

Reti di Calcolatori

Reti Estese

WAN

- Si possono creare ponti a qualsiasi distanza
- Solitamente usata per coprire nazioni e continenti
- La topologia è irregolare a causa di un orientamento specifico per le normali necessità
- Interconnessioni di sottoreti (solitamente piuttosto complesse) sono di proprietà di differenti operatori
- Nessuna trasmissione, ma solo collegamenti punto a punto

WAN

- La tecnologia LAN non può essere usata per costruire reti capaci di estendersi “all'infinito” od occuparsi arbitrariamente di molti computer
 - ♦ Limitazioni in distanza ed in estensione
 - ♦ La trasmissione è un problema
- Necessita di altre tecnologie per realizzare una WAN
- La tecnologia WAN sostituisce la trasmissione di informazioni condivise con pacchetti di scambio e connessioni punto a punto

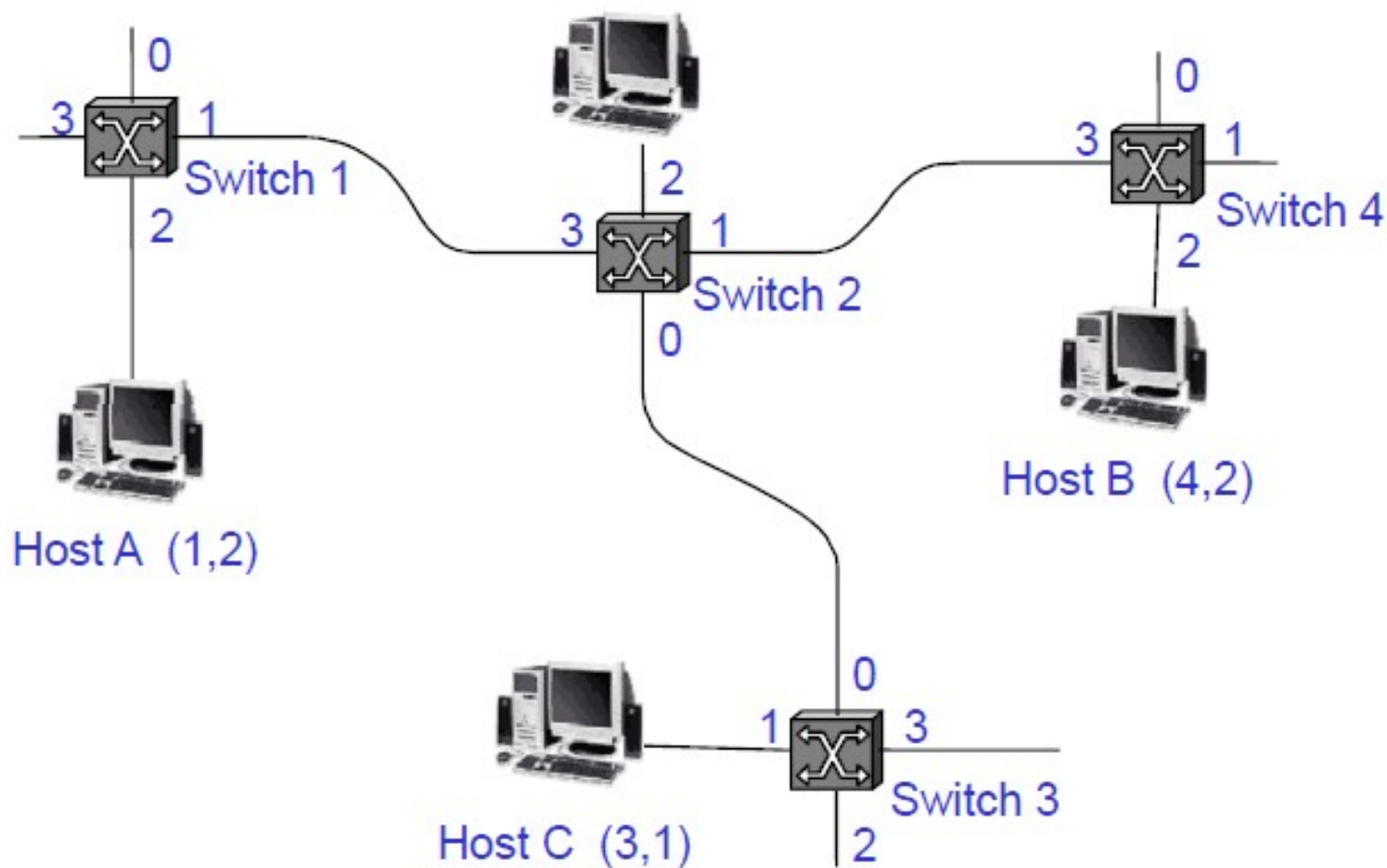
Componenti WAN

- Connessioni a lunga distanza punto a punto
 - ♦ Il throughput dipende dal traffico stimato
 - ♦ Il numero dipende dalla necessità di affidabilità
- Pacchetti di scambio
 - ♦ Sistemi di computer con scopi speciali
 - ♦ Connette ad altri pacchetti di scambio e ad altri computer
 - ♦ Pacchetti diretti
- Computer

Salvataggio e Indirizzamento

- Paradigma di base usato in reti di pacchetti di scambio
- Pacchetti
 - ♦ Contiene indirizzo di destinazione
 - ♦ Numero pacchetti di scambio
 - ♦ Numero del computer
- Scambio
 - Salvataggio pacchetti in memoria
 - Esamina destinazione
 - Pacchetto indirizzato
 - Usa tabelle di routing
 - La tabella di routing da il prossimo salto

Salvataggio ed indirizzamento



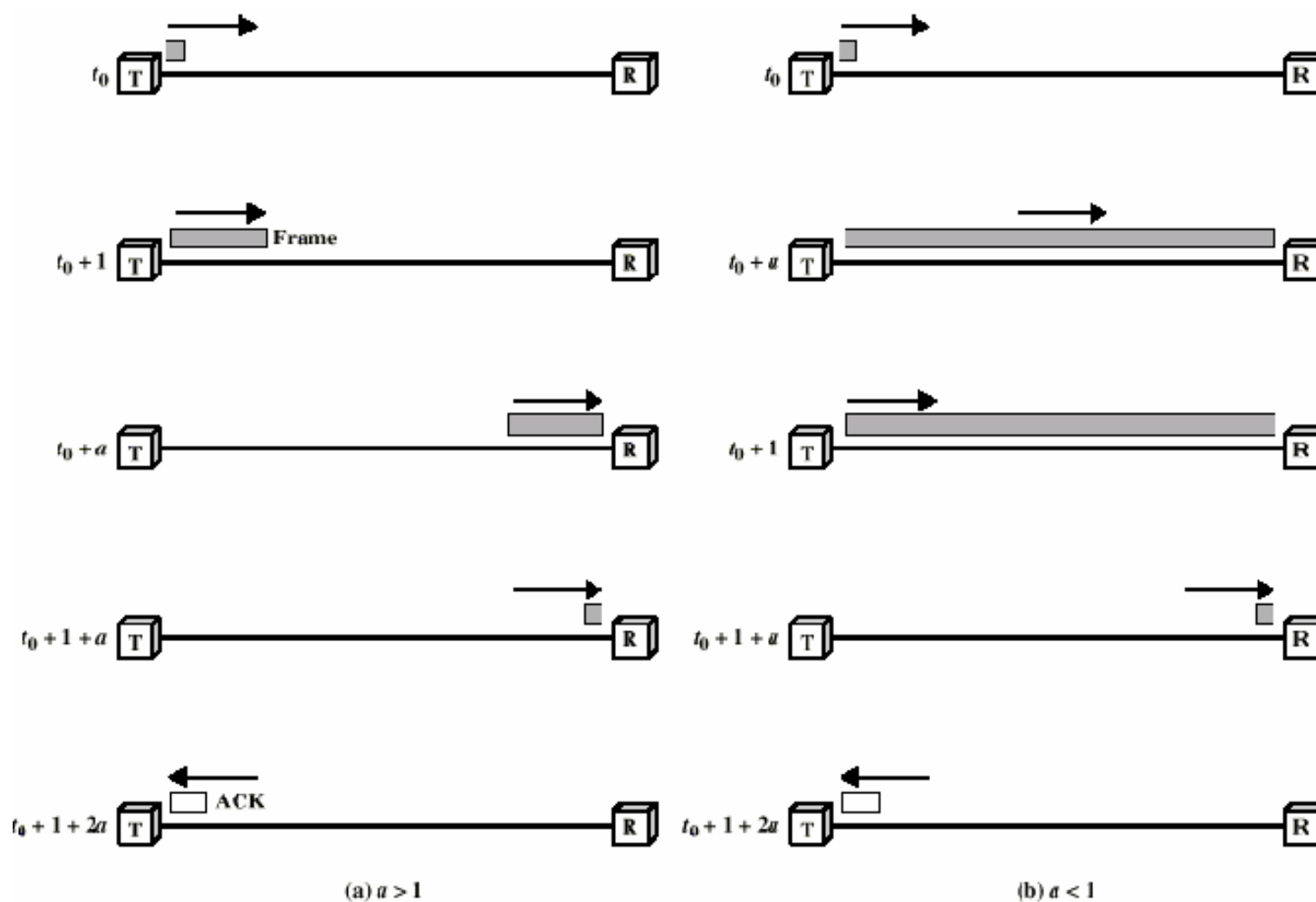
Controllo di Flusso

- Necessario perchè
 - Sistemi di computer mittenti sono più veloci rispetto i computer riceventi
 - Le applicazioni mittenti sono più veloci rispetto alle applicazioni riceventi
- Computer sincronizzati
- Evitare congestioni
- Due forme
 - Stop and go
 - Sliding window

Stop and Go

- Mittente
 - Trasmette un pacchetto
 - Aspetta il segnale dal ricevente
- Ricevente
 - Riceve ed elabora pacchetti
 - Trasmette un segnale al mittente
- inefficiente

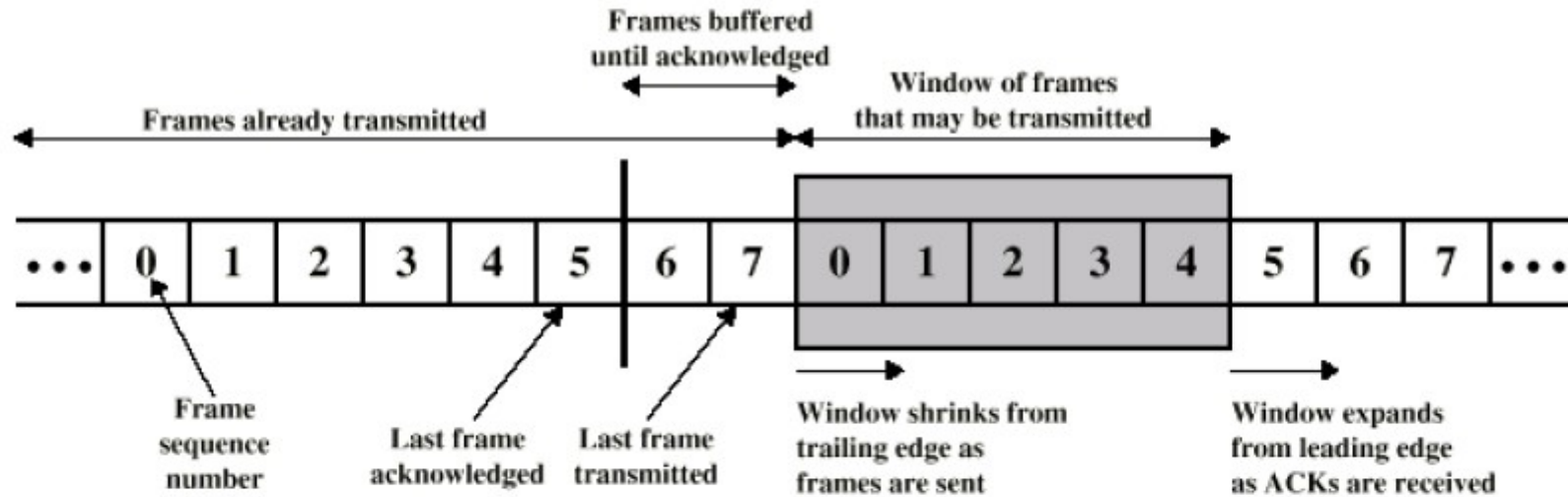
Stop and Go



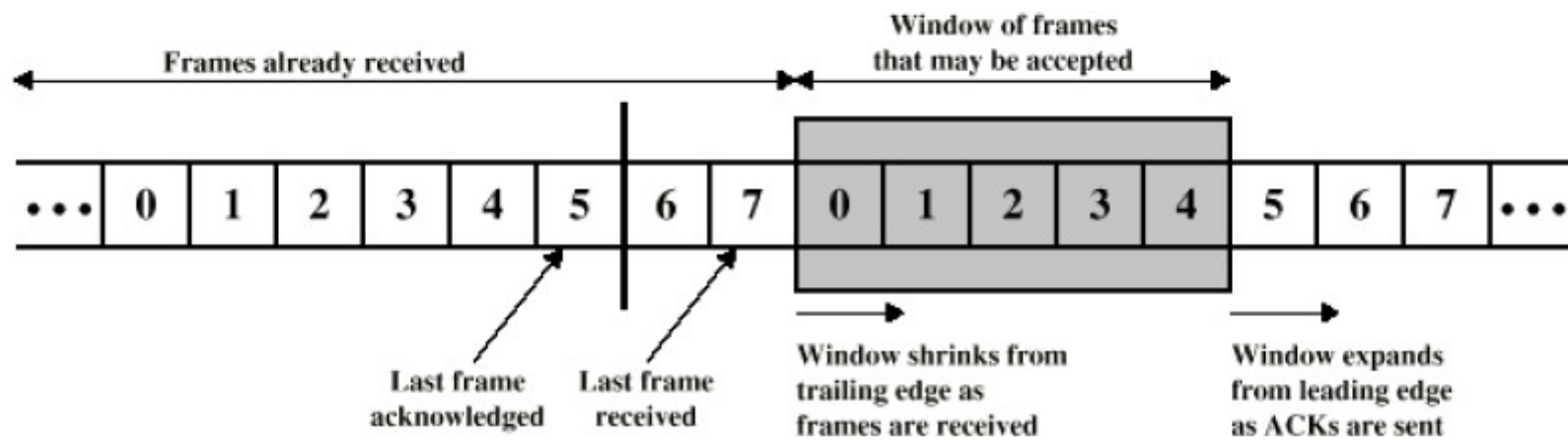
Sliding Window

- Ricevente
 - Stabilisce multipli buffers e informa il mittente
- Mittente
 - Trasmette pacchetti per tutti i buffers disponibili
 - Ogni cornice è numerata
 - Aspetta soltanto se non arriva il segnale prima che tutta la trasmissione sia completata
- Ricevente
 - Manda segnali quando arriva il pacchetto
 - I segnali includono il numero del pacchetto successivo atteso

Sliding Window

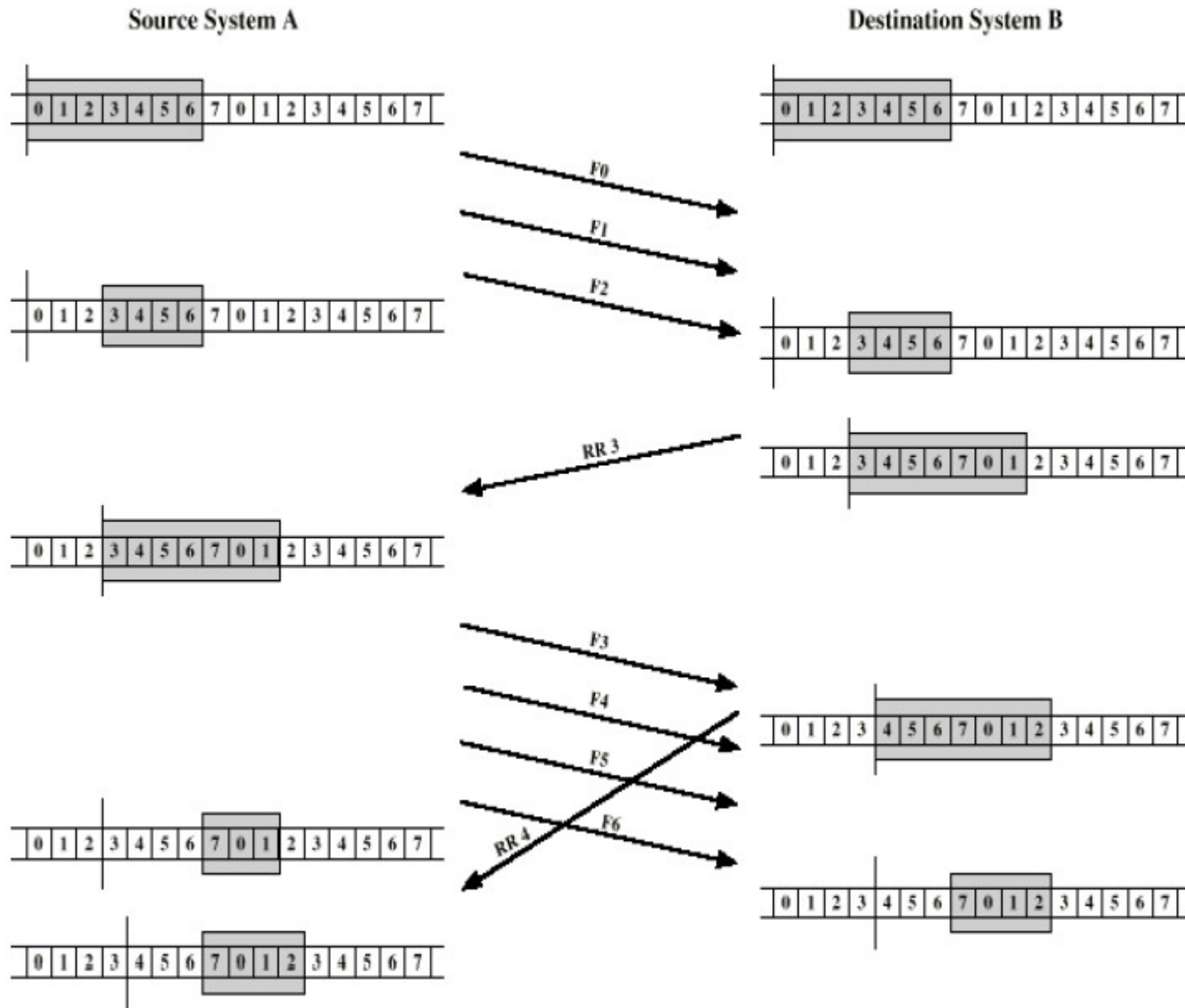


(a) Sender's perspective



(b) Receiver's perspective

Sliding Window

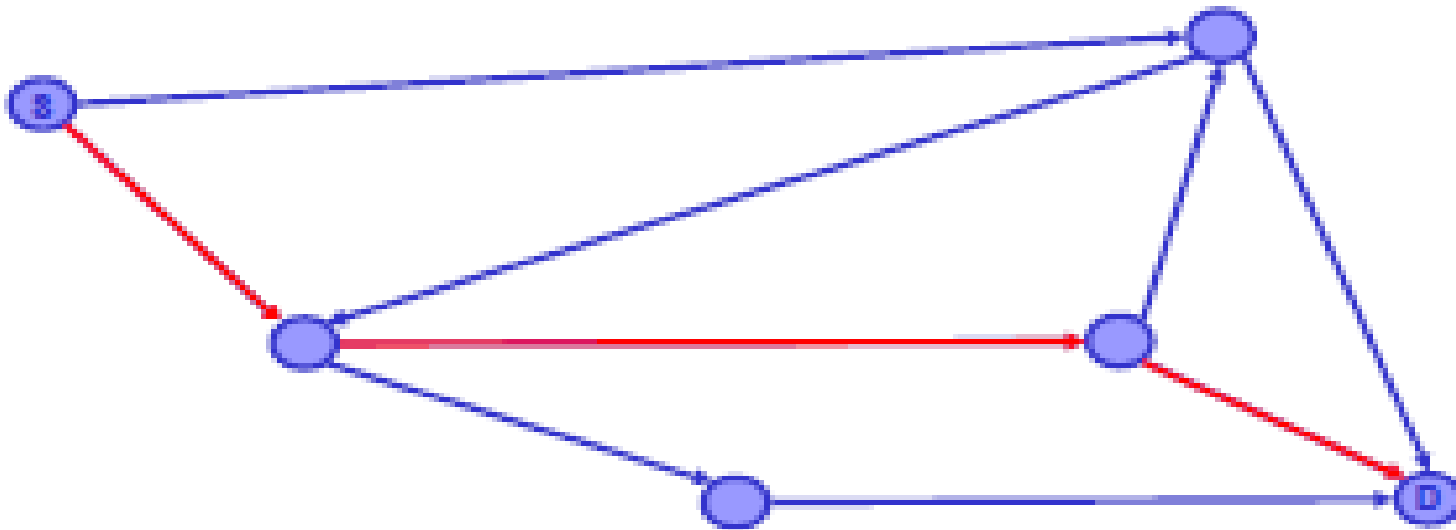


Sliding Window

- La tecnica Sliding Window può essere migliorata
 - Il ricevente può ammettere frame senza permettere future trasmissioni (ricevente non pronto)
 - Bisogna mandare un normale segnale per riprendere
 - Se il duplex usa piggybacking
 - Se non ci sono dati da mandare
 - Usa un frame di riconoscimento
 - Se ci sono dati ma non un riconoscimento da mandare
 - Manda l'ultimo numero di riconoscimento ancora

Instradamento

- Trovare un percorso (sequenza di routers) da una sorgente a una destinazione
- Lo usiamo per trasportare dati fino alla destinazione
- Solitamente è basato sulla costruzione di una tabella d'instradamento per ogni router della rete



Algoritmo di routing desiderata

- Ottimizzazione
- Equità
- Stabilità
- Robustezza
- Correttezza
- Semplicità

Instradamento di pacchetti

- I pacchetti sono instradati in due modi
 - Connection-oriented
 - I pacchetti seguono lo stesso percorso
 - Percorsi di instradamento fissi sono chiamati circuiti virtuali
 - Tipo gestione telefonata
 - Connectionless
 - Ogni pacchetto è maneggiato indipendentemente
 - I pacchetti contengono l'indirizzo di destinazione
 - Non sono richiesti settaggi prima della trasmissione di dati
 - Nessuna “pulizia” richiesta dopo la trasmissione dei dati
 - Tipo spedizione di una cartolina

Connection-Oriented

- Mittente
 - Richiede una connessione al destinatario
 - Aspetta la rete per formare una connessione
 - Lascia la connessione aperta mentre spedisce dati
 - Termina la connessione quando non serve più
- Reti
 - Riceve una richiesta di connessione
 - Forma un percorso ad una specifica destinazione ed informa il mittente
 - Trasferisce dati attraverso la connessione
 - Rimuove la connessione quando il mittente lo richiede

Connection-Oriented

- Permanent Virtual Circuit (PVC)
 - Realizzata a “mano”
 - Sopravvive a riavvii
 - Solitamente persiste mesi
- Switched Virtual Circuit (SVC)
 - Richiesta dinamicamente
 - Inizializzata dall'applicazione
 - Termina quando l'applicazione esce

Connection-Oriented Vs. Connectionless

- Connection-Oriented
 - Più intelligente in una rete
 - Può riservare ampiezza di banda
 - Overhead setup della connessione
 - Switching dei pacchetti di stato
 - Molto adatta per le applicazioni in tempo reale
- Connectionless
 - Overhead basso
 - Permette usi asincroni
 - Consente broadcast/multicast

Classificazione Algoritmo di Indirizzamento

- Vista globale
 - Grafico dell'intera rete (routers, links)
- Vista locale
 - Conoscenza parziale delle parti remote della rete
- Centralizzata
 - Un nodo mantiene la visione e distribuisce percorsi di instradamento agli altri nodi
- Decentralizzato
 - Tutti i nodi mantengono la visione
- Statico
 - Cambi di percorso di instradamento infrequenti
 - Infrequenti aggiornamenti della visuale
- Dinamico
 - Frequenti e periodici cambi di percorso di instradamento
 - Frequenti aggiornamenti della visuale
- Manuale
 - Tavole create a mano
- Automatico
 - I software creano e aggiornano le tavole

Sottoclassi di Algoritmi Dinamici

- Isolato
 - Ogni router prende le decisioni sull'instradamento usando solo le informazioni locali che ha sotto mano.
 - I router non scambiano anche le informazioni con i vicini
- Centralizzato
 - Un nodo centralizzato prende tutte le decisioni di instradamento
 - Il nodo centralizzato ha accesso ad informazioni globali
- Distribuito
 - Ogni router per prendere una decisione sull'instradamento usa una combinazione di informazioni locali e globali

Indirizzamento Isolato

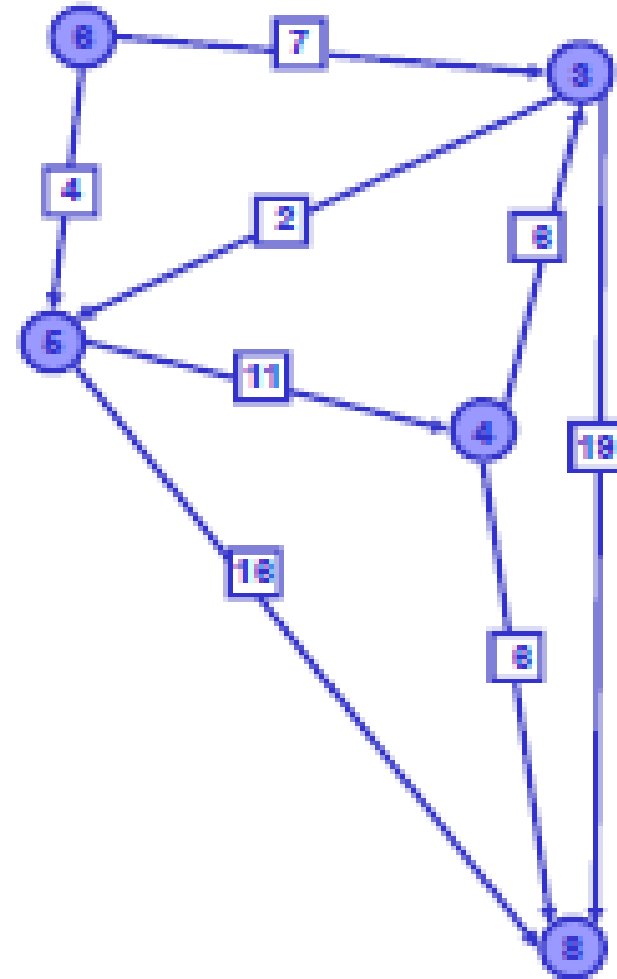
- Flooding
 - I router mandano pacchetti a tutte le porte eccetto la porta di ingresso (input)
- Hot Potato
 - I router scelgono tra le linee di uscita, quella con la coda più corta
- Backward learning (Imparare dal passato)
 - I router usano informazioni salvate in pacchetti normali (indirizzo di origine e numero di “hops”) per imparare il percorso più breve per ogni fonte.

Vantaggi / Svantaggi

- Tutti
 - Semplici
- Backward Learning(Imparare dal passato)
 - Efficiente
- Flooding
 - Alto traffico
- Hot Potato
 - Lungo ritardo
- Flooding e Hot Potato
 - Alcuni router ricevono pacchetti più volte
 - I pacchetti possono girare in circolo per sempre
 - Inefficiente
- Imparare dal passato
 - Solamente buone notizie, niente male

Reti di Computer Modello Grafico

- I nodi modellano interruttori e computer
- I bordi modellano le connessioni
- L'etichetta sui bordi rappresenta la distanza
 - Distanza geografica
 - Costo economico
 - Inverso della capacità



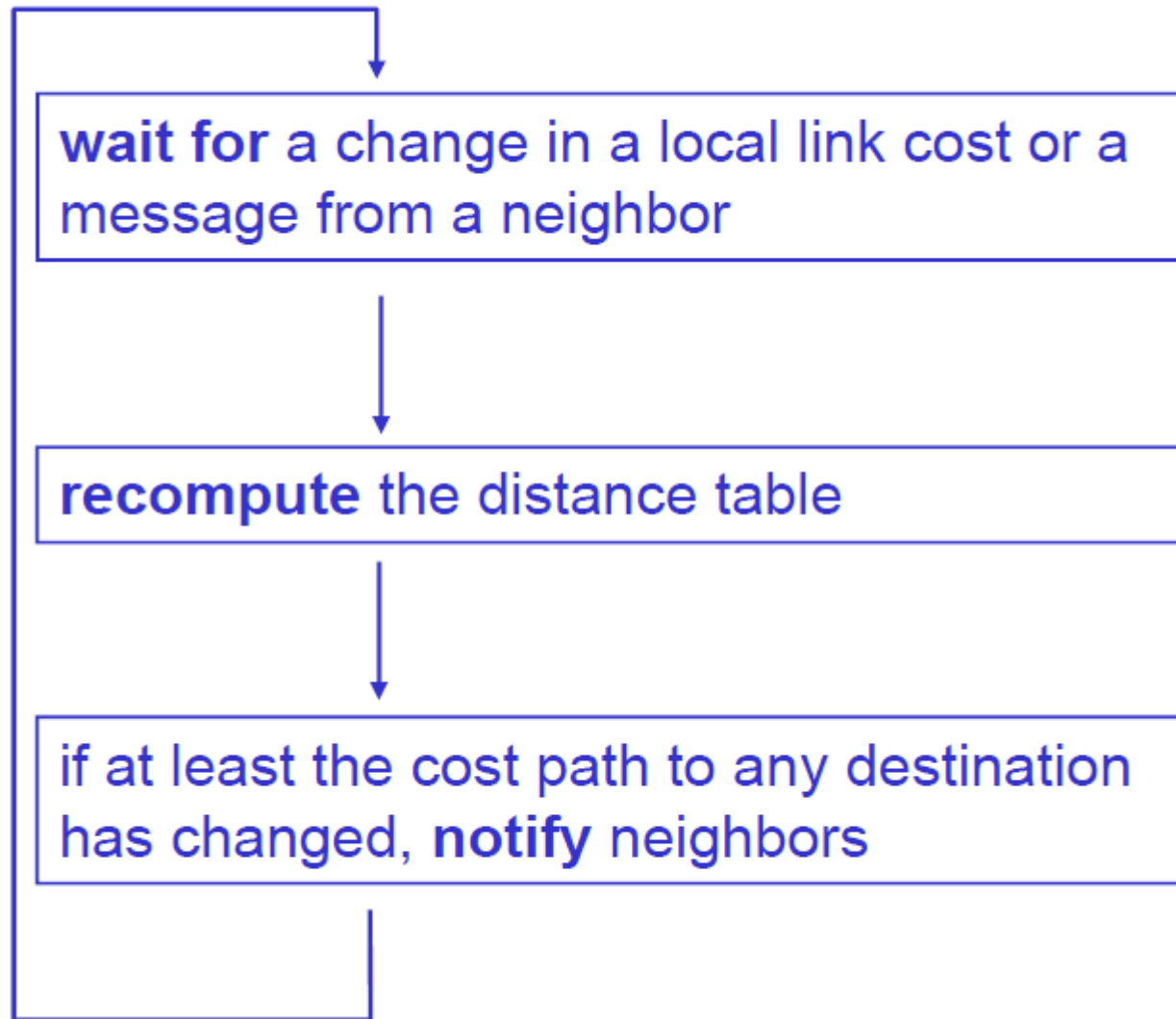
Algoritmi di Instradamento Distribuiti

- I router usano algoritmi grafici teorici per calcolare tabelle di indirizzamento
- Due principali algoritmi di indirizzamento
 - Distance Vector (vettore di distanza)
 - Link-State (stato del collegamento)

Distance Vector (vettore di distanza)

- Periodico scambio reciproco tra vicini causato dal cambiamento del costo della connessione locale o la ricezione di un messaggio da un vicino
- Mittente
 - Manda una lista di coppie (destinazione e distanza) quando la distanza cambia
- Ricevente
 - Confronta ogni coppia al percorso attuale
 - Cambia percorso se esiste un percorso migliore
- Gli scambi si fermano quando i costi convergono

Distance Vector (vettore di distanza)



Algoritmo di Bellman-Ford

- Immettere:

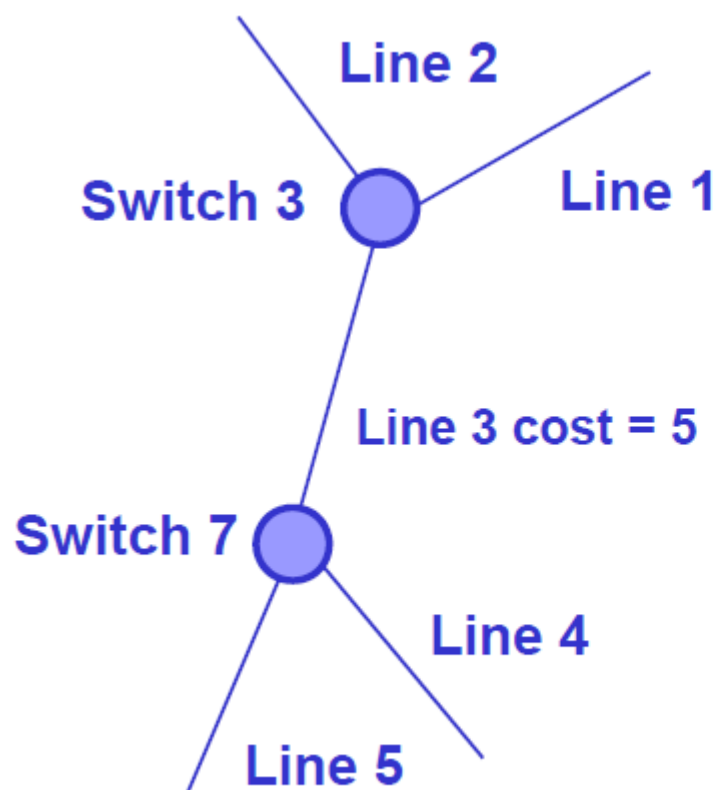
- N indica l'insieme dei nodi del grafo
- S indica il nodo per cui calcolare il percorso
- $\text{Neighbors}(S)$ indica i vicini del nodo S
- C_{ij} indica un costo non negativo / peso, per il percorso dal nodo i al nodo j
- P_j indica il salto successivo dal nodo S verso il nodo j

- Quindi l'algoritmo è definito come segue

```
1.  $\forall n \in N$  /* initialization */
2.   if  $n \neq s$ 
3.      $C_{sn} = \infty$ 
4.   else
5.      $C_{sn} = 0$ 

6. repeat
7.    $\forall n \in \text{neighbor}(s)$ 
8.      $\forall z \in N$ 
9.       if  $C_{sz} > C_{sn} + C_{nz}$  then
10.         $C_{sz} = C_{sn} + C_{nz}$ 
11.         $P_z = n$ 
12. until converge
```

Distance Vector (vettore di distanza)



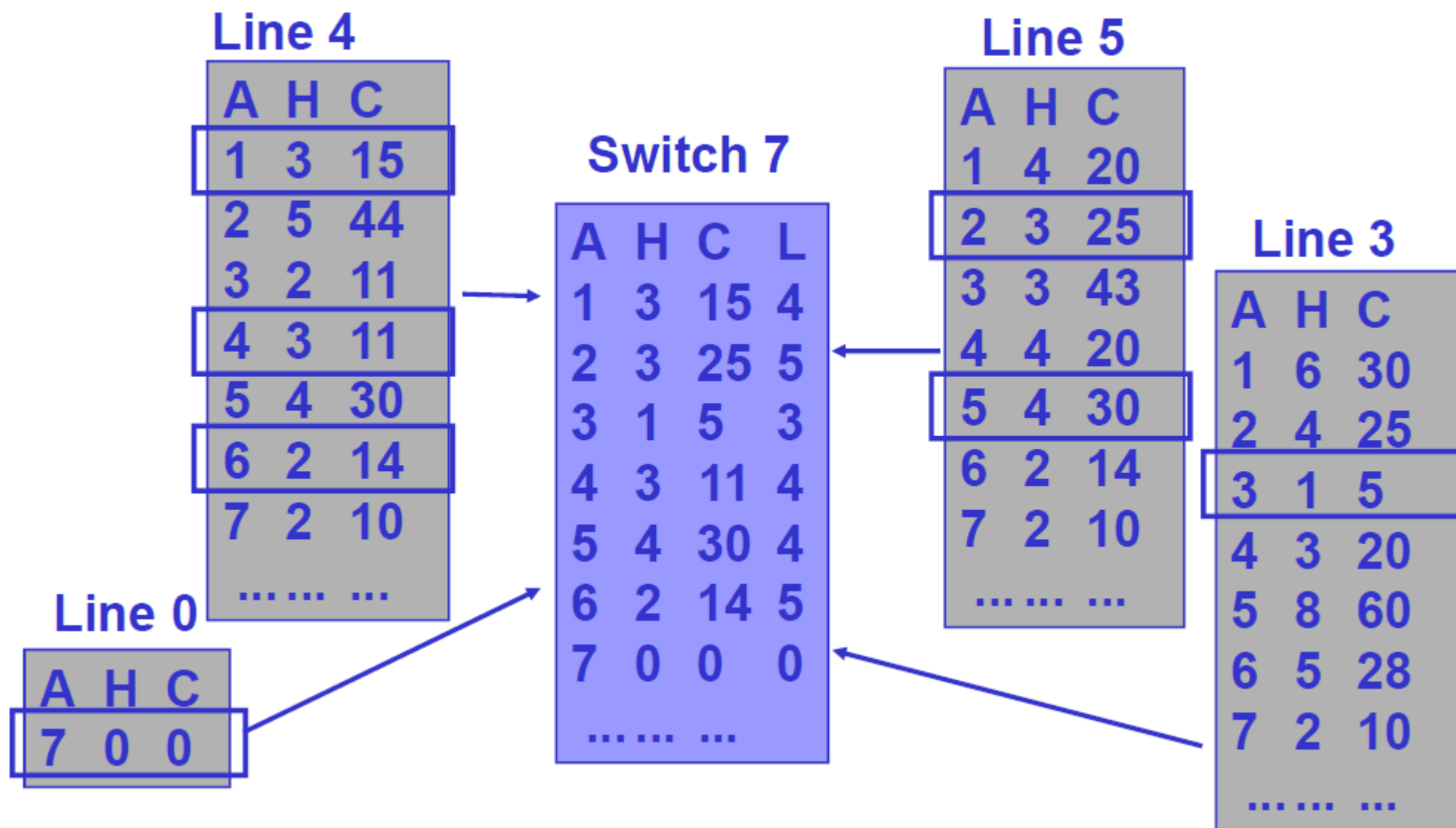
Switch 3

A	H	C	L
1	5	25	3
2	3	20	2
3	0	0	0
4	2	15	3
5	7	55	1
6	4	23	1
7	1	5	3
...

Line 3

A	H	C
1	6	30
2	4	25
3	1	5
4	3	20
5	8	60
6	5	28
7	2	10
...

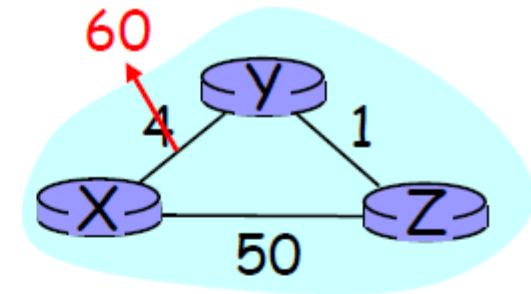
Distance Vector (vettore di distanza)



Problemi del vettore di distanza (Distance Vector)

- Buchi neri
 - Un nodo riceve un pacchetto per il quale non conosce un percorso (di solito durante il transitorio)
- Effetto di rimbalzo
 - Alcuni pacchetti rimangono in circolo in un anello di nodi
- Conteggio ad infinito
 - Quando un nodo diventa irraggiungibile o assume un cattivo valore, il relativo costo può salire lentamente verso il nuovo valore
 - La soluzione è quella di fissare una soglia di costo per settare un nodo come irraggiungibile

Conteggio ad infinito



Y to X	
X	4
Z	6

Y to X	
X	60
Z	6

Y to X	
X	60
Z	6

Y to X	
X	60
Z	8

Y to X	
X	60
Z	8

Z to X	
X	50
Y	5

Z to X	
X	50
Y	5

Z to X	
X	50
Y	7

Z to X	
X	50
Y	7

Z to X	
X	50
Y	9

Time →

Cost link between x and y changes

Vettore di distanza pro e contro

- Il vettore di distanza è facile da implementare, ma:
 - I nodi non hanno informazioni topologiche
 - Difficoltà di prevedere il suo comportamento per reti estese
 - Elevata complessità (in mezzo a $O(N^2)$ e $O(N^2)$)
 - Struttura di rete gerarchica
 - Lenta convergenza

Indirizzamento Link - State

- Periodica diffusione di informazioni sullo stato del link
- Coppia di interruttori
 - Collegamento di test tra di loro
 - Messaggio di broadcast sullo stato del link
- Ricevente
 - Riceve i messaggi di stato
 - Calcola nuove rotte
 - Utilizza un algoritmo di Dijkstra
- Processo eseguito in caso di necessità
 - Quando muoiono / riappaiono 34 connessioni

Algoritmo di Dijkstra

- Ingresso
 - Grafico con bordi ponderati
 - Nodo obbiettivo
- Uscita
 - Set dei percorsi più brevi dal nodo obbiettivo agli altri nodi
 - Costo di ogni percorso

Algoritmo di Dijkstra

- Let

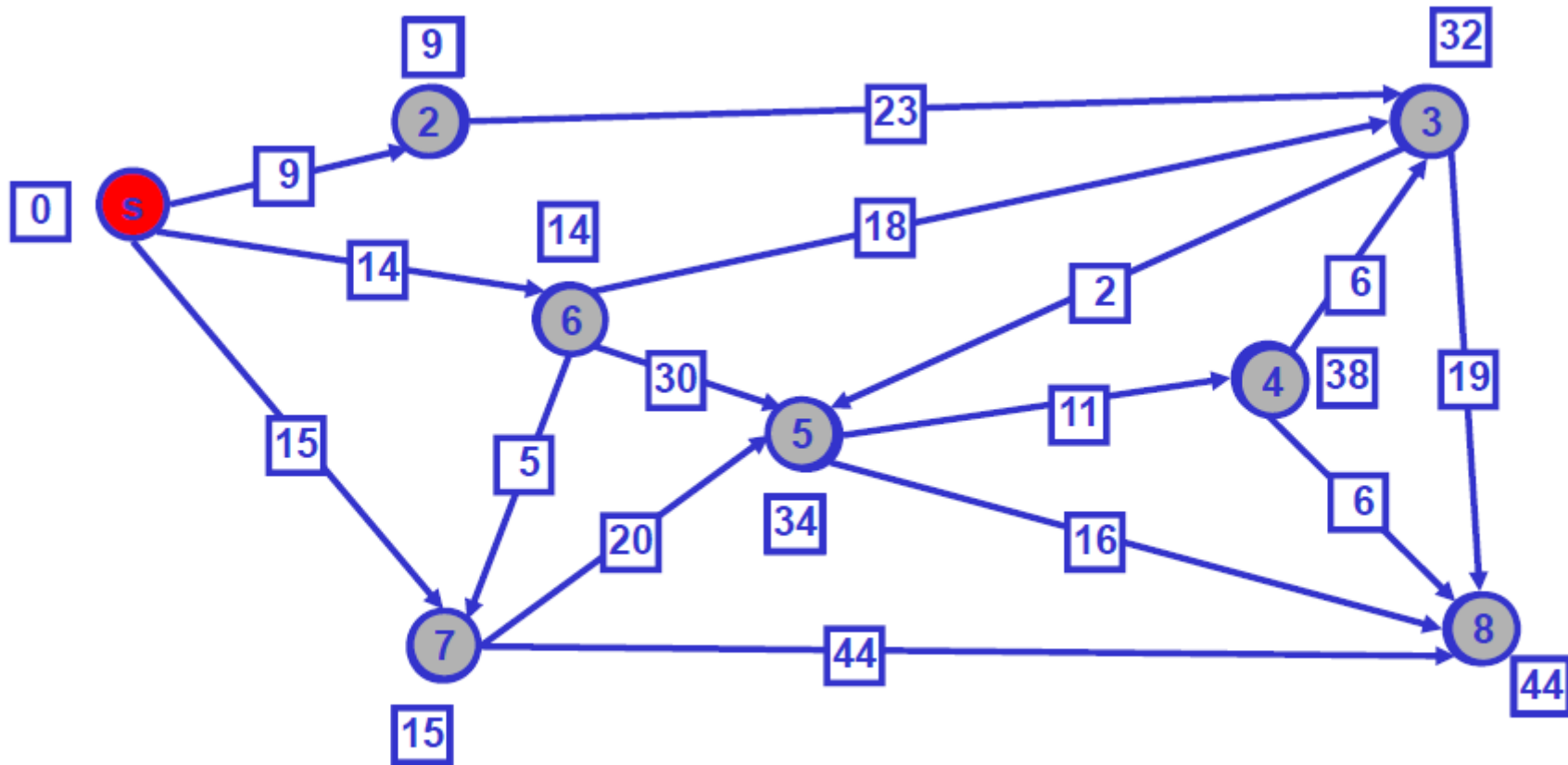
- N indica il set dei nodi nel grafico
- S indica il nodo per cui si calcola il percorso
- W_{ij} indica un costo non negativo (peso) o bordo dal nodo i al nodo j, infinito se non c'è un bordo
- C_{sn} indica il costo del percorso dal nodo s al nodo n
- P_j indica il salto successivo dal nodo s verso il nodo j

- Quindi l'algoritmo è definito come segue

```
1.  $\forall n \in N$  /* initialization */
2.   if  $n \neq s$ 
3.      $C_{sn} = \infty$ 
4.   else
5.      $C_{sn} = 0$ 

6. while not empty(N)
7.    $c = \operatorname{argmin} (C_{sn} : n \in N)$ 
8.    $N = N - \{c\}$ 
9.    $\forall n \in N$ 
10.    if  $C_{sn} > C_{sc} + w_{cn}$  then
11.       $C_{sn} = C_{sc} + w_{cn}$ 
12.       $P_n = c$ 
```

Algoritmo di Dijkstra



Link – State

(stato del collegamento)

pro e contro

- Le principali caratteristiche del link-state sono
 - Veloce convergenza
 - I nodi hanno informazioni topologiche
 - Piccola quantità di pacchetti scambiati
 - Buona scalabilità (la complessità è $O(E \log N)$)
- Ma i problemi sono
 - La quantità di informazioni salvate in ogni nodo è elevata
 - Non adatto per reti di broadcasting
 - Oscillazioni sono possibili quando i cambiamenti sono frequenti

Distance Vector Vs Link State

- Complessità dei messaggi
 - DV scambia messaggi tra vicini
 - LS con N nodi e E connessioni, $O(NE)$ messaggi mandati
- Velocità di convergenza
 - DV
 - Può esserci un “routing loops”
 - Problema di conteggio ad infinito
 - Tempo di convergenza variabile
 - LS
 - Richiede $O(NE)$ messaggi
 - Possono esserci oscillazioni
- Robustezza: cosa succede in caso di cattivo funzionamento del router
 - DV
 - I nodi possono avvertire di un costo non corretto dei percorsi
 - Ogni tabella dei nodi è usata dagli altri
 - Gli errori si propagano in rete
 - LS
 - I nodi possono avvertire di un costo non corretto dei collegamenti
 - Ogni nodo calcola solo la propria tabella

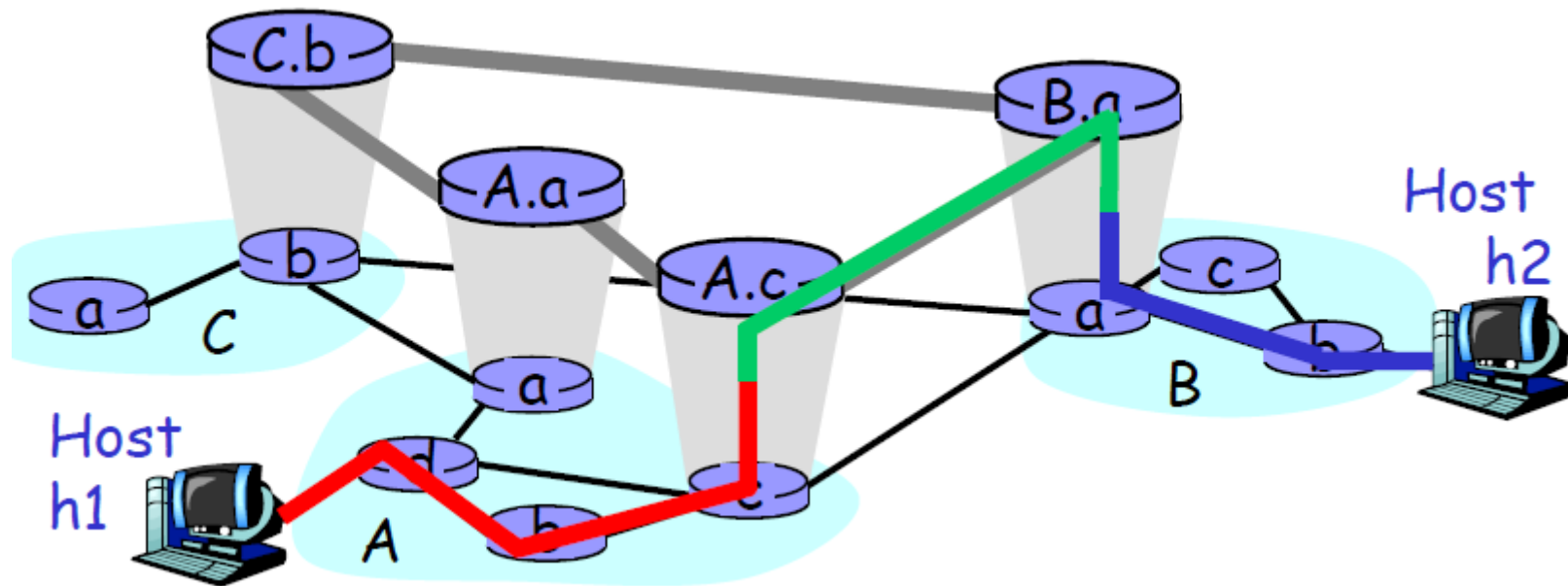
Realizzare l'indirizzamento per le reti globali

- Gamma con 50 milioni di destinazioni
 - Non è possibile salvare tutte le destinazioni in una tabella di indirizzamento
 - Lo scambio di tabelle di indirizzamento sarebbe come impantanare le connessioni
- Autonomia amministrativa
 - La rete globale (internet) è una rete di reti
 - Ogni amministratore di rete potrebbe voler controllare l'indirizzamento nella propria rete

Indirizzamento gerarchico

- I router sono aggregati in regioni chiamate, “sistemi autonomi” (AS)
- I router nello stesso AS eseguono lo stesso protocollo di routing, protocollo di routing “intra-AS”
- I router in differenti AS possono eseguire differenti protocolli di routing “intra-AS”
- Router gateway sono router speciali in AS
 - Eseguono protocolli di routing “intra-AS” con tutti gli altri router in AS
 - Sono anche responsabili del routing verso destinazioni al di fuori dell'AS come l'esecuzione del protocollo di routing “inter-AS” con altri router gateway

Indirizzamento gerarchico



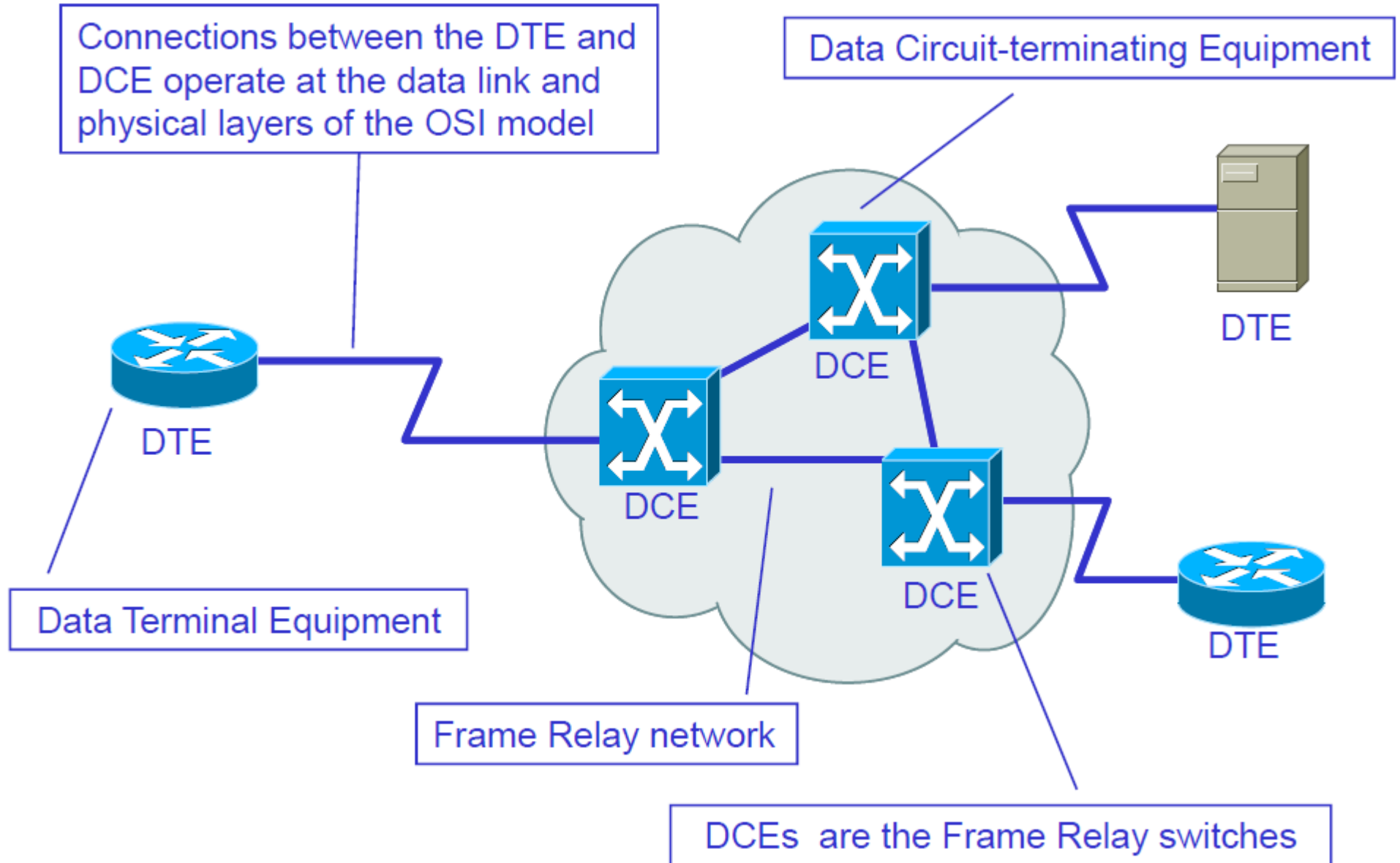
Tecnologia WAN

- Nel passato
 - Arpanet
 - X.25
- Oggi
 - Frame Relay
 - Asynchronous Transfer Mode (ATM)
 - Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

Frame Relay

- La tecnologia orientata alla connessione per la trasmissione economica dei dati con una velocità accettabile
- Molto utilizzato per le connessioni virtuali permanenti per le quali il segnale di connessione stabilita non è necessario
- Non fornisce il controllo di flusso o di errore
 - Devono essere forniti dei protocolli di livello superiore
- Funziona fino a 45 Mbps con 56 kbps e 384 kbps diventa la più popolare

Struttura Frame Relay



Dispositivi Frame Relay

- Data Terminal Equipment (DTE)
 - Generalmente i DTE sono considerate attrezzature terminali di una specifica rete e solitamente sono localizzate nel locale di un cliente
 - Esempi di dispositivi DTE terminali sono personal computer router e ponti
- Data Circuit Terminating Equipment (DCE)
 - I DCE sono vettori di proprietà dei dispositivi di internetworking
 - Lo scopo di apparecchiature DCE è quello di fornire servizi di clock e di commutazione nella rete, sono dispositivi che trasmettono effettivamente dati attraverso la rete WAN

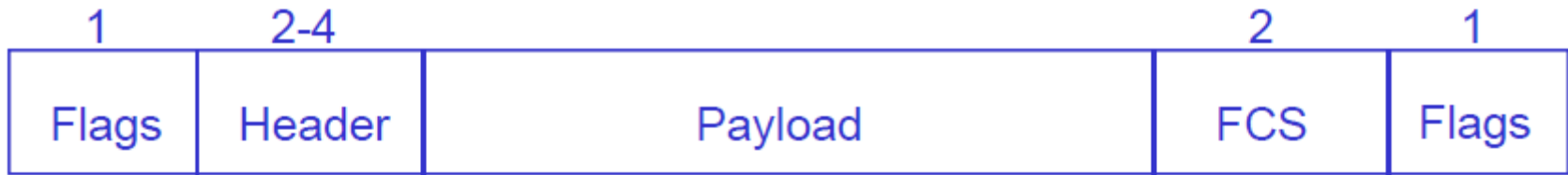
Commutazione di pacchetto

Frame Relay

- Il Frame Relay opera su un circuito virtuale permanente, il che significa che esiste un collegamento permanente tra il DCE iniziale e il DCE finale attraverso le reti Frame Relay
 - Pertanto non è necessario chiamate di configurazione e terminazione
- Frame Relay ha due stati:
 - Trasferimento dati: tra il DCE e il DTE dei provider
 - Inattivo: la linea è attiva, ma nessun dato viene trasferito

Pacchetto Frame Relay

Contains information for data link connection identification, and for congestion control

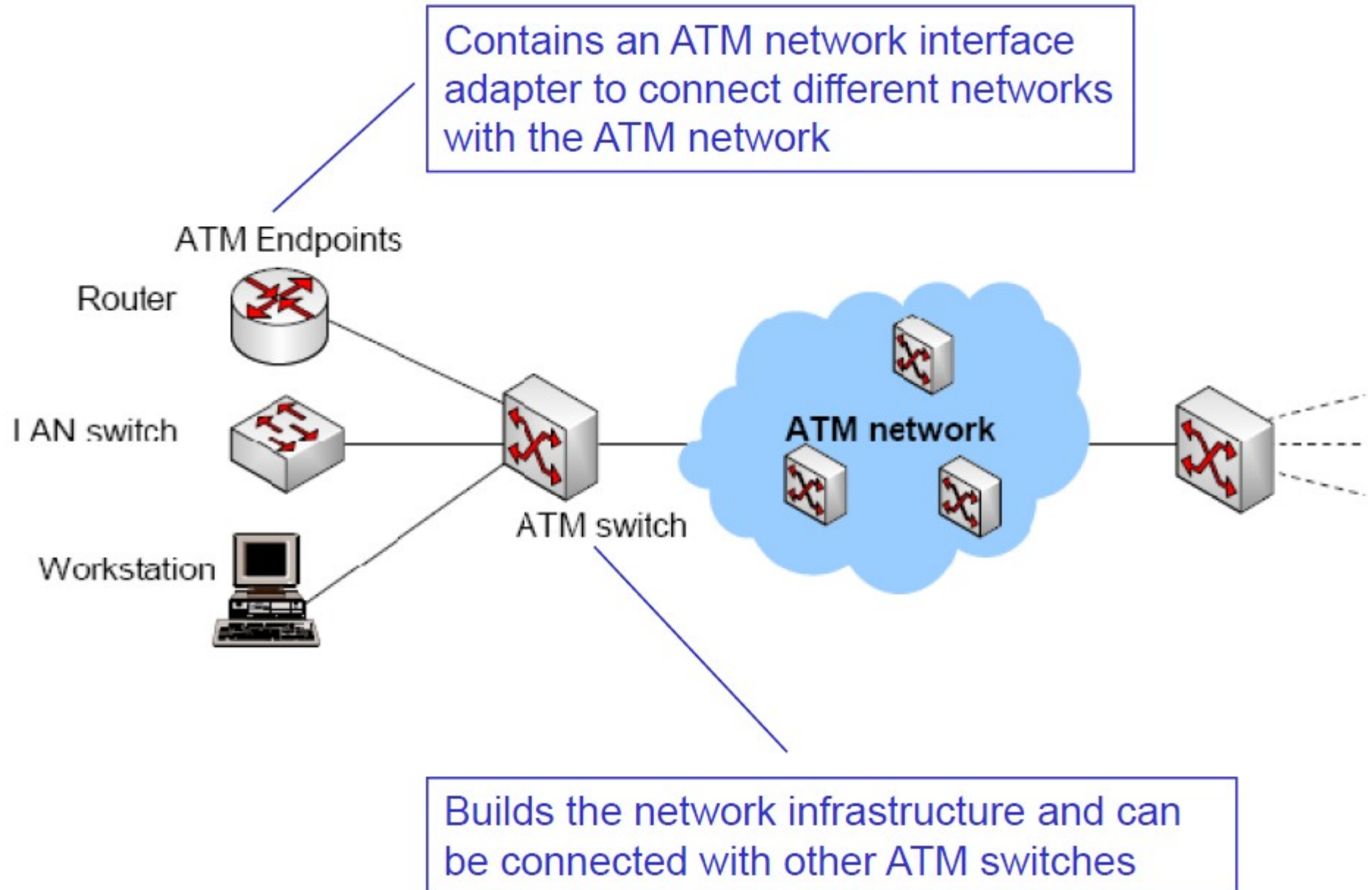


Payload has a variable length

ATM

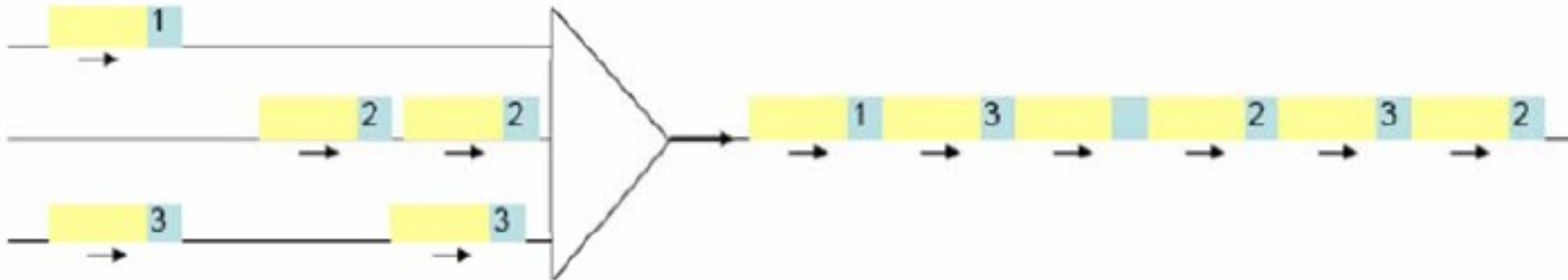
- Acronimo di Asynchronous Transfer Mode
- È stato progettato da compagnie telefoniche per l'utilizzo in reti estese, ma è spesso utilizzato in reti locali
- Destinata ad accogliere voce, video e dati
- Prestazioni garantite (statistica)
 - Connessione interfaccia orientata
 - Spedizione pacchetti effettuato dall'hardware
- Funziona fino a 622 Mbps

Infrastruttura ATM



Scambio pacchetti ATM

- La commutazione dei pacchetti è come la divisione di tempo a multiplexing ma senza slot di tempo riservati



- Multiplexing asincrono del tempo di più connessioni virtuali
- Flusso continuo di celle
- Celle inutilizzate vengono inviate vuote
- All'interno di situazioni di sovraccarico, le celle vengono scartate

Celle ATM

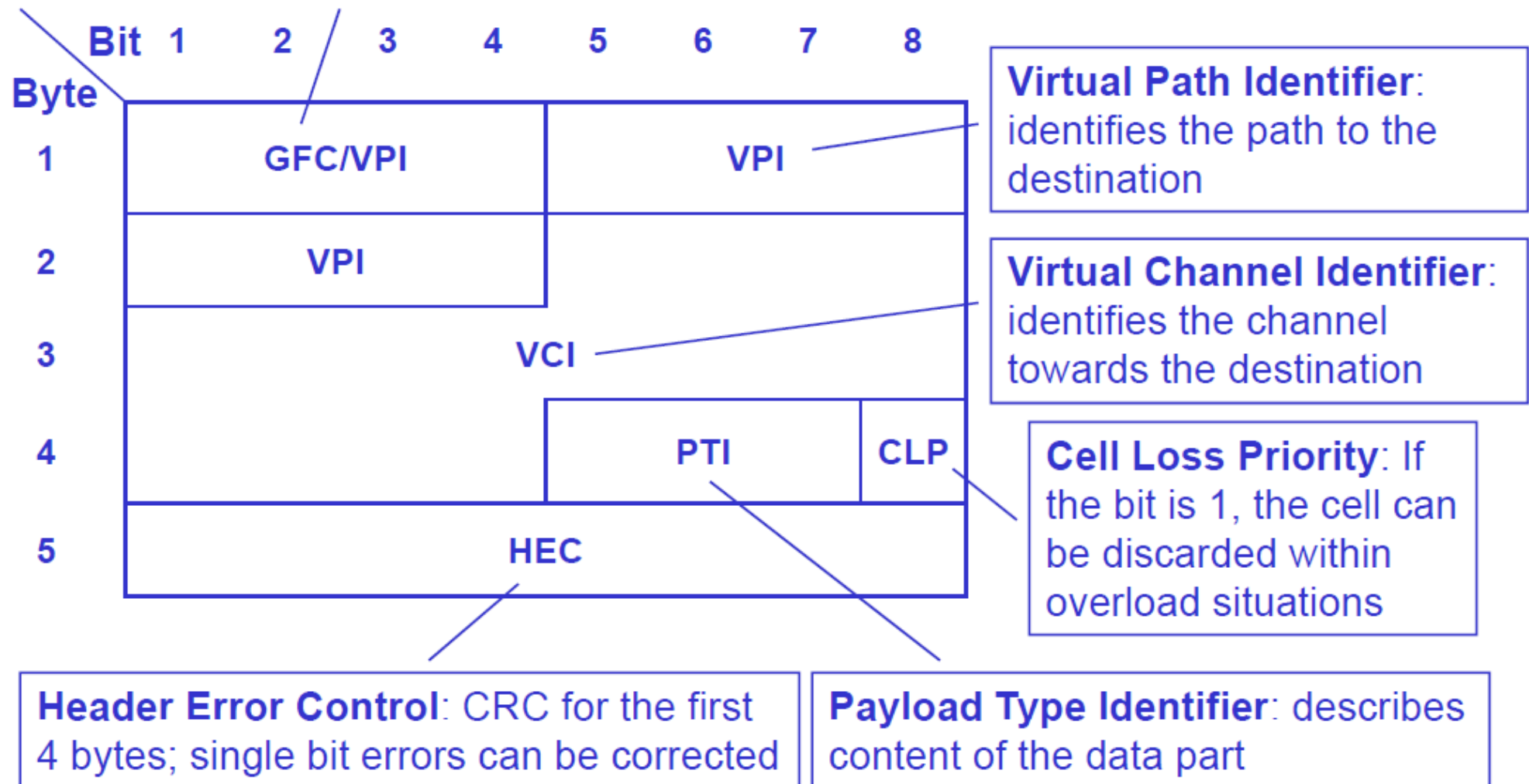
Network-Network Interface (NNI) header for communication between two switches



User-Network Interface (UNI) header for communication between switches and endpoints

Cella di intestazione

Generic Flow Control: used only with UNI, for local control of the transmission of data into the network. With NNI these bits are used to increase the VPI field



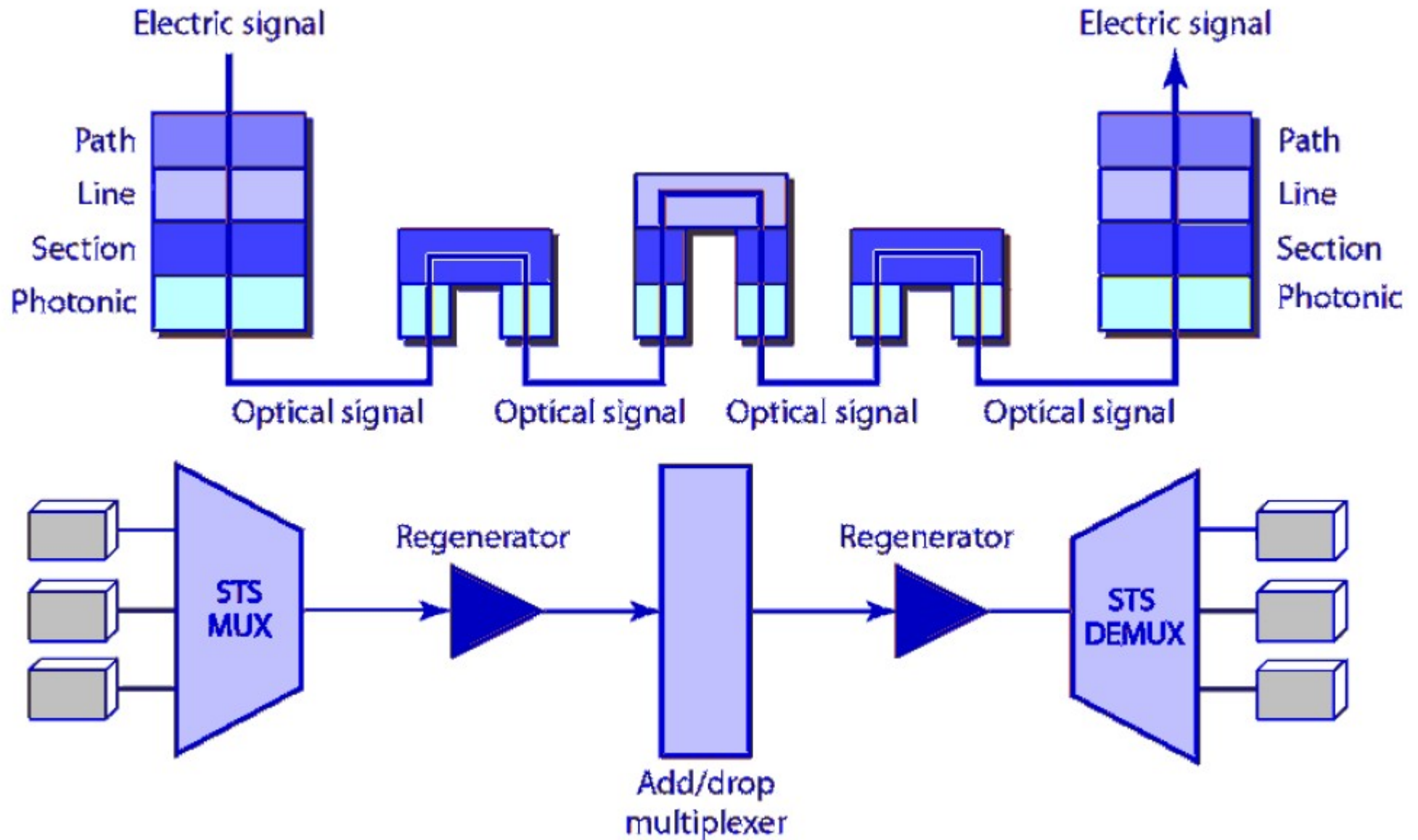
Integrazione dell'ATM nelle reti esistenti

- ATM offre un'interfaccia simile ai livelli superiori a TCP nei protocolli internet
- ATM ha avuto problemi durante la sua introduzione:
 - Pochissime le applicazioni che si basano direttamente su ATM
 - Nelle interconnessioni di reti il protocollo TCP / IP è lo standard
 - Senza associazione TCP / IP, ATM non potrebbe essere venduto!
- Pertanto sono state definite diverse soluzioni per l'ATM
 - IP over ATM
 - LAN emulation

SDH

- Acronimo di Synchronous Digital Hierarchy
- Definisce un insieme di standard di livello fisico per le comunicazioni su fibra ottica
- Può avere topologie di rete point to point, ad anello e a maglia
- Funziona fino a 10 Gbps
- È utilizzato in Europa e in Giappone, ma una tecnologia equivalente, chiamato synchronous Optical Network (SONET) è utilizzato in Nord America

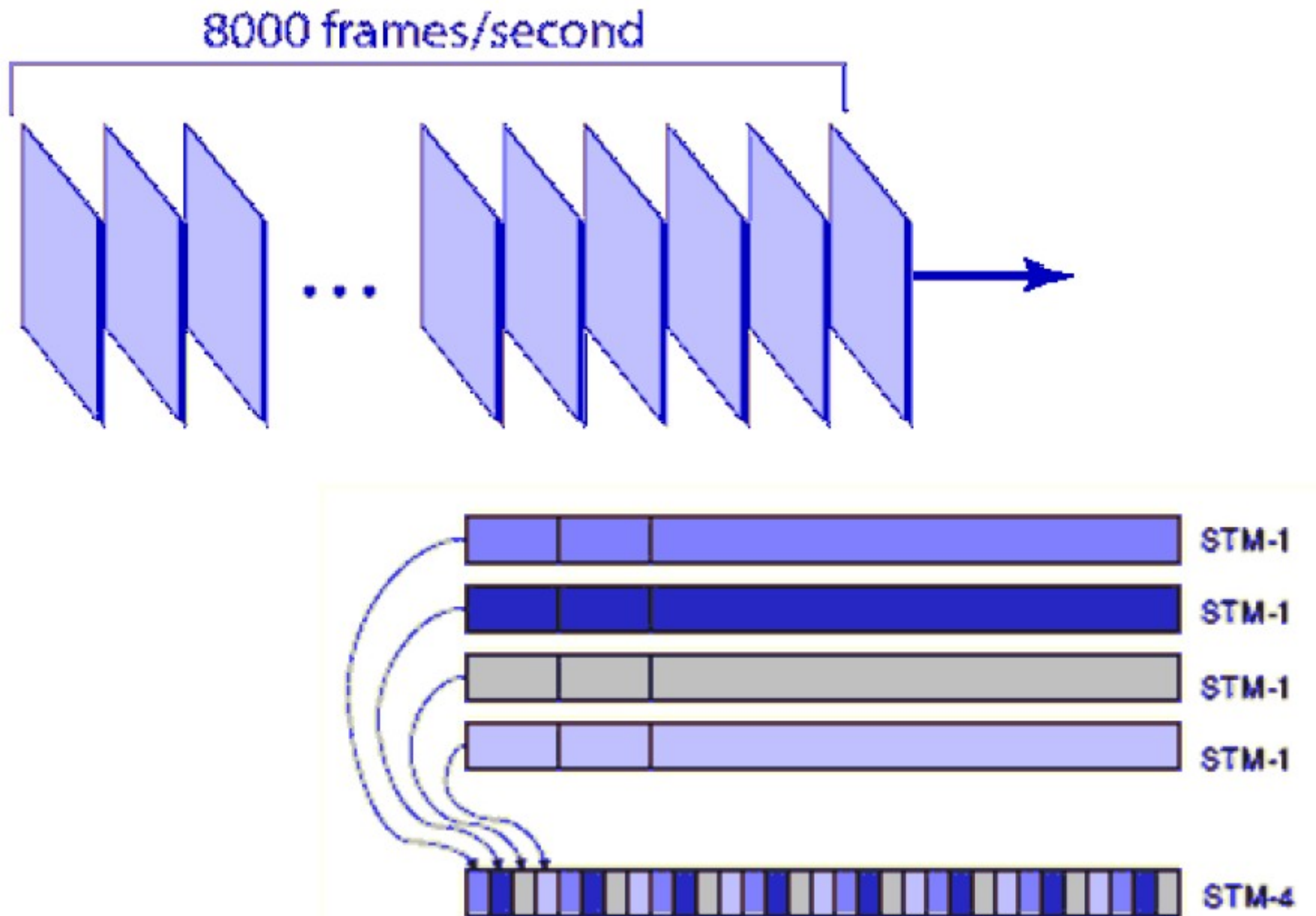
Infrastruttura SDH



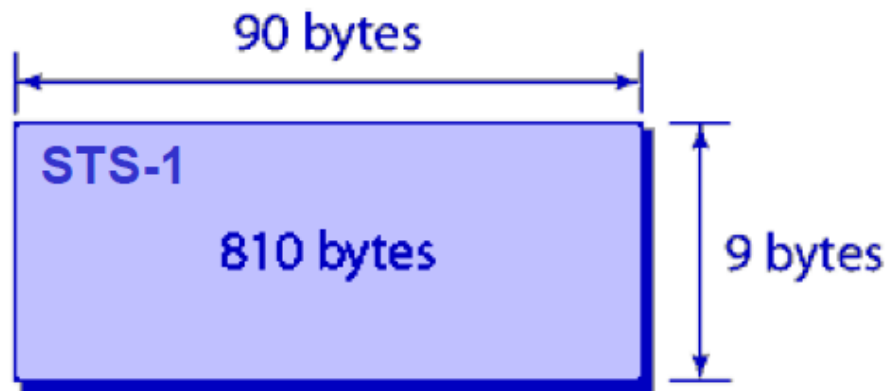
Scambio di pacchetti SDH

- La trasmissione è organizzata in una sequenza continua di pacchetti
- Ogni pacchetto contiene un numero fisso di slot di tempo
- Ogni slot di tempo è preassegnato ad una specifica connessione in ingresso
- Se il buffer di un collegamento di ingresso non dispone di dati, allora i suoi slot di tempo associati sono trasmessi vuoti
- Uno slot di tempo dedicato ad una connessione in ingresso ripete continuamente pacchetto dopo pacchetto, formando così un canale o un tronco

Scambio di pacchetti SDH



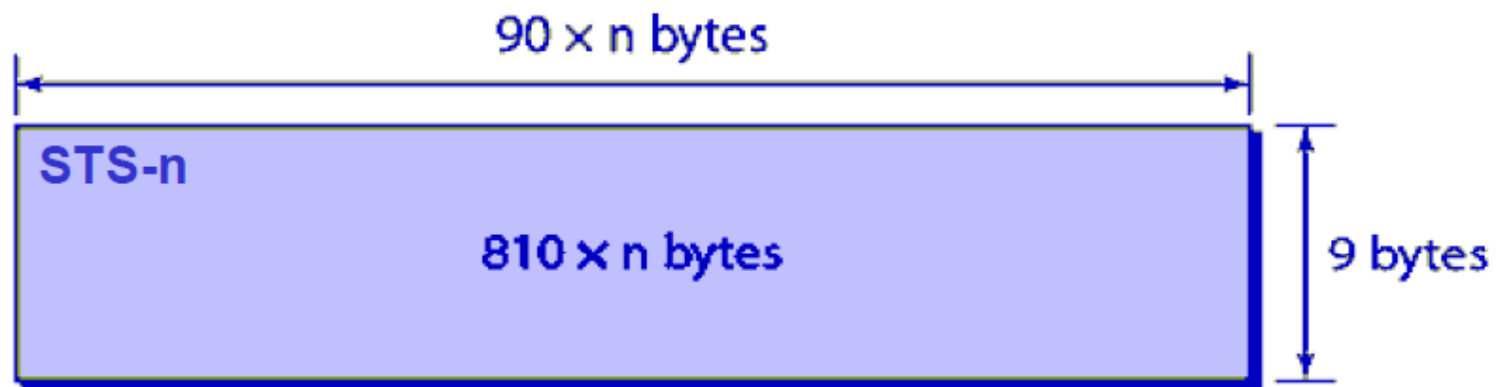
SDH STS



STS is the acronym of Synchronous Transfer Signal

An STS frame contains section, line and path headers and data

STS-1 speed is $810 \times 8 \times 8000 = 51,84$ Mbps



STS-n speed is $n \times 51,85$ Mbps