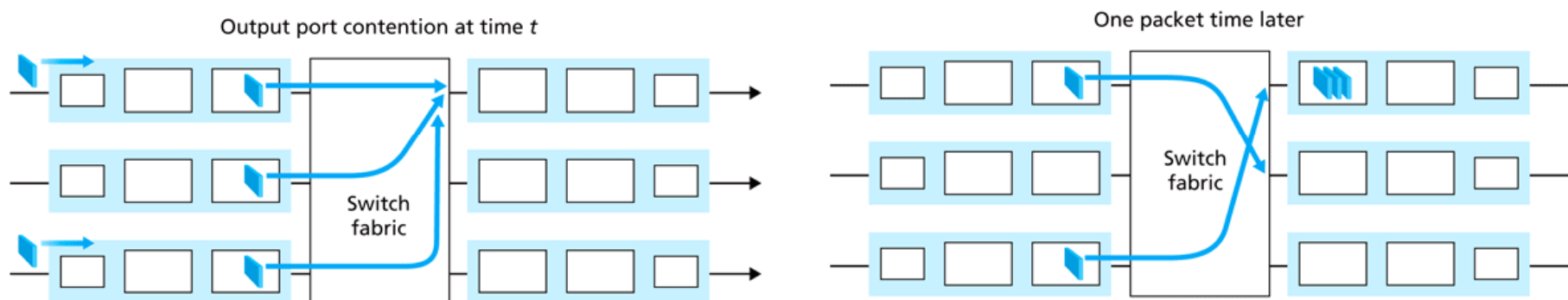
# Porte d'uscita



- Sulla porta di uscita il router svolge le seguenti azioni:
  - ▣ **Funzionalità di accodamento:** quando la struttura di commutazione consegna pacchetti alla porta d'uscita a una frequenza che supera quella del collegamento uscente
  - ▣ **Schedulatore di pacchetti:** stabilisce in quale ordine trasmettere i pacchetti accodati

# Dove si verifica l'accodamento?

- Se la struttura di commutazione non è sufficientemente rapida nel trasferire i pacchetti, si può verificare un accodamento
- Se le code diventano troppo lunghe, i buffer si possono saturare e quindi causare una perdita di pacchetti



# Dove si verifica l'accodamento?

- ❑ **Blocco in testa alla fila:** un pacchetto nella coda d'ingresso deve attendere il trasferimento (anche se la propria destinazione è libera) in quanto risulta bloccato da un altro pacchetto in testa alla fila
- ❑ Se le code diventano troppo lunghe, i buffer si possono saturare e quindi causare una perdita di pacchetti!

