

# Livello di Rete

Gaia Maselli  
maselli@di.uniroma1.it

Queste slide sono un adattamento delle slide fornite dal libro di testo e pertanto protette da copyright.

All material copyright 1996-2007 J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

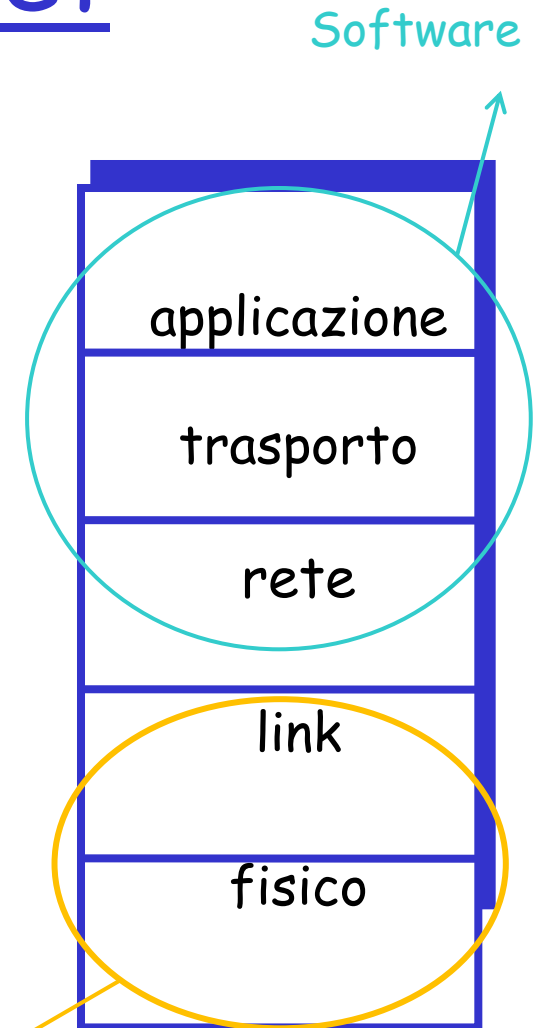
# Livello di rete

## Obiettivi :

- Capire i principi che stanno dietro i servizi del livello di rete:
  - Modelli di servizio del livello di rete
  - Funzioni di inoltro e di instradamento
  - Come funziona un router
  - Routing (scelta del percorso)
  - Scalabilità
  - Argomenti avanzati: IPv6, mobilità

# Pila di protocolli Internet

- ❑ **applicazione:** di supporto alle applicazioni di rete
  - FTP, SMTP, HTTP
- ❑ **trasporto:** trasferimento dei messaggi a livello di applicazione tra il modulo client e server di un'applicazione
  - TCP, UDP
- ❑ **rete:** instradamento dei datagrammi dall'origine al destinatario
  - IP, protocolli di instradamento
- ❑ **link (collegamento):** instradamento dei datagrammi attraverso una serie di commutatori di pacchetto
  - PPP, Ethernet
- ❑ **fisico:** trasferimento dei singoli bit



Hardware

# Esempio

- Livello di **trasporto**: comunicazione tra **processi**
- Livello di **rete**: comunicazione tra **host**
- Il livello di rete di H1 prende i segmenti dal livello di trasporto, li incapsula in un datagramma, e li trasmette al router più vicino
- Il livello di rete di H2 riceve i datagrammi da R2, estrae i segmenti e li consegna al livello di trasporto
- Il livello di rete dei nodi intermedi inoltra verso il prossimo router

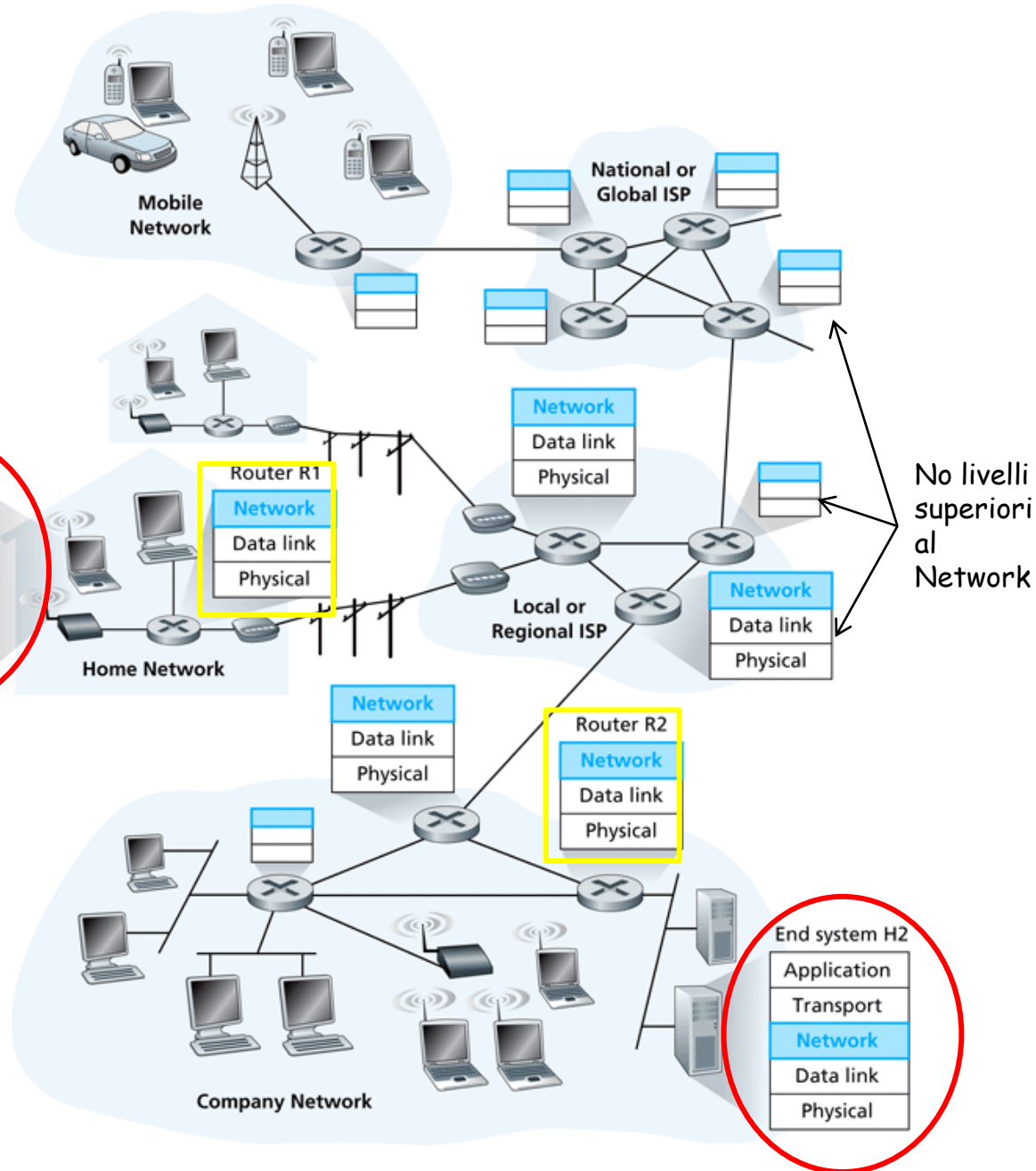
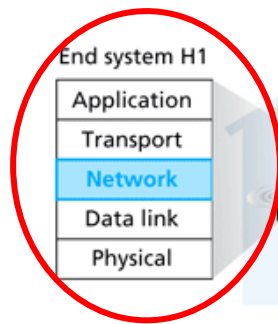
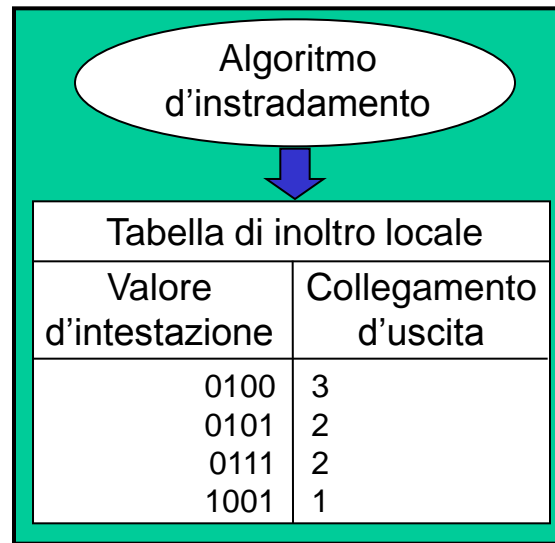


Figure 4.1 ♦ The network layer

# Funzioni chiave del livello di rete

- *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
    - *Algoritmi di routing (d'instradamento)*
  - *Instaurazione delle connessioni* (solo reti a circuito virtuale)
- analogia:
- *inoltro*: processo di attraversamento di un determinato svincolo
  - *instradamento*: processo di pianificazione di un viaggio dall'origine alla destinazione

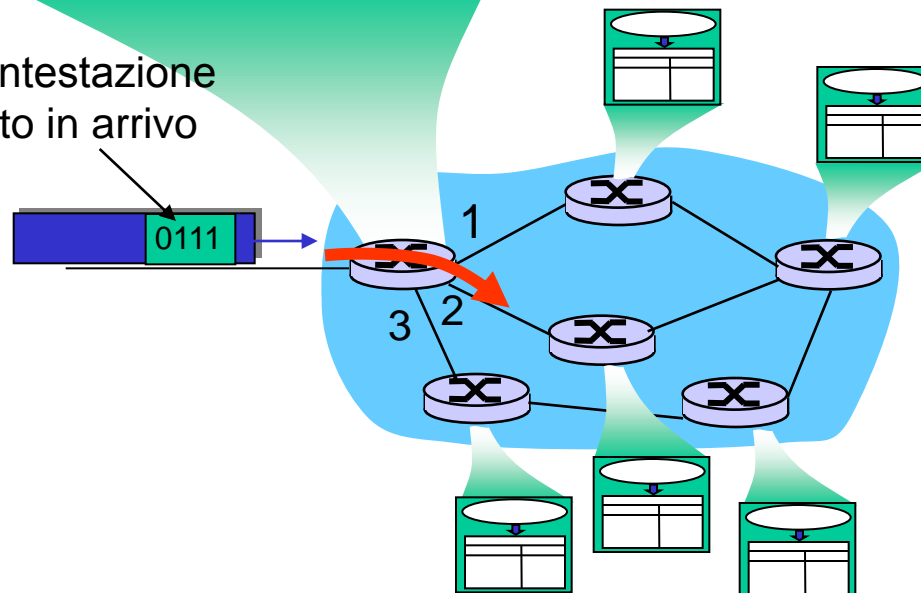
# Routing e forwarding



**Routing algorithm:** crea la forwarding table (determina i valori inseriti nella tabella)

**Forwarding table:** specifica quale collegamento di uscita bisogna prendere per raggiungere la destinazione

Valore nell'intestazione del pacchetto in arrivo



Ogni router ha la propria forwarding table

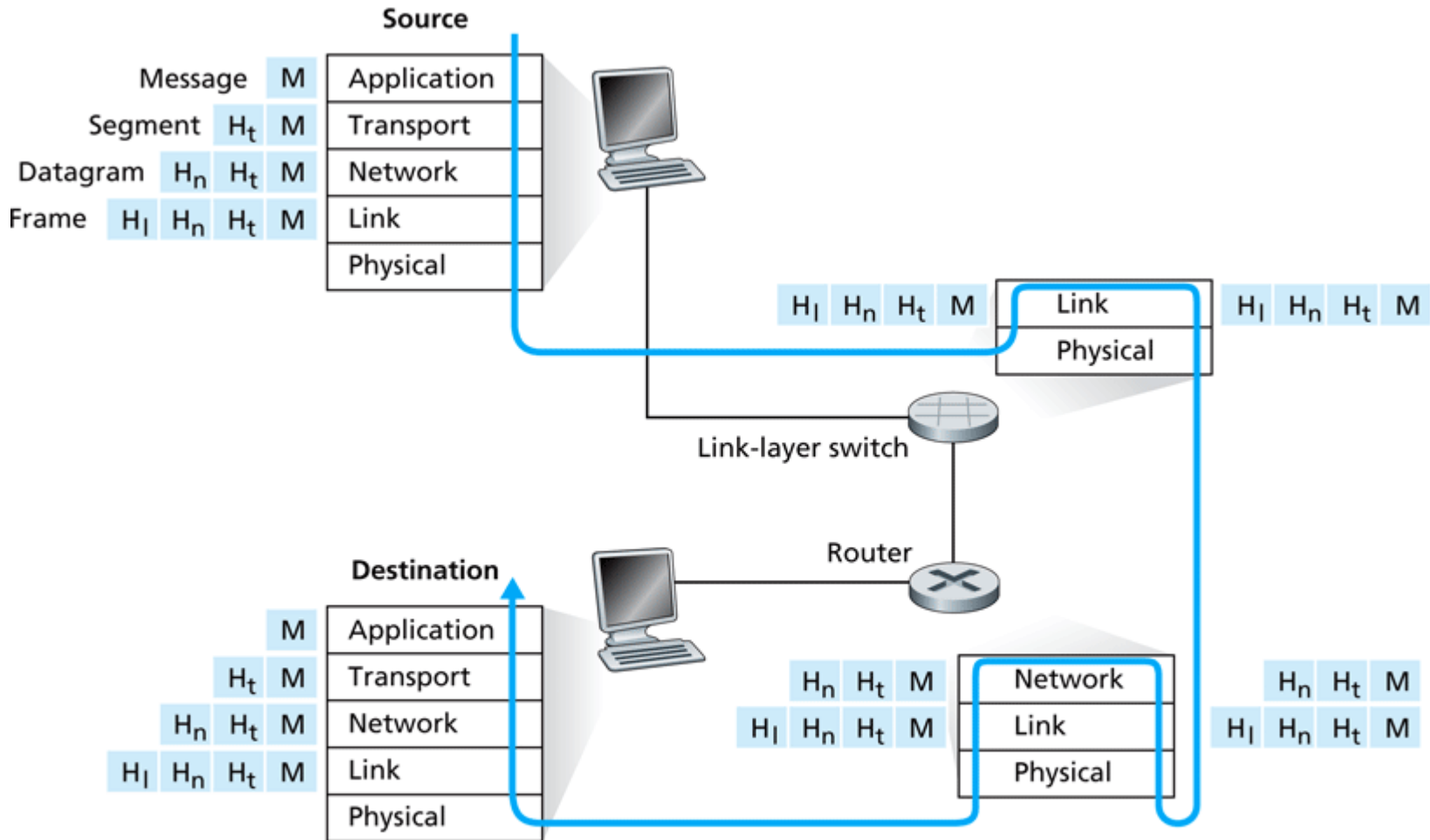
# Switch e router

*Packet switch (commutatore di pacchetto):*

dispositivo che si occupa del trasferimento dall'interfaccia di ingresso a quella di uscita, in base al valore del campo dell'intestazione del pacchetto

1. *Link-layer switch (commutatore a livello di collegamento):* stabiliscono l'inoltro in relazione al valore del campo di collegamento (livello 2)
2. *Router:* stabiliscono l'inoltro in base al valore del campo nel livello di rete (livello 3)

# Host, router, link-layer switch

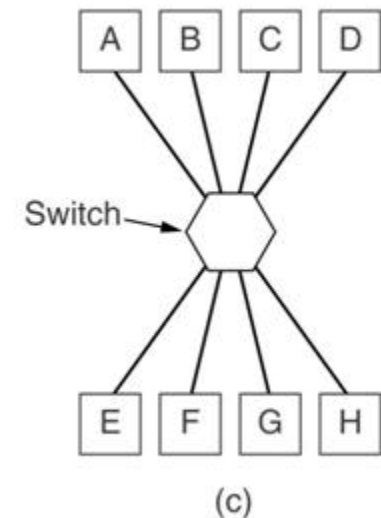
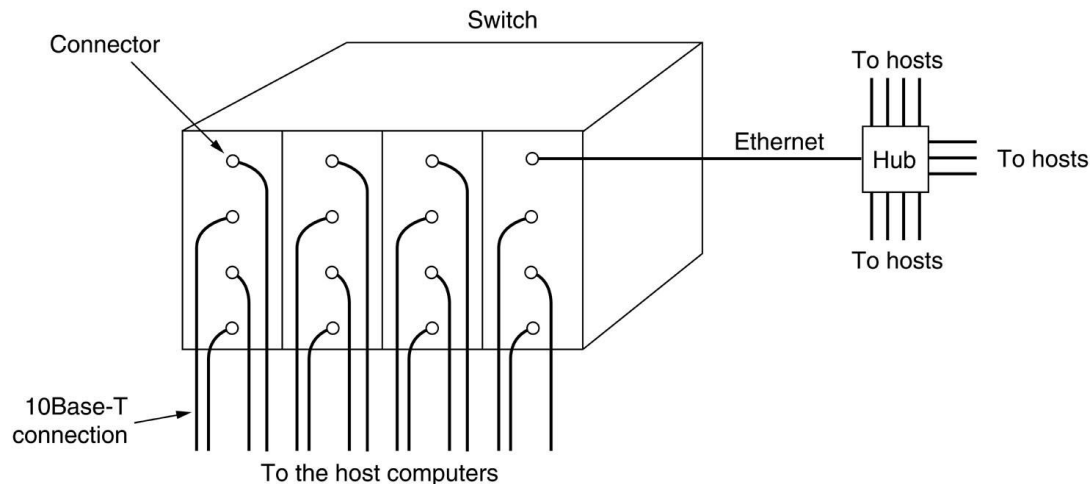


**Figure 1.20** ♦ Hosts, routers, and link-layer switches; each contains a different set of layers, reflecting their differences in functionality.



# Link-layer switch

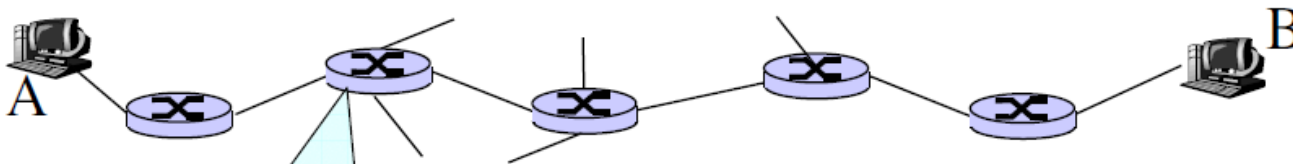
- ❑ Instrada pacchetti al livello 2 (collegamento)
- ❑ Utilizzato per collegare singoli computer all'interno di una rete LAN



# Router

□ Instrada pacchetti al livello 3 (rete)

□ Forward a chunk of information (called *packet*) arriving on one of its communication links to one of its outgoing communications link (the *next hop* on the source-to-destination path)



forwarding

- Receives the packet
- Based on a routing table and the destination address, computes the 'next hop' to the destination
- Forwards the packet to the next hop
- The process of computing and maintaining the routing table is called Routing

Routing table

Dest. Address	Next Hop

# Impostazione della connessione

- ❑ Terza importante funzione del livello di rete:
  - ATM (asynchronous transfer mode), frame relay, X.25
- ❑ Prima che i datagrammi fluiscano, i due sistemi terminali e i router intermedi stabiliscono una connessione virtuale
  - i router vengono coinvolti
- ❑ Differenza tra servizio di connessione a livello di trasporto e a livello di rete:
  - **Rete:** tra due host, coinvolge router intermedi
  - **Trasporto:** tra due processi

# X25, frame relay, ATM

## □ X.25

- primo esempio di rete orientata alla connessione
- prima rete dati pubblica (anni 70)
- Per usare X.25 il computer sorgente stabilisce una connessione (con identificativo) con il computer remoto mediante chiamata telefonica
- Poi scambio di dati (3 bytes header + 128 byte dati)

## □ Frame Relay

- Ha soppiantato X.25 negli anni 80
- Rete orientata alla connessione (pacchetti in sequenza) senza controllo di flusso o di errore
- Ancora usata per interconnessione di LAN tra uffici distinti di un'azienda

# ATM (Asynchronous transfer mode)

- ❑ Rete orientata alla connessione
- ❑ Progettata nei primi anni 90
- ❑ Scopo di unificare voce, dati, televisione via cavo, etc.
- ❑ Attualmente usata nella rete telefonica per trasportare (internamente) pacchetti IP
- ❑ Le connessioni vengono chiamate *circuiti virtuali* (in analogia con quelli telefonici che sono circuiti fisici)
- ❑ Quando una connessione è stabilita, ciascuna parte può inviare dati (suddivisi in celle di 53 bytes)
- ❑ Maggiori dettagli più avanti...

# Funzioni chiave del livello di rete

- ❑ Routing
- ❑ Forwarding
- ❑ Instaurazione della connessione (per reti orientate alla connessione)

# Modello di servizio del livello di rete

**D:** Qual è il *modello di servizio* per il livello di rete 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

# Modelli di servizi del livello di rete

Network Architecture	Service Model	Bandwidth Guarantee	No-Loss Guarantee	Ordering	Timing	Congestion Indication
Internet	Best Effort	None	None	Any order possible	Not maintained	None
ATM	CBR	Guaranteed constant rate	Yes	In order	Maintained	Congestion will not occur
ATM	ABR	Guaranteed minimum	None	In order	Not maintained	Congestion indication provided

**Table 4.1** ♦ Internet, ATM CBR, and ATM ABR service models

- ❑ *CBR: constant bit rate* - trasporta un flusso di celle ATM attraverso la rete in modo che il ritardo end-to-end di una cella, la variabilità di tale ritardo e la percentuale di celle perse siano inferiori ai valori specificati
- ❑ *ABR: available bit rate* - garantisce un minimo tasso trasmissivo. Se le condizioni della rete lo permettono, il rate può essere superiore al quello garantito
- ❑ *Best effort*: col massimo impegno possibile (in realtà nessun servizio)



# Livello di rete

Introduzione

Reti a circuito virtuale e  
a datagramma

Che cosa si trova  
all'interno di un  
router?

Protocollo Internet (IP)

- Formato dei datagrammi
- Indirizzamento IPv4
- ICMP
- IPv6

Algoritmi di  
instradamento

- Stato del collegamento
- Vettore distanza
- Instradamento gerarchico

Instradamento  
in Internet

- RIP
- OSPF
- BGP

Instradamento  
broadcast e multicast

# Reti a circuito virtuale e a datagramma

- ❑ Reti a datagramma offrono solo il servizio senza connessione.
- ❑ 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:
  - **Servizio:** da host a host
  - **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”

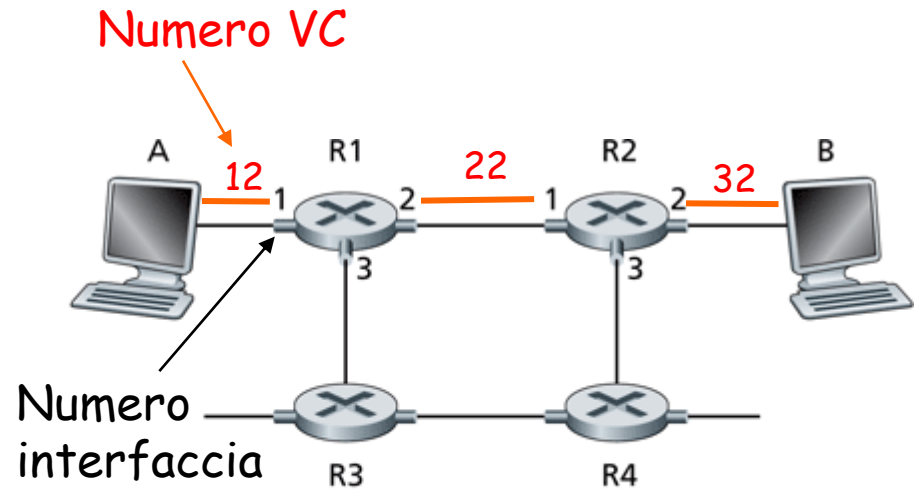
- ❑ prestazioni
  - ❑ coinvolgimento della rete durante il percorso tra sorgente e destinazione
- 
- ❑ Il pacchetto di un circuito virtuale ha un numero VC nella propria intestazione.
  - ❑ Un circuito virtuale può avere un numero VC diverso su ogni collegamento.
  - ❑ Ogni router sostituisce il numero VC con un nuovo numero.

# Implementazioni

Un circuito virtuale consiste in:

1. un percorso tra gli host origine e destinazione
  2. numeri VC, uno per ciascun collegamento
  3. 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:

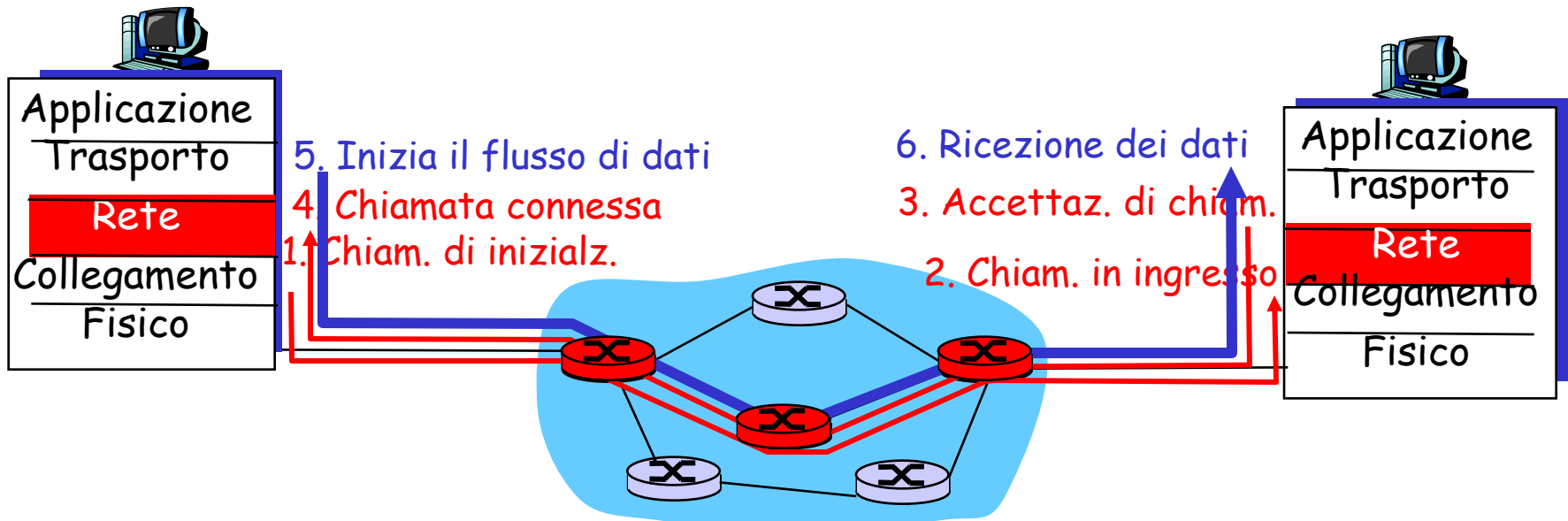
Interf.in ingresso	Nr. VC entrante	Interf. in uscita	Nr. VC uscente
1	12	2	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...	...	...	...

**I router mantengono le informazioni sullo stato delle connessioni!**

- Aggiungono alla tabella d'inoltro una nuova riga ogni volta che stabiliscono una nuova connessione (la cancellano quando la connessione viene rilasciata)

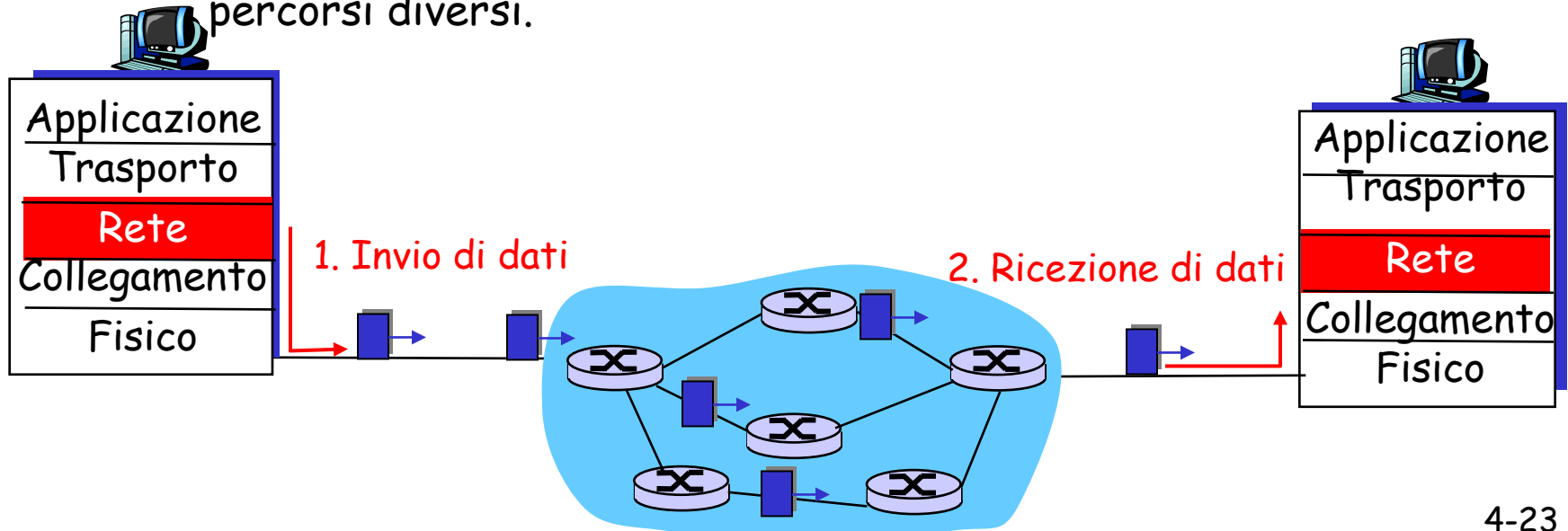
# Protocolli di segnalazione

- ❑ Messaggi inviati dai sistemi terminali per avviare, mantenere o concludere un circuito virtuale
- ❑ Usati in ATM, frame-relay e X.25
- ❑ Non usati in Internet.



# Reti a datagramma

- ❑ **Internet** è una rete a datagramma
- ❑ L'impostazione della chiamata non avviene a livello di rete
- ❑ I router della rete a datagramma non conservano informazioni sullo stato dei circuiti virtuali
  - ❑ Non c'è il concetto di "connessione" a livello di rete
- ❑ 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 e possono intraprendere percorsi diversi.



# Tabella d'inoltro

4 miliardi  
di possibili indirizzi

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



# Confronta un prefisso dell'indirizzo

<u>Corrispondenza di prefisso</u>	<u>Interfaccia</u>
11001000 00010111 00010	0
11001000 00010111 00011000	1
11001000 00010111 00011	2
altrimenti	3

## Esempi:

con: 11001000 00010111 00010110 10100001

Qual è l'interfaccia?

con: 11001000 00010111 00011000 10101010

Qual è l'interfaccia?

- ❑ Quando si verificano corrispondenze multiple si prende la corrispondenza a prefisso più lungo: viene determinata la corrispondenza più lunga all'interno della tabella e si inoltrano i pacchetti sull'interfaccia corrispondente.
- ❑ **Continuità** degli indirizzi

# Perché reti a circuito virtuale o a datagramma?

## 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
- ❑ Svareti tipi di link
  - Caratteristiche differenti
  - Difficile uniformarne il servizio

## ATM (VC)

- ❑ 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.