

RETI DI CALCOLATORI

Autunno 2018

docente: Laura Ricci

laura.ricci@unipi.it

Lezione I:

TIPI DI RETI

CIRCUIT E PACKET SWITCHING

18/09/2018

parte di queste slides sono
ricavati da slides pubblicate in corsi
universitari tenuti da colleghi
italiani e stranieri

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Prerequisiti (non propedeuticità obbligatorie):

- Algoritmica
- Programmazione I e 2

Docente: Laura Ricci

Crediti: 6 + 6 (Modulo Laboratorio)

Corsi unificati per la parte di teoria

Per la parte di laboratorio:

- Corso A – Laura Ricci
- Corso B – Federica Paganelli

Moodle Link: <https://elearning.di.unipi.it/enrol/index.php?id=137>

Orario Modulo di Teoria:

Martedì 9:00 - 11:00 Fib A1

Venerdì 11.00 - 13:00 Fib A1

PRESENTAZIONE DEL DOCENTE

- Ph. D. in Computer Science, Università di Pisa
- da 15 anni, i miei interessi di ricerca sono nel **campo delle reti**
- tutti i corsi che insegno sono nell'area delle reti
 - Laboratorio di Programmazione di Rete
 - P2P Systems and Blockchains, Magistrale in Informatica, Curriculum ICT
 - questo corso....
- Disponibile per tirocini nel campo delle applicazioni di rete
- Orario di ricevimento
 - venerdì ore 14.30-17.30
 - anche su appuntamento
 - forum di Moodle

MODALITA' DI ESAME

- Reti di calcolatori e laboratorio: 12 crediti (6+6), 6 teoria e 6 laboratorio
- laboratorio: due corsi A e B
- esame:
 - progetto come verifica finale di laboratorio
+
 - orale: discussione del progetto e verifica dell'apprendimento dei concetti della presentati nella parte teorica, anche attraverso semplici esercizi.
 - voto finale: media progetto ed orale
 - per questo anno accademico, è possibile discutere il progetto separatamente dall'orale di verifica della parte teorica.

PROGRAMMA PRELIMINARE

Argomenti trattati (non necessariamente in questo ordine)

- **Introduzione:** concetti generali, con riferimento ad Internet come esempio, LANs e WANs. Internet TCP/IP Protocol Stack. Layers. Circuit-switching, packet-switching, Struttura di Internet, networking delays and packet loss.
- **Application layer:** Paradigma client/server, WWW, HTTP, Domain Name System, applicazioni P2P.
- **Transport layer:** Service models, multiplexing/demultiplexing, connection-less transport (UDP), principi di trasferimento dati affidabile, connection-oriented transport (TCP), TCP: controllo del flusso e della congestione, varianti TCP.
- **Network layer routing.** Routing and forwarding, routing algorithms, routing in the Internet, multicast.
- **Network layer addressing.** Network layer services, IP, IP addressing, IPv4, DHCP, NAT, ICMP, IPv6.

PROGRAMMA PRELIMINARE

Argomenti trattati (non necessariamente in questo ordine)

- **Link layer and local area networks.** Link layer services, rilevamento e correzione degli errori, Multiple Access Protocols, link layer addressing, Ethernet, hubs and switches, Protocolli Point-to-Point Protocol.
- **Wireless and mobile networks.** Caratteristiche dei Wireless links e delle reti, Wi-Fi: IEEE 802.11 wireless LANs.
- **Multimedia networking.** Networked multimedia applications, requisiti per multimedia delivery, multimedia protocols (SIP), content distribution networks. (se rimane tempo...)

- Testo di riferimento: "*Computer Networks: A Top-Down Approach*", B. A. Forouzan, F. Mosharraf, McGraw Hill.

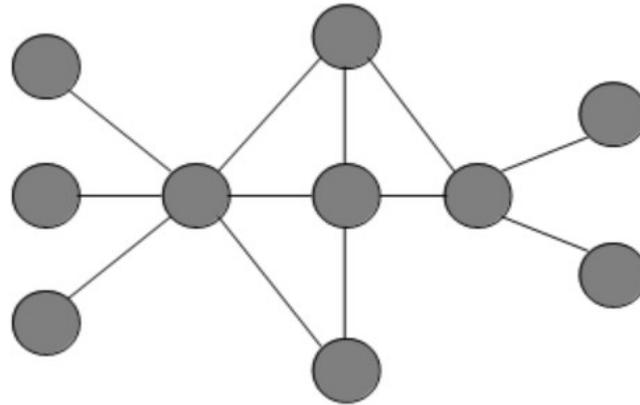
Altri testi di consultazione:

- Jim Kurose and Keith Ross, *Computer Networking: A Top-Down Approach*, Settima Edizione, Pearson, 2017.
- L. L. Peterson, B. S. Davie, *Computer Networks: A Systems Approach*, Morgan Kaufmann
- A. Tanenbaum, *Reti di Calcolatori*, Pearson, Prentice Hall,
- D.E. Comer *Computer Networks and Internet* , Prentice Hall 2018:

- Internet: introduzione e caratteristiche di base
- concetti base
 - tipi di reti
 - commutazione di circuito
 - commutazione di pacchetto
 - datagram
 - circuiti virtuali
- materiale didattico: **studiare**
 - 1.1 Internet: una panoramica (1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4)
 - 4.1.2 Packet switching

COSA E' UNA RETE DI COMUNICAZIONE?

- Definizione (molto) generale: un sistema contenente un insieme di “links” che interconnettono nodi per trasportare informazione tra i nodi



Diversi tipi di rete di comunicazione:

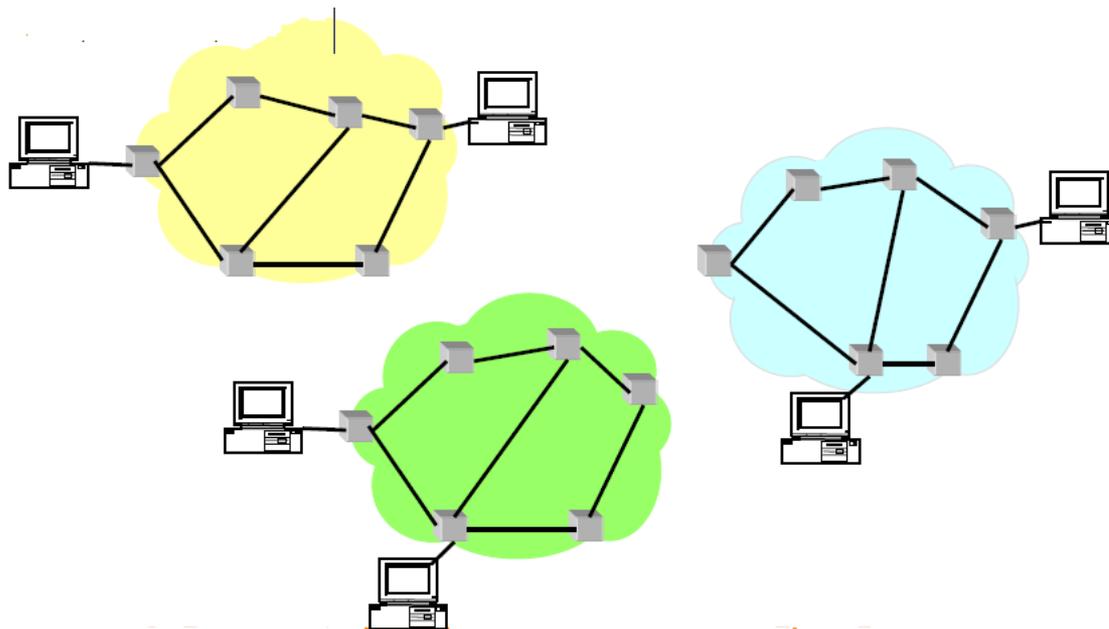
- rete telefonica fissa
- rete cellulare
- data acquisition network
- sensor network
-

In questo corso ci focalizzeremo esclusivamente su Internet

INTERNET: UNA “FEDERAZIONE” DI RETI

Originariamente: diverse reti

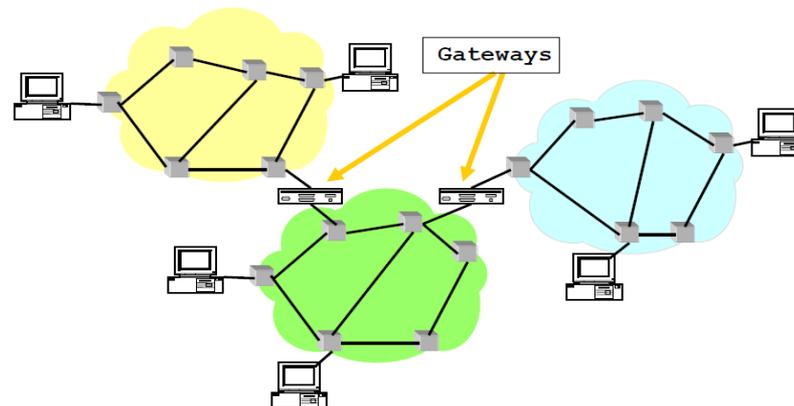
- solo i nodi nella stessa rete possono comunicare tra di loro
- Idea: connettere tra di loro le diverse reti



INTERNET: UNA “FEDERAZIONE” DI RETI

1972 Robert Kahn - Open Architecture Networking (OAN), documento in cui il principio base è che ogni rete può comunicare con ogni altra rete indipendentemente dalle configurazioni hw/sw delle reti coinvolte

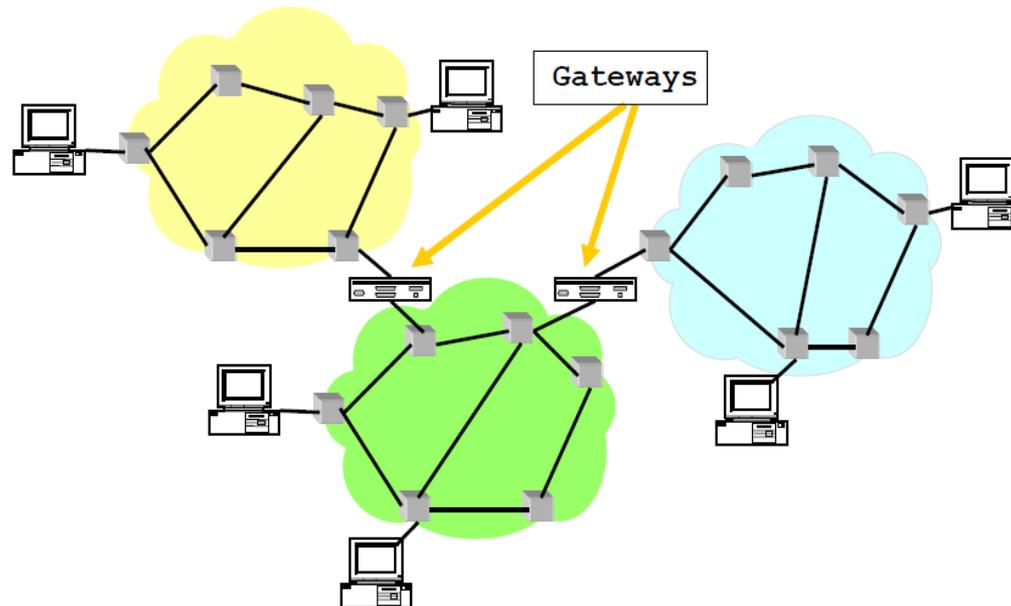
- ogni rete deve poter essere connessa ad ogni altra tramite un gateway (router o switch)
- non deve esistere una amministrazione o controllo centrale della rete: una architettura **realmente peer to peer**
- **best effort communication**: i pacchetti persi vengono rispediti
- **black box design**: non deve essere necessaria alcuna modifica interna ad una rete quando essa viene connessa alle altre reti



INTERNET: UNA “FEDERAZIONE” DI RETI

OAN ha “funzionato” negli anni, perchè le tecnologie sono cambiate e reti diverse sono state collegate ad Internet. Ad esempio:

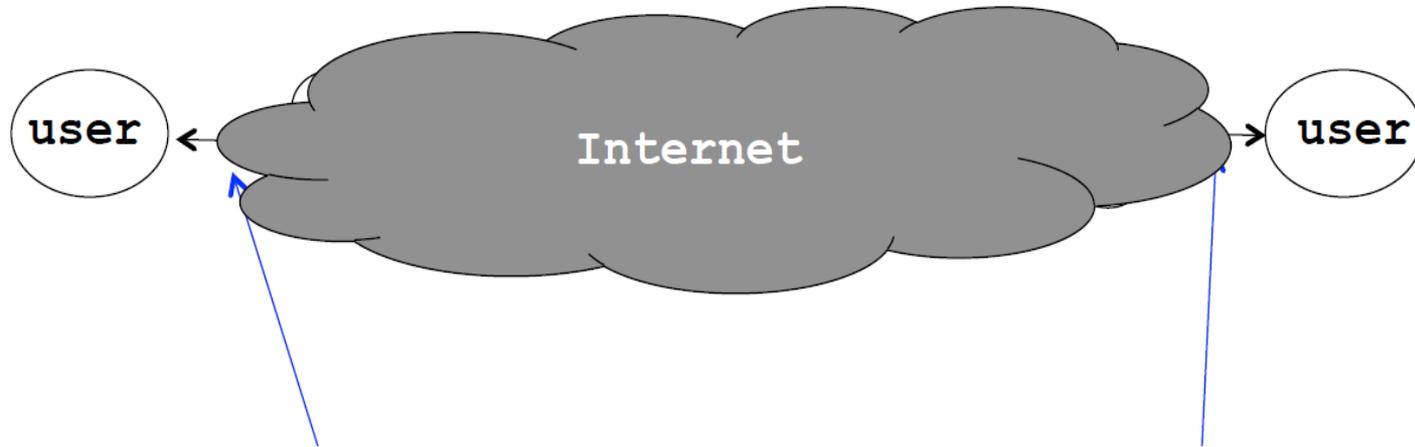
- una rete WiFi condivisa da tutti i membri di una famiglia
- una rete Ethernet che collega tutti gli uffici in un edificio
- una rete privata ad alta capacità che connette diverse sedi di una compagnia, dislocate geograficamente su larga scale
- una rete satellitare utilizzata per l'accesso ad Internet da parte delle navi



INTERNET: CARATTERISTICHE DISTINTIVE

UNA “FEDERAZIONE” DI RETI

- nasce come federazione di diverse reti
 - >18,000 ISP networks

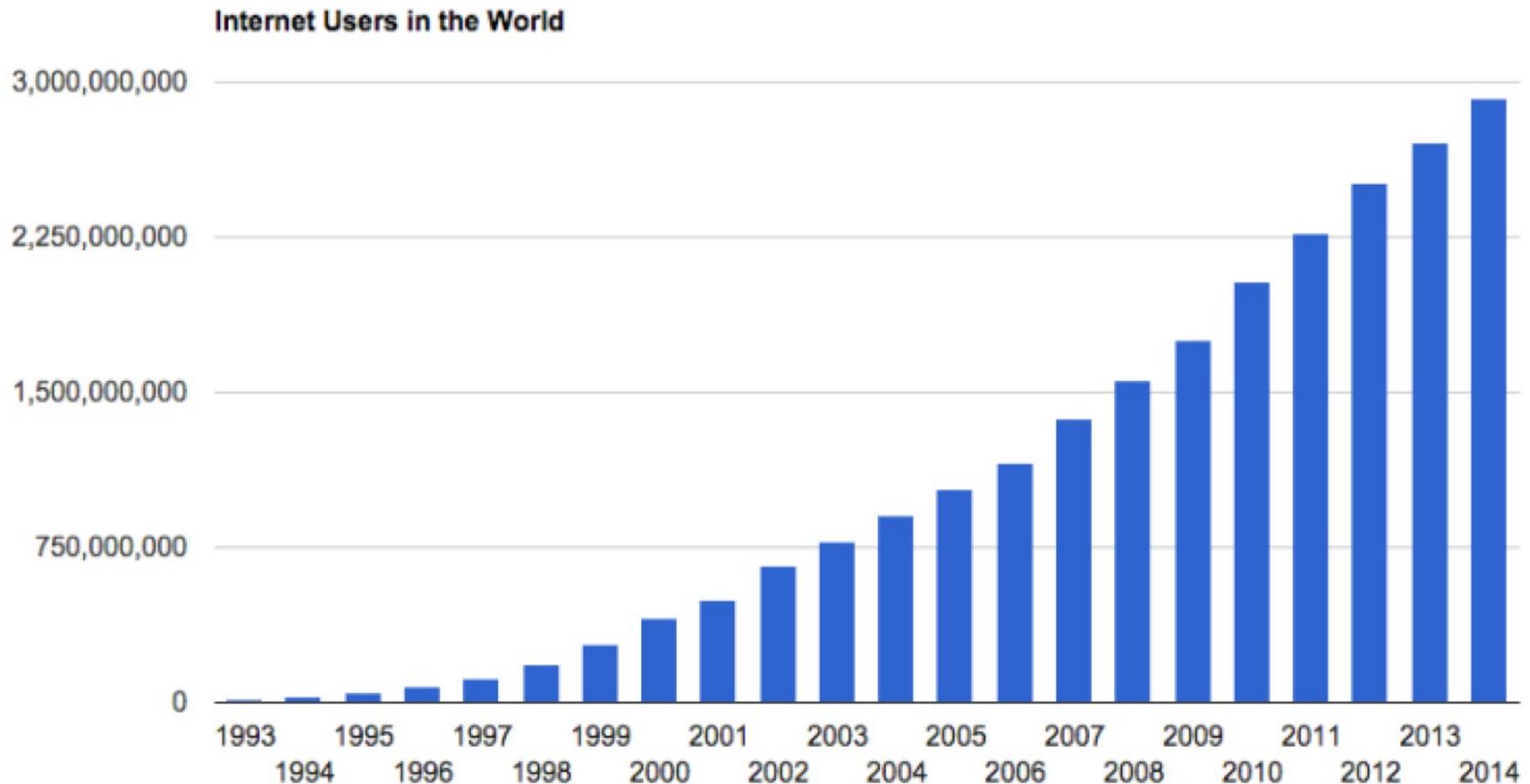


- tante reti comunicanti mediante un unico protocollo IP, **Internet Protocol**,
 - IP è una unica “interfaccia tra le diverse reti e tra l'utente e la rete”

UNA RETE DI ENORMI DIMENSIONI

- 3.58 (10^{12}) Miliardi di utenti, (erano 3.39 l'anno precedente)
- **1.5 Miliardi** di siti web
- **1 Trillion** URLs uniche
- **294 Miliardi** emails inviate al giorno
- **1 Miliardo** smartphones
- **937 Million** utenti Facebook
- **2 Miliardi** YouTube video scaricati ogni giorno
- Routers che commutano **10Terabits/second**
- Collegamenti **100Gigabits/second**
-

UNA RETE DI ENORMI DIMENSIONI



DINAMICITA' ED ETEROGENEITA'

- Alta dinamicità:
 - Latenza di comunicazione: da alcuni μ secondi a qualche secondo
 - 5 ordini di grandezza
 - Banda: da qualche Kbits/secondo a 100 Gigabit/secondo
 - 8 ordini di grandezza
 - Delay nelle code nei componenti della rete: da 0 a qualche secondo
 - Perdita pacchetti 0-90+%
- Alta diversità di tecnologie/applicazioni
 - tecnologie
 - fibra ottica, satellite, wi-fi, copper
 - endpoint devices:
 - sensori, cellulari, datacenters, supercomputers, televisioni, gaming consoles, webcam, automobili,...
 - applicazioni: social networks, file transfer, skype, live TV, gaming, P2P, Bitcoin e cryptocurrencies

COMPONENTI E TECNOLOGIE DIVERSE

Links



Fibers



Coaxial Cable

Interfaces

Ethernet card

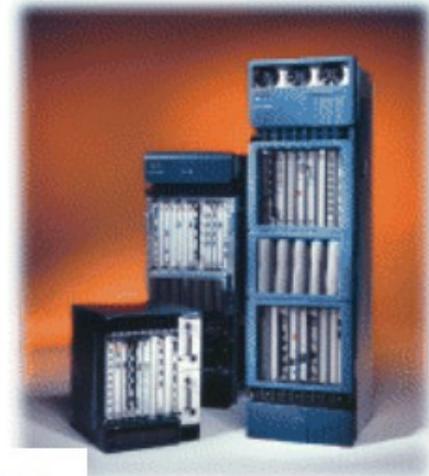


Wireless card



Switches/routers

Large router



Telephone switch



EVOLUZIONE RAPIDA E COSTANTE

- Negli anni '70
 - 56kbytes/sec su un backbone link
 - <100 host, in larga parte allocati negli USA
 - trasferimento file e Telnet: killer applications
- Attualmente
 - 100+Gigabits backbone links
 - 5miliardi+ di dispositivi, dislocati su tutto il globo
 - 20M di apps Facebook installate ogni giorno
- E l'evoluzione tecnologica continua....

COMUNICAZIONE ASINCRONA

- un vincolo insormontabile: velocità della luce
- quanto impiega la luce a viaggiare da Pisa-New York?
 - distanza Pisa-New York: 6.637 km
 - velocità della luce: circa 300,000 km/s: 22.12 millisecondi
- Quanto tempo impiega un “pacchetto” per viaggiare da Pisa a New York?
 - sicuramente ≥ 22.12 msec
 - ...e ritorno: $2 \times 22.12 = 44.24$
 - in pratica impiega più tempo.
- quanti cicli di CPU esegue il tuo computer qui a Pisa, prima di avere una risposta ad un web server che si trova a New York?
 - $3,000,000,000 \text{ cycles/sec} \times 0.04424 =$ almeno 132720000 cicli !
- Conclusione:
 - feedback “datato”
 - comunicazione fondamentale **asincrona**

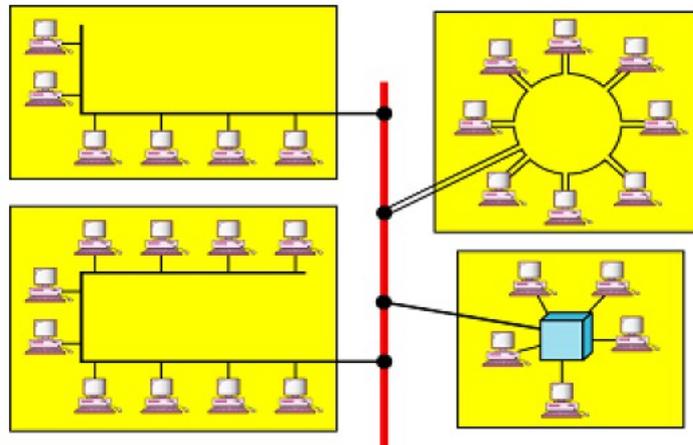
FAULT PROBABILITY

- considerazione realistica: la comunicazione di un messaggio può coinvolgere fino a 50 entità
 - software, modem, access point wireless, firewall links, schede di interfaccia di rete, switches, router,...
 - ognuna funziona correttamente il 99% delle volte
 - probabilità di fallimento: $1 - (.99)^{50} \approx 39.5\%$
- anche se i nodi sono affidabili al 99.9%, la probabilità di fallimento rimane alta, circa il 5%
- a causa della risposta asincrona, la notifica del fallimento può arrivare molto in ritardo
- necessario considerare i possibili fallimenti in fase di progettazione del sistema

- una federazione di reti
- un sistema complesso
- di dimensione enorme
- altamente dinamico
- eterogeneo
- in continua evoluzione
- comunicazione asincrona
- alta probabilità di fallimenti

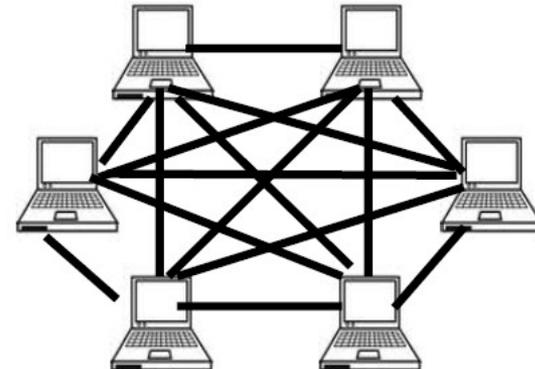
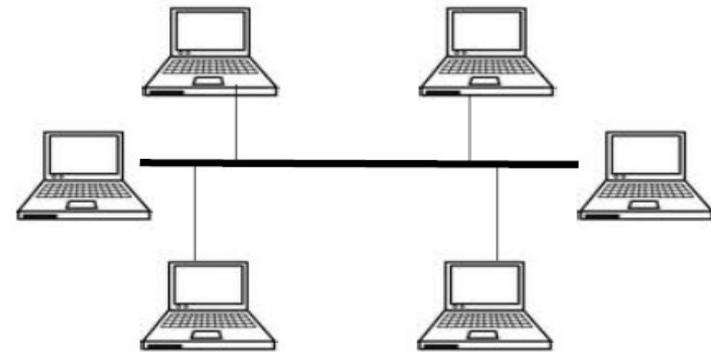
NETWORKS: CONCETTI BASE

- **Rete:** insieme di device (nodi) connessi da links
 - utilizza una combinazione di hardware e software pe rinviare dati da una locazione ad un'altra locazione.
- **Nodi:**
 - laptop, workstation, stampanti, PDA, cellulari, sensori o ogni altro device capace di inviare e di ricevere dati
- **Links:**
 - Permettono la comunicazione tra device diversi
 - Diversi mezzi fisici trasmettono dati a velocità diversa

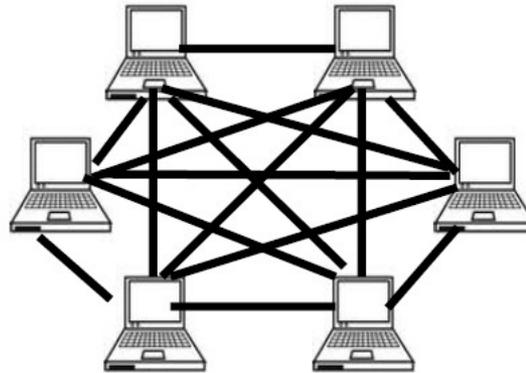


NETWORKS: TOPOLOGIE

- **Punto a punto:** connessione dedicata a due device. L'intera banda del link è riservata a quei due device.
- **Multipunto:** la banda del canale è riservata a 3 o più devices: L'informazione trasmessa da un nodo è ricevuta da tutti gli altri
 - range limitato
 - necessario coordinamento per l'accesso al mezzo di comunicazione condiviso
 - problemi di privacy
- **Mesh:** ogni device è collegata mediante un collegamento dedicato con le altre devices.



MESH TOPOLOGY

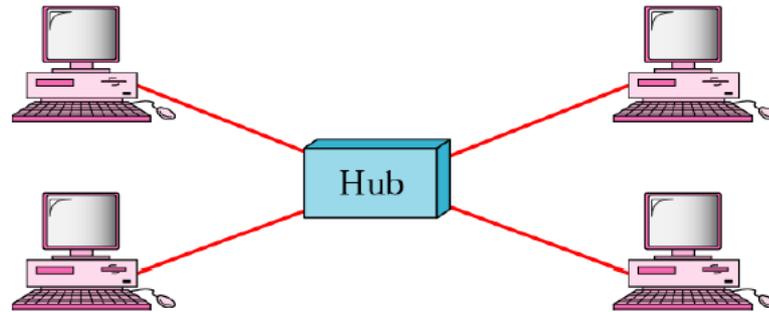


- **Fully connected mesh:** n nodi e $n(n-1)/2$ links
- **vantaggi:**
 - Link dedicati \Rightarrow non necessario condividere risorse
 - Privacy e security: dati visibili solo dal vero destinatario
 - Robustzza: molti cammini a 2-hops
- **svantaggi:**
 - complessità della configurazione
 - più porte di network connection per ogni device: complessità dell'HW
 - limitata scalabilità

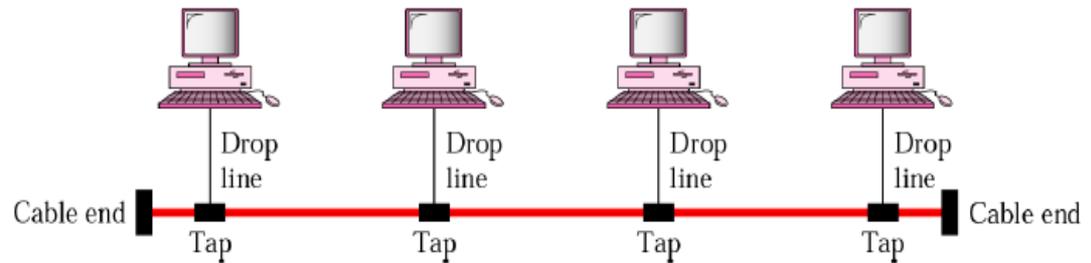
Topogia implementata in backbone/core networks.

ALTRE TOPOLOGIE

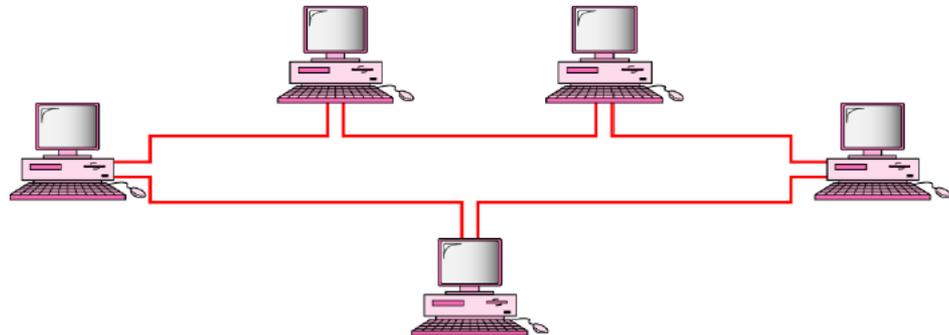
- Star Topology:



- Bus Topology:

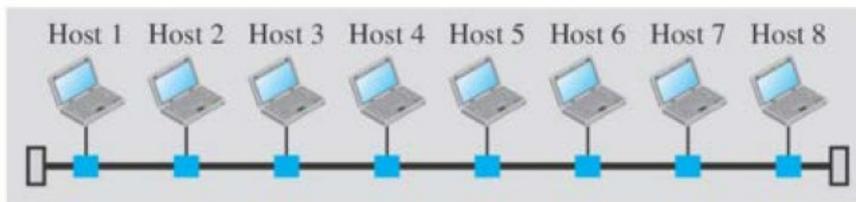


- Ring Topology:

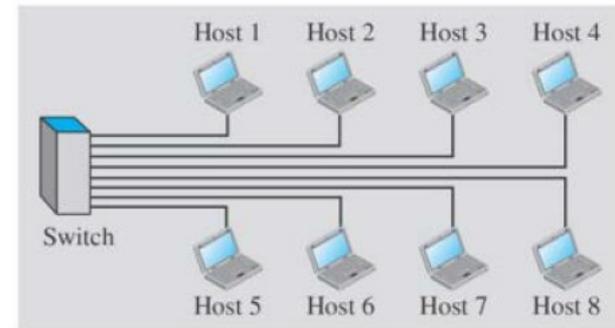


CATEGORIE DI RETI: LOCAL AEA NETWORK

- Classificazione basata sulla **distanza geografica**
 - concentrata in un'area limitata ($d < 5$ km), come un ufficio, edificio, campus
 - gestita dalla stessa organizzazione che è proprietaria di links, switch, server, hosts,..
 - scopo principale: condivisione di risorse (stampanti, server,...)
- In genere utilizza un solo tipo di trasmissione (wired, wireless)
 - bassa latenza, bassa probabilità di perdita di pacchetti
 - banda uniforme e molto maggiore di quella di una WAN: 100Mbps, 1 o 10 Gbps
 - topologie comunemente utilizzate: star, bus, ring

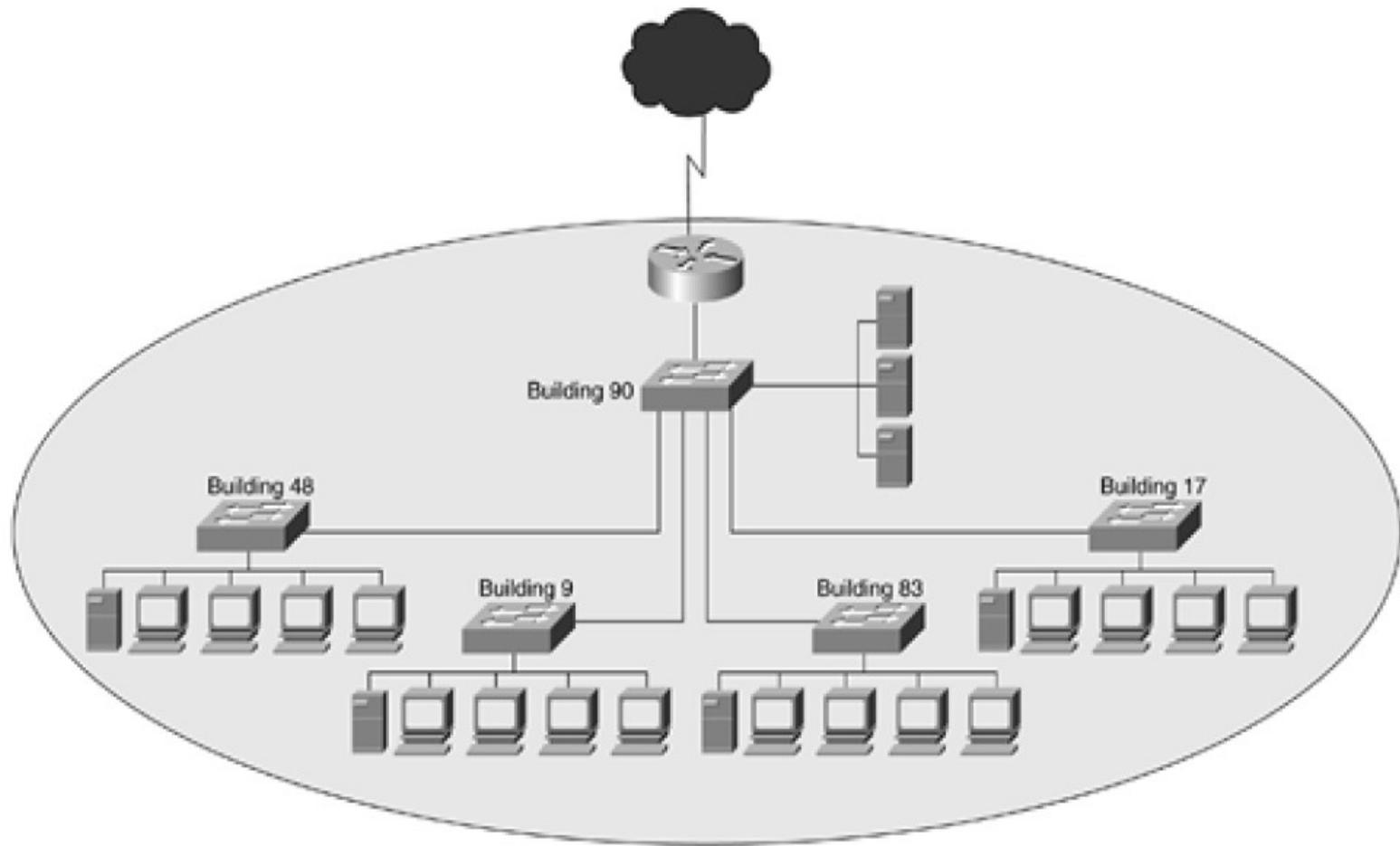


a. LAN with a common cable (past)



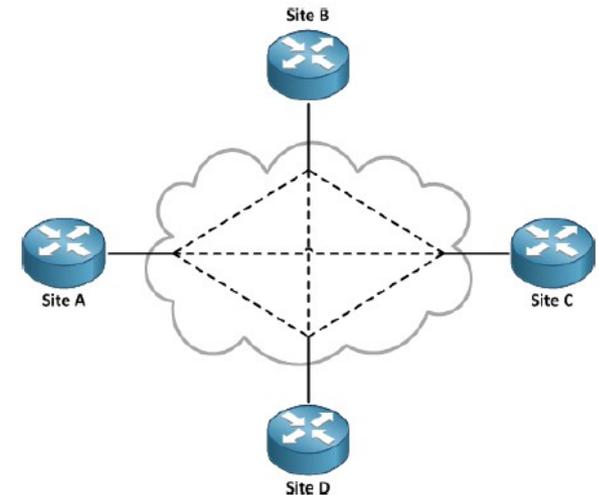
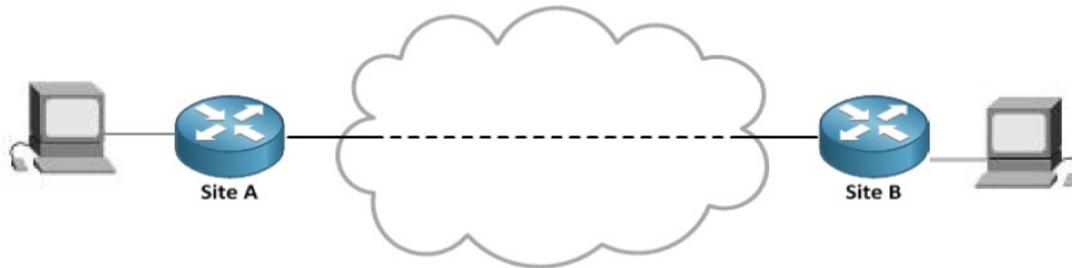
b. LAN with a switch (today)

UNA LAN PIU' COMPLESSA



WIDE AREA NETWORK

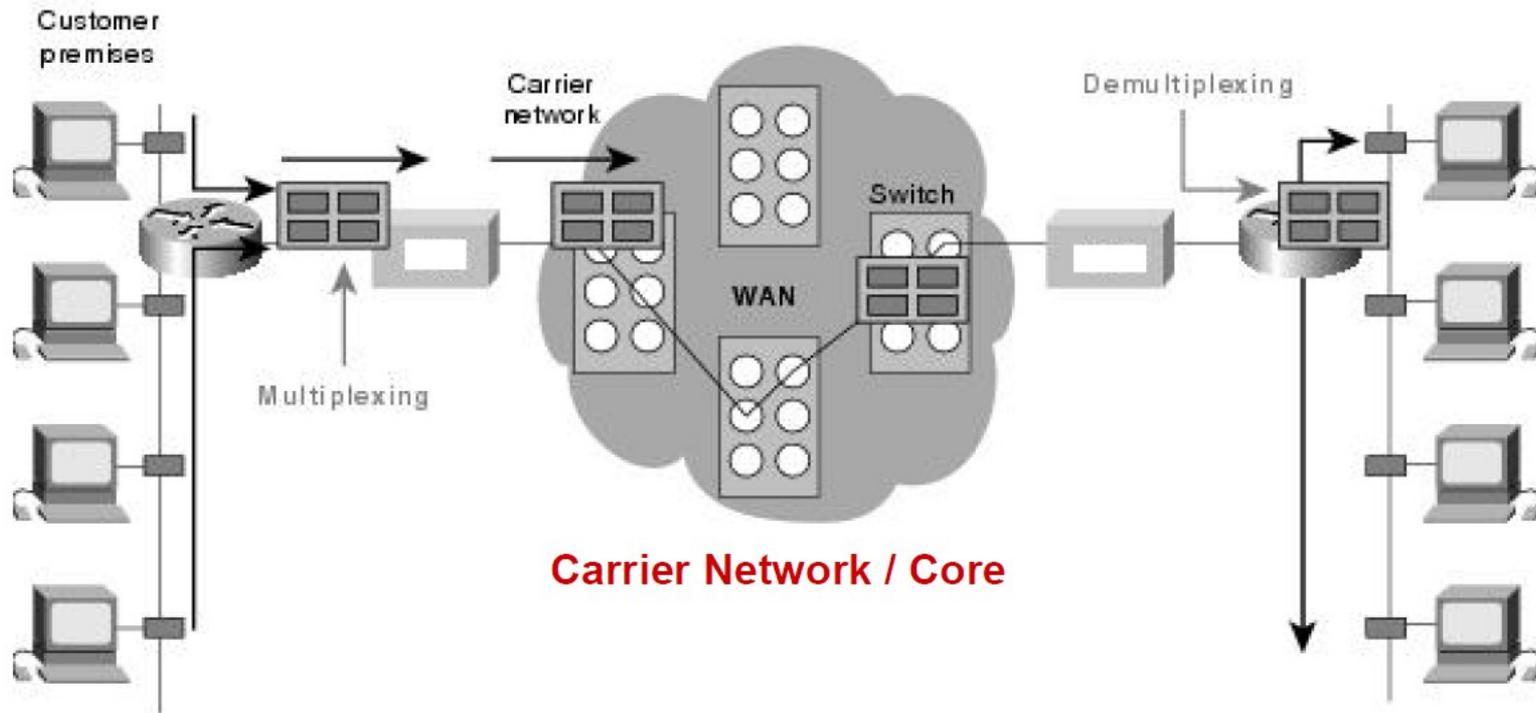
- si estende su una vasta area geografica
- a differenza di una LAN, usa in generale mezzi di comunicazione pubblici o affittati, per consegnare dati in un'area geograficamente distribuita
- Point to Point WAN: connette solo due WAN remote
 - linea in genere affittata e riservata
 - vantaggi: miglior performance/QoS
 - svantaggi: alto costo e bassa scalabilità



multipoint-to-multipoint =
 $n(n-1)/2$ point-to-point links !!!

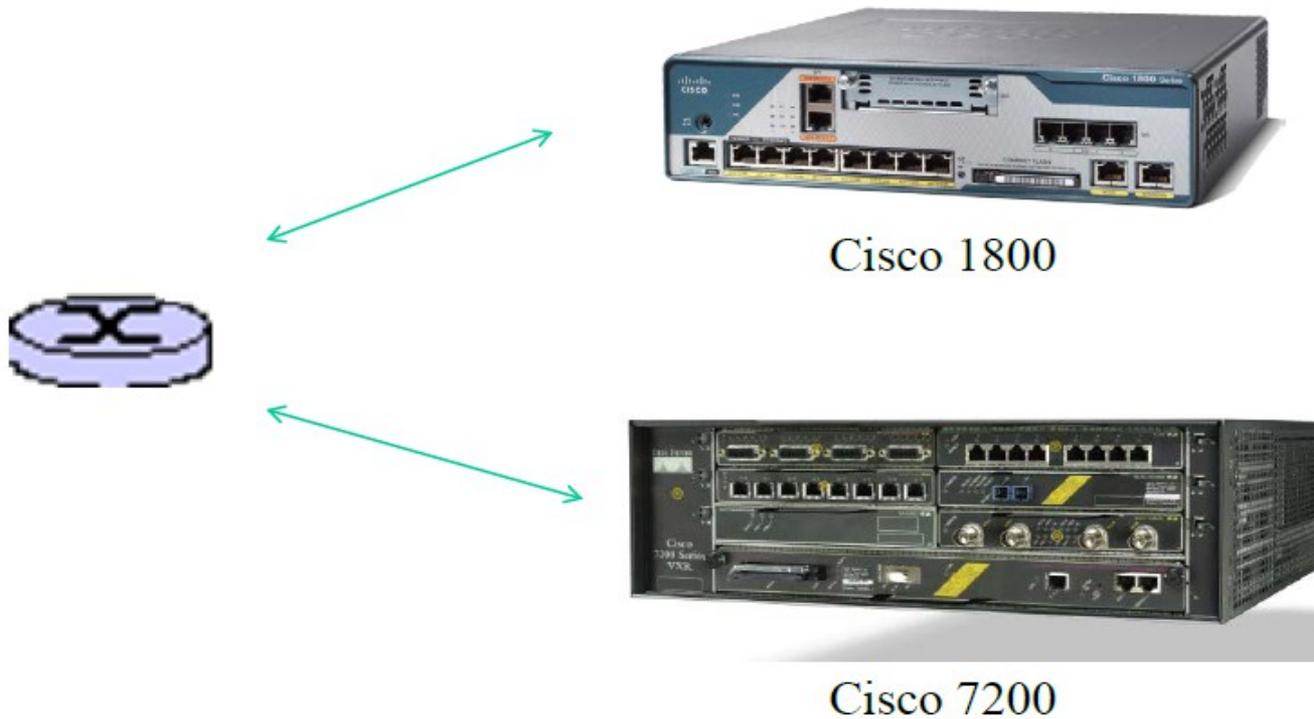
SWITCHED WAN

- evita l'uso di linee riservate /topologie full-mesh
- condivisione di linee consentono una migliore utilizzazione delle risorse
- l'operatore fornisce switch/routers per la trasmissione dei dati



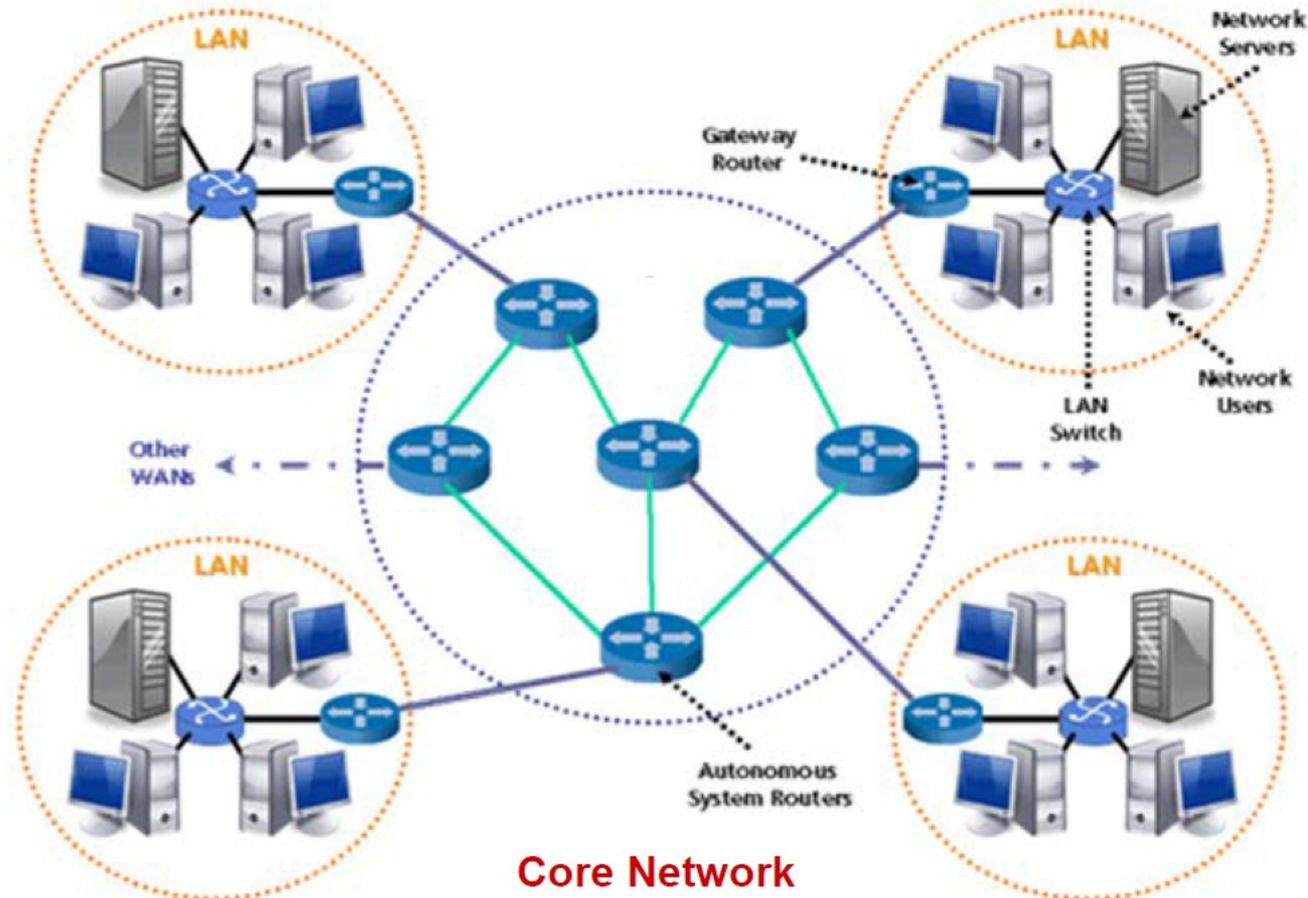
SWITCHED WAN

- Router: device dedicata che inoltra pacchetti di dati tra reti diverse

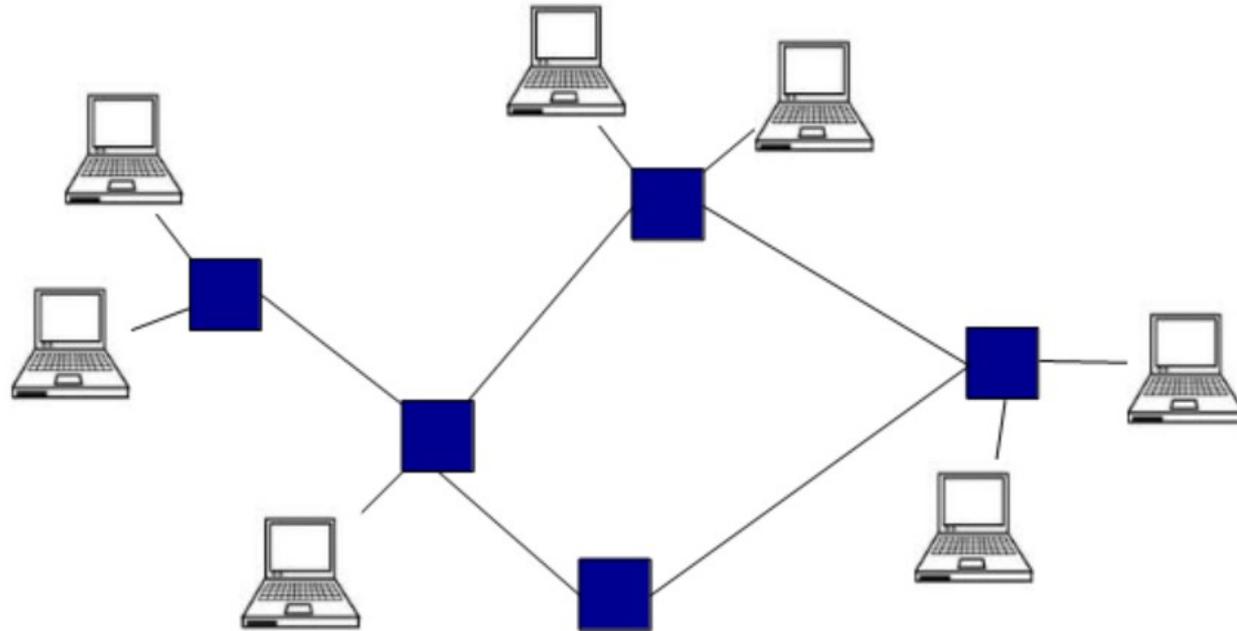


INTERNET

- La più grande rete esistente
 - connette LAN che supportano TCP/IP
 - Il suo core comprende una moltitudine di diversi operatori

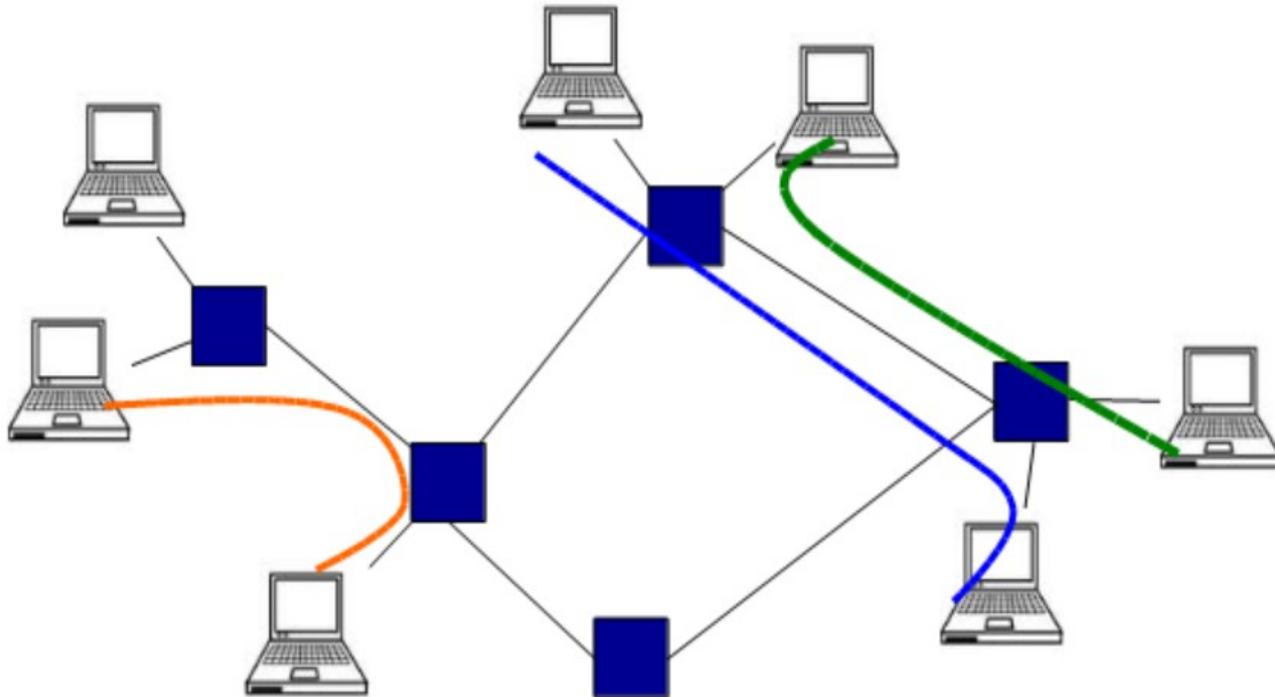


SWIRCHED NETWORKS



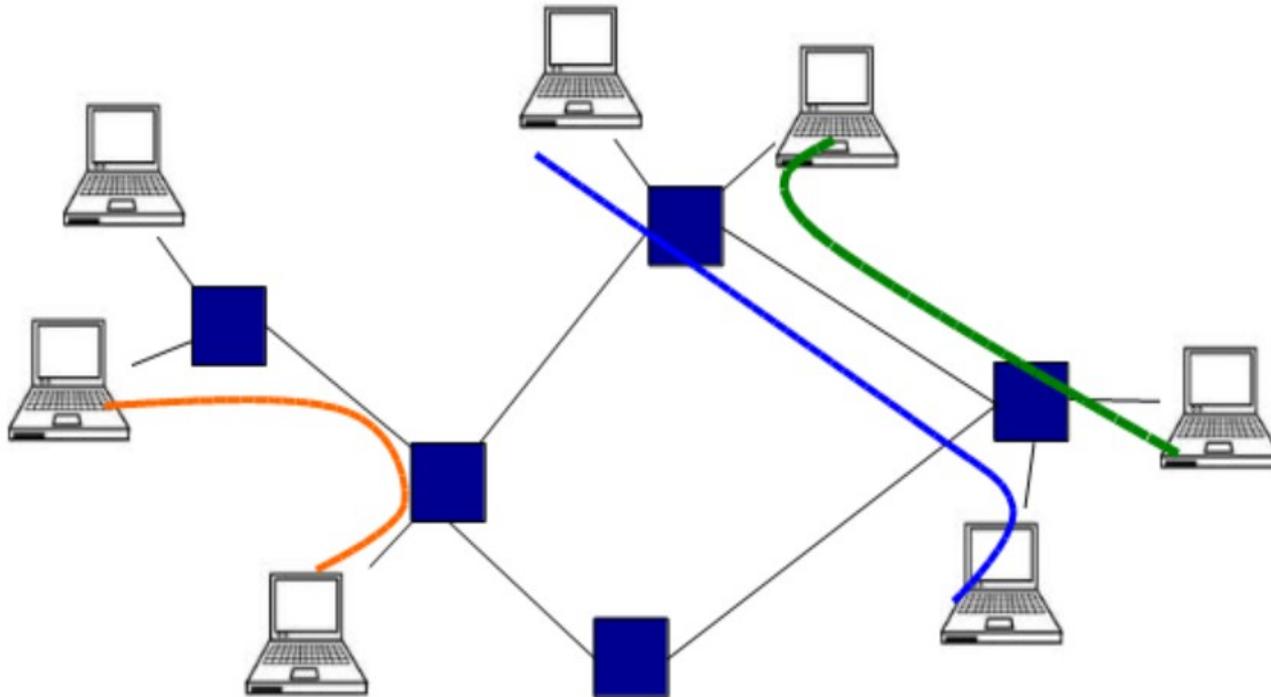
SWITCHED NETWORKS

Link condivisi per più comunicazioni



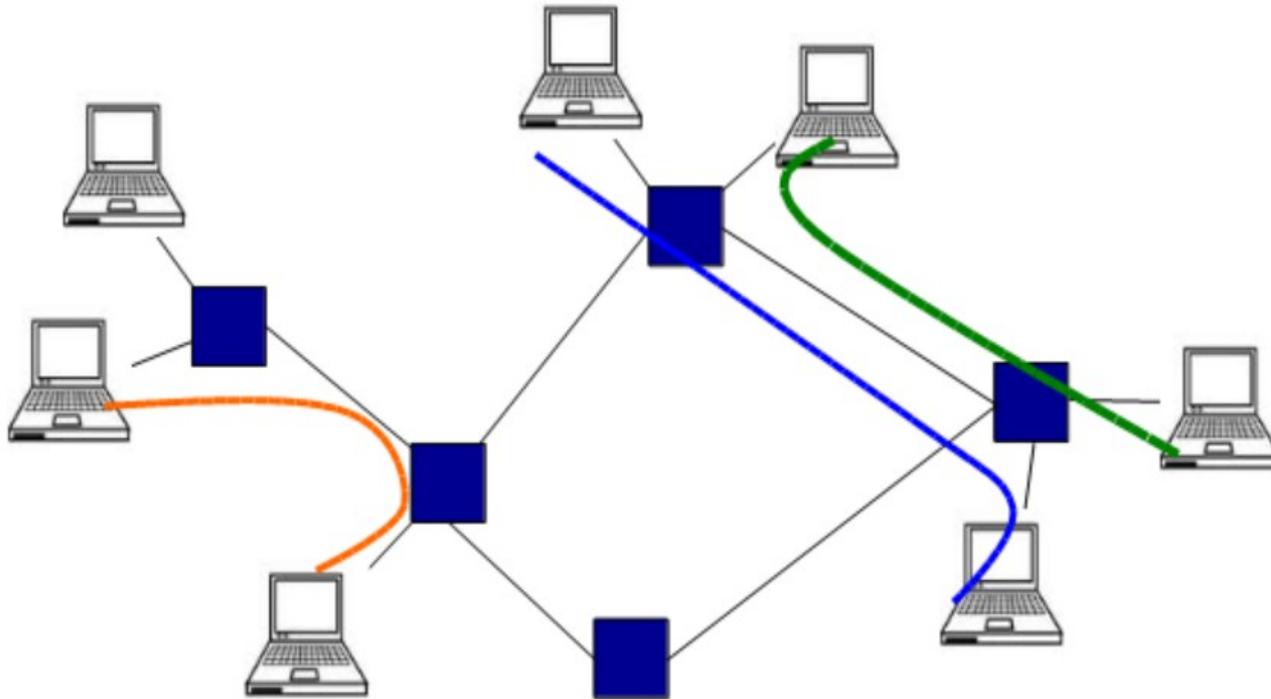
SWITCHED NETWORKS

Link condivisi per più comunicazioni



Come implementare questa condivisione di risorse?

Link condivisi per più comunicazioni

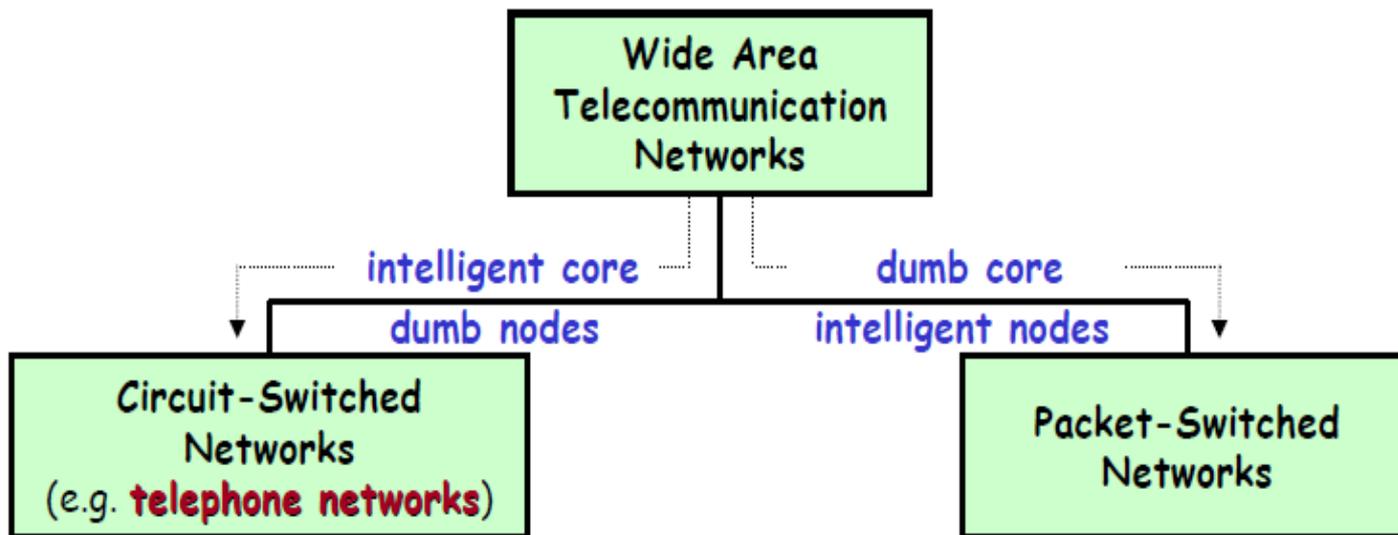


Come implementare la condivisione? Due possibilità:

- Circuit switching (rete telefonica)
- Packet switching (Internet)

SWITCHED NETWORKS: CLASSIFICAZIONE

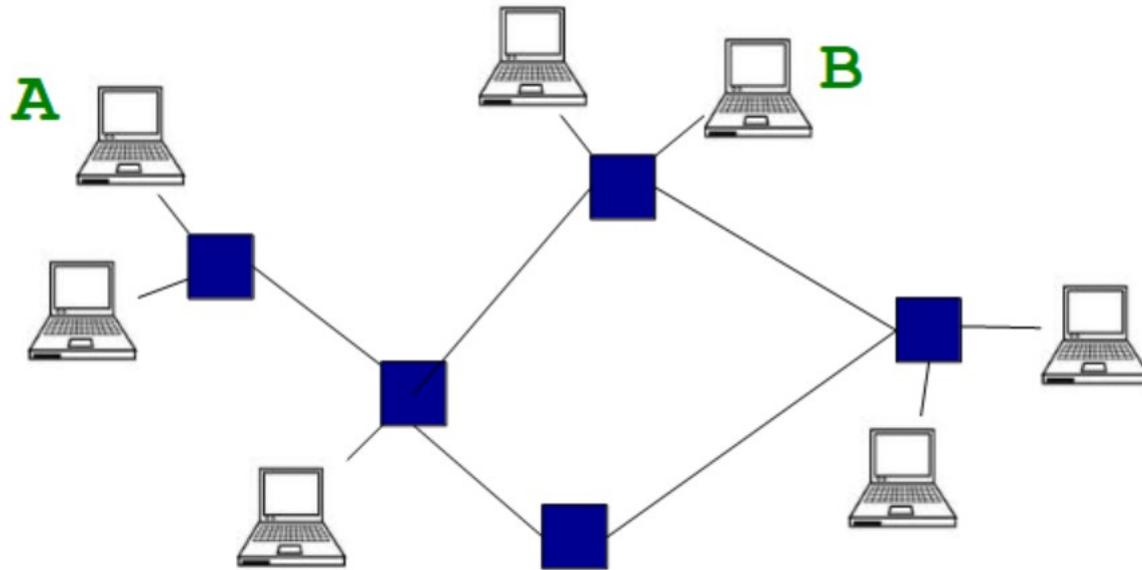
- Network Core: mesh di routers/switches che interconnettono gli end systems
- Utilizzano una qualche forma di switching
 - **Circuit switching**
 - **Packet switching**



COMMUTAZIONE DI CIRCUITO

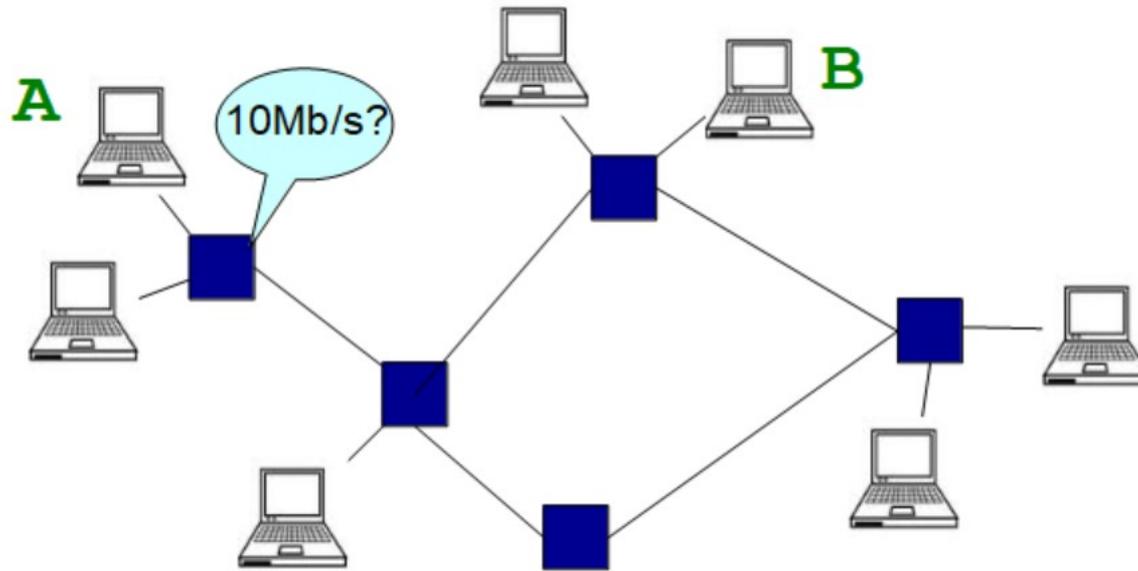
- tipico della comunicazione telefonica
- la sorgente chiede di stabilire una connessione fisica (circuito) verso la destinazione, la connessione viene mantenuta durante tutta la comunicazione
- un insieme di risorse è dedicato alla comunicazione, tra il mittente ed il destinatario per tutta la durata della comunicazione (ad esempio durante una conversazione nei collegamenti telefonici)
- ad ogni hop, il “circuito” ha un link dedicato oppure un viene dedicata una parte della banda: collegamento dedicato creato mediante gli switch
- la sorgente invia dati sul circuito
 - connessione fisica: non è necessario associare indirizzi ai dati, ogni switch conosce il cammino
- gli switch sono in grado di **inoltrare** le informazioni, ma non di **memorizzarle**

FASE I: ALLOCAZIONE DELLE RISORSE



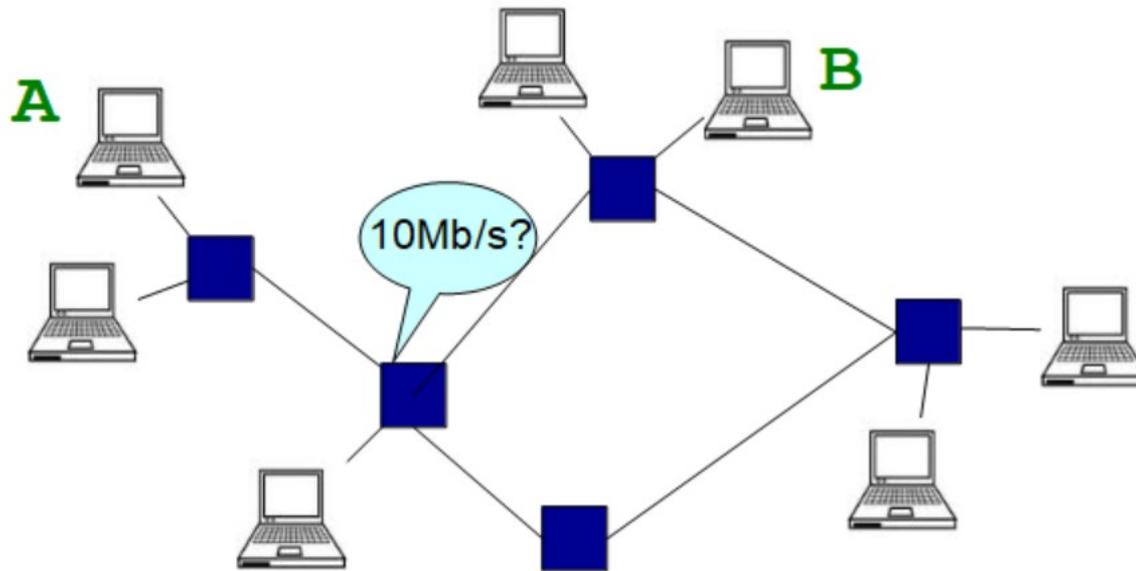
Il nodo A invia una “reservation request”

FASE I: ALLOCAZIONE DELLE RISORSE



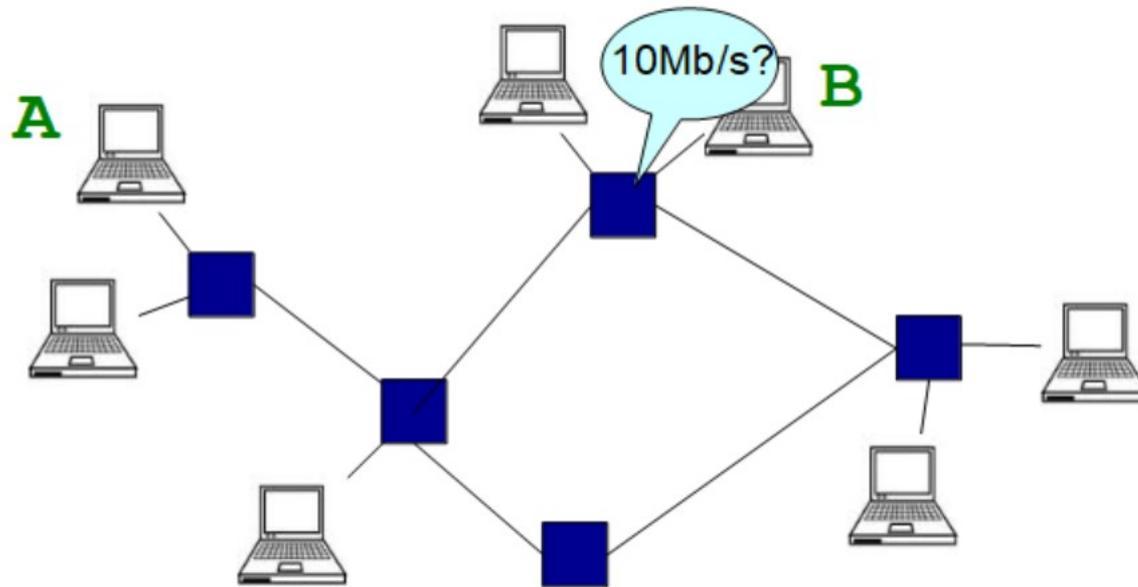
Il nodo A invia una “reservation request”

FASE I: ALLOCAZIONE DELLE RISORSE



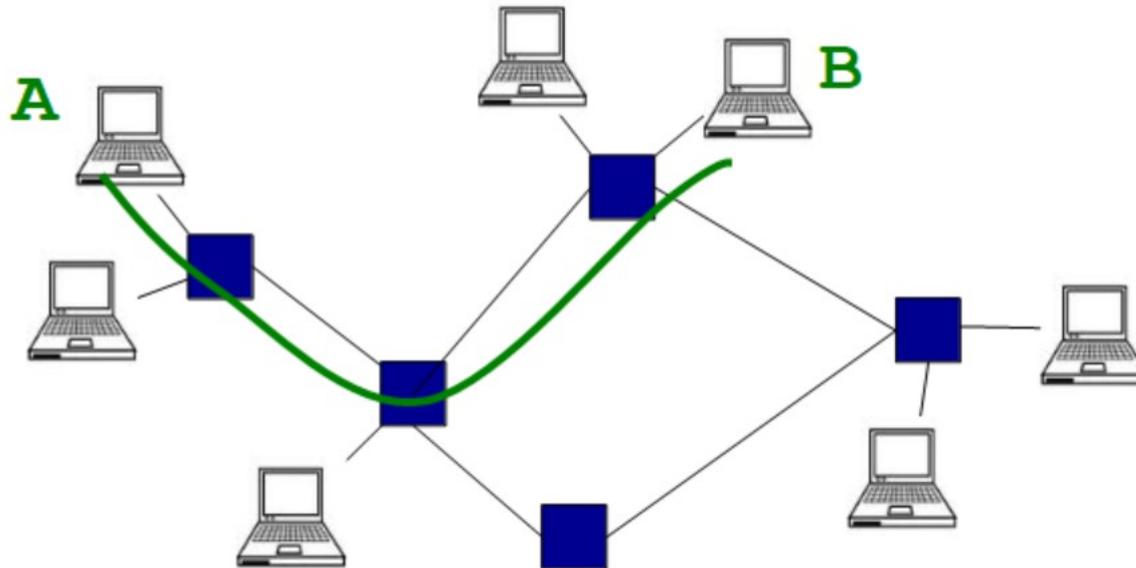
Il nodo A invia una “reservation request”

FASE I: ALLOCAZIONE DELLE RISORSE



Il nodo A invia una “reservation request”

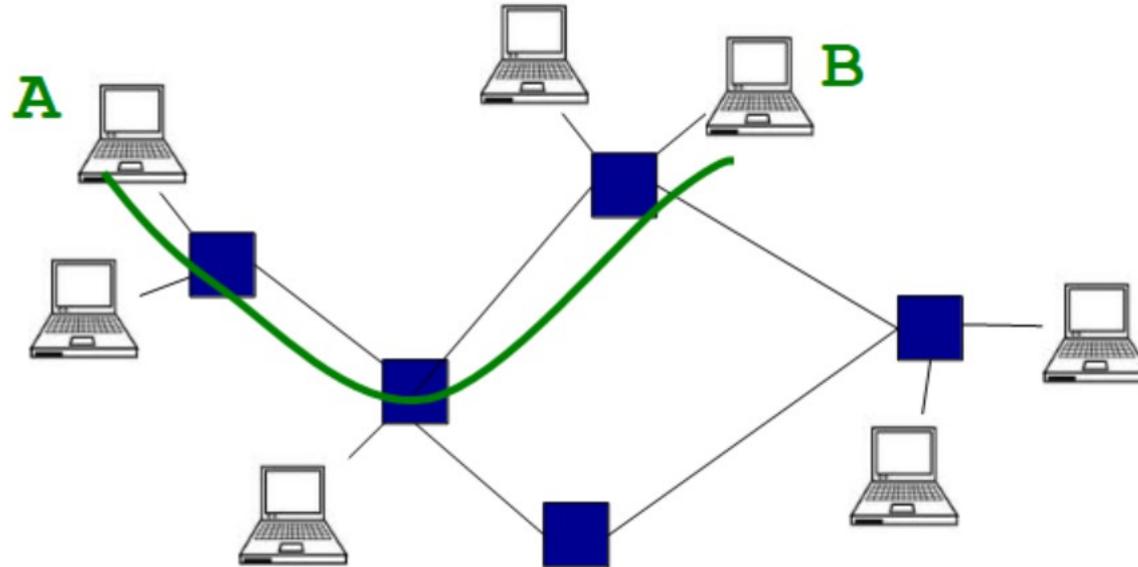
FASE I: ALLOCAZIONE DELLE RISORSE



il nodo A invia una “reservation request”

gli switch stabiliscono una connessione tra A e B, ovvero un circuito

FASE 2: INVIO DEI DATI

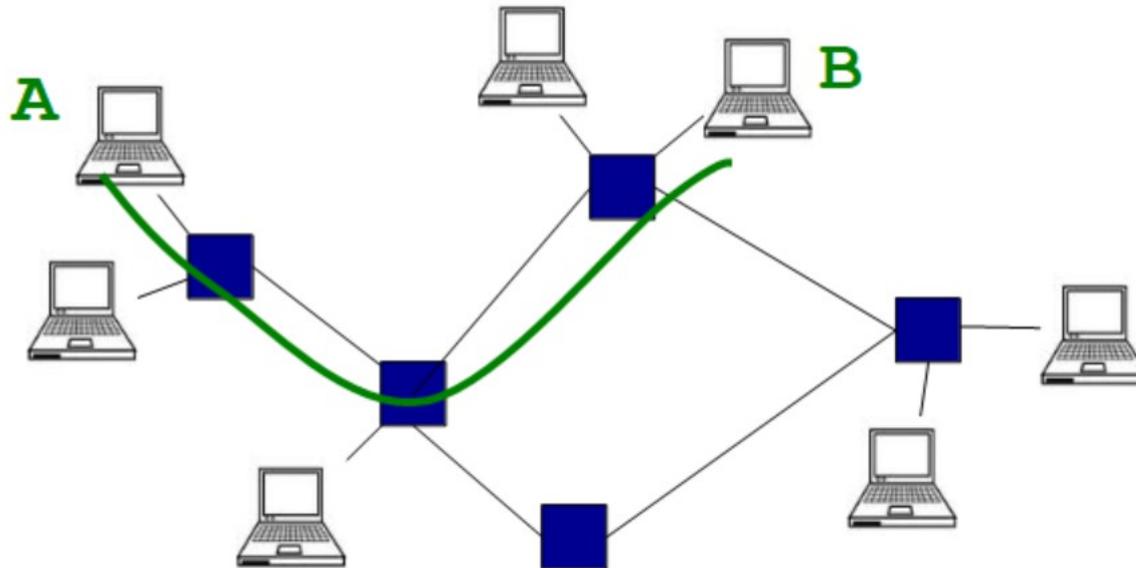


il nodo A invia una “reservation request”

gli switch stabiliscono una connessione tra A e B, ovvero un circuito

A inizia ad inviare dati

FASE 3: ELIMINAZIONE CIRCUITO



il nodo A invia una “reservation request”

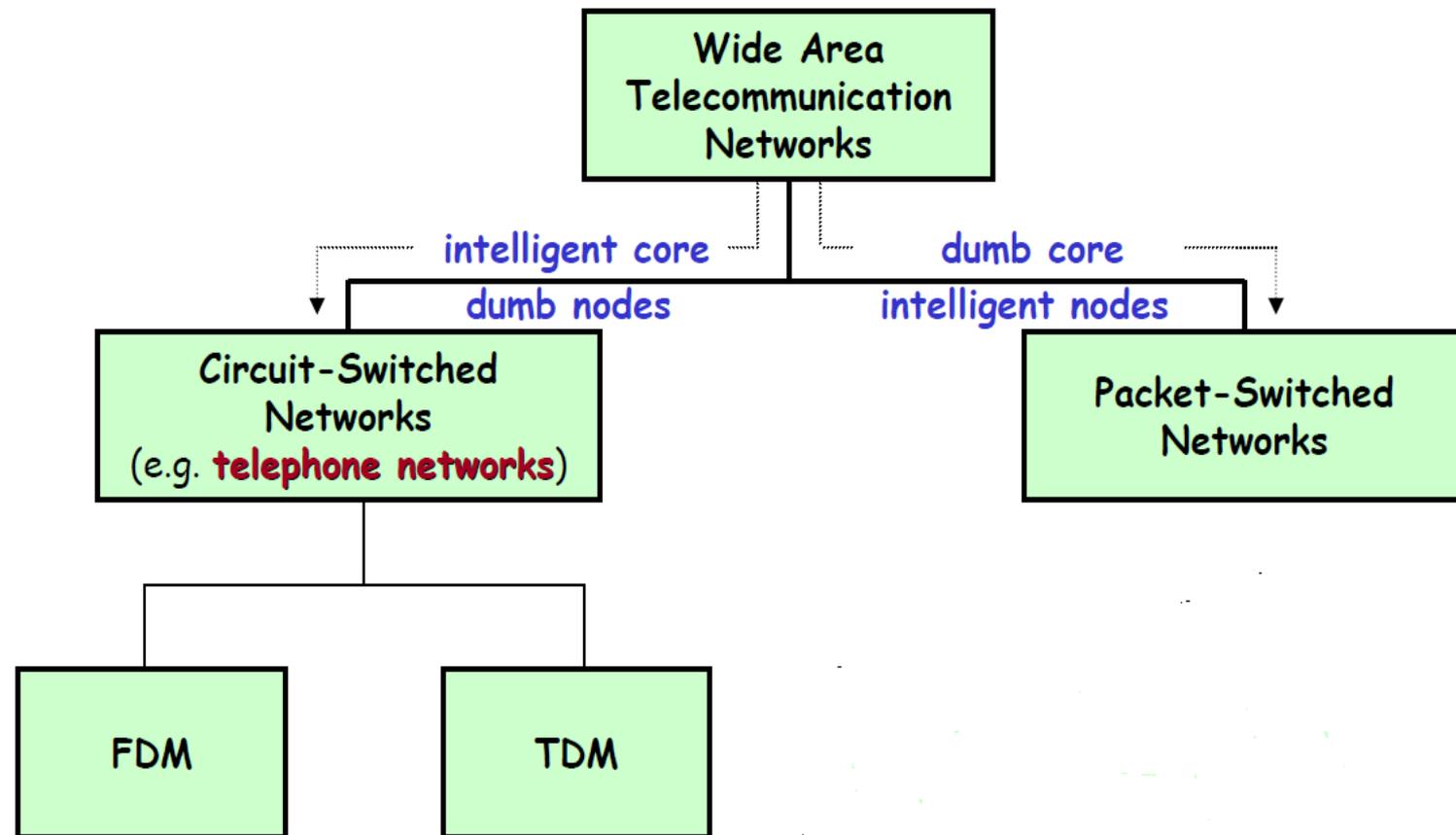
gli switch stabiliscono una connessione tra A e B, ovvero un circuito

A inizia ad inviare dati

alla fine, A invia un “teardown message” per eliminare il circuito:

le risorse sul circuito vengono rilasciate

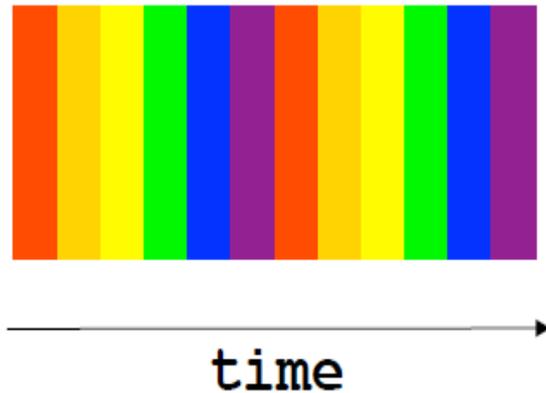
SWITCHED NETWORKS: CLASSIFICAZIONE



LINK MULTIPLEXING

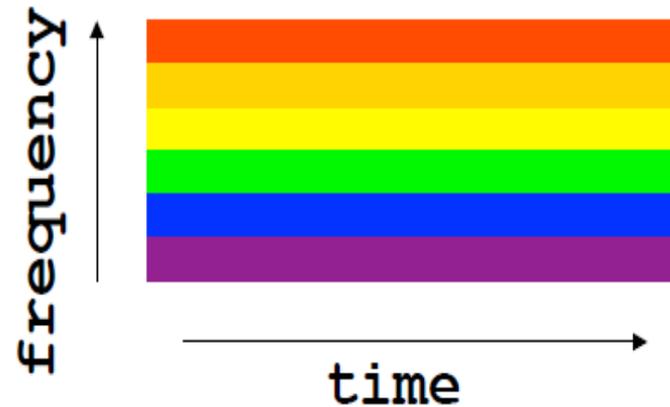
Time-division

- Ad ogni circuito vengono allocati alcuni time slots

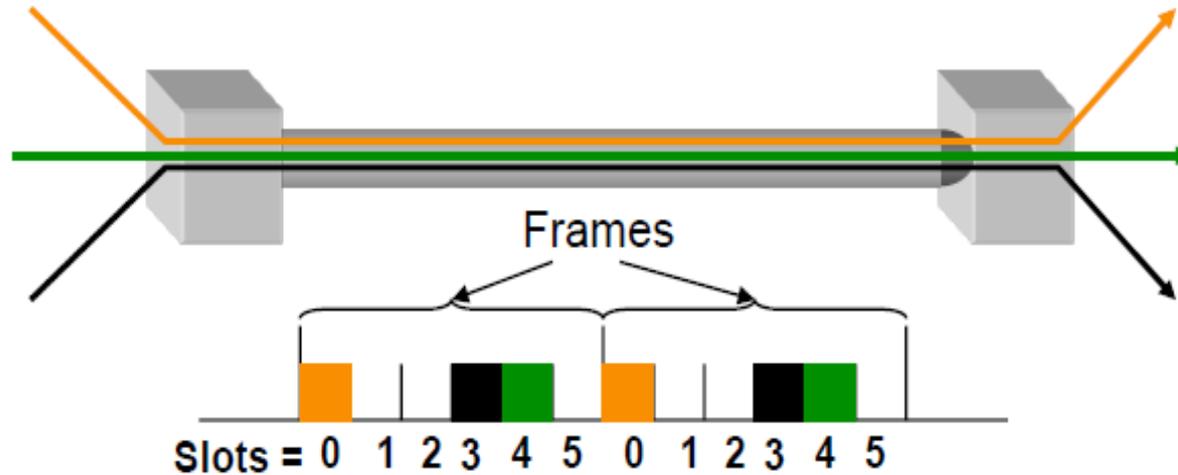


Frequency-division

- Ad ogni circuito vengono allocate certe frequenze

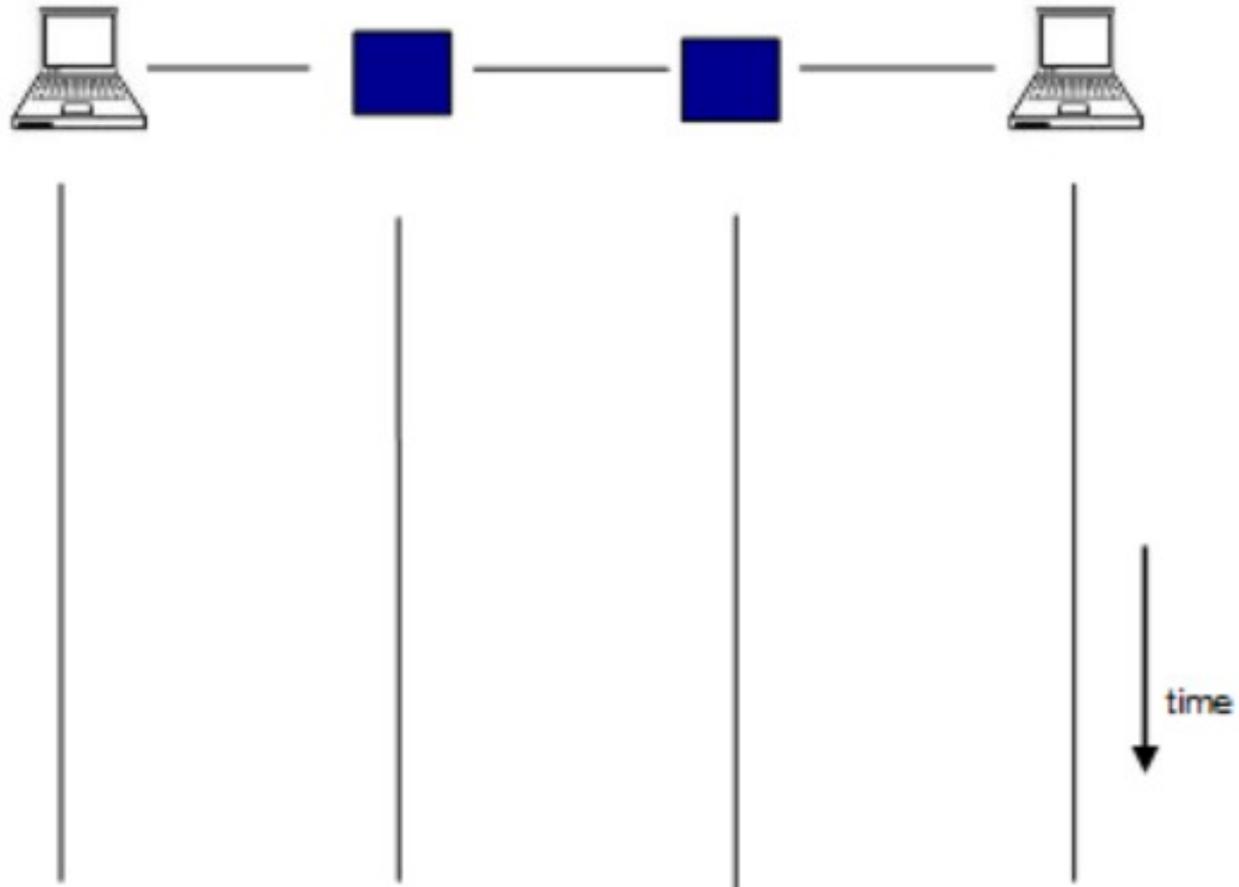


TIME-DIVISION MULTIPLEXING

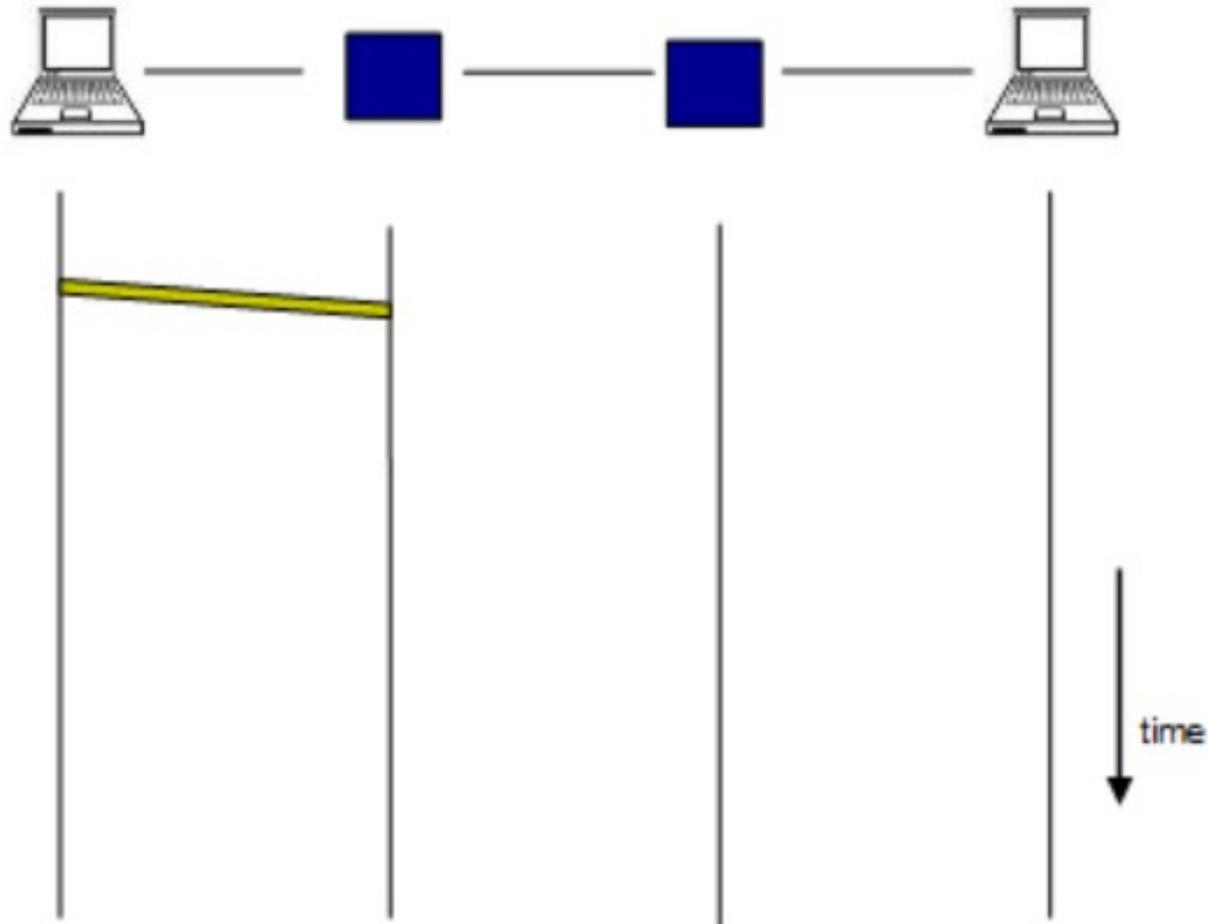


- Il tempo è diviso in **frames** ed i frames in **slots**
- la posizione relativa di uno slot all'interno di un frame determina a quale conversazione quello slot appartiene.
 - ad esempio lo slot 0 appartiene alla conversazione arancione
- richiede:
 - sincronizzazione tra mittente e destinatario
 - collegamento dinamico di uno slot ad una conversazione

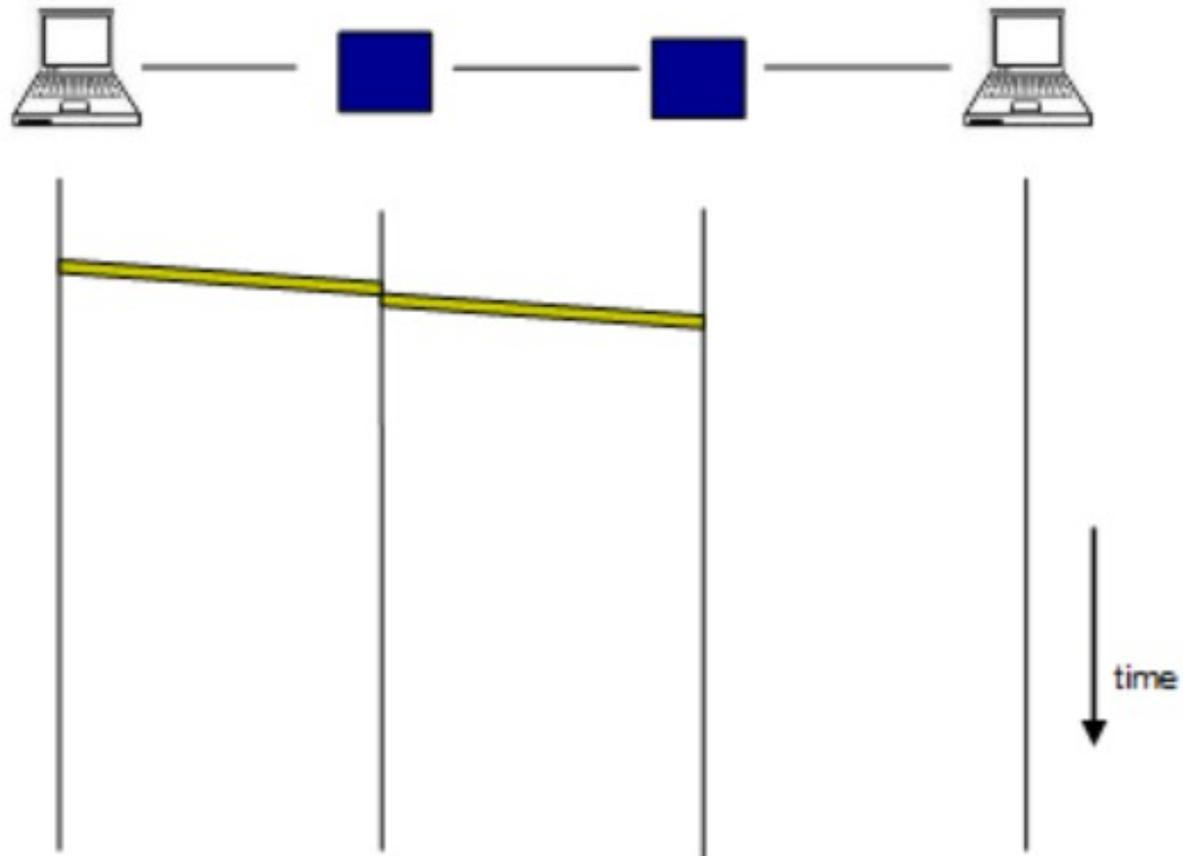
COMMUTAZIONE DI CIRCUITO



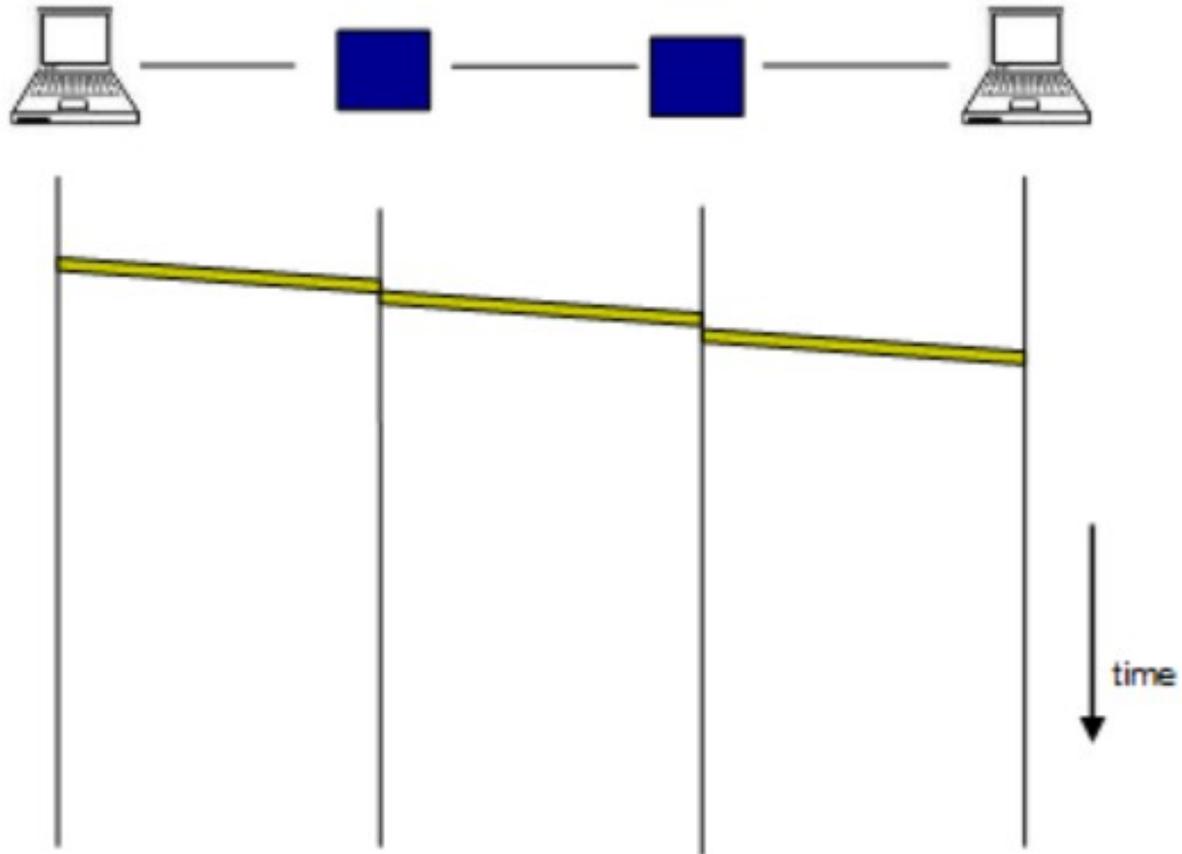
COMMUTAZIONE DI CIRCUITO



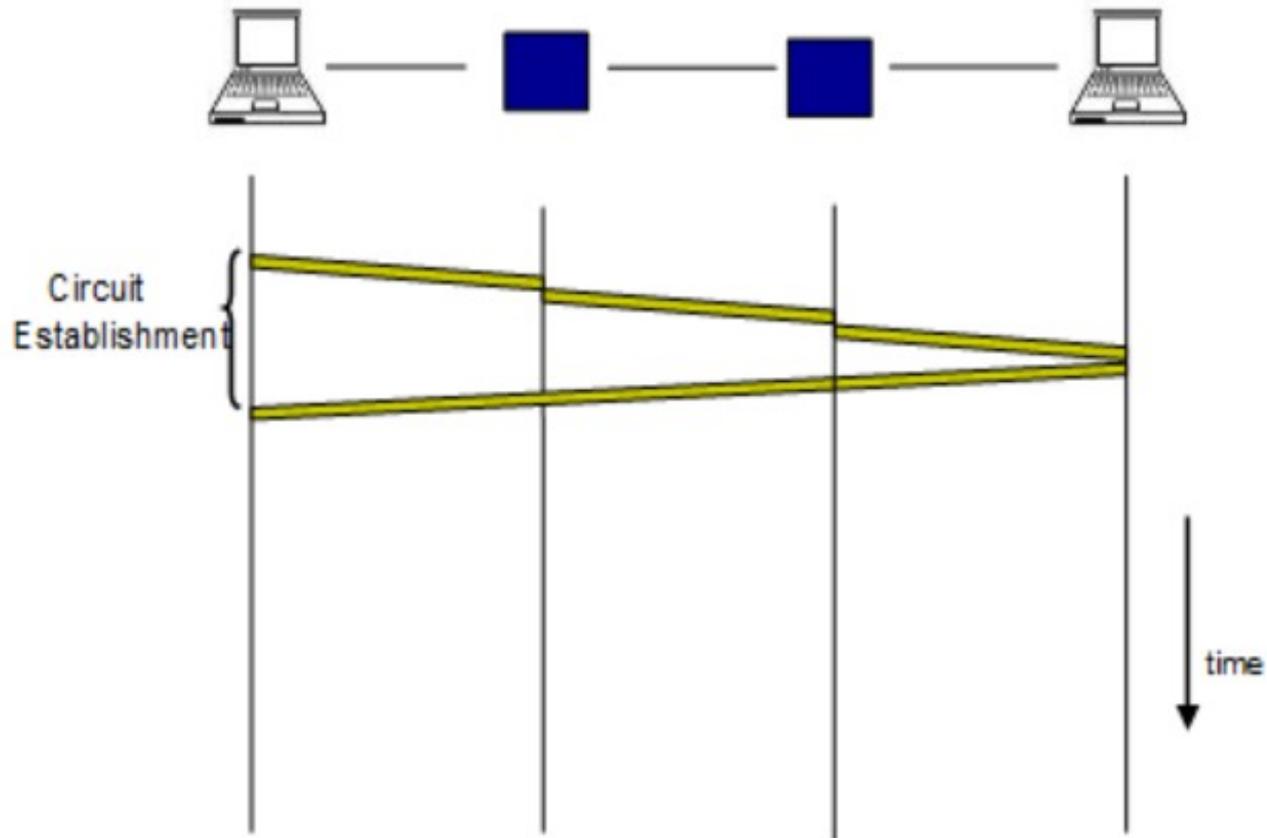
COMMUTAZIONE DI CIRCUITO



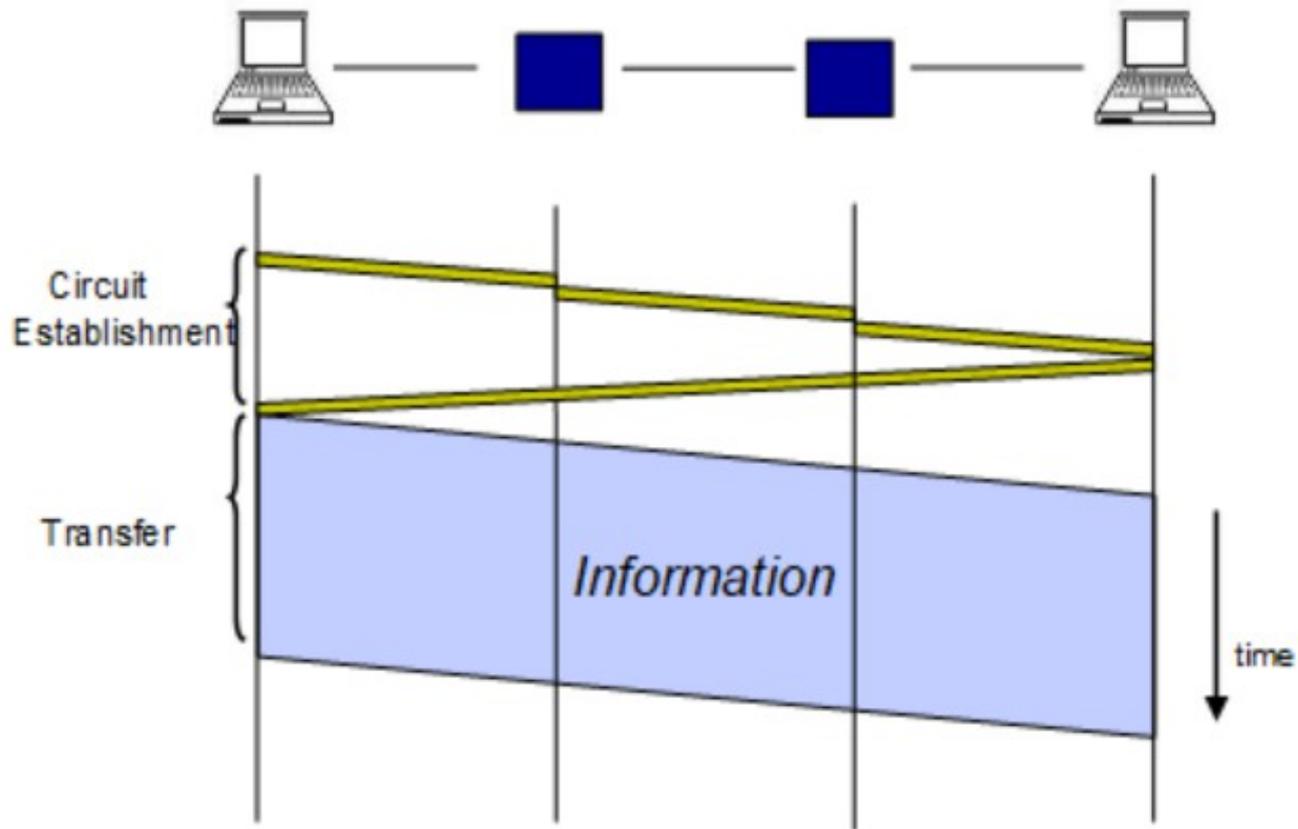
COMMUTAZIONE DI CIRCUITO



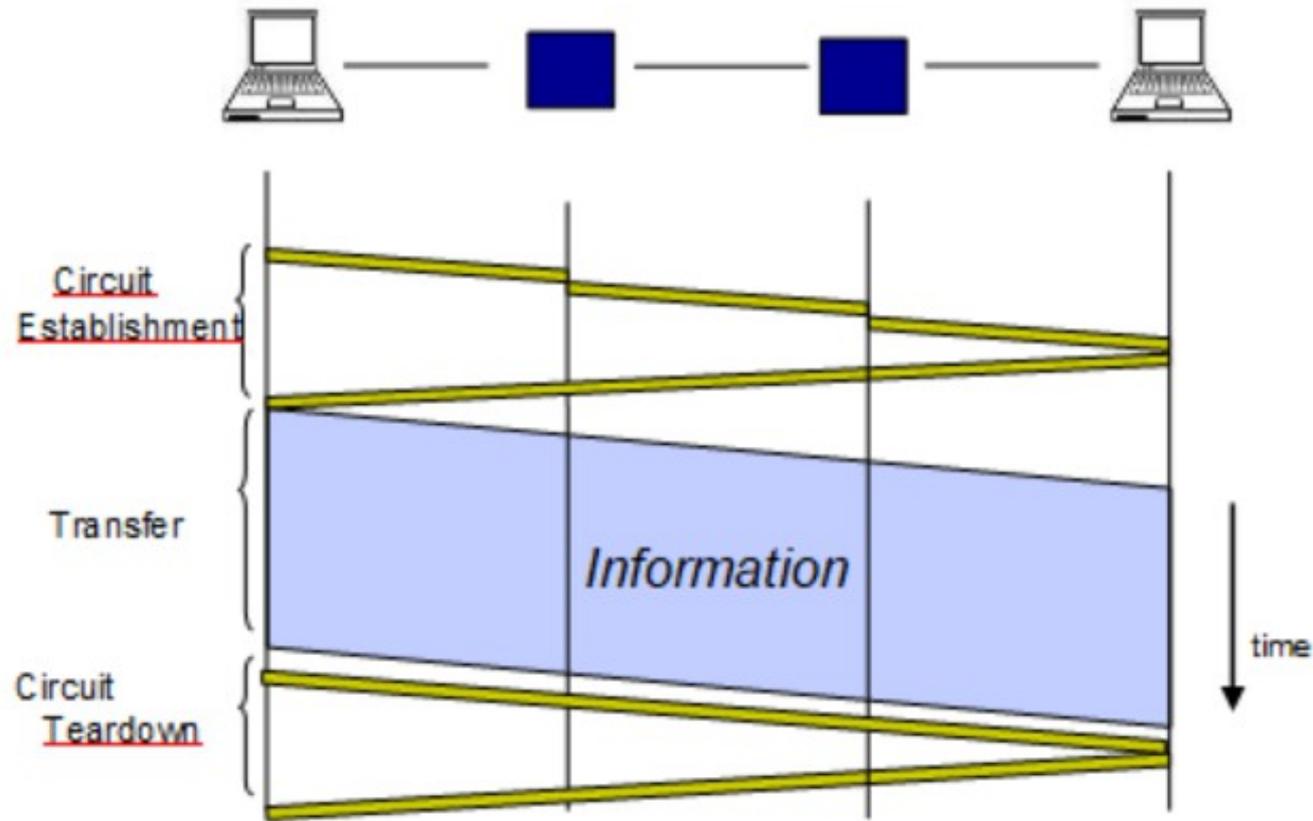
COMMUTAZIONE DI CIRCUITO



COMMUTAZIONE DI CIRCUITO



COMMUTAZIONE DI CIRCUITO



COMMUTAZIONE DI CIRCUITO

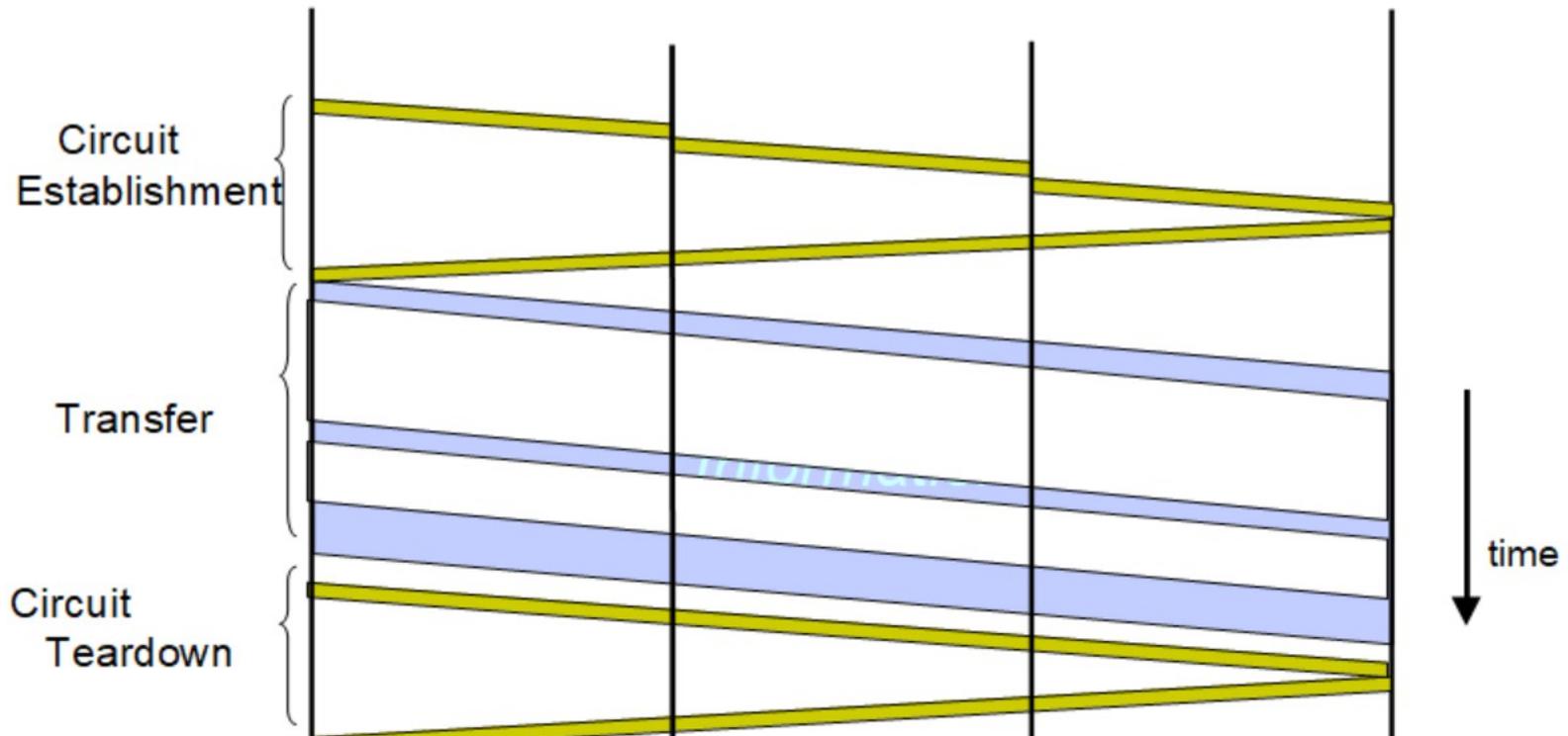
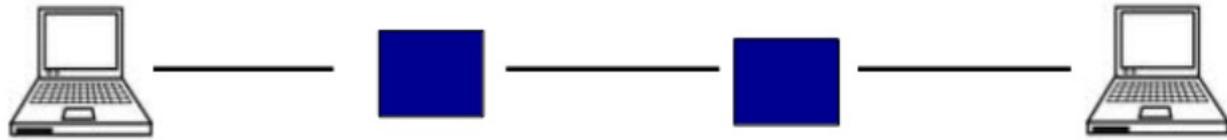
- **Vantaggi**

- velocità del trasferimento, una volta che il circuito è stato stabilito
- garanzia di performance

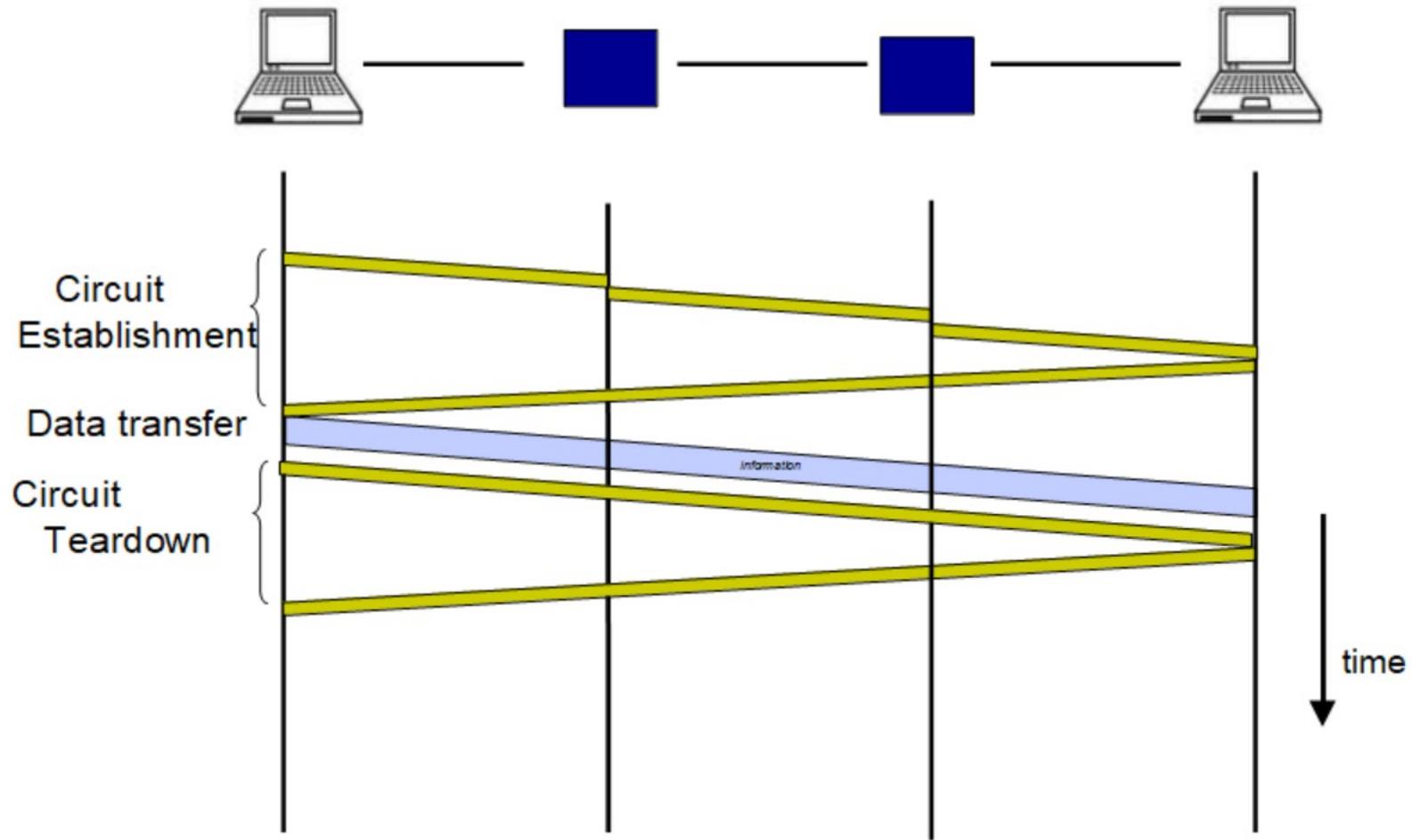
- **Svantaggi**

- uso inefficiente della banda del canale: il canale rimane dedicato alla trasmissione, anche se nessun dato viene trasferito in un certo intervallo di tempo (esempio: periodi di silenzio in una chiamata telefonica)
- overhead iniziale per stabilire il circuito
- tempo elevato per recovery da fallimenti
- complessità della rete: definizione del circuito end-to-end ed allocazione della banda richiede operazioni complesse per il coordinamento degli switches.

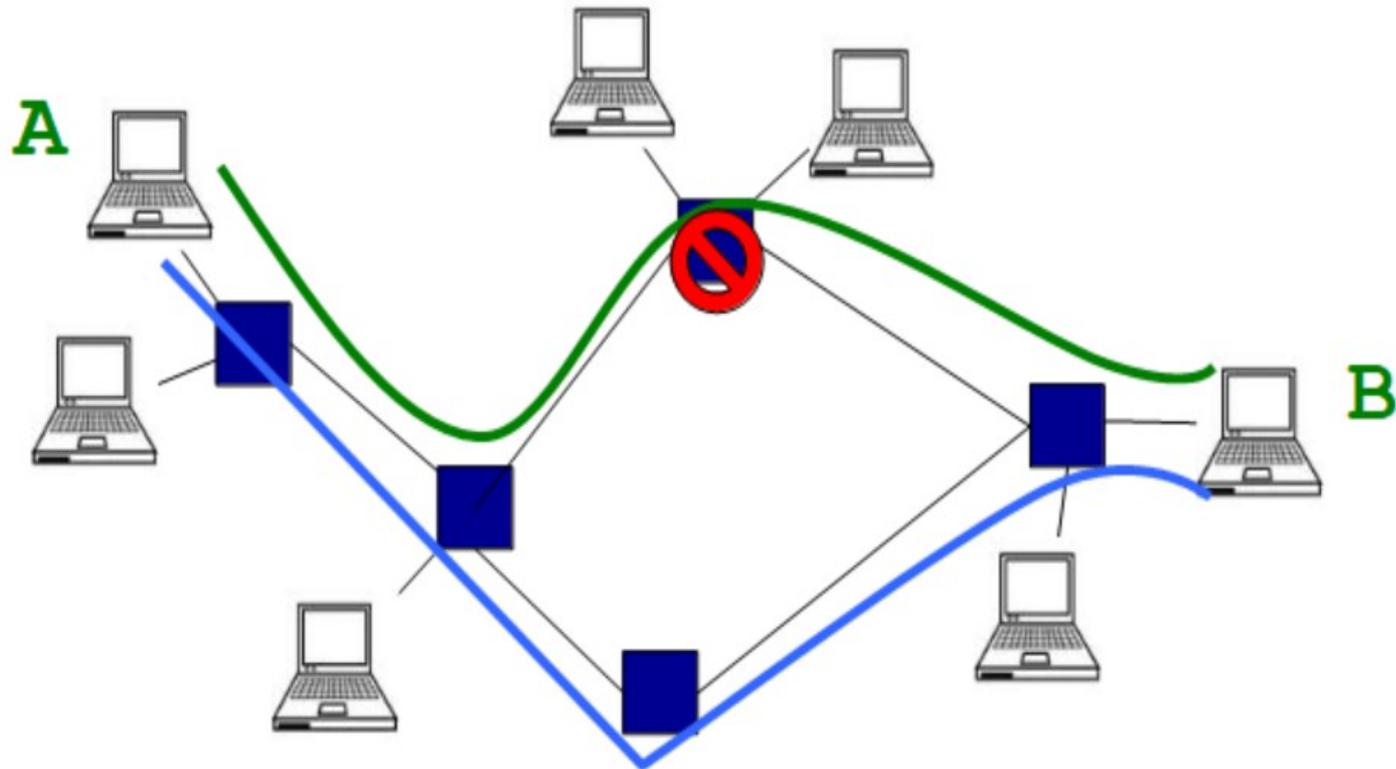
SVANTAGGI: SPRECO DI BANDA



SVANTAGGI: OVERHEAD PER STABILIRE IL CIRCUITO

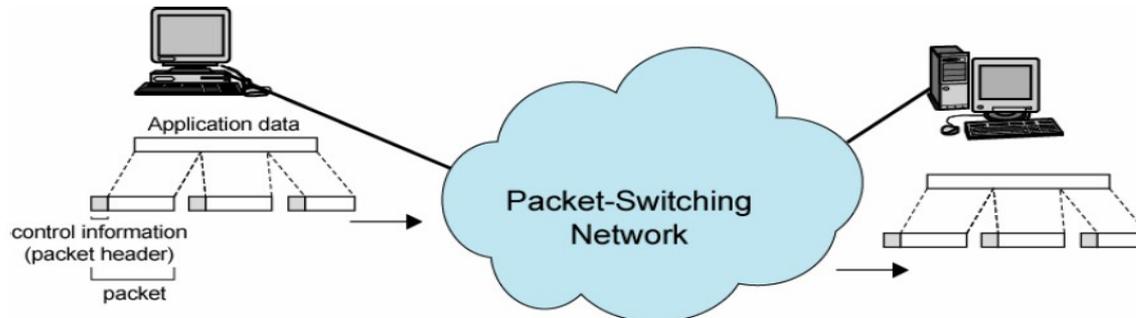


SVANTAGGI: OVERHEAD PER RECOVERY DA FAULTS



COMMUTAZIONE DI PACCHETTO

- **Segmentazione dei messaggi**
 - un messaggio viene diviso in una sequenza di pacchetti
 - ogni pacchetto contiene
 - una parte del messaggio
 - informazione di controllo: almeno informazione utile per implementare il routing
- **Trasferimento dei dati.** I nodi intermedi eseguono le seguenti operazioni
 - ricevono l'intero pacchetto
 - determinano il prossimo nodo/link dove propagare il messaggio
 - accodano il pacchetto in attesa di spedirlo sul link individuato



PACKET SWITCHING

- dati inviati in “blocchi” di dati = pacchetti
- ogni pacchetto contiene un header ed un payload
 - payload: dati da trasmettere
 - header: contiene le istruzioni per gestire ed inoltrare il pacchetto
- gli switch sono in grado di **memorizzare** e di **inoltrare** i pacchetti



PACKET SWITCHING

- dati inviati in “blocchi” di dati = pacchetti
- ogni pacchetto contiene un header ed un payload
 - payload: dati da trasmettere
 - header: contiene le istruzioni per gestire ed inoltrare il pacchetto
- gli switch **memorizzano** ed **inoltrano** i pacchetti (sulla base dell'header)
- l'header contiene molte informazioni tra cui....

1. Internet Address



PACKET SWITCHING

- dati inviati in “blocchi” di dati = pacchetti
- ogni pacchetto contiene un header ed un payload
 - payload: dati da trasmettere
 - header: contiene le istruzioni per gestire ed inoltrare il pacchetto
- gli switch **memorizzano** ed **inoltrano** i pacchetti (sulla base dell'header)
- l'header contiene molte informazioni tra cui....

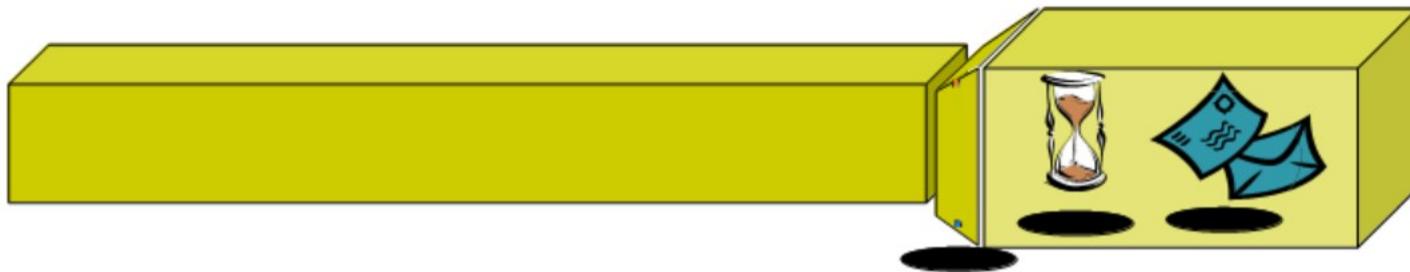
1. Internet Address
2. Age



PACKET SWITCHING

- dati inviati in “blocchi” di dati = pacchetti
- ogni pacchetto contiene un header ed un payload
 - payload: dati da trasmettere
 - header: contiene le istruzioni per gestire ed inoltrare il pacchetto
- gli switch **memorizzano** ed **inoltrano** i pacchetti (sulla base dell'header)
- l'header contiene molte informazioni tra cui....

1. Internet Address
2. Age
3. Checksum to protect header

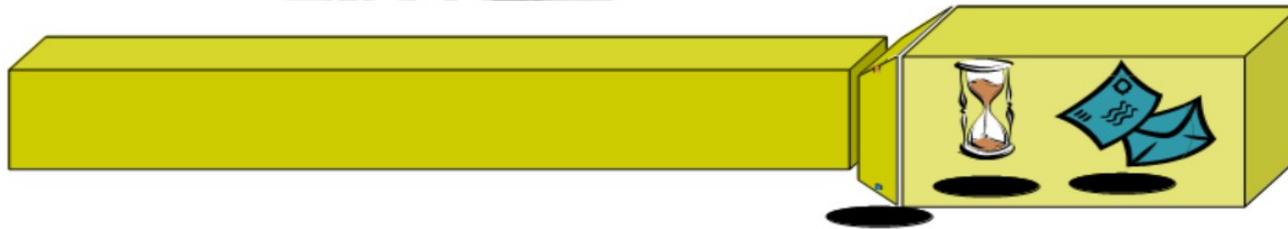


PACKET SWITCHING

- dati inviati in “blocchi” di dati = pacchetti
- ogni pacchetto contiene un header ed un payload
 - payload: dati da trasmettere
 - header: contiene le istruzioni per gestire ed inoltrare il pacchetto
- gli switch **memorizzano** ed **inoltrano** i pacchetti (sulla base dell'header)
- l'header contiene molte informazioni tra cui....



1. Internet Address
2. Age
3. Checksum to protect header

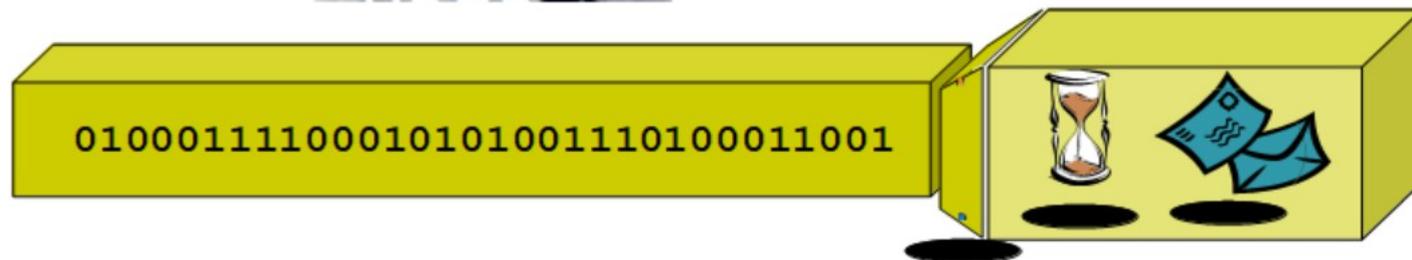


PACKET SWITCHING

- dati inviati in “blocchi” di dati = pacchetti
- ogni pacchetto contiene un header ed un payload
 - payload: dati da trasmettere
 - header: contiene le istruzioni per gestire ed inoltrare il pacchetto
- gli switch **memorizzano** ed **inoltrano** i pacchetti (sulla base dell'header)
- il payload contiene un blocco di dati



1. Internet Address
2. Age
3. Checksum to protect header

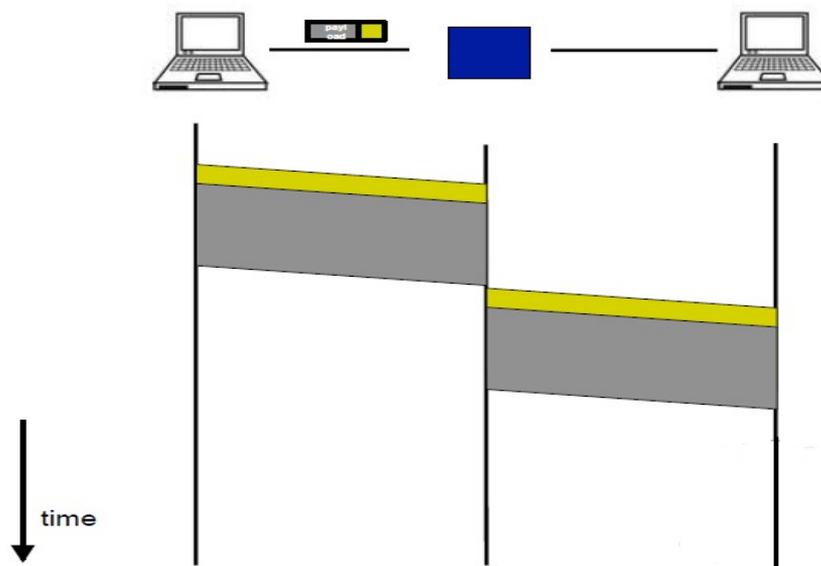


PACKET SWITCHING: TEMPORIZZAZIONE

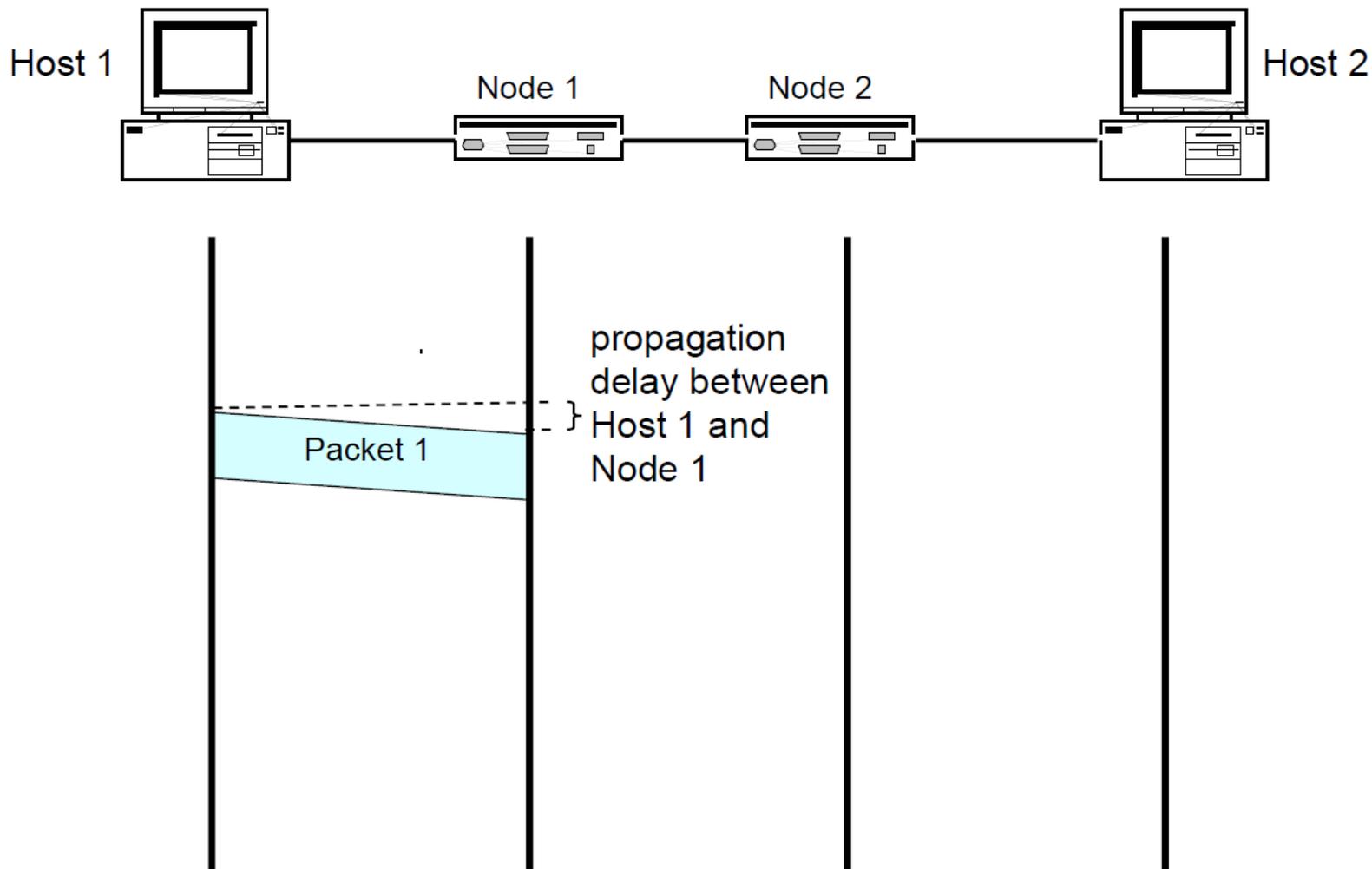
Due possibilità:

- **Cut through:** lo switch/router comincia a trasmettere non appena ha elaborato l'header
- **Store and Forward:** lo switch/router inoltra un pacchetto dopo che lo ha ricevuto completamente.

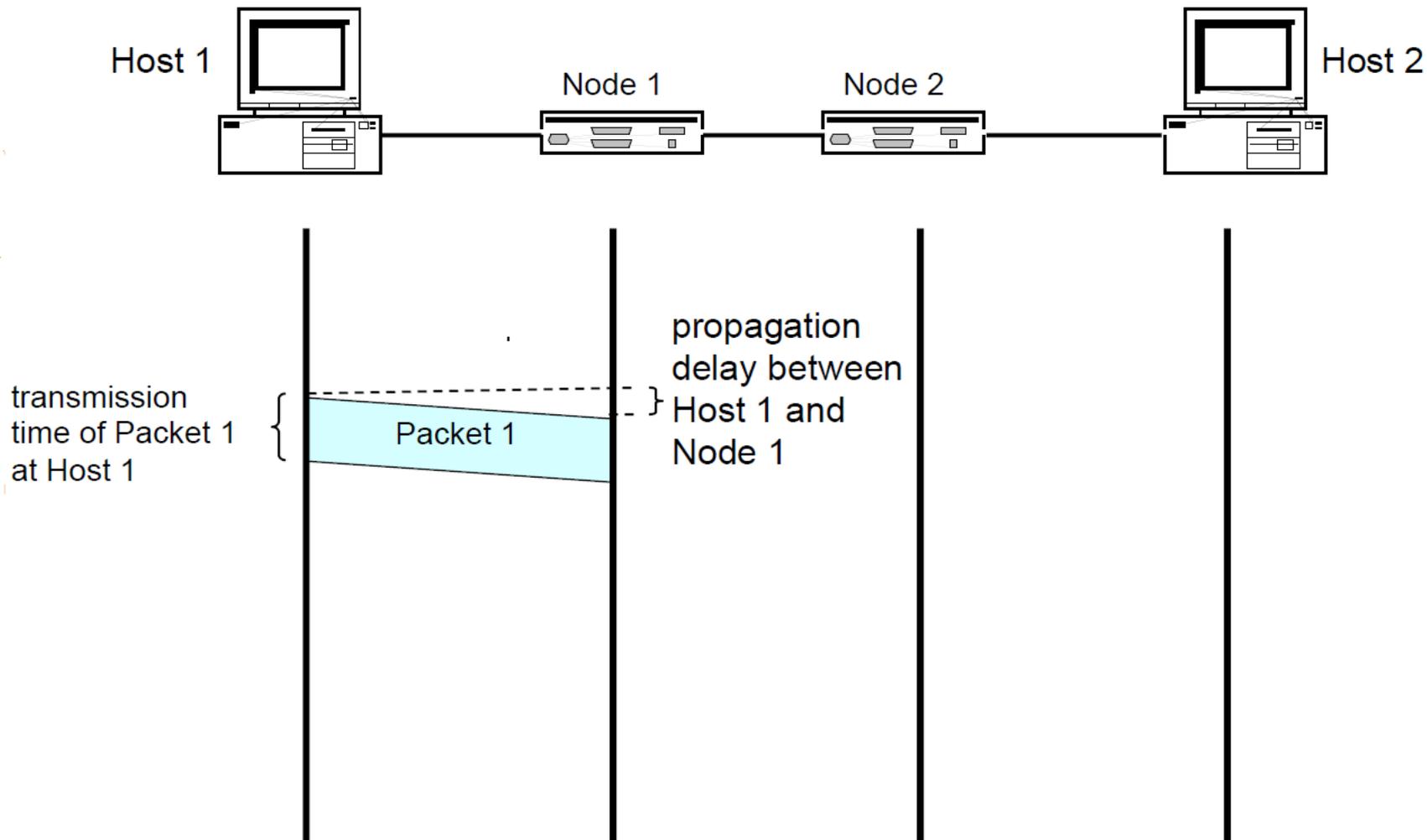
Nel seguito considereremo solamente lo store and forward, illustrato nella figura seguente (nella ipotesi che l'elaborazione di un pacchetto in uno switch sia trascurabile)



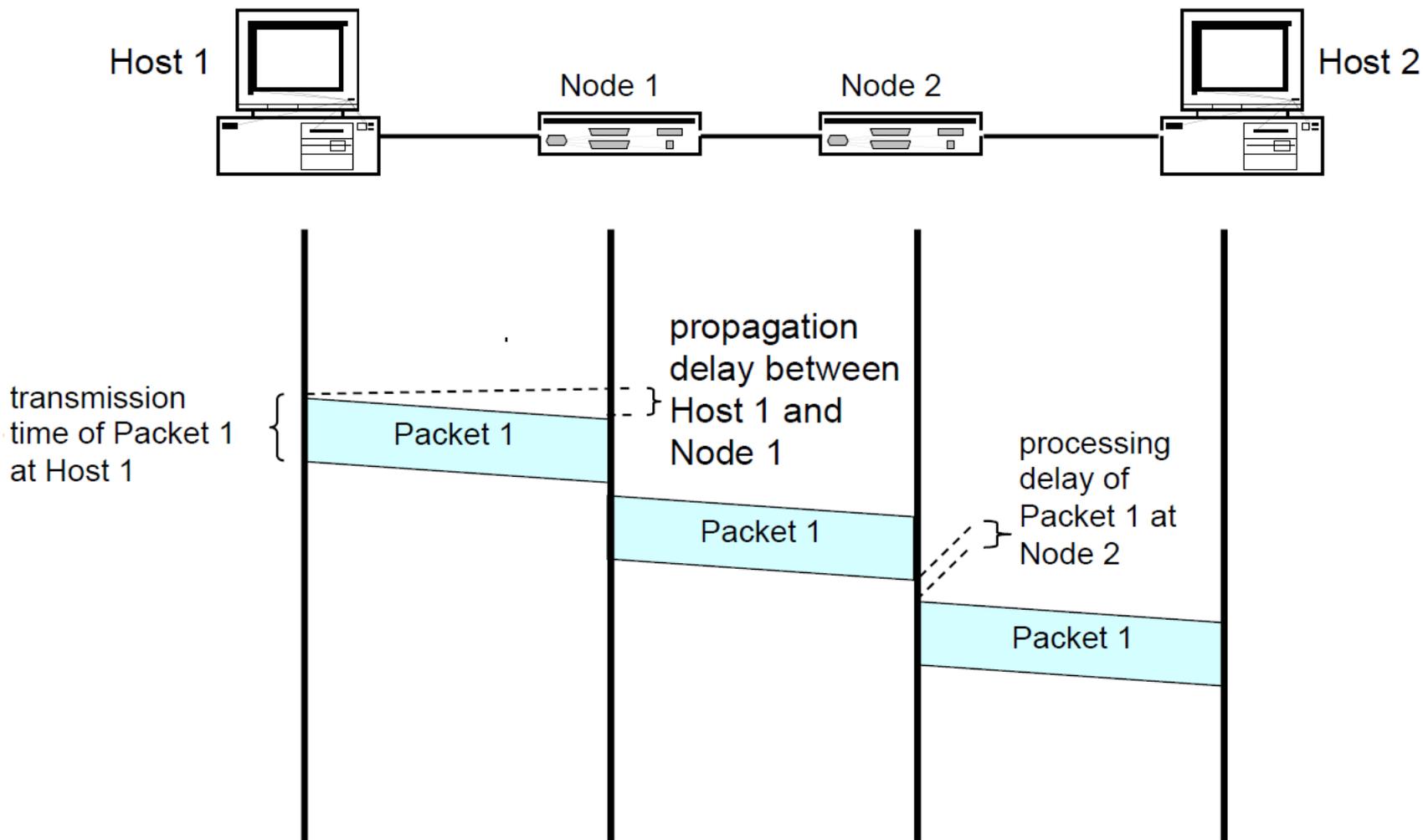
STORE AND FORWARD: TEMPORIZZAZIONE



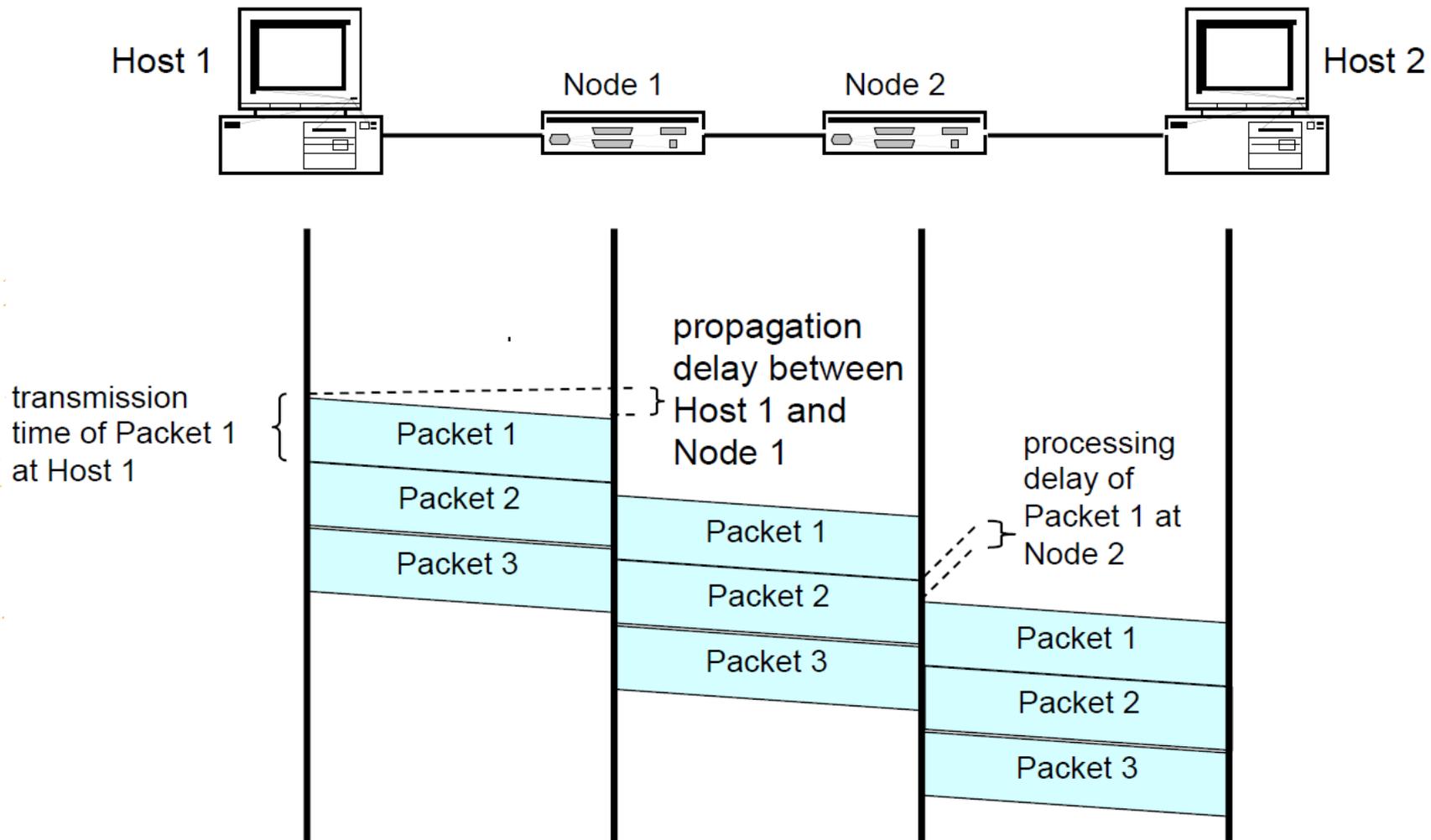
STORE AND FORWARD: TEMPORIZZAZIONE



STORE AND FORWARD: TEMPORIZZAZIONE

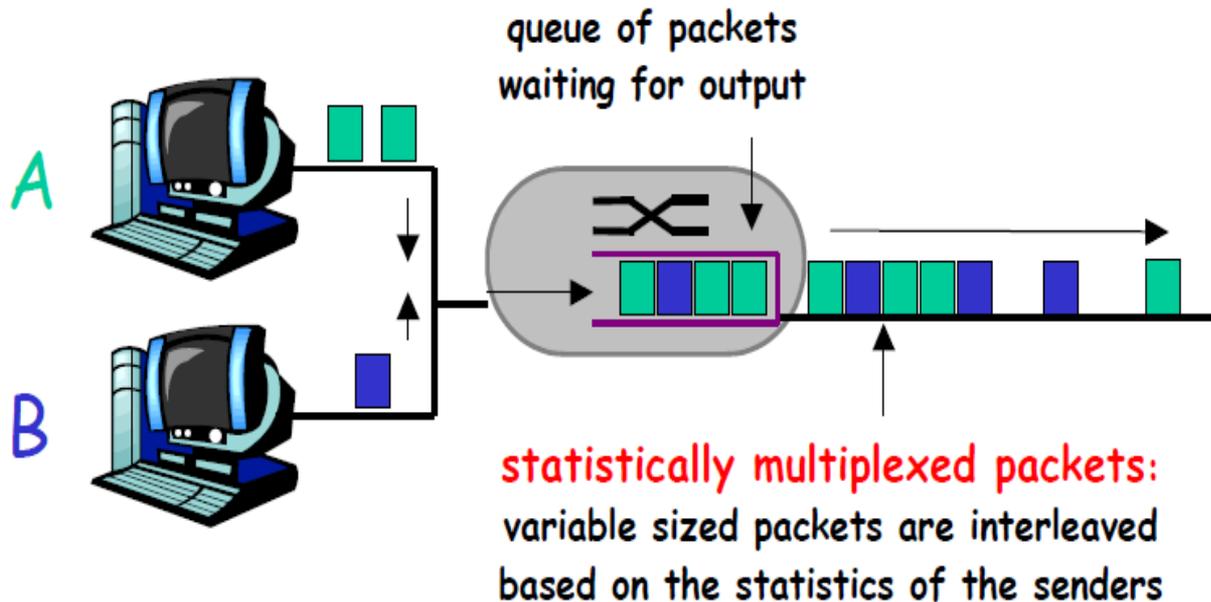


STORE AND FORWARD: TEMPORIZZAZIONE



PACKET SWITCHING: STATISTICAL MULTIPLEXING

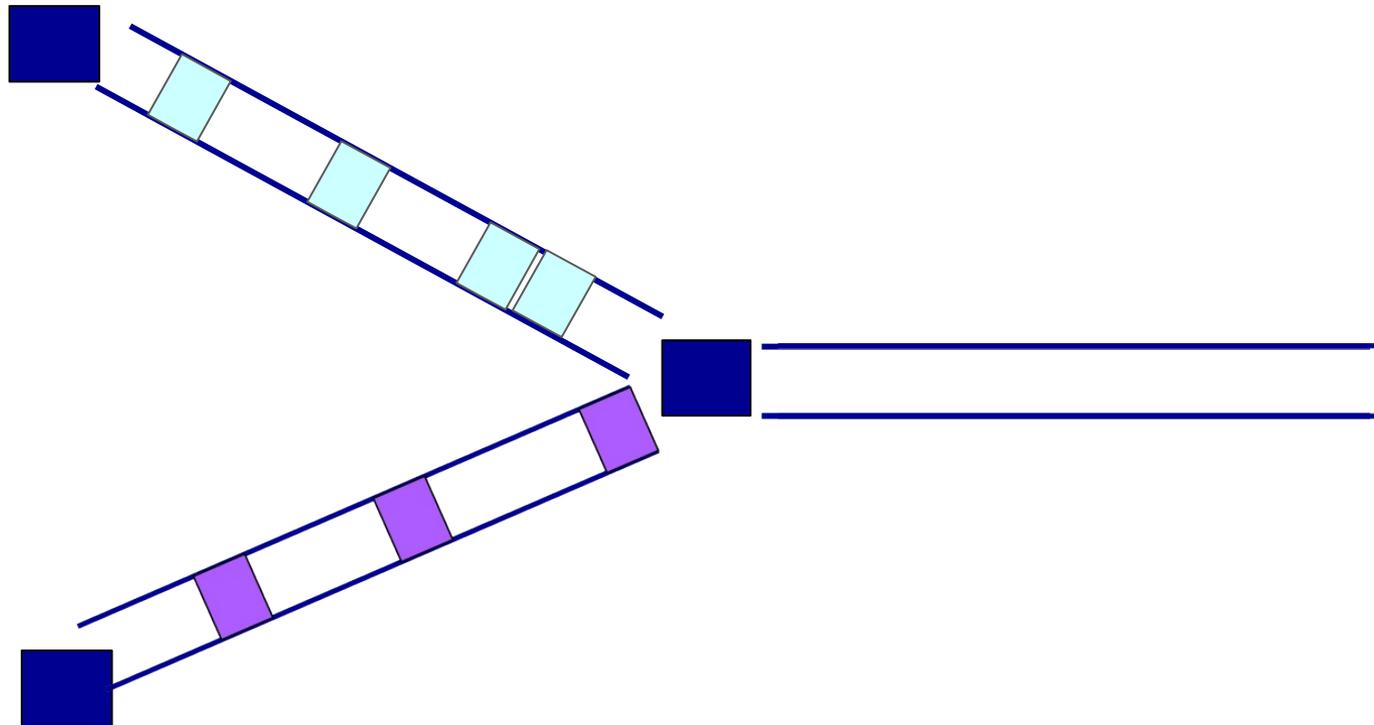
- Statistical multiplexing
 - allocazioni di risorse on-demand, invece di pre-allocazione di risorse
 - link condiviso tra packet appartenenti a messaggi diversi
 - i router bufferizzano i pacchetti in una coda
 - quando la linea diventa disponibile, i pacchetti sono trasmessi uno alla volta



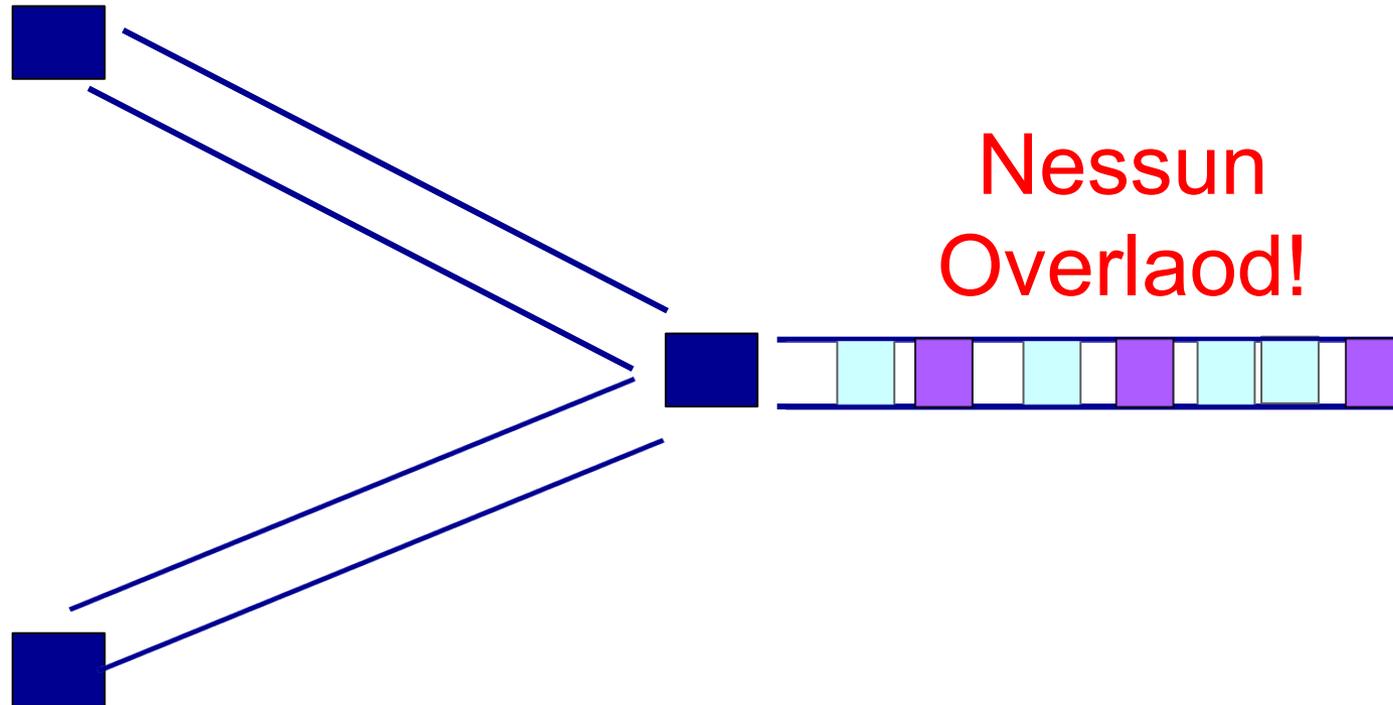
PACKET SWITCHING: STATISTICAL MULTIPLEXING

- non viene settato uno stato della comunicazione in anticipo rispetto alla comunicazione
- no reservation: nessuna risorsa dedicata
- caratteristica di base nella progettazione di Internet
 - delay variabile
 - possibile perdita di pacchetti
 - best effort service

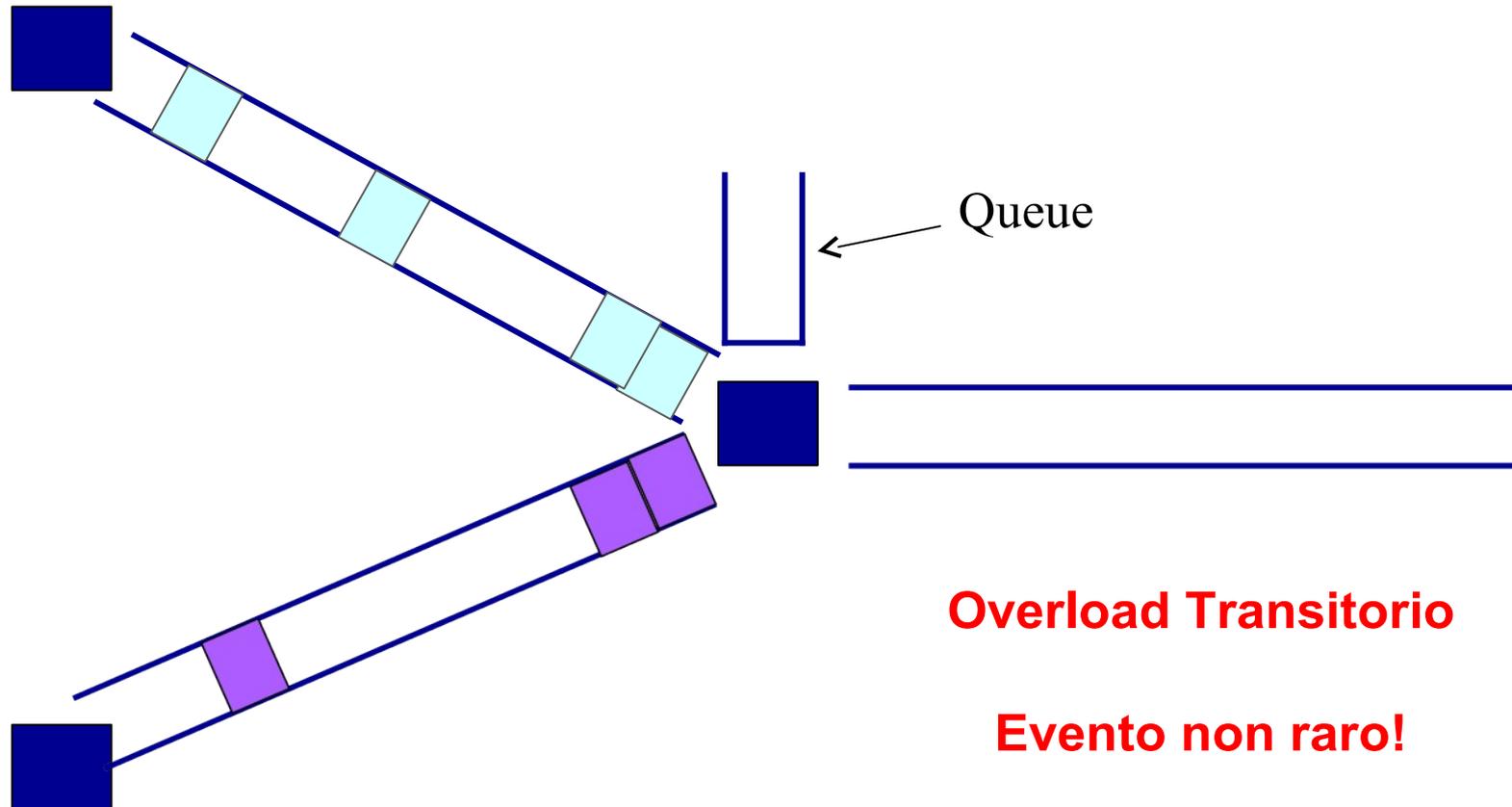
STATISTICAL MULTIPLEXING



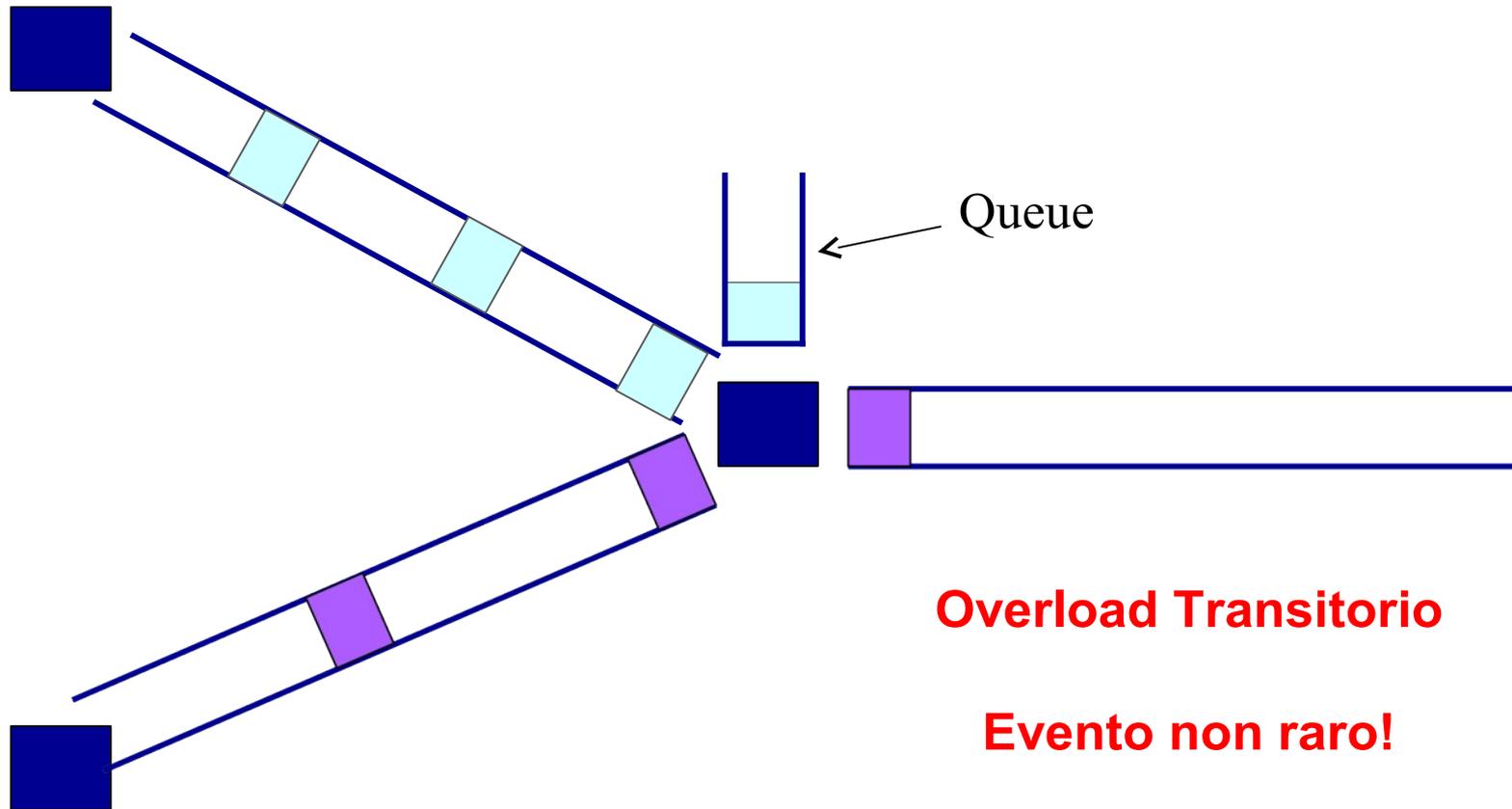
STATISTICAL MULTIPLEXING



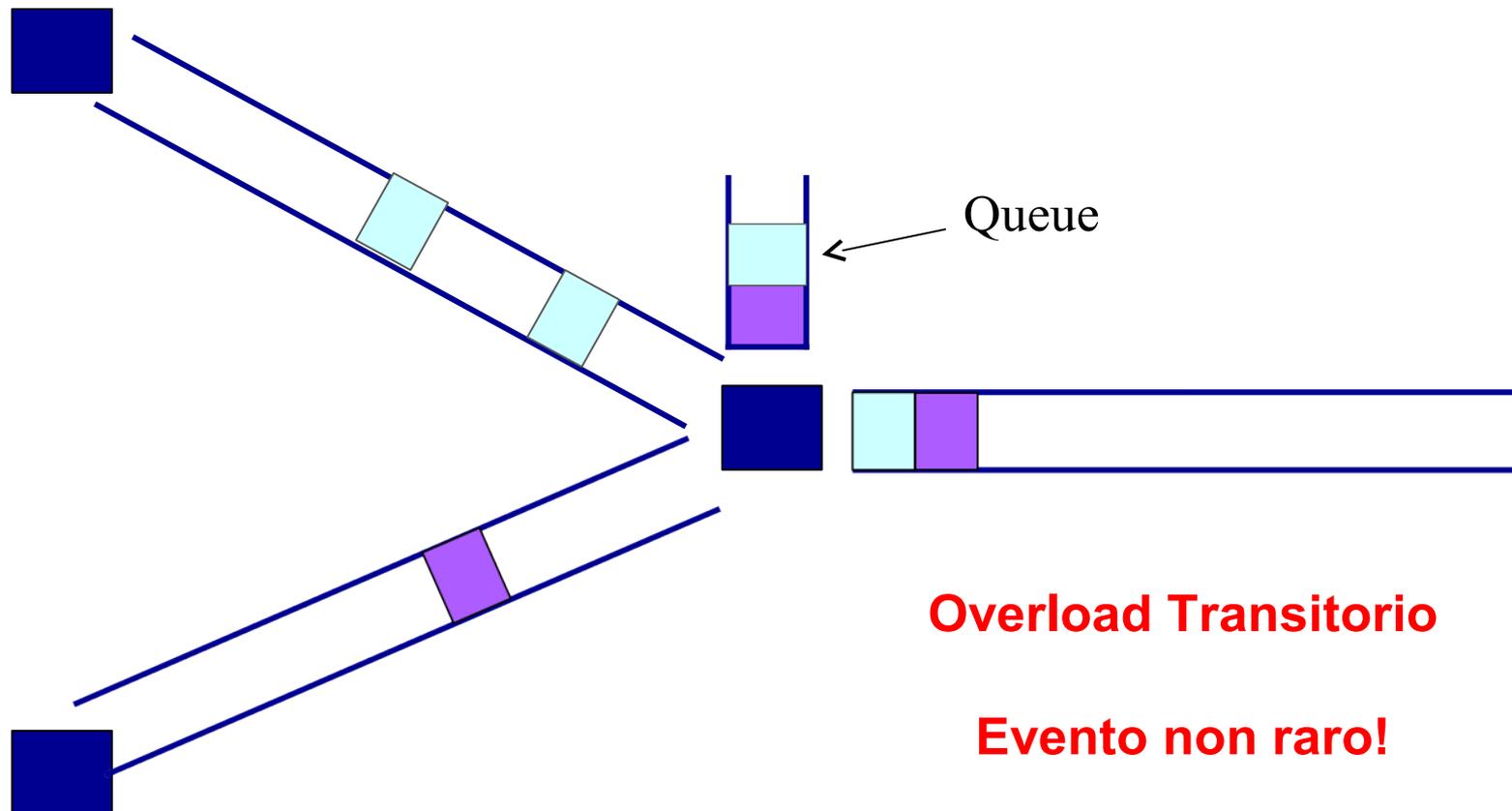
STATISTICAL MULTIPLEXING



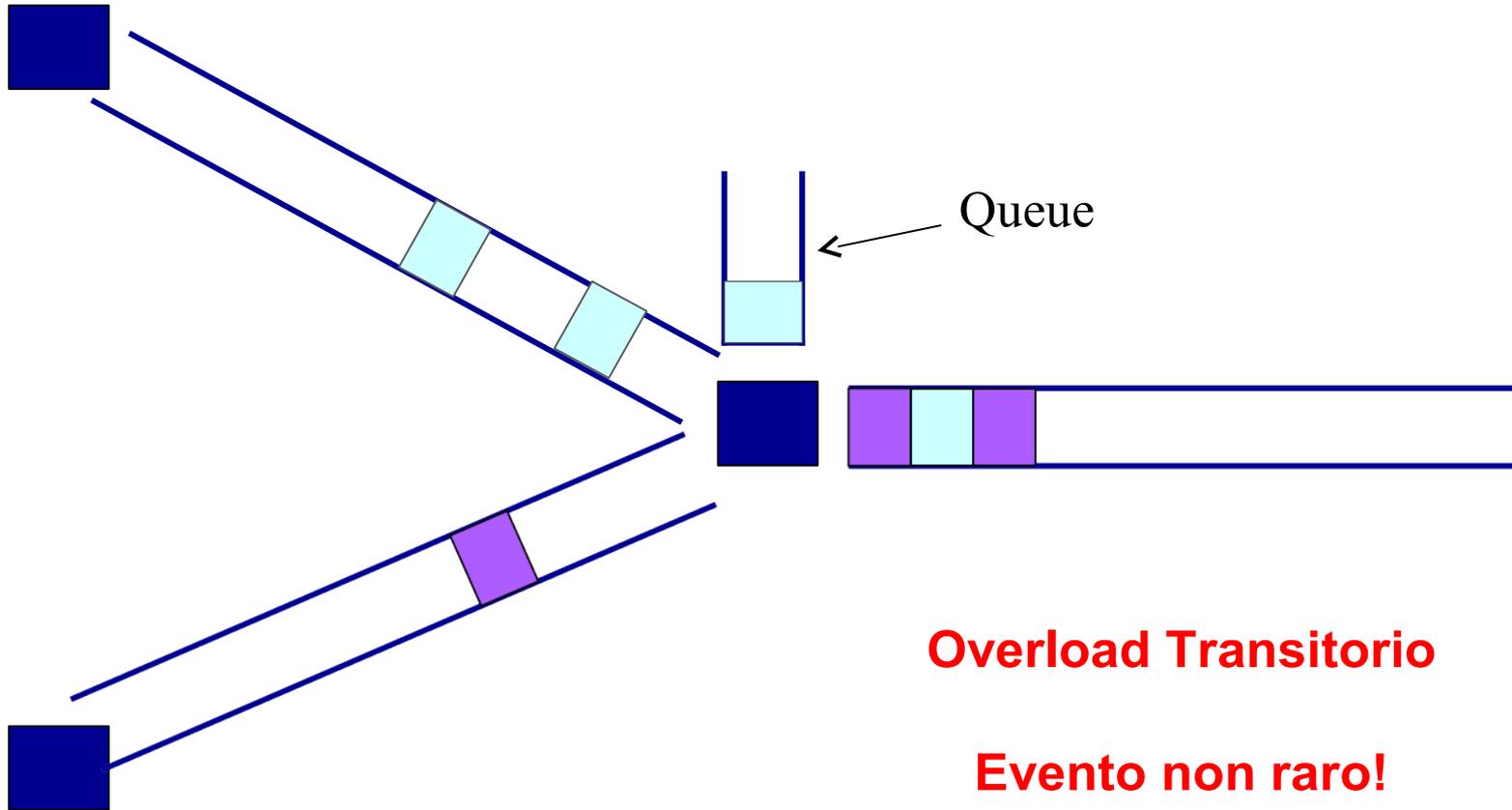
STATISTICAL MULTIPLEXING



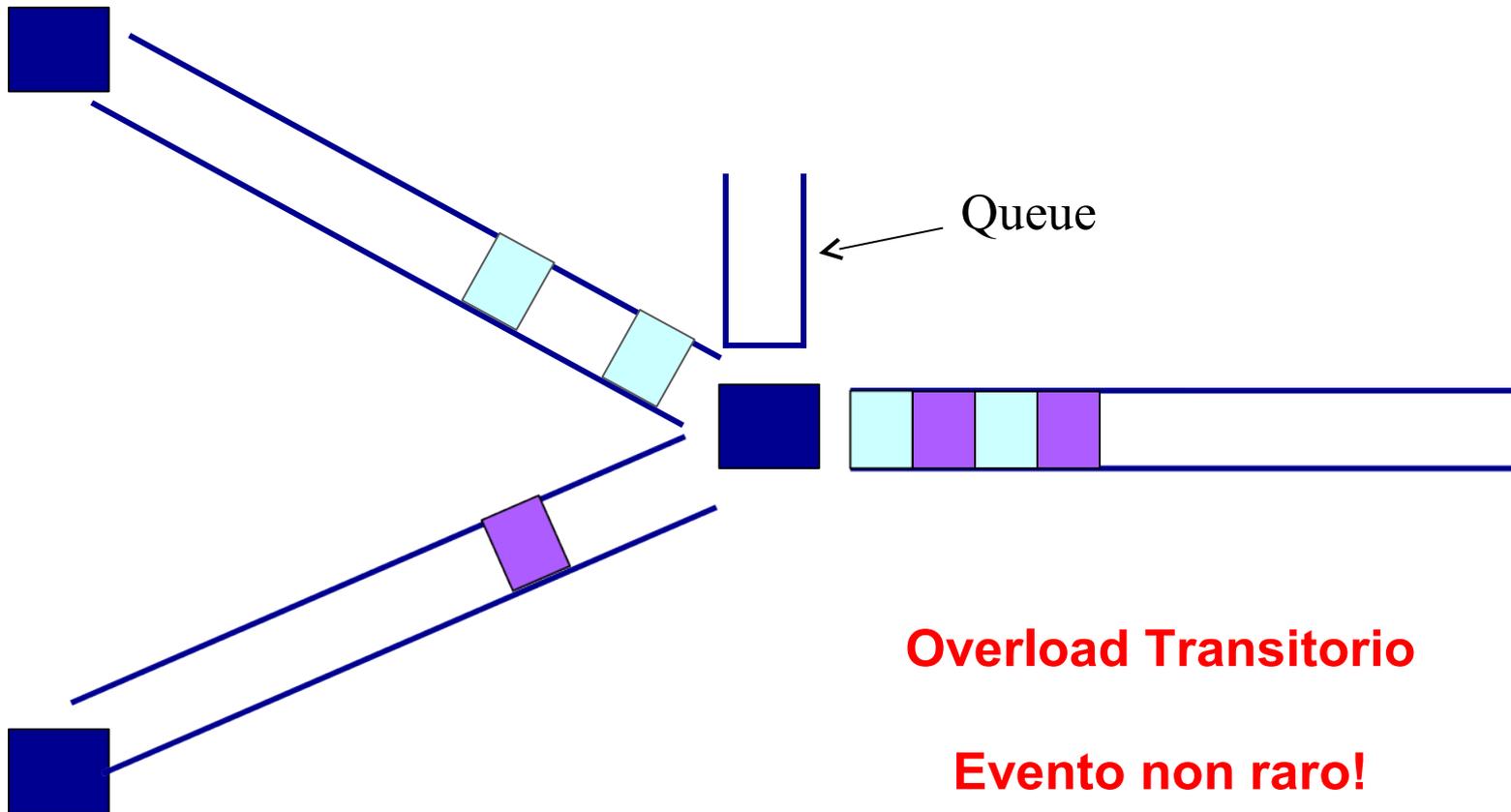
STATISTICAL MULTIPLEXING



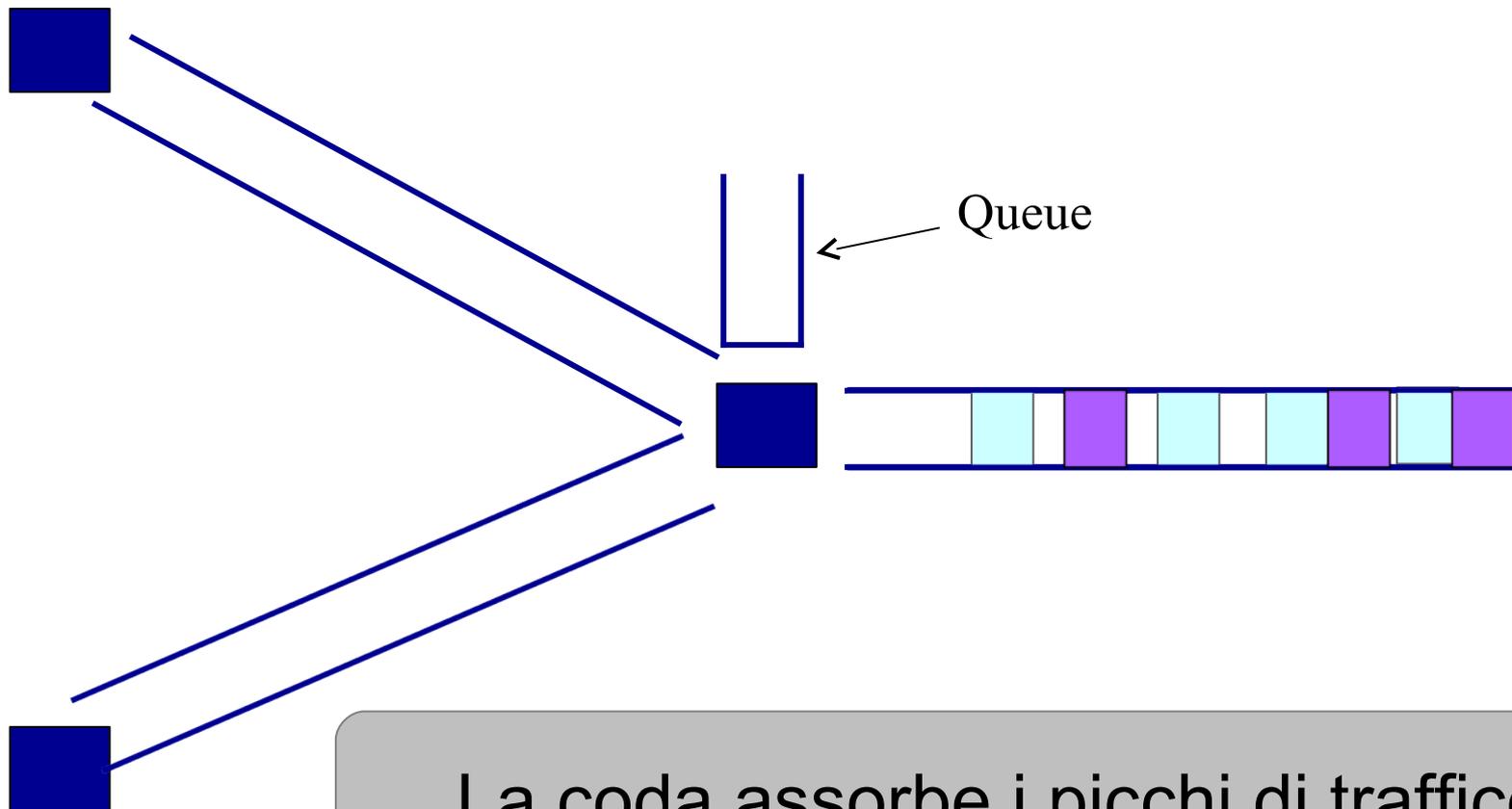
STATISTICAL MULTIPLEXING

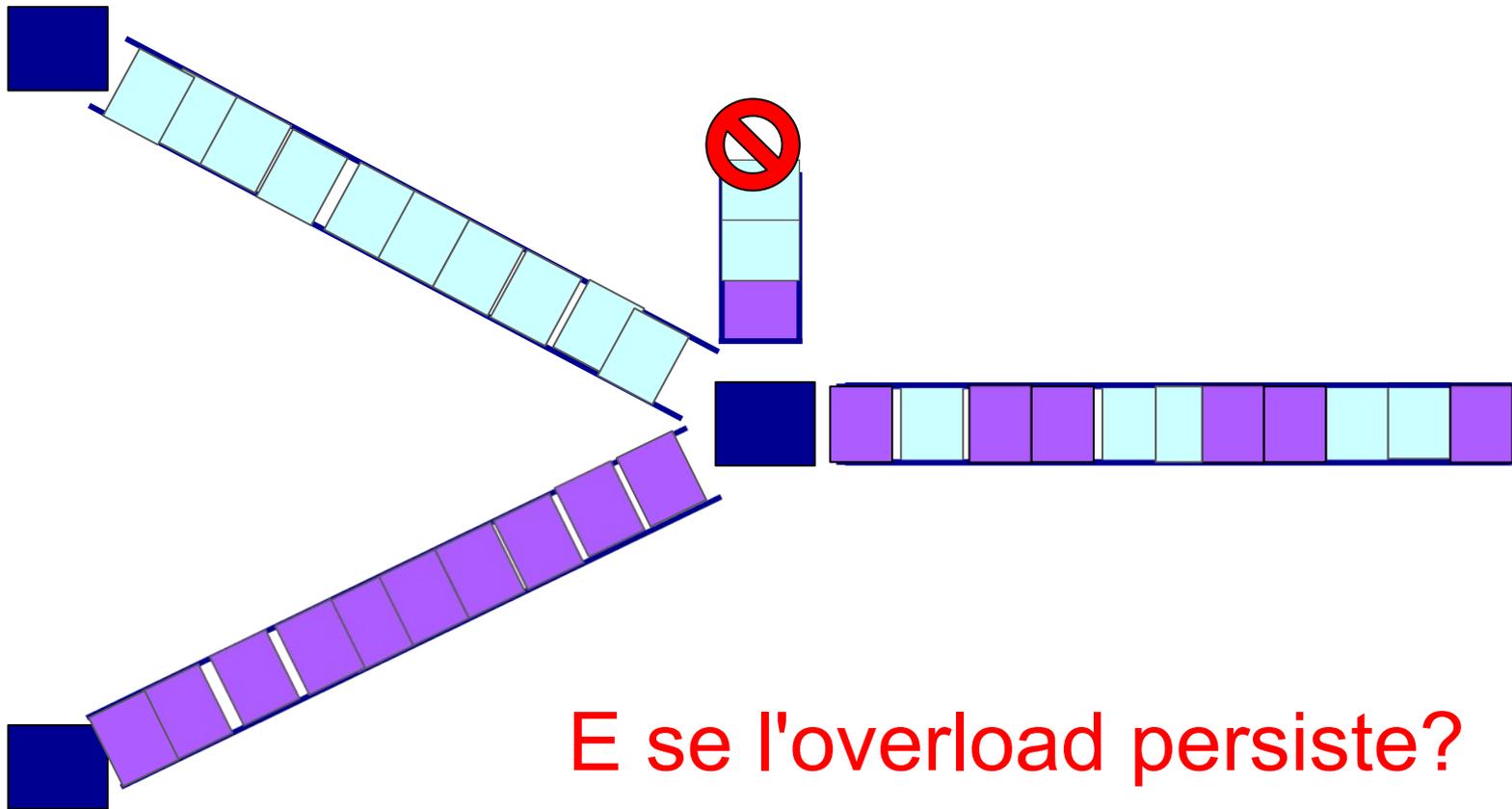


STATISTICAL MULTIPLEXING



STATISTICAL MULTIPLEXING





E se l'overload persiste?
Eliminazione di pacchetti

Vantaggi:

- maggiore efficienza nella gestione delle linee: link condivisi dinamicamente da più pacchetti/conessioni
- non richiede connection setup: eliminazione dell'overhead per questa fase
- Semplice trovare cammini alternativi
- nessuna connessione bloccata, i pacchetti sono accattati anche in caso di congestione, anche se il delay aumenta

Svantaggi:

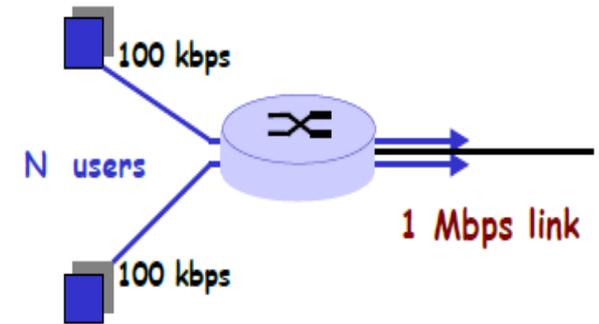
- Transmission Delay: code e ritardi di bufferizzazione
- **Delay variabile** dovuto alla elaborazione ed all'accodamento dei pacchetti
- Overhead Routing + header dei pacchetti

PACKET E CIRCUIT SWITCHING: CONFRONTO

esempio [circuit switching vs. packet switching]

- $N=35$ utenti condividono un link 1 Mbps
- Ogni utente genera 100kbps quando è “attivo”
- Ogni utente è attivo 10% del tempo

Confrontare packet e circuit switching

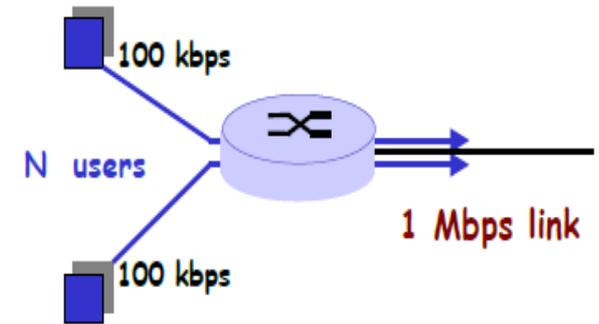


PACKET E CIRCUIT SWITCHING: CONFRONTO

esempio [circuit switching vs. packet switching]

- N=35 utenti condividono un link 1 Mbps
- Ogni utente genera 100kbps quando è “attivo”
- Ogni utente è attivo 10% del tempo

Confrontare packet e circuit switching



Circuit Switching

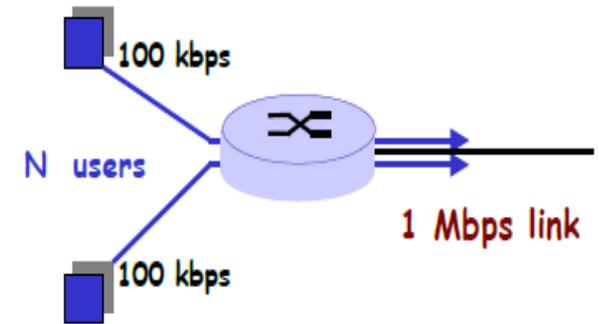
Con la commutazione di circuito, occorre riservare 100kbps per ogni utente, in ogni istante. Il link di output può quindi supportare al massimo $1\text{Mbps}/100\text{kbps} = 10$ utenti simultaneamente

PACKET E CIRCUIT SWITCHING: CONFRONTO

esempio [circuit switching vs. packet switching]

- $N=35$ utenti condividono un link 1 Mbps
- Ogni utente genera 100kbps quando è “attivo”
- Ogni utente è attivo 10% del tempo

Confrontare packet e circuit switching



Circuit Switching

Con la commutazione di circuito, occorre riservare 100kbps per ogni utente, in ogni istante. Il link di output può quindi supportare al massimo $1\text{Mbps}/100\text{kbps} = 10$ utenti simultaneamente.

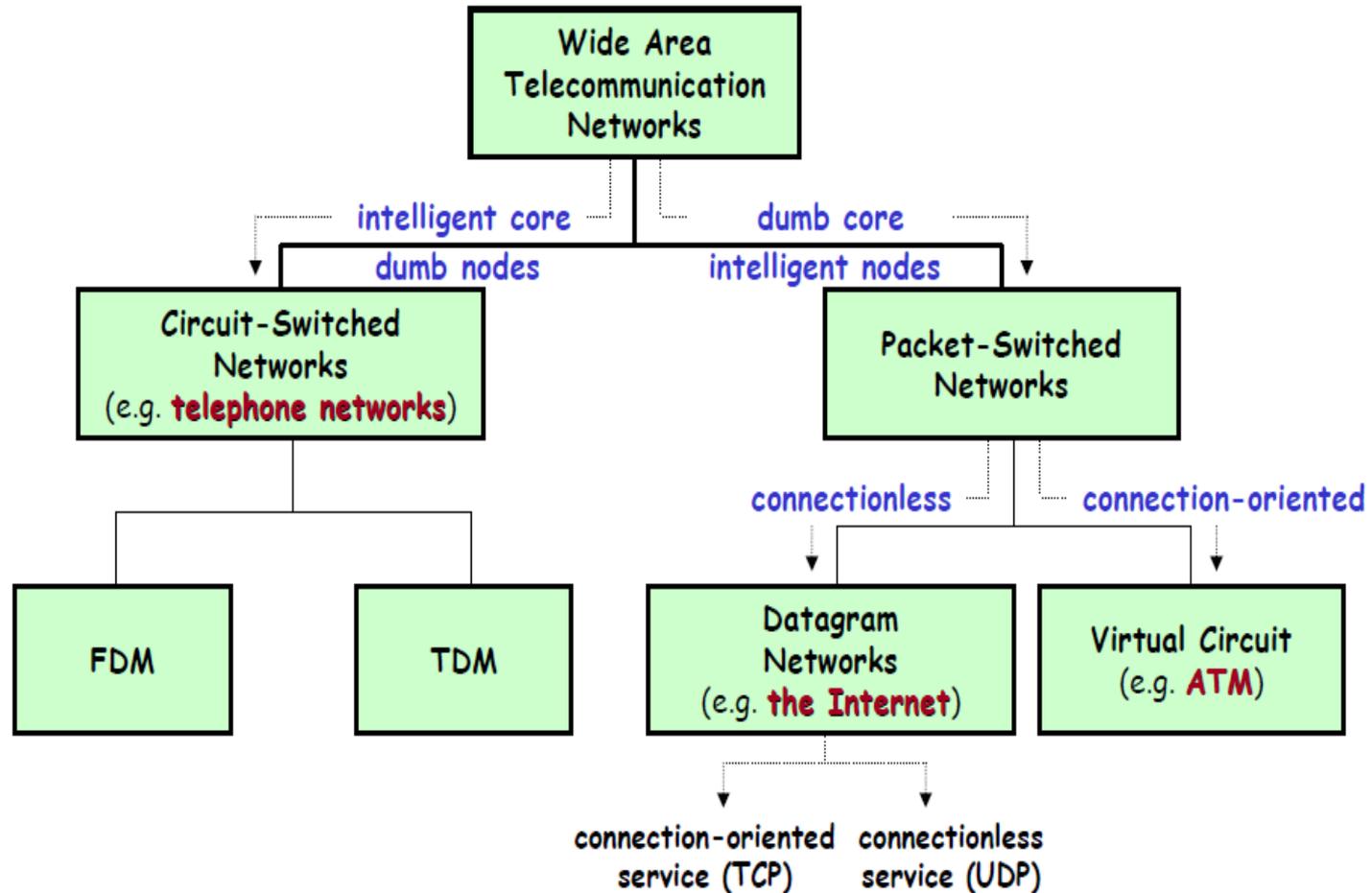
Packet Switching

- 10 o meno utenti simultaneamente attivi: banda richiesta ≤ 1 Mbps, nessun delay.
- Più di 10 pacchetti simultanei: capacità supera la capacità di output del link, ma la probabilità che ci siano 10 o meno utenti attivi contemporaneamente è 0.9996.
- con alta probabilità la tecnica del packet switching supporta tutti i 35 utenti senza introdurre alcun delay!

Perchè?

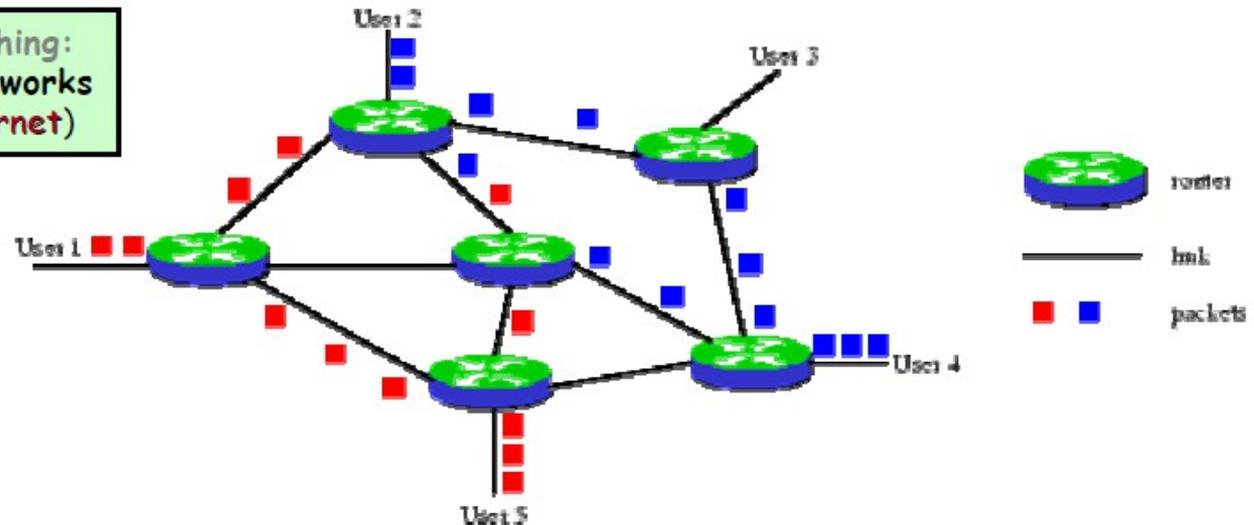
- Non progettata con l'obiettivo di disegnare una rete ad alte prestazioni, o una rete la cui performance sia predicibile
- Best effort network
- Tolleranza ai guasti considerato un requisito importante: rerouting
 - In alternativa necessità di usare router molto affidabili (come le compagnie telefoniche)
 - Avrebbe reso la definizione della rete più complessa
 - Trade-off: best, ma più facile accesso alla rete

DATAGRAM E VIRTUAL CIRCUITS

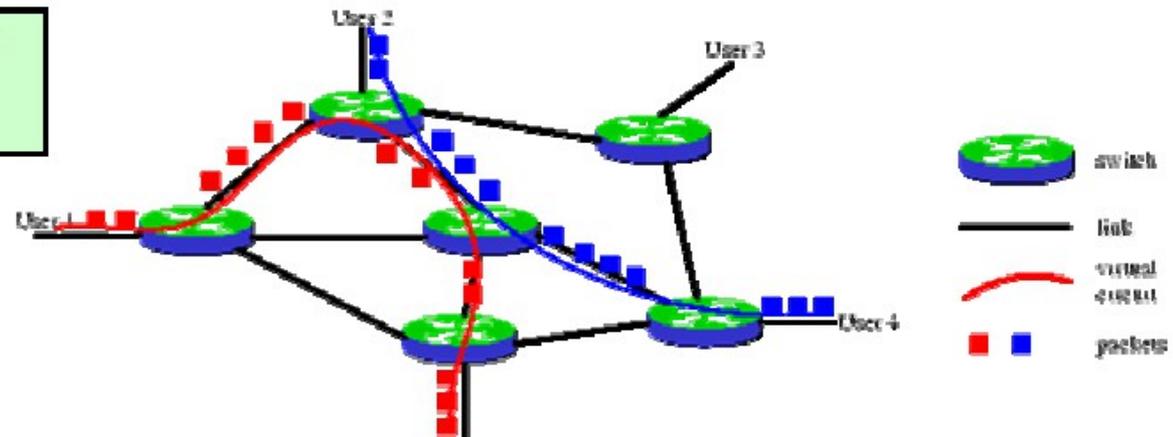


PACKET SWITCHED NETWORKS

Packet Switching:
Datagram Networks
(e.g. the Internet)

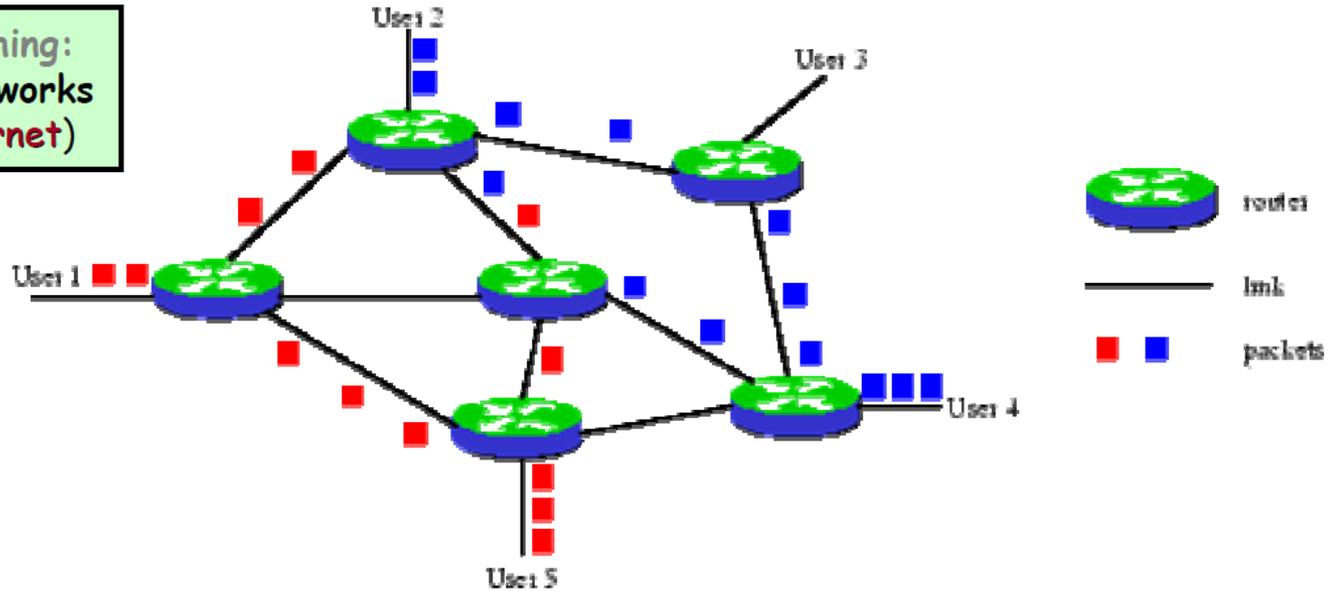


Packet Switching:
Virtual Circuit
(e.g. ATM)



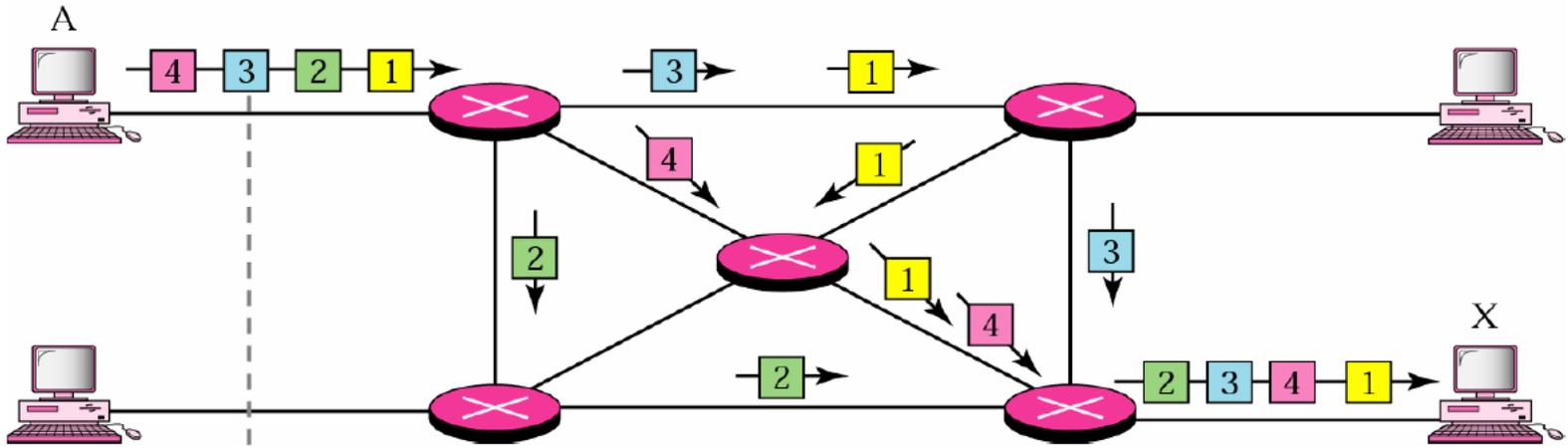
PACKET SWITCHING: DATAGRAM NETWORK

Packet Switching:
Datagram Networks
(e.g. the Internet)

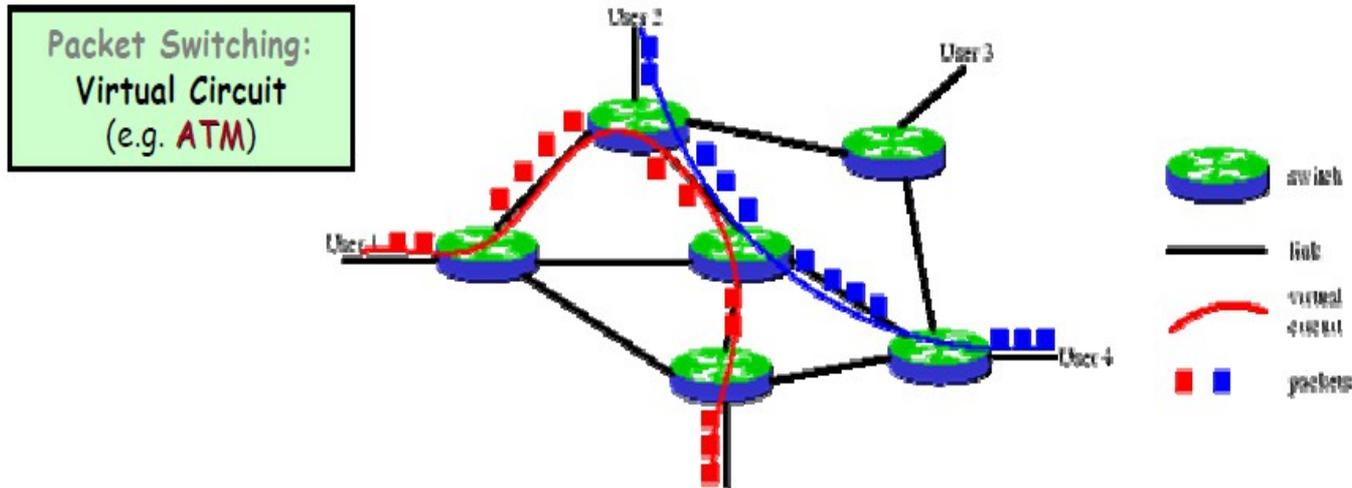


- ogni pacchetto (**datagram**) viene trattato indipendentemente dai pacchetti precedenti
- ogni router intermedio ha una forwarding table che mappa **un indirizzo destinazione ad un link di uscita**
- quando uno switch riceve un pacchetto, esamina il suo header e sceglie il prossimo hop sulla base del traffico dei fault, etc,
- I pacchetti verso la stessa destinazione non necessariamente seguono lo stesso cammino e possono **arrivare fuori ordine**

PACKET SWITCHING: DATAGRAM NETWORK

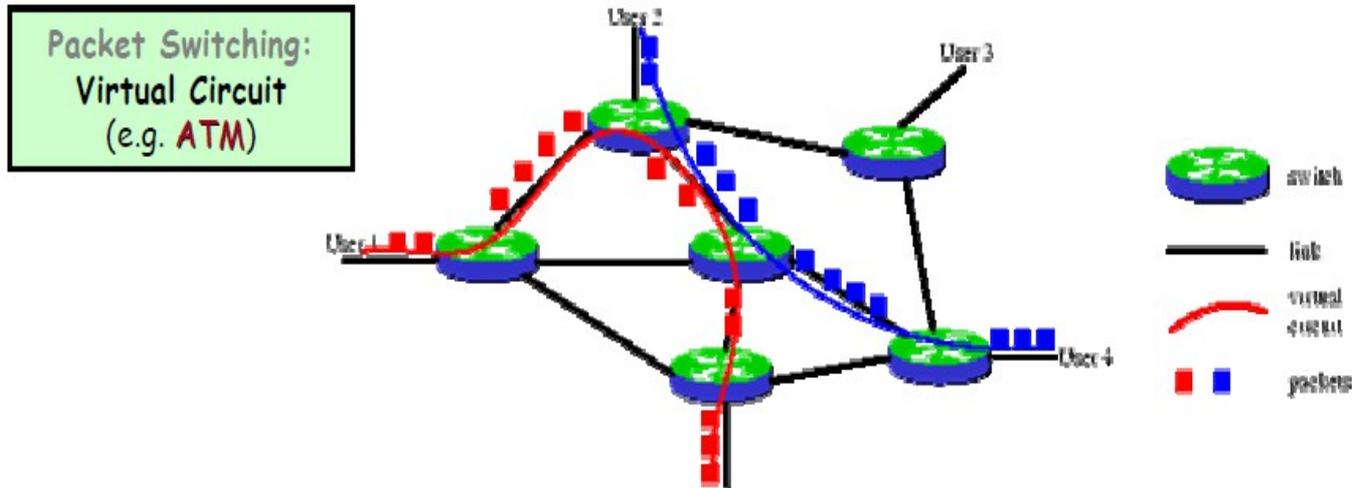


PACKET SWITCHING: CIRCUITI VIRTUALI



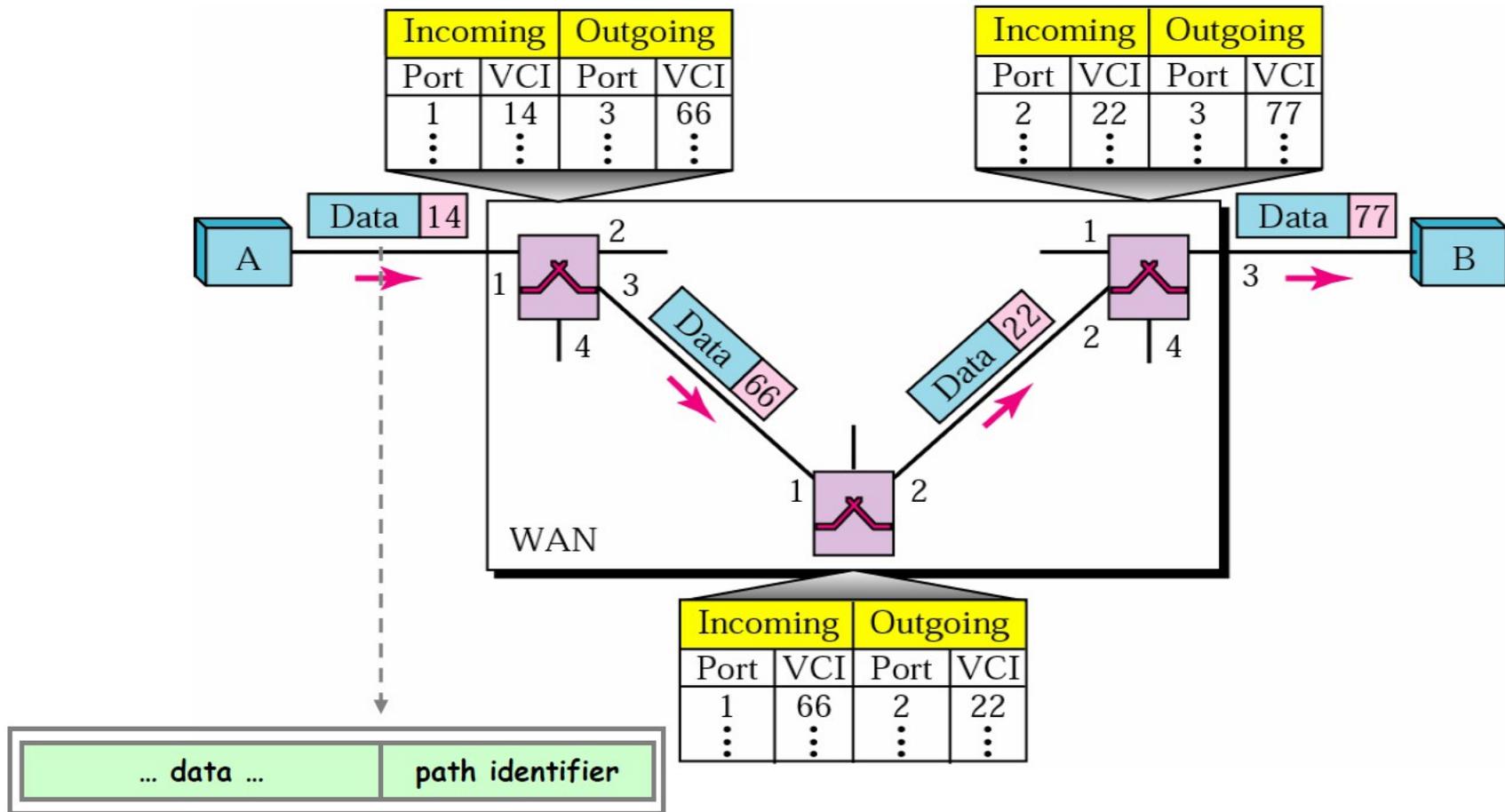
- viene mantenuta la relazione tra tutti i pacchetti appartenenti ad uno stesso messaggio
- prima si stabilisce un collegamento logico tra sorgente e destinazione, poi si spediscono i dati
 - **connection oriented**
- **circuito virtuale \neq circuito dedicato**
 - non si riservano risorse
 - i pacchetti vengono ancora memorizzati in ogni nodo e accodati in attesa di essere stati spediti

PACKET SWITCHING: CIRCUITI VIRTUALI

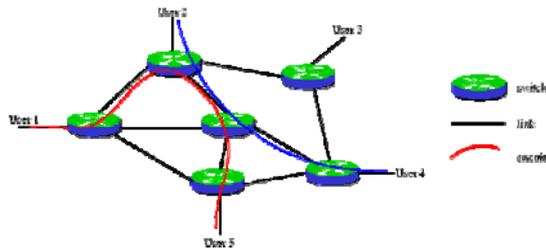


- tutti i pacchetti relativi ad una comunicazione viaggiano **in ordine sul circuito virtuale**
- ogni pacchetto contiene nella intestazione l'identificazione del circuito virtuale
- ogni nodo possiede una tabella di routing che mappa identificatori di circuito su link in uscita

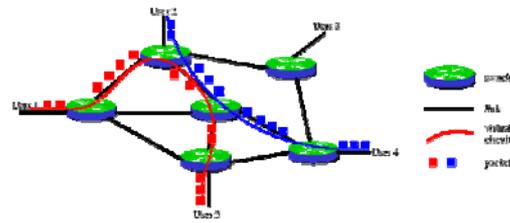
PACKET SWITCHING: CIRCUITI VIRTUALI



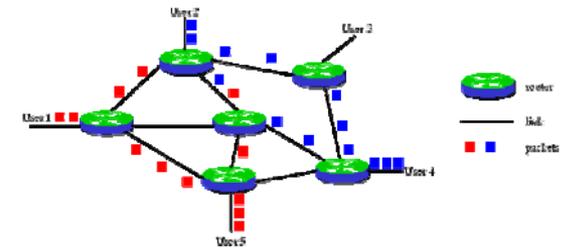
DATAGRAM E CIRCUITI VIRTUALI



Circuit Switching



Virtual Circuit Switching



Packet Switching

Statistical Multiplexing

'cut' data into packets – send packets through the network without any preallocation (reservation) of resources

advantage: more efficient use of links/resources

Route data along pre-established paths

all data sent between user1 and user2
'flows' along the same (logical) circuits

advantage: faster switching & in-order delivery



brought to you by...
DATA CENTERS CANADA
COLOCATION AND DISASTER RECOVERY FACILITIES

▶ ⏪ 🔊 1:29 / 5:37

CC ⚙️ 📺 🗉

What is Internet?