



# Evoluzione delle architetture di rete e dei servizi di telecomunicazione

## Parte 1: Fondamenti

Slide adattate da:

J. Kurose, K. Ross: *"Reti di calcolatori e Internet (4a edizione)"*. Pearson Addison Wesley

# Che cos'è Internet ?



PC



server



Portatile



Telefono  
cellulare



Punti di  
accesso



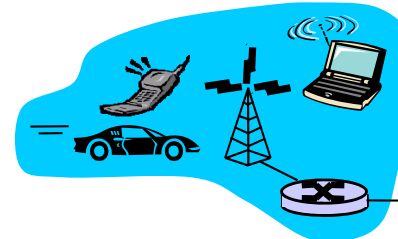
Collegam.  
cablato



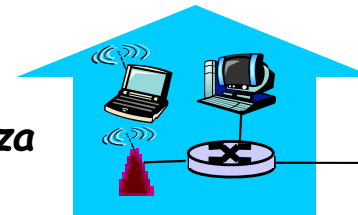
router

- *Host = sistema terminale*
- *Applicazioni di rete*
- *Collegamenti*
  - rame, fibra ottica, onde elettromagnetiche, satellite
  - Frequenza di trasmissione = *ampiezza di banda*
- *Router = instrada i pacchetti verso la loro destinazione finale*

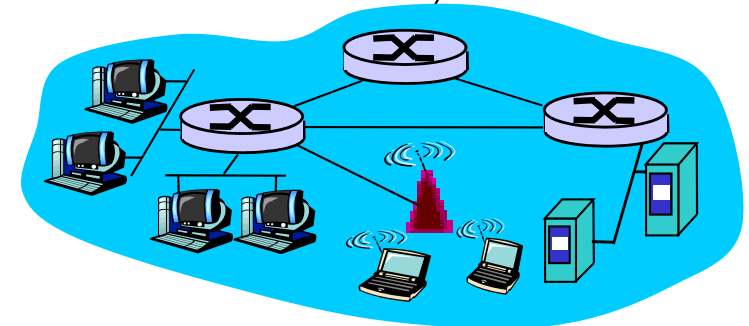
Rete mobile



Rete domestica



Rete aziendale



ISP nazionale  
o internazionale

ISP distrettuale

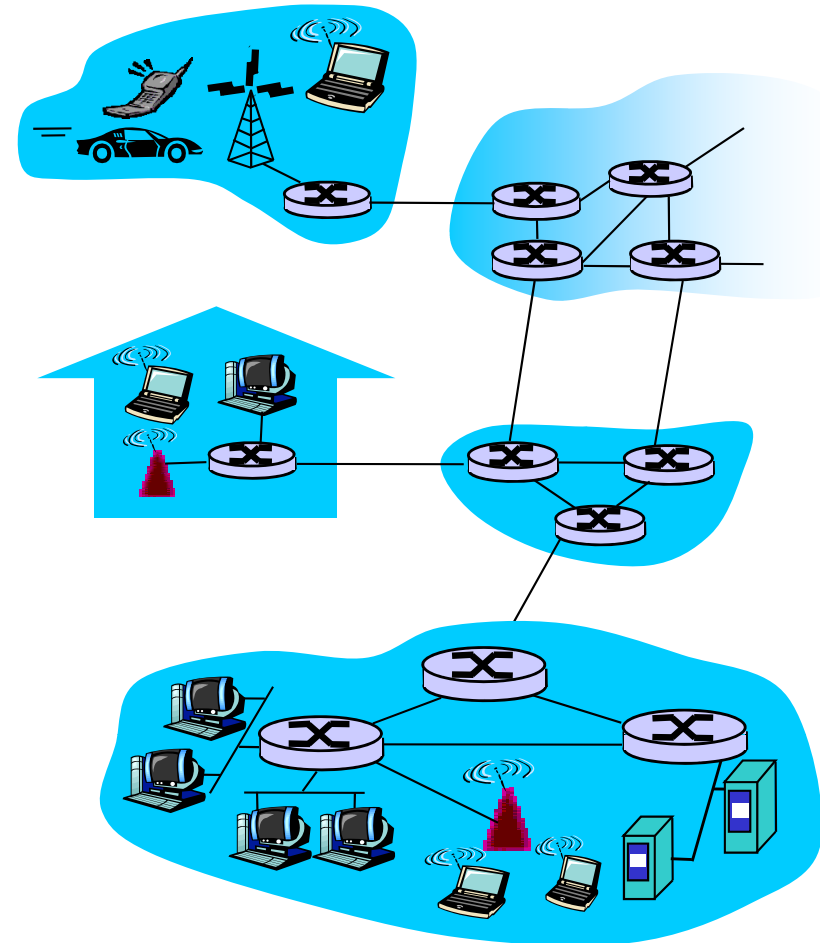
# Che cos'è Internet ?

## ■ Infrastruttura di comunicazione per applicazioni distribuite

- Social networks, Web, VoIP, e-mail, giochi, e-commerce, condivisione di file

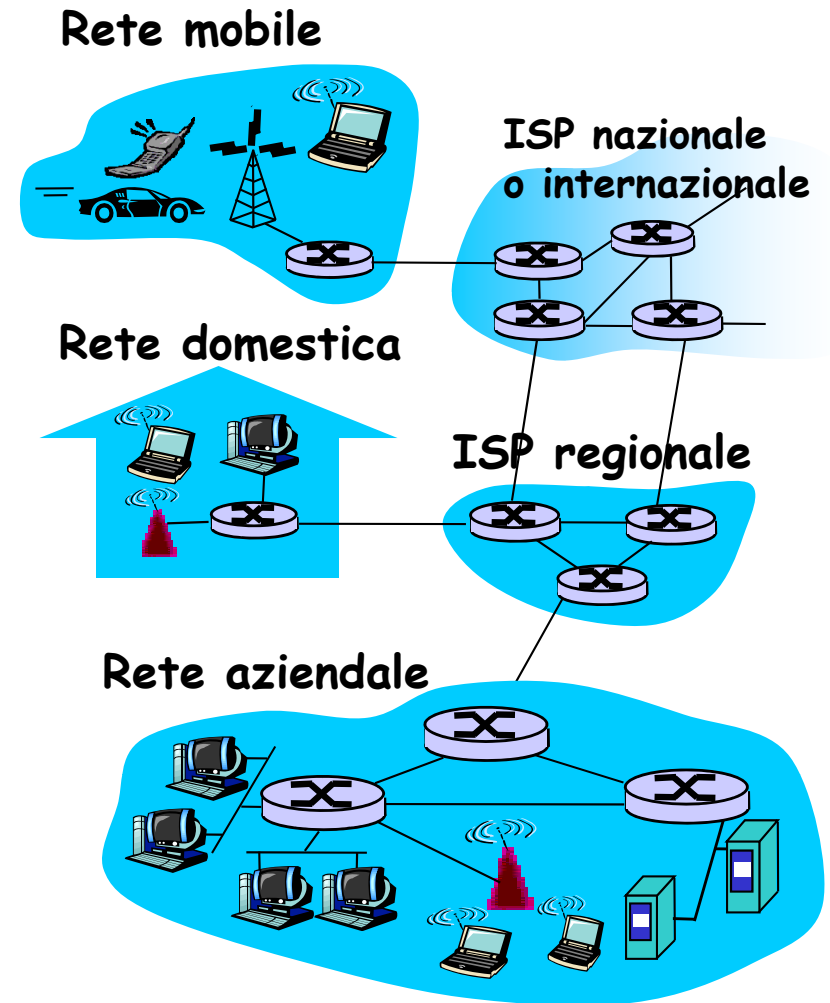
## ■ Servizi forniti alle applicazioni

- Servizio affidabile dalla sorgente alla destinazione
- Servizio "best effort" (non affidabile) senza connessione



# Che cos'è Internet ?

- Un **protocollo** definisce il formato e l'ordine dei messaggi scambiati fra due o più entità in comunicazione
  - es.: TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet
- **Internet: "rete delle reti"**
  - struttura gerarchica
  - Internet pubblica e intranet private
- Standard Internet
  - RFC: Request for comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



# Cos'è un protocollo ?

## Protocolli umani:

- "Che ore sono?"
- "Ho una domanda"
- Presentazioni

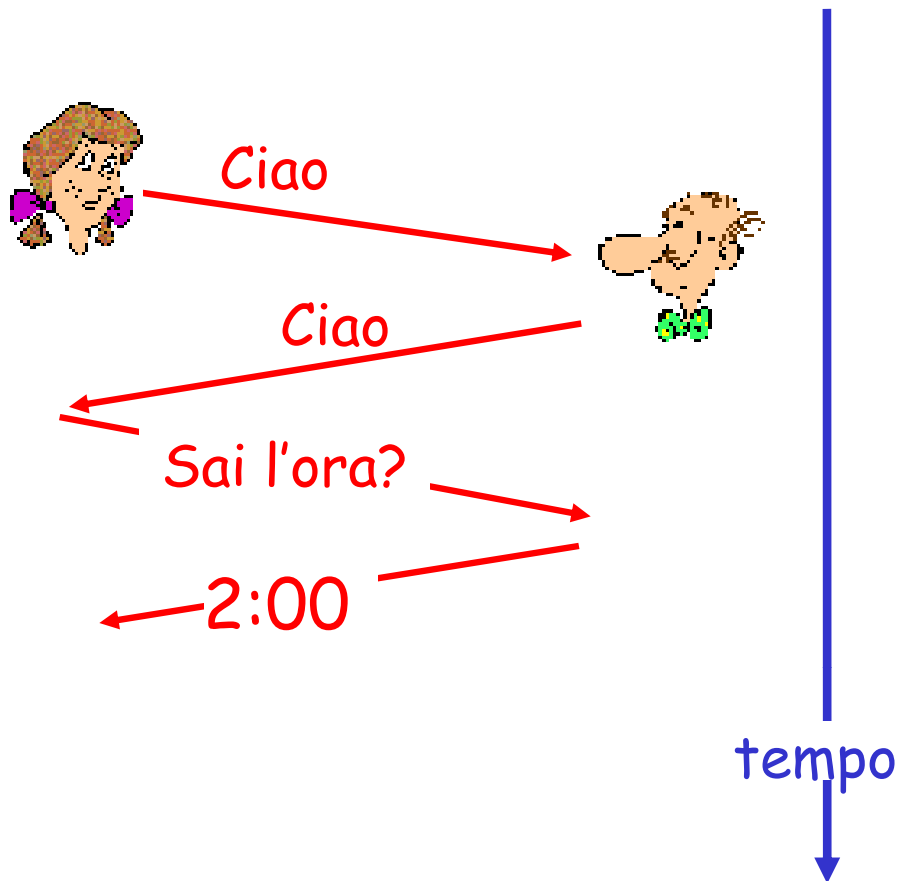
... invio di specifici messaggi  
... quando il messaggio è ricevuto, vengono intraprese specifiche azioni, o si verificano altri eventi

## Protocolli di rete:

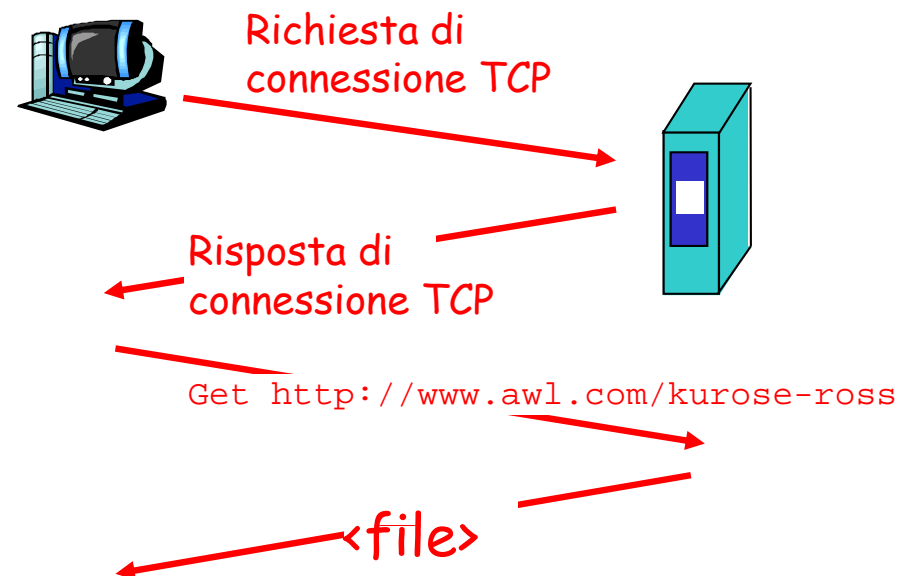
- Dispositivi hardware e software
- Tutta l'attività di comunicazione in Internet è governata dai protocolli

# Cos'è un protocollo ?

## Protocollo umano



## Protocollo di rete



# Struttura di rete

## ■ ai confini della rete

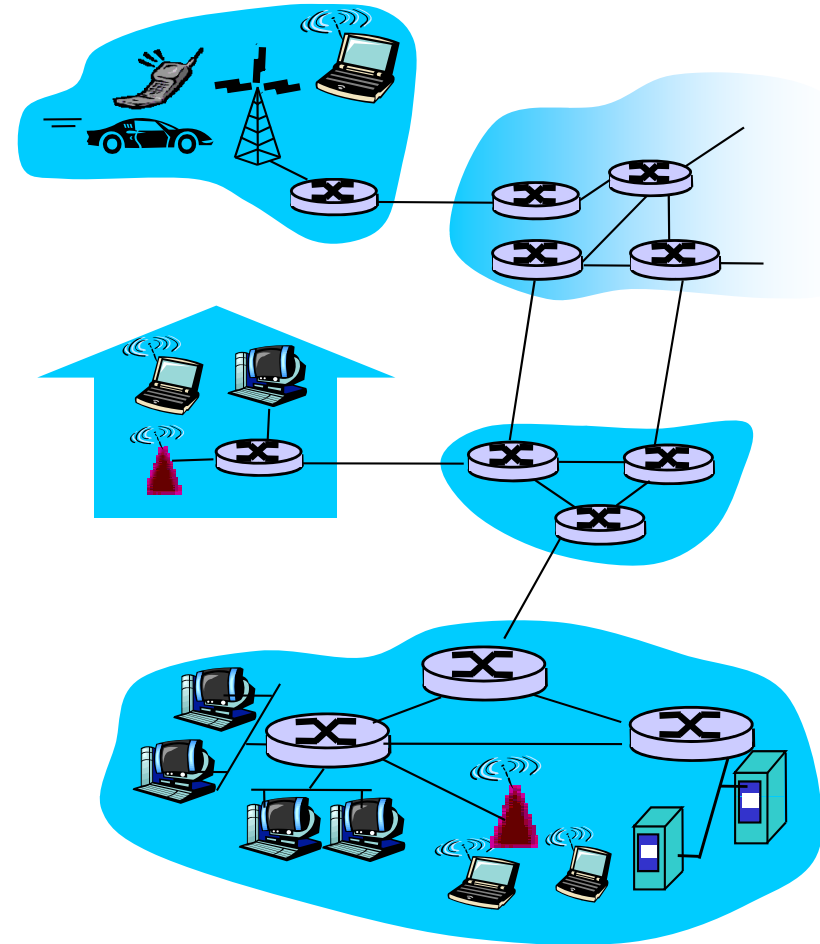
- applicazioni
- sistemi terminali

## ■ reti, dispositivi fisici

- collegamenti cablati
- wireless

## ■ al centro della rete

- router interconnessi
- la rete delle reti



# Ai confini della rete

## ■ sistemi terminali (host)

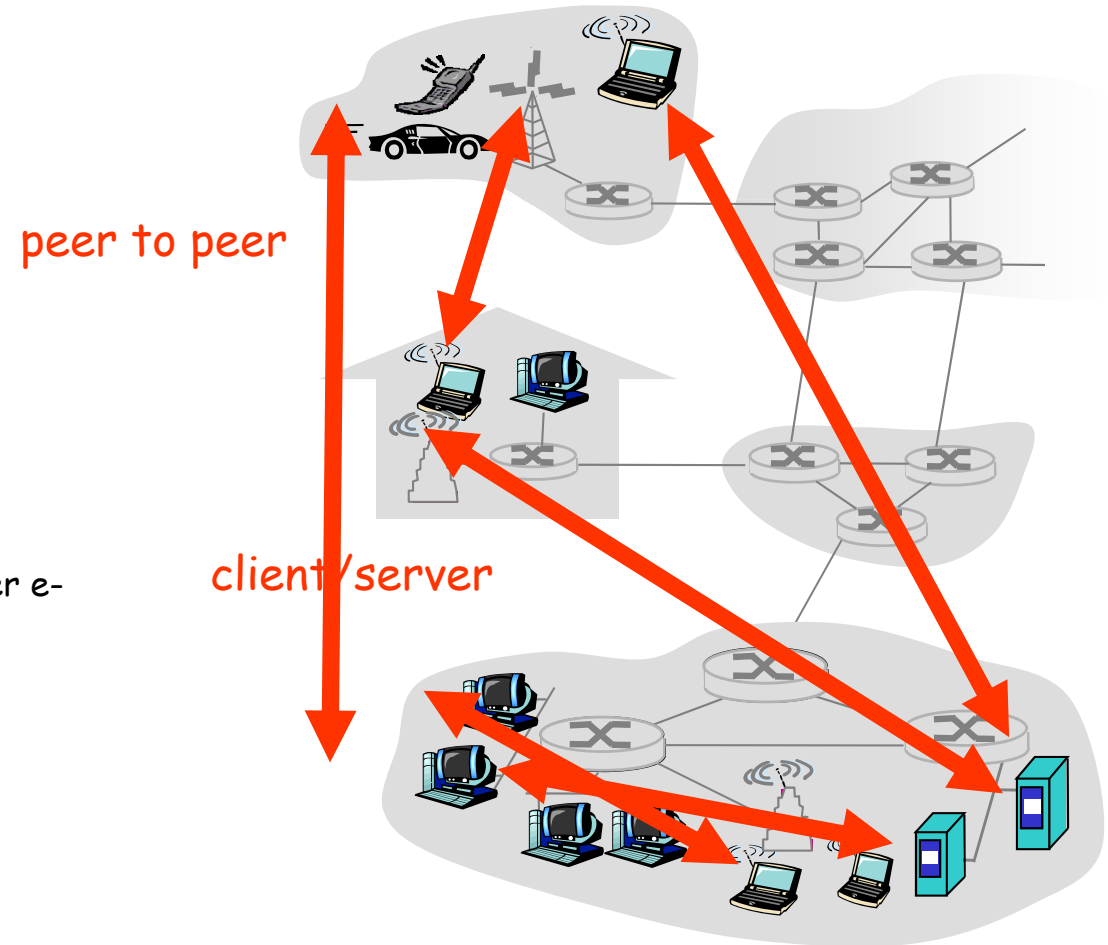
- fanno girare programmi applicativi
  - es.: Web, e-mail
- situati all'estremità di Internet

## ■ architettura client/server

- L'host client richiede e riceve un servizio da un programma server in esecuzione su un altro terminale
  - es.: browser/server Web ; client/server e-mail

## ■ architettura peer to peer

- uso limitato (o inesistente) di server dedicati
  - es.: Skype, Bit Torrent





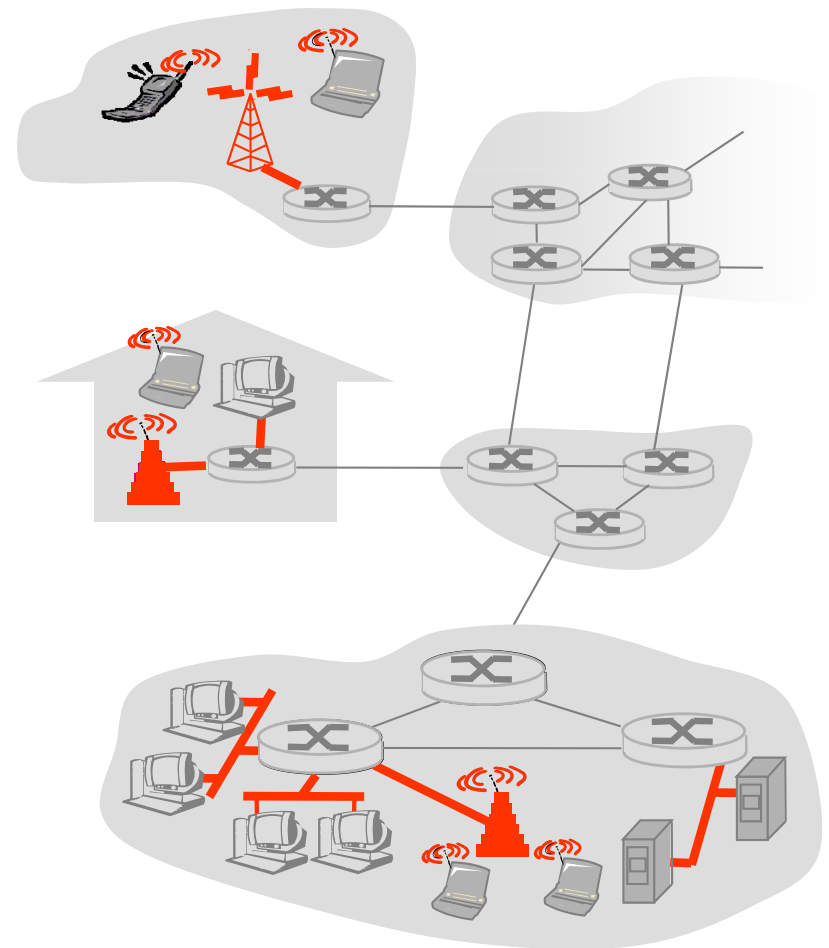
# Reti d'accesso e mezzi fisici

**D: Come collegare sistemi terminali e router esterni?**

- reti di accesso residenziale
- reti di accesso aziendale (università, istituzioni, aziende)...
- reti di accesso mobile

**Ricordate:**

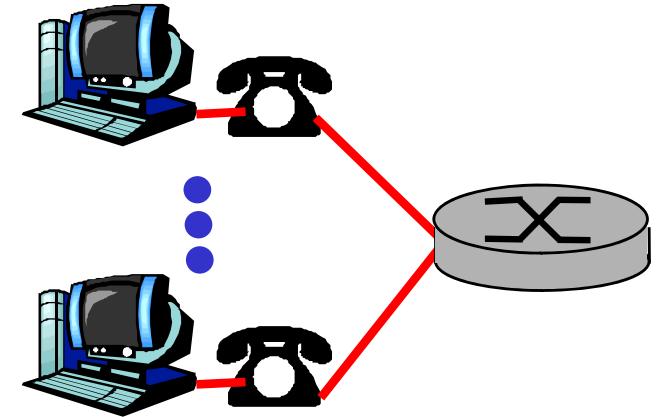
- ampiezza di banda (bit al secondo)?
- condivise o dedicate?



# Accesso residenziale: punto-punto

## ■ Modem dial-up

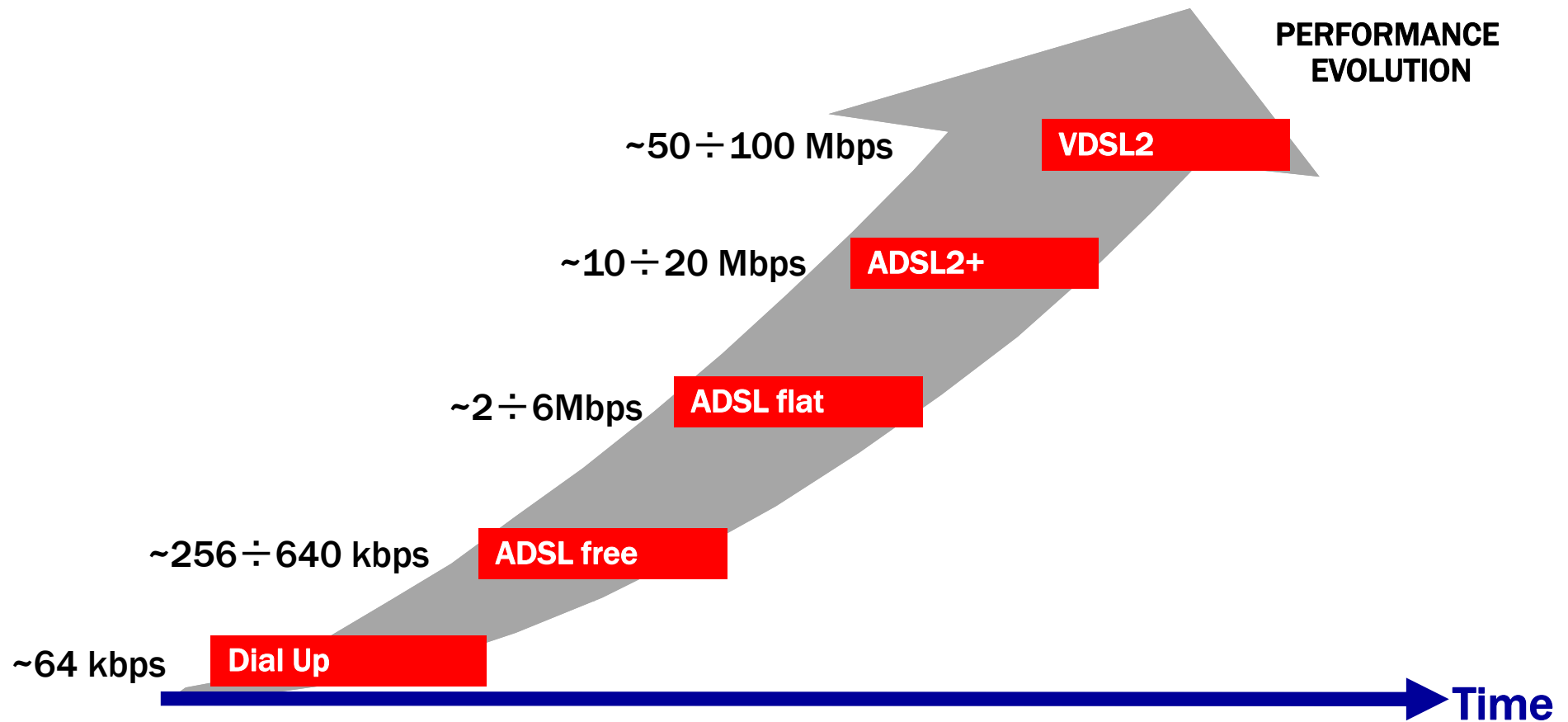
- fino a 56 Kbps di accesso diretto al router (ma spesso è inferiore)
- non è possibile "navigare" e telefonare allo stesso momento



## ■ DSL: digital subscriber line

- installazione: in genere da un operatore di rete
- ~ 2 Mbps in upstream
- ~ 30 Mbps in downstream
- linea dedicata

# Accesso a Larga Banda di rete fissa



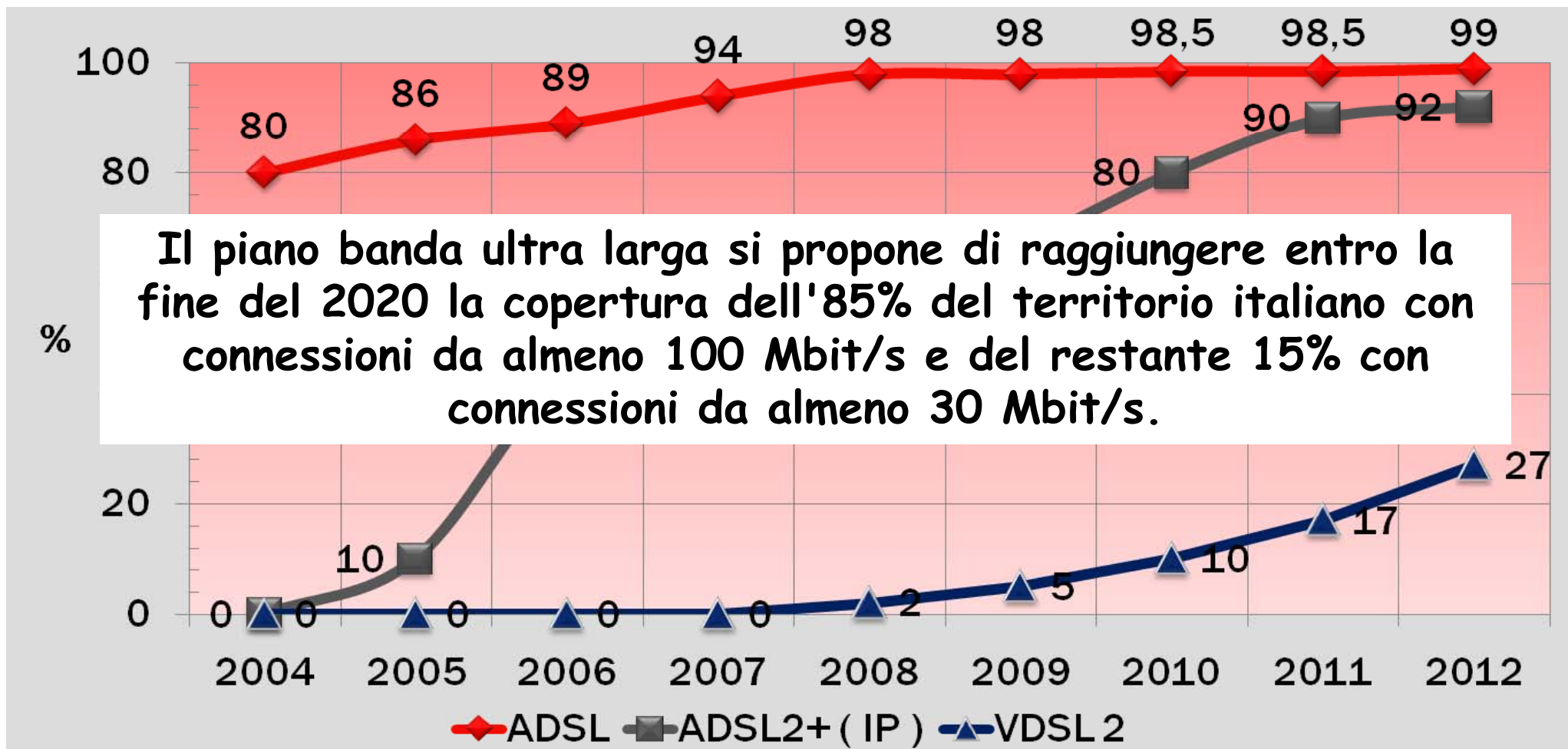
# Sistemi XDSL

Family	ITU	Name	Ratified	Maximum Speed capabilities
ADSL	G.992.1	G.dmt	1999	7 Mbps down 800 kbps up
ADSL2	G.992.3	G.dmt.bis	2002	8 Mb/s down 1 Mbps up
ADSL2plus	G.992.5	ADSL2plus	2003	24 Mbps down 1 Mbps up
ADSL2-RE	G.992.3	Reach Extended	2003	8 Mbps down 1 Mbps up
SHDSL (updated 2003)	G.991.2	G.SHDSL	2003	5.6 Mbps up/down
VDSL	G.993.1	Very-high-data-rate DSL	2004	55 Mbps down 15 Mbps up
VDSL2 -12 MHz long reach	G.993.2	Very-high-data-rate DSL 2	2005	55 Mbps down 30 Mbps up
VDSL2 - 30 MHz Short reach	G.993.2	Very-high-data-rate DSL 2	2005	100 Mbps up/down



# Evoluzione della copertura a Larga Banda di rete fissa

13



# Rete di Distribuzione Telefonica

## ■ Obiettivo

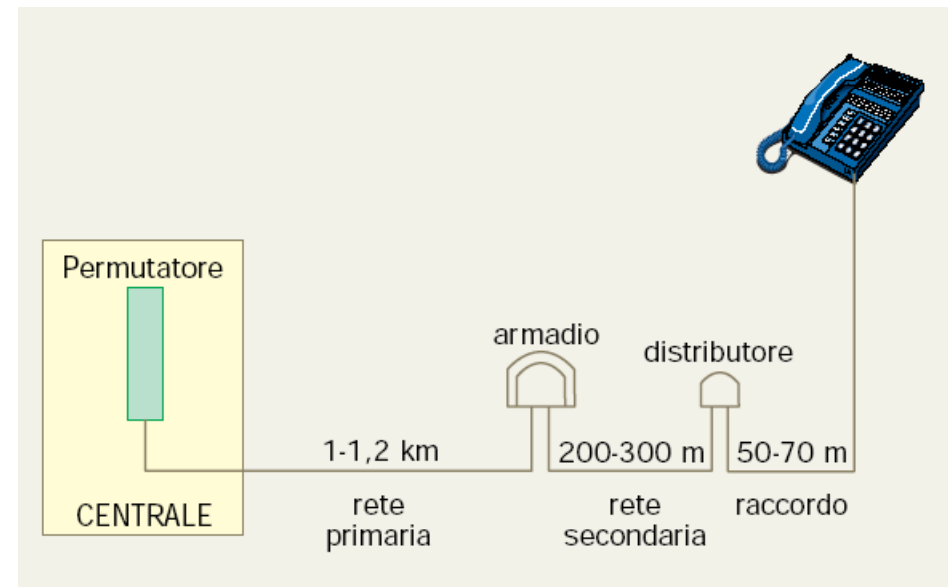
- Trasporto e trattamento del segnale dalla centrale (SL) all'apparecchio del cliente

## ■ E' costituita da

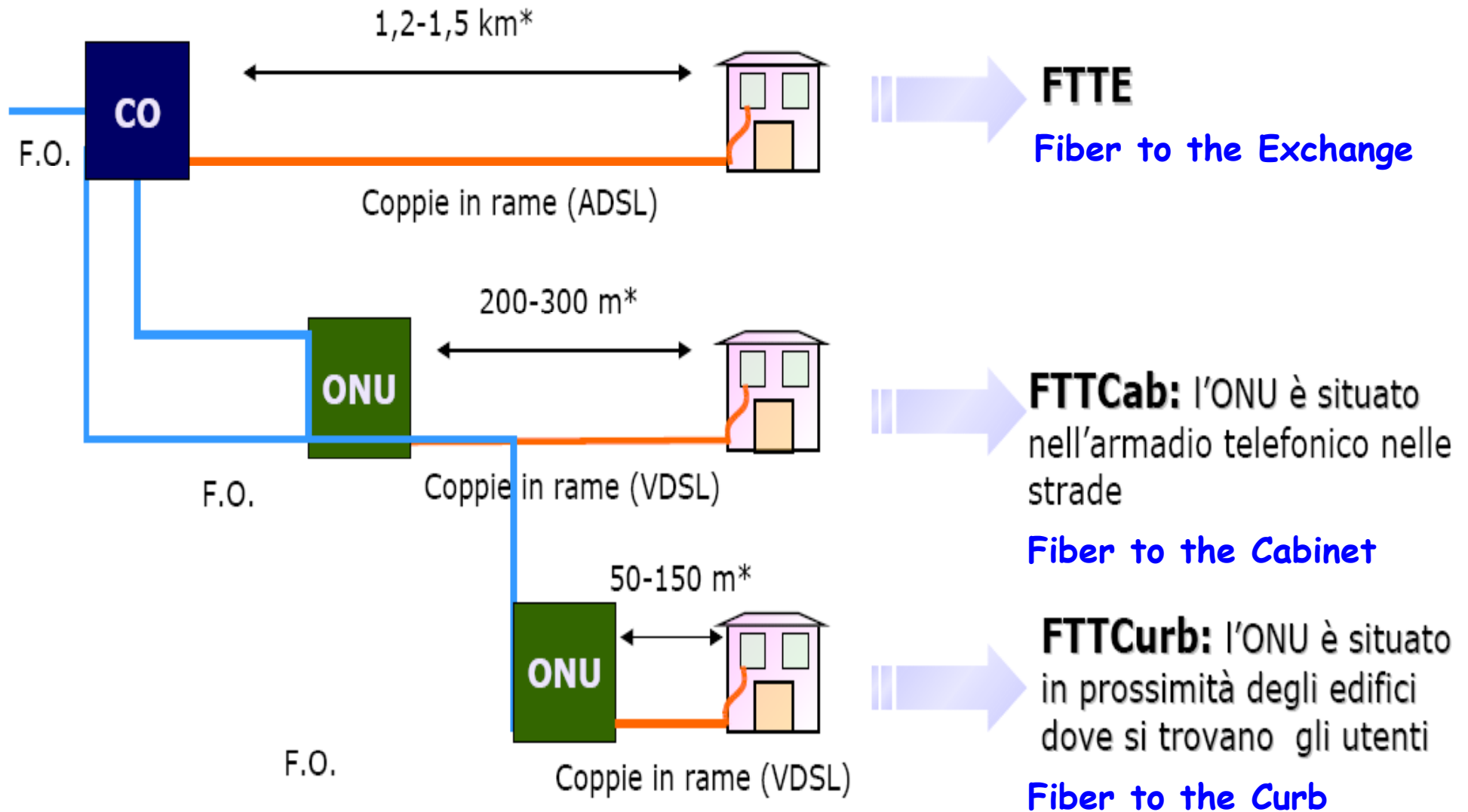
- Portanti fisici
- Attestazioni e terminazioni
- Apparatî trasmissivi
- Altri dispositivi

## ■ Si suddivide nelle seguenti sezioni

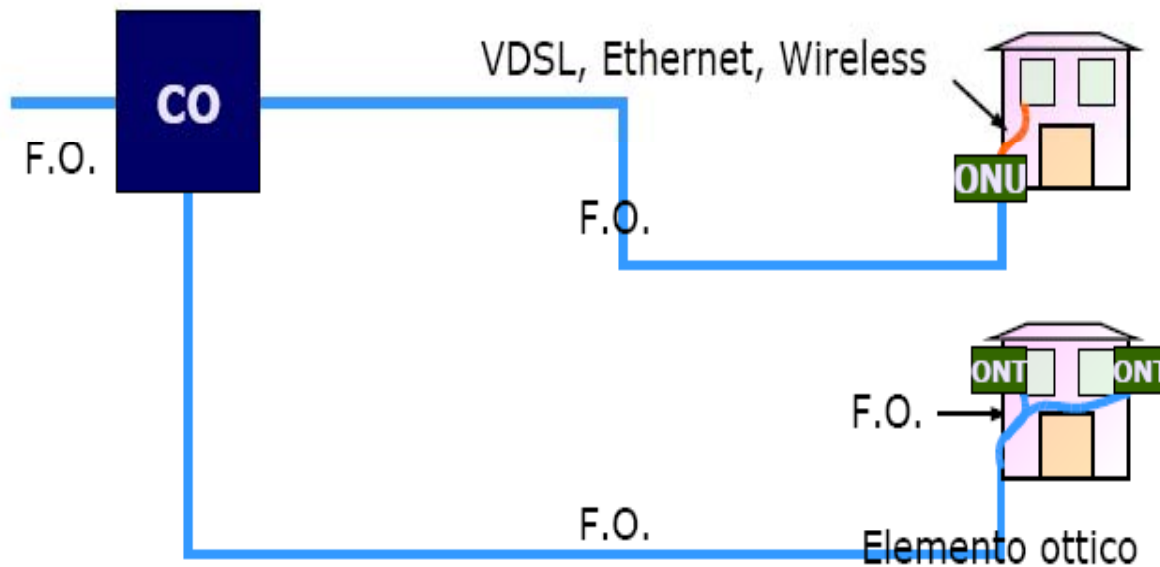
- Rete Primaria (~ 1 km)
- Rete Secondaria (~ 200 m)
- Raccordo (~ 50 m)



# Architetture ibride rame-fibra (FTTx)



# Architetture FTTx



**FTTB:** nelle aree con edifici a sviluppo verticale

**Fiber to the Building**

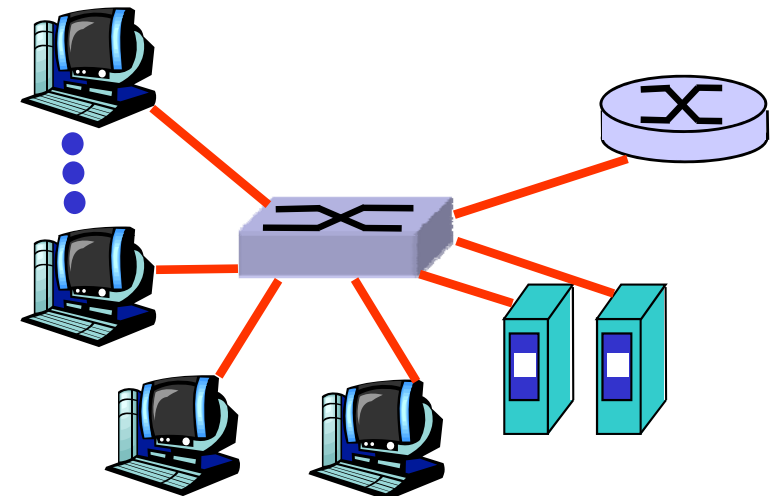
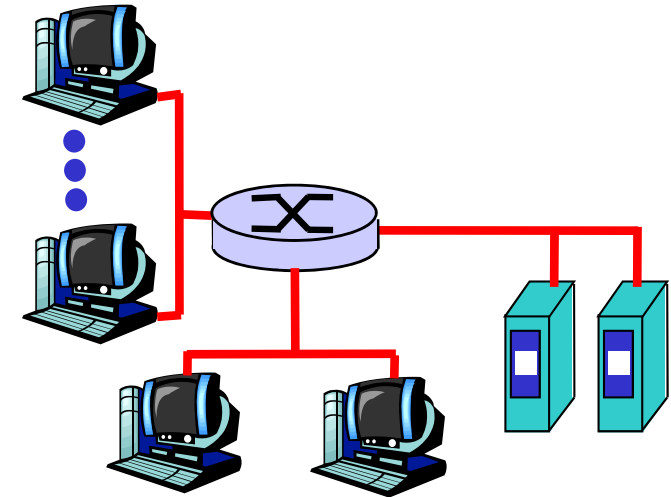
**FTTH:** anche nel caso di case individuali

**Fiber to the Home**



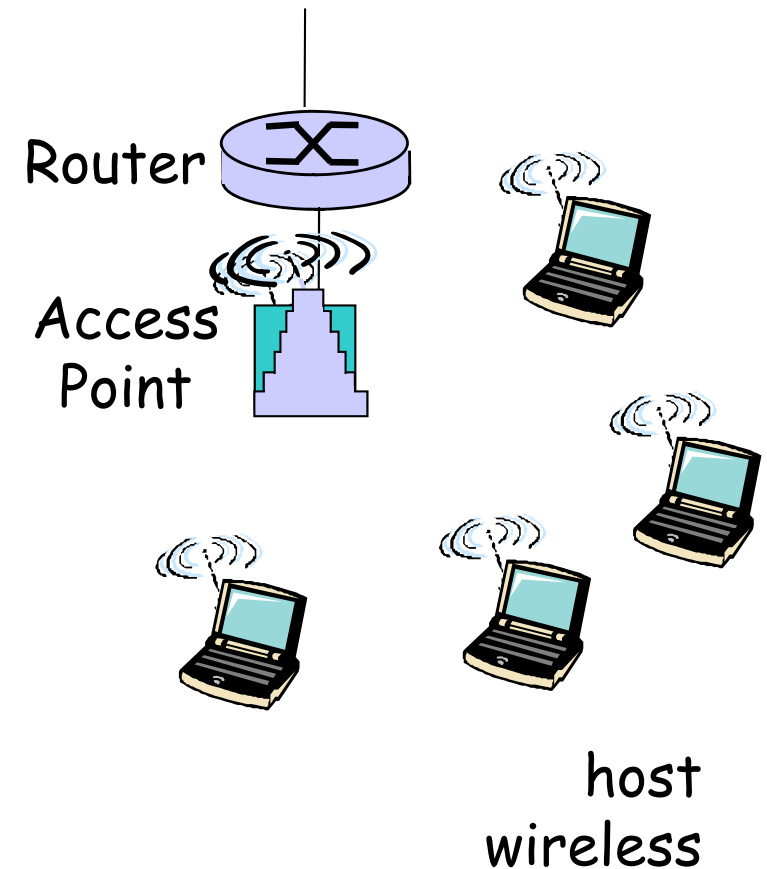
# Accesso aziendale: reti locali (LAN)

- Una LAN collega i sistemi terminali di aziende e università ad un router
- Ethernet
  - 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10 Gb/s
  - Sistemi terminali collegati mediante uno switch



# Accesso wireless

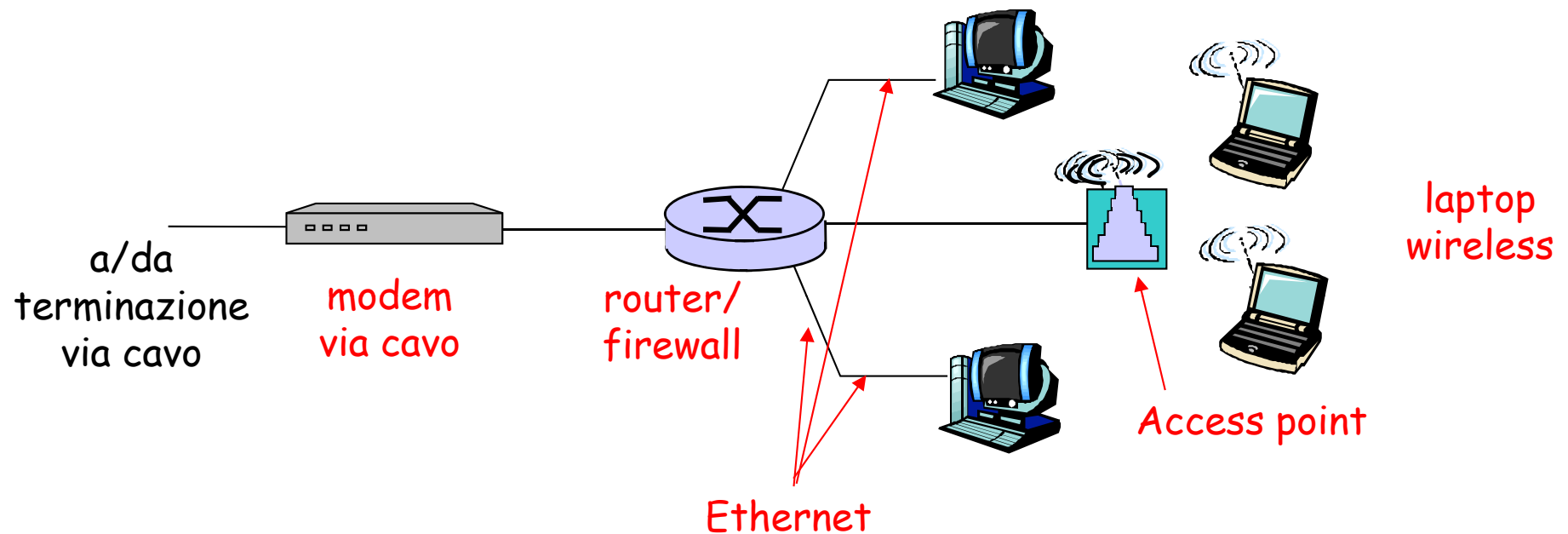
- Una rete condivisa d'accesso wireless collega i sistemi terminali al router
  - Access Point (AP)
- **Wireless LAN**
  - 802.11b/g (WiFi): 11 o 54 Mbps
- **Rete d'accesso wireless geografica**
  - gestita da un provider di telecomunicazioni
  - ~ 1 Mbps per i sistemi cellulari (HSDPA)...
  - WiMax per aree più grandi



# Reti domestiche

## ■ Componenti di una tipica rete domestica

- DSL o modem via cavo
- router/firewall/NAT
- Ethernet
- Punto d'accesso wireless



# Mezzi trasmissivi

## ■ Mezzo fisico

- ciò che sta tra il trasmittente e il ricevente

## ■ Mezzi guidati

- i segnali si propagano in un mezzo fisico: fibra ottica, filo di rame o cavo coassiale

## ■ Mezzi a onda libera

- i segnali si propagano nell'atmosfera e nello spazio esterno

## ■ Twisted Pair (TP)

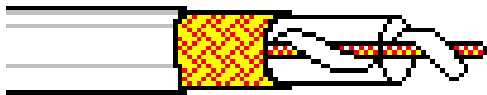
- due fili di rame distinti
  - Categoria 3: tradizionale cavo telefonico, 10 Mbps Ethernet
  - Categoria 5: 100 Mbps Ethernet



# Mezzi trasmissivi: cavo coassiale e fibra ottica

## ■ Cavo coassiale

- due conduttori in rame concentrici
- bidirezionale
- banda base:
  - singolo canale sul cavo
  - legacy Ethernet
- banda larga



## ■ Fibra ottica

- Mezzo sottile e flessibile che conduce impulsi di luce
- Alta frequenze trasmissiva:
  - Elevata velocità di trasmissione punto-punto (da 10 a 100 Gps)
- Basso tasso di errore, immune all'interferenza elettromagnetica



# Mezzi trasmissivi: canali radio

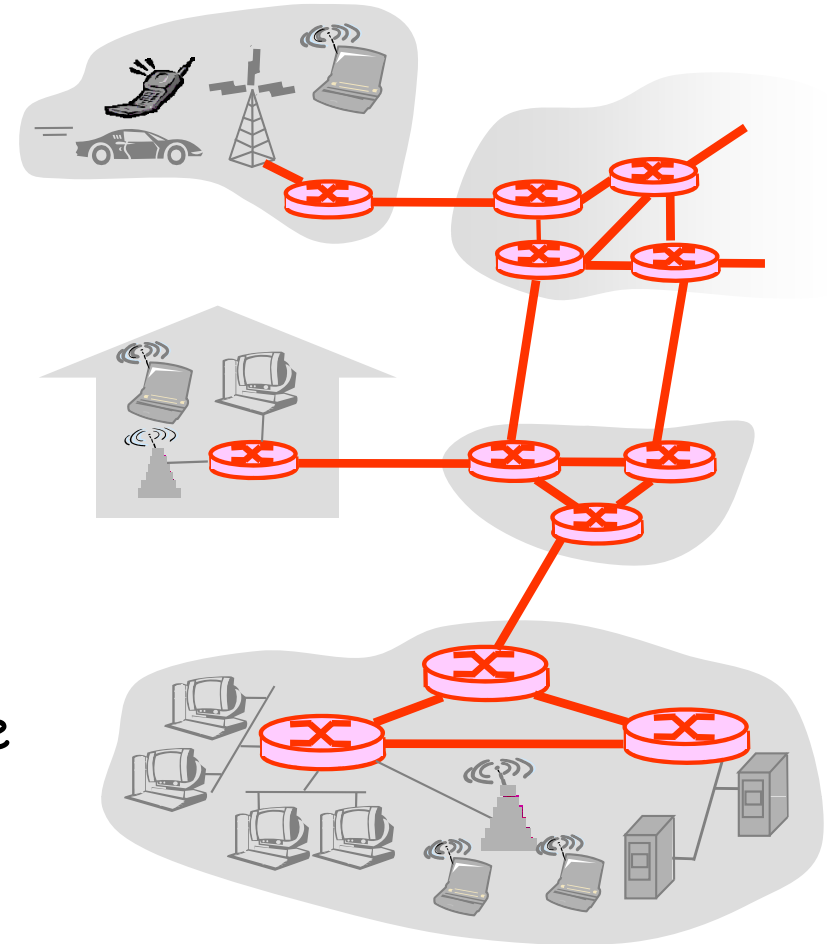
- Trasportano segnali nello spettro elettromagnetico
- non richiedono l'installazione fisica di cavi
- bidirezionali
- effetti dell'ambiente di propagazione:
  - riflessione
  - ostruzione da parte di ostacoli
  - interferenza

## ■ Tipi di canali radio

- **Microonde terrestri**
  - es.: canali fino a 45 Mbps
- **LAN** (es.: Wifi)
  - 11 Mbps, 54 Mbps
- **Wide-area** (es.: cellulari)
  - es.: 3G: ~ 1 Mbps
- **Satellitari**
  - canali fino a 45 Mbps (o sottomultipli)
  - ritardo punto-punto di 270 msec
  - geostazionari/a bassa quota

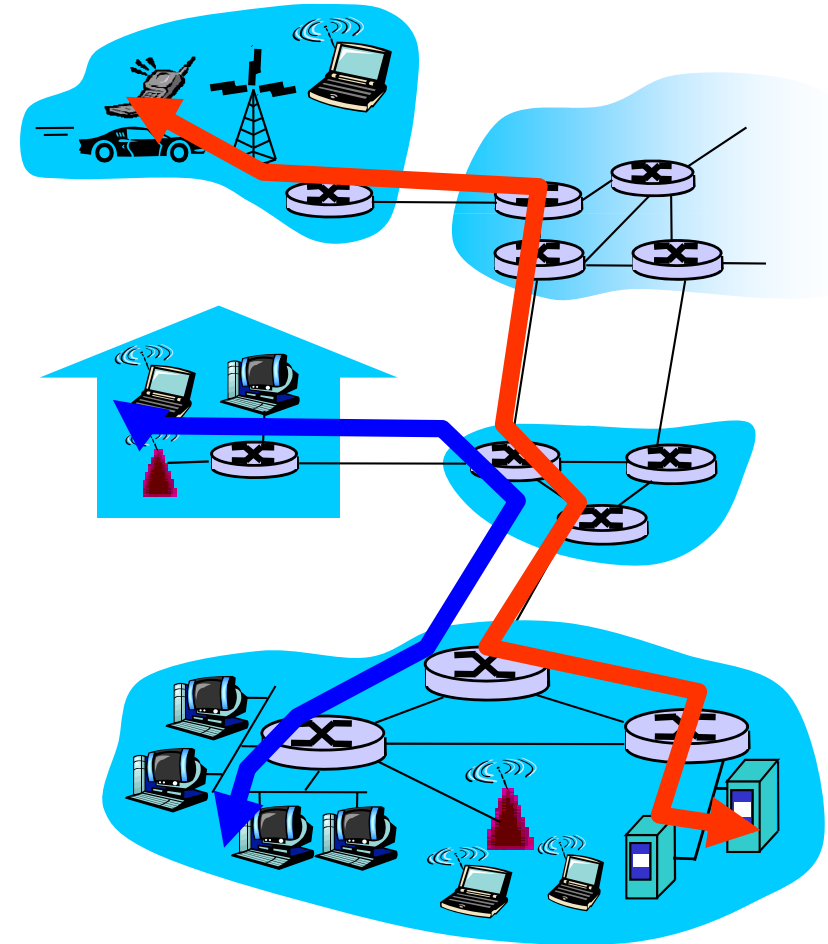
# Il nucleo della rete

- Rete magliata di router che interconnettono i sistemi terminali
- Come vengono trasferiti i dati attraverso la rete ?
  - **Commutazione di circuito**: circuito dedicato per l'intera durata della sessione (rete telefonica)
  - **Commutazione di pacchetto**: i messaggi di una sessione utilizzano le risorse su richiesta, e di conseguenza potrebbero dover attendere per accedere a un collegamento



# Commutazione di circuito (Circuit Switching - CS)

- Risorse punto-punto riservate alla “**chiamata**”
  - ampiezza di banda, capacità del commutatore
  - risorse dedicate: non c'è condivisione
  - prestazioni da circuito (garantite)
  - necessaria l'impostazione della chiamata





# Commutazione di circuito

- Risorse di rete (**banda**) suddivise in "pezzi"
  - ciascun "pezzo" viene allocato ai vari collegamenti
  - le risorse rimangono inattive se non utilizzate (non c'è condivisione)
- Suddivisione della banda in "pezzi"
    - divisione di frequenza
    - divisione di tempo

# Commutazione di circuito: FDM e TDM

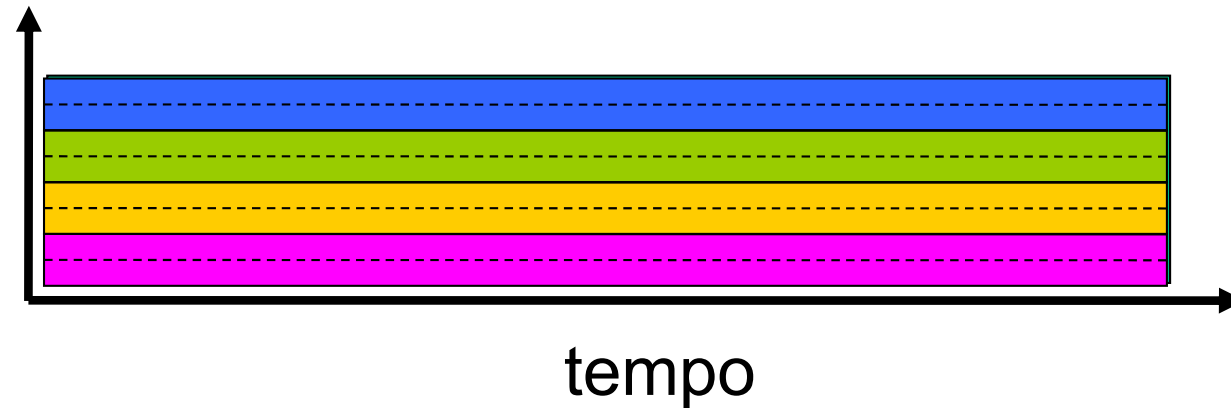
Esempio:

4 utenti



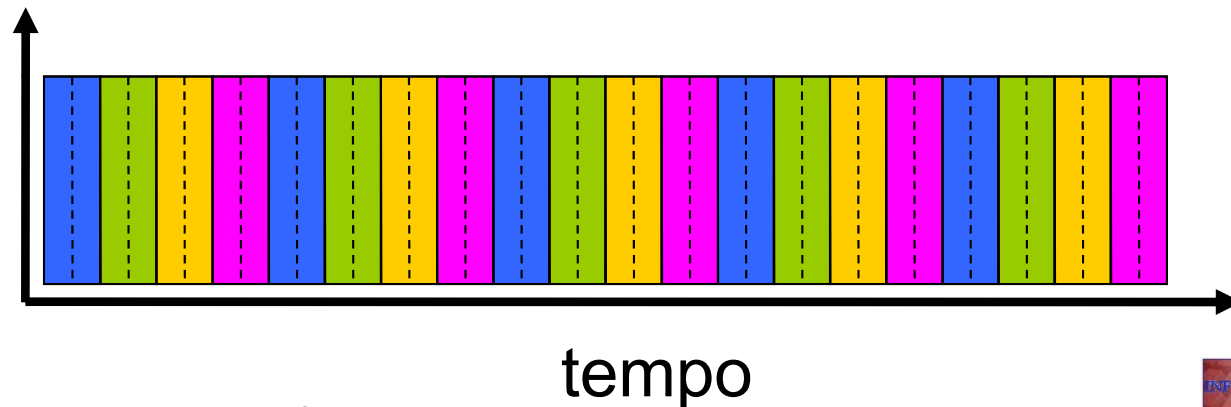
FDM

frequenza



TDM

frequenza



## Un esempio numerico

- Quanto tempo occorre per inviare un file di 640.000 bit dall'host A all'host B su una rete a commutazione di circuito ?
  - Tutti i collegamenti presentano un bit rate di 2.048 Mbps
  - Ciascun collegamento utilizza TDM con 32 slot/sec
  - Si impiegano 500 ms per stabilire un circuito punto-punto
- Provate a calcolarlo

# Commutazione di pacchetto (Packet Switching - PS)

## ■ Il flusso di dati punto-punto viene suddiviso in pacchetti

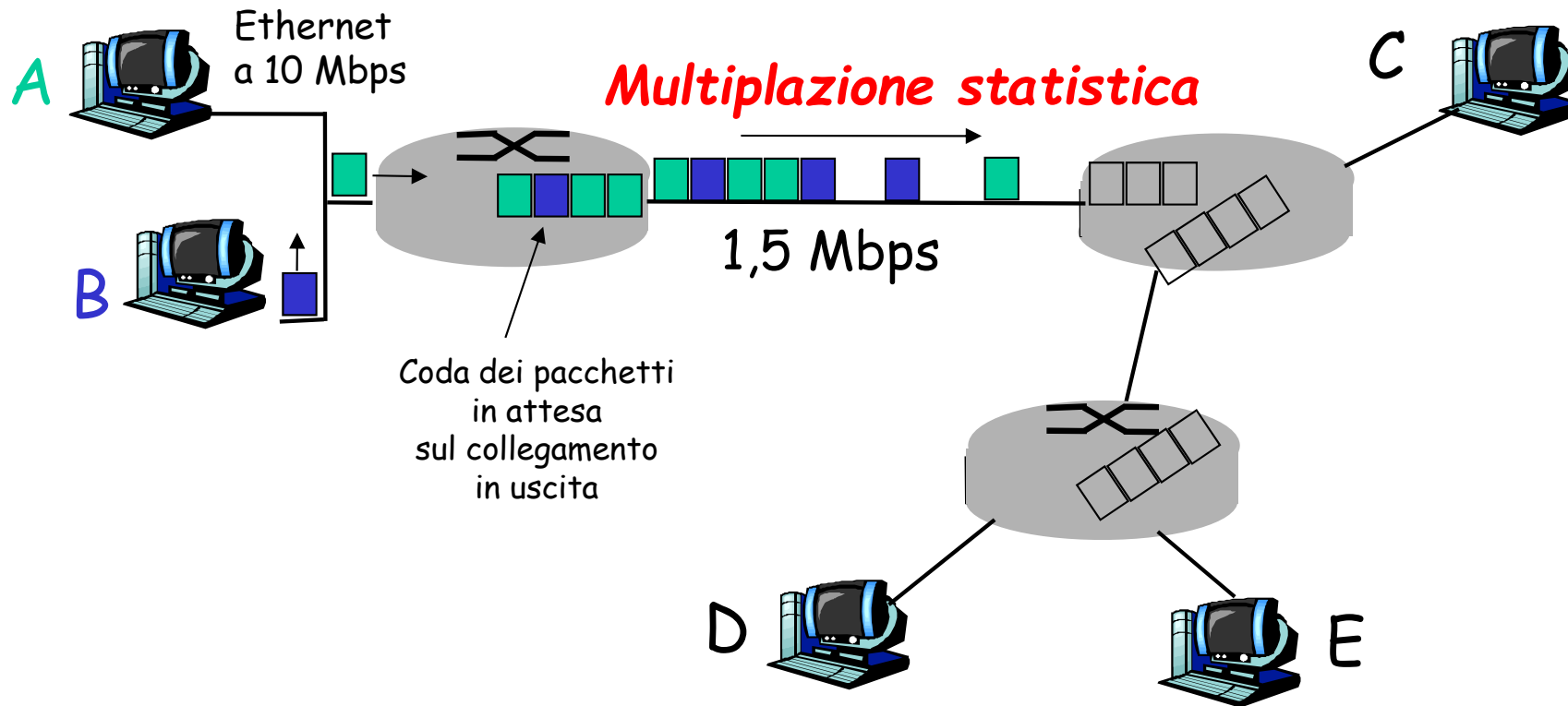
- I pacchetti condividono le risorse di rete
- Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale
- Le risorse vengono usate a seconda delle necessità
- **MULTIPLAZIONE STATISTICA**

## ■ Contesa per le risorse

- La richiesta di risorse può eccedere il quantitativo disponibile
- **congestione**: accodamento dei pacchetti, attesa per l'utilizzo del collegamento
- **store and forward**: il commutatore deve ricevere l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita

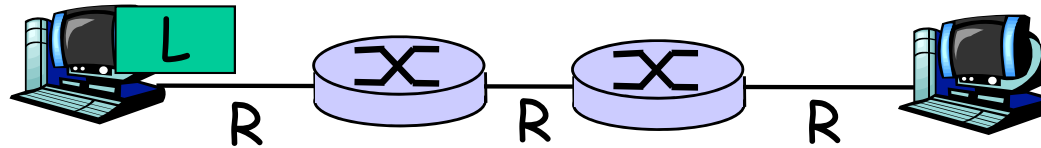
Larghezza di banda suddivisa in pezzi"  
Allocazione dedicata  
Risorse riservate

# Multiplazione statistica



- La sequenza dei pacchetti A e B non segue uno schema prefissato  
Condivisione di risorse su richiesta: **multiplazione statistica**
- TDM: ciascun host ottiene uno slot di tempo dedicato unicamente a quella connessione.

# Store-and-forward

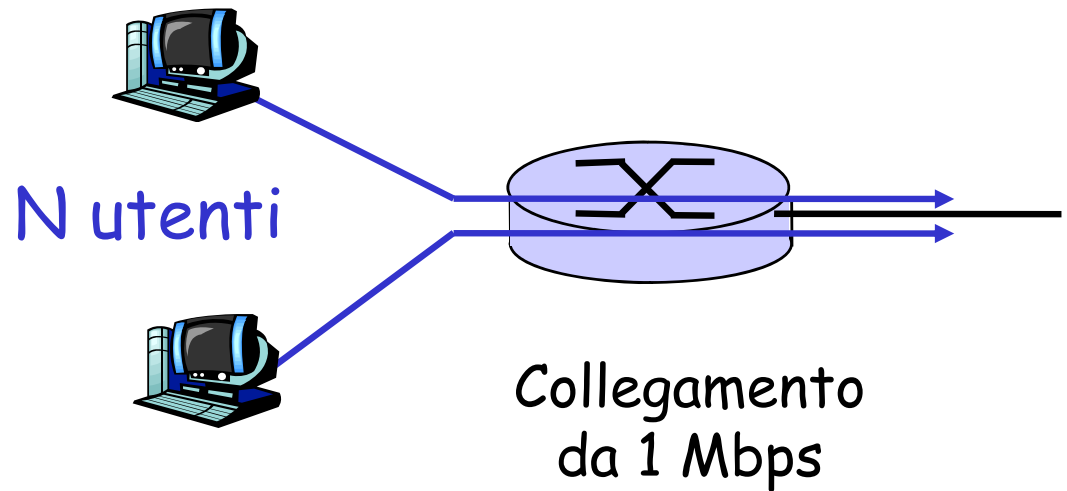


- Occorrono  $L/R$  secondi per trasmettere un pacchetto di  $L$  bit su un collegamento in uscita da  $R$  bps
- store and forward
  - l'intero pacchetto deve arrivare al router prima che questo lo trasmetta sul link successivo
- ritardo =  $3L/R$  (supponendo che il ritardo di propagazione sia zero)
- Occorre approfondire .....
- Esempio:
  - $L = 7,5$  Mbit
  - $R = 1,5$  Mbps
  - ritardo = 15 sec

# Confronto CS e PS

La commutazione di pacchetto consente a più utenti di usare la rete

- 1 collegamento da 1 Mbps
- Ciascun utente:
  - 100 kbps quando è "attivo"
  - attivo per il 10% del tempo
- Commutazione di circuito:
  - 10 utenti
- commutazione di pacchetto:
  - con 35 utenti, la probabilità di averne > 10 attivi è inferiore allo 0,0004



D: come è stato ottenuto il valore 0,0004?

# Confronto CS e PS

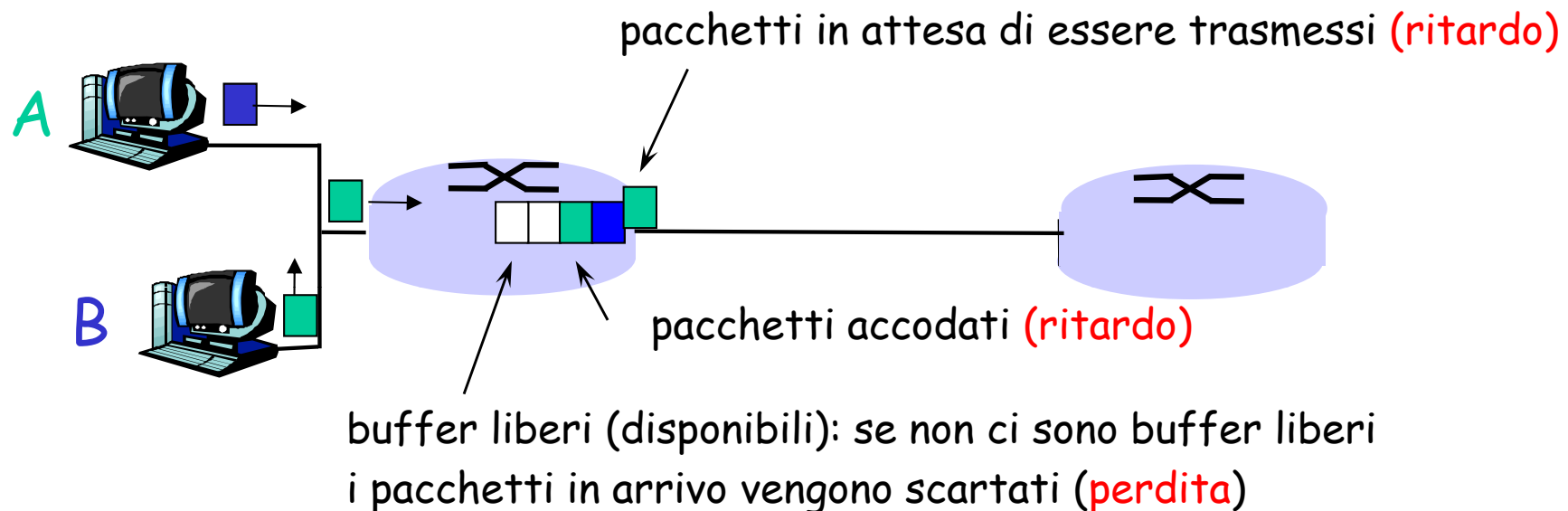
**La commutazione di pacchetto è la “scelta vincente ?”**

- **Ottima per i dati a “burst”**
  - Condivisione delle risorse
  - Più semplice, non necessita l'impostazione della chiamata
- **Eccessiva congestione: ritardo e perdita di pacchetti**
  - Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione
- **D: Come ottenere un comportamento simile al circuito ?**
  - è necessario fornire garanzie di larghezza di banda per le applicazioni audio/video
  - è ancora un problema irrisolto



# Ritardi e perdita

- I pacchetti si accodano nei buffer dei router
- Se il tasso di arrivo dei pacchetti eccede la capacità del collegamento i pacchetti si accodano, in attesa del proprio turno



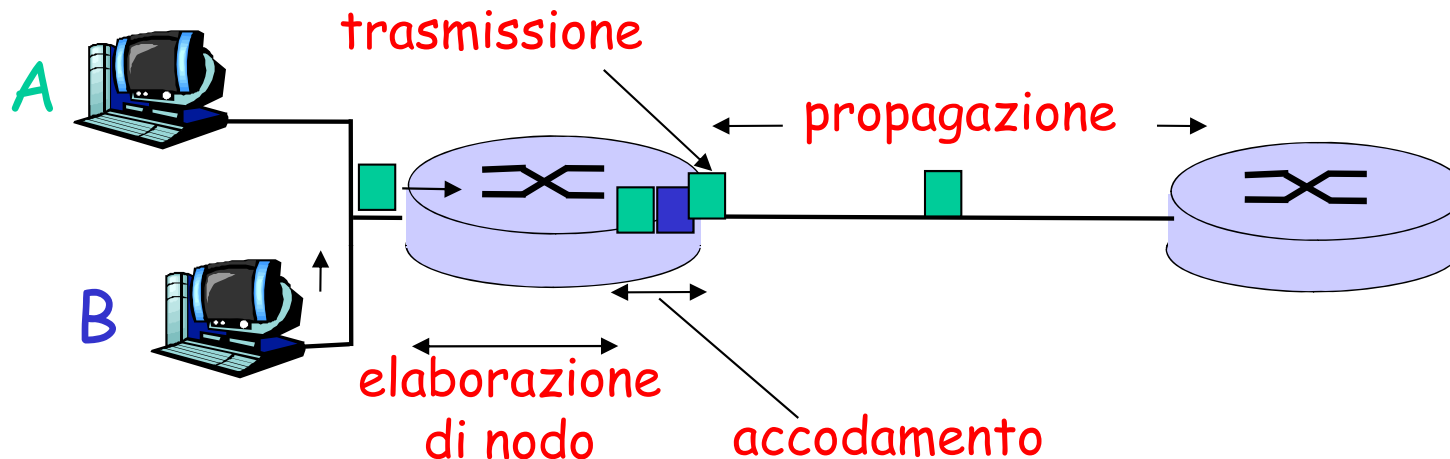
# Quattro cause di ritardo per i pacchetti

## 1. Ritardo di elaborazione del nodo

- controllo errori sui bit
- determinazione del canale di uscita (instradamento)

## 2. Ritardo di accodamento

- attesa di trasmissione
- livello di congestione del router



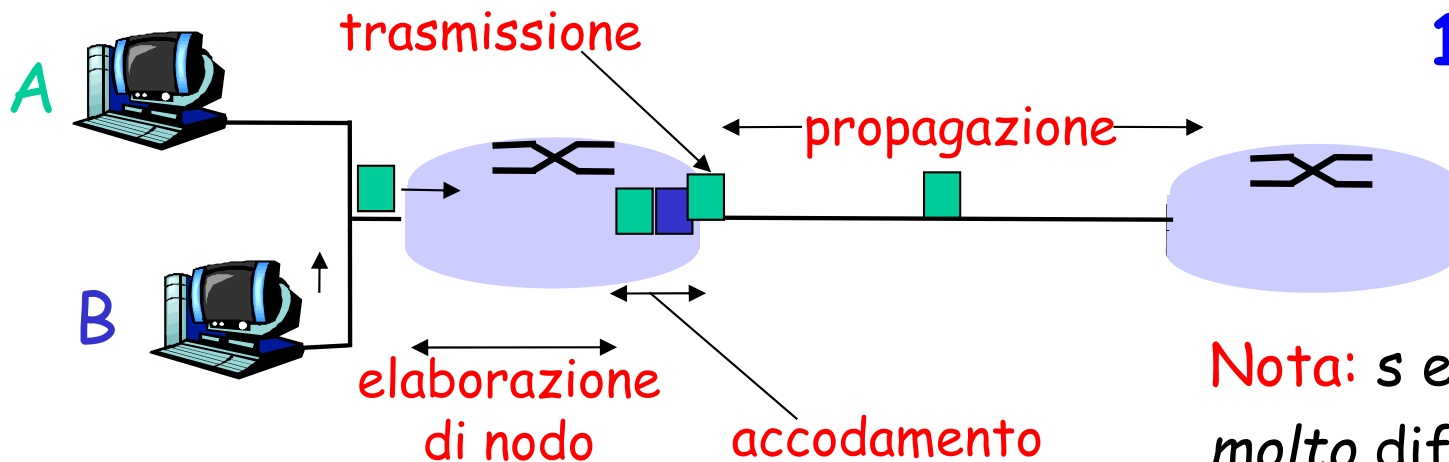
# Ritardo nelle reti PS

## 3. Ritardo di trasmissione ( $L/R$ )

- $R$  = frequenza di trasmissione del collegamento (in bps)
- $L$  = lunghezza del pacchetto (in bit)
- Ritardo di trasmissione =  $L/R$

## 4. Ritardo di propagazione ( $d/s$ )

- $d$  = lunghezza del collegamento fisico
- $s$  = velocità di propagazione del collegamento ( $\sim 2 \times 10^8$  m/sec)
- Ritardo di propagazione =  $d/s$



$$1/s = 5 \mu\text{s/km}$$

**Nota:**  $s$  e  $R$  sono due quantità molto differenti!

# Ritardo di link

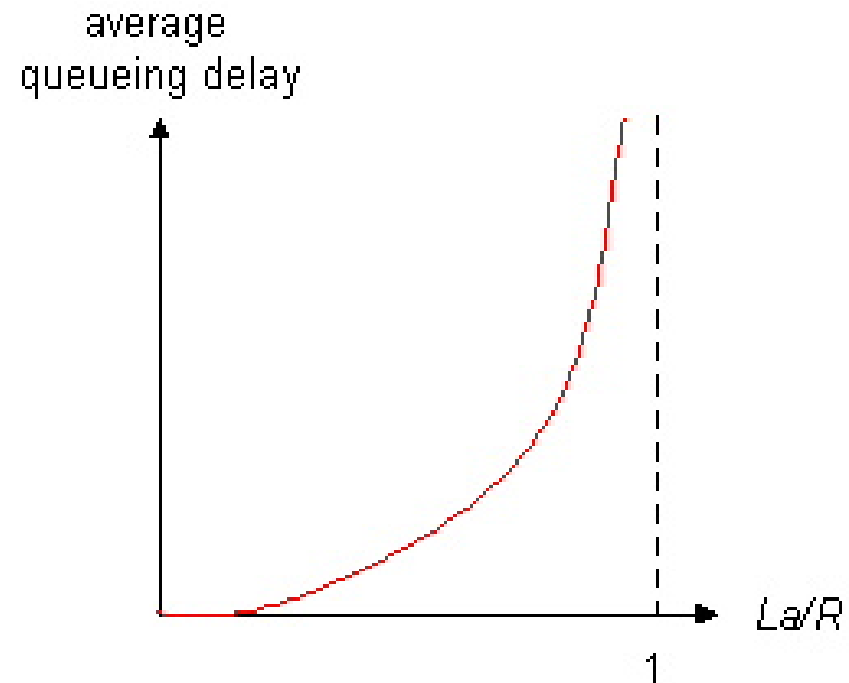
$$d_{\text{link}} = d_{\text{elab}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trasm}} + d_{\text{prop}}$$

- **$d_{\text{elab}}$  = ritardo di elaborazione (processing delay)**
  - in genere pochi microsecondi, o anche meno
- **$d_{\text{queue}}$  = ritardo di accodamento (queuing delay)**
  - dipende dalla congestione
- **$d_{\text{trasm}}$  = ritardo di trasmissione (transmission delay)**
  - $= L/R$ , significativo sui collegamenti a bassa velocità
- **$d_{\text{prop}}$  = ritardo di propagazione (propagation delay)**
  - da pochi microsecondi a centinaia di millisecondi

# Ritardo di accodamento

- $R$  = frequenza di trasmissione (bps)
- $L$  = lunghezza del pacchetto (bit)
- $a$  = tasso medio di arrivo dei pacc

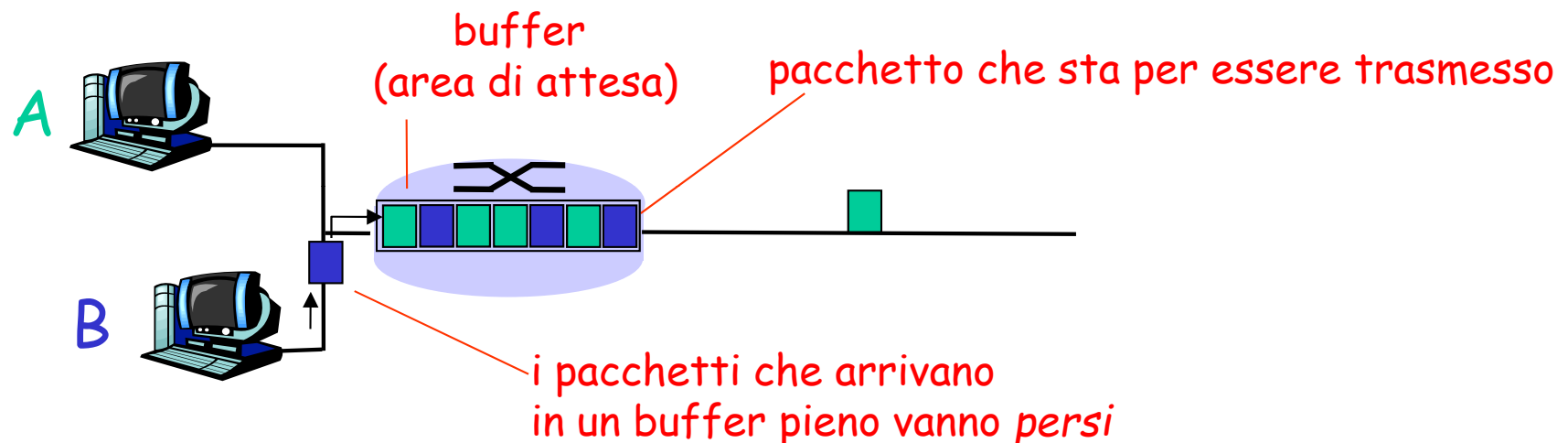
$L \cdot a / R$  = intensità di traffico



- $L \cdot a / R \sim 0$ : ritardo molto limitato
- $L \cdot a / R \rightarrow 1$ : il ritardo cresce in modo non lineare
- $L \cdot a / R > 1$ : più "lavoro" in arrivo di quanto possa essere effettivamente svolto, ritardo medio infinito

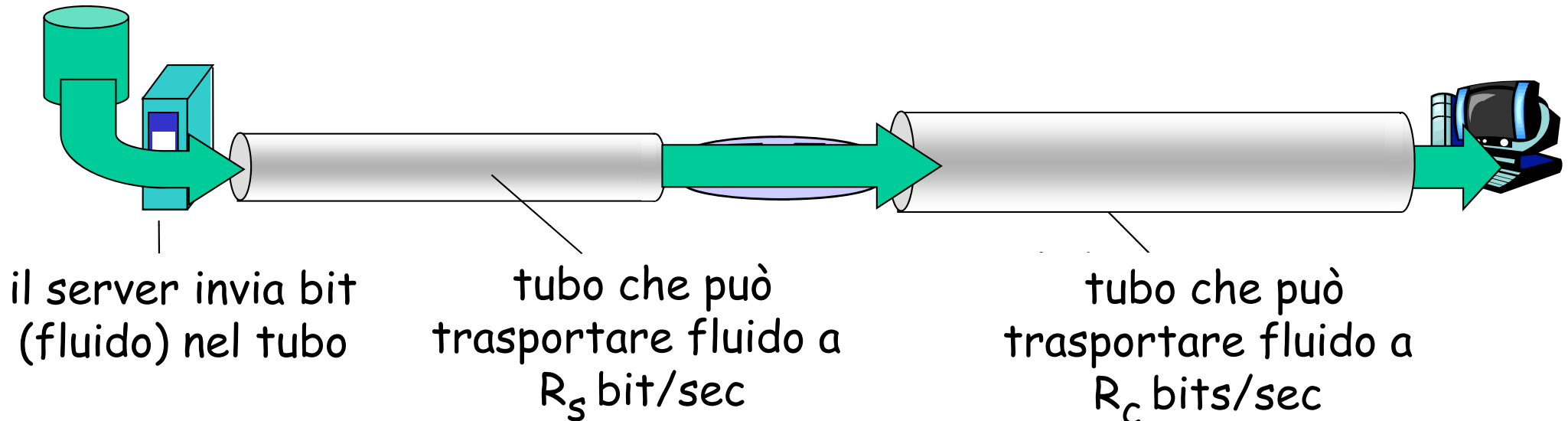
# Perdita di pacchetti

- Una coda (detta anche buffer) ha capacità finita
  - quando il pacchetto trova la coda piena, viene scartato (e quindi va perso)
  - un pacchetto perso può essere ritrasmesso dal nodo precedente, dal sistema terminale che lo ha generato, o non essere ritrasmesso affatto



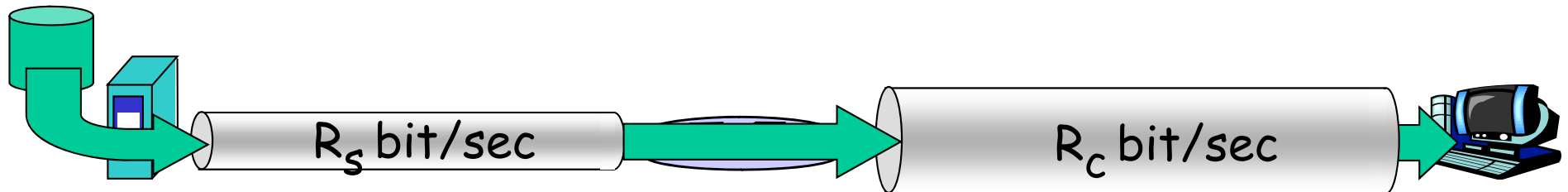
# Throughput

- Frequenza (bit/unità di tempo) alla quale i bit sono trasferiti tra mittente e ricevente
  - **istantaneo**: in un determinato istante
  - **medio**: in un periodo di tempo più lungo

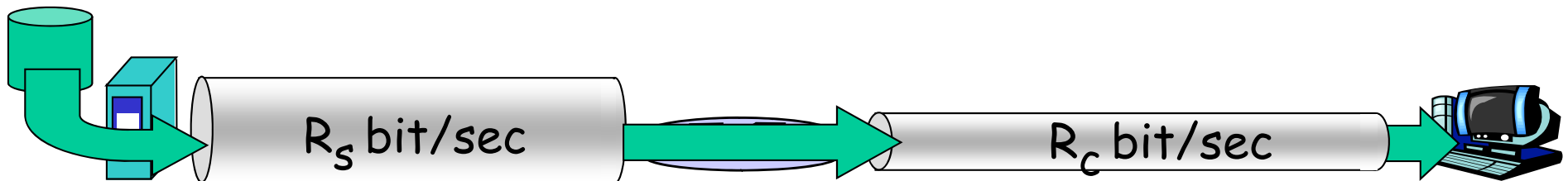


# Throughput (segue)

■  $R_s < R_c$  Qual è il throughput medio end to end ?



■  $R_s > R_c$  Qual è il throughput medio end to end ?



## Collo di bottiglia (Bottleneck)

Collegamento su un percorso punto-punto che vincola un throughput end to end

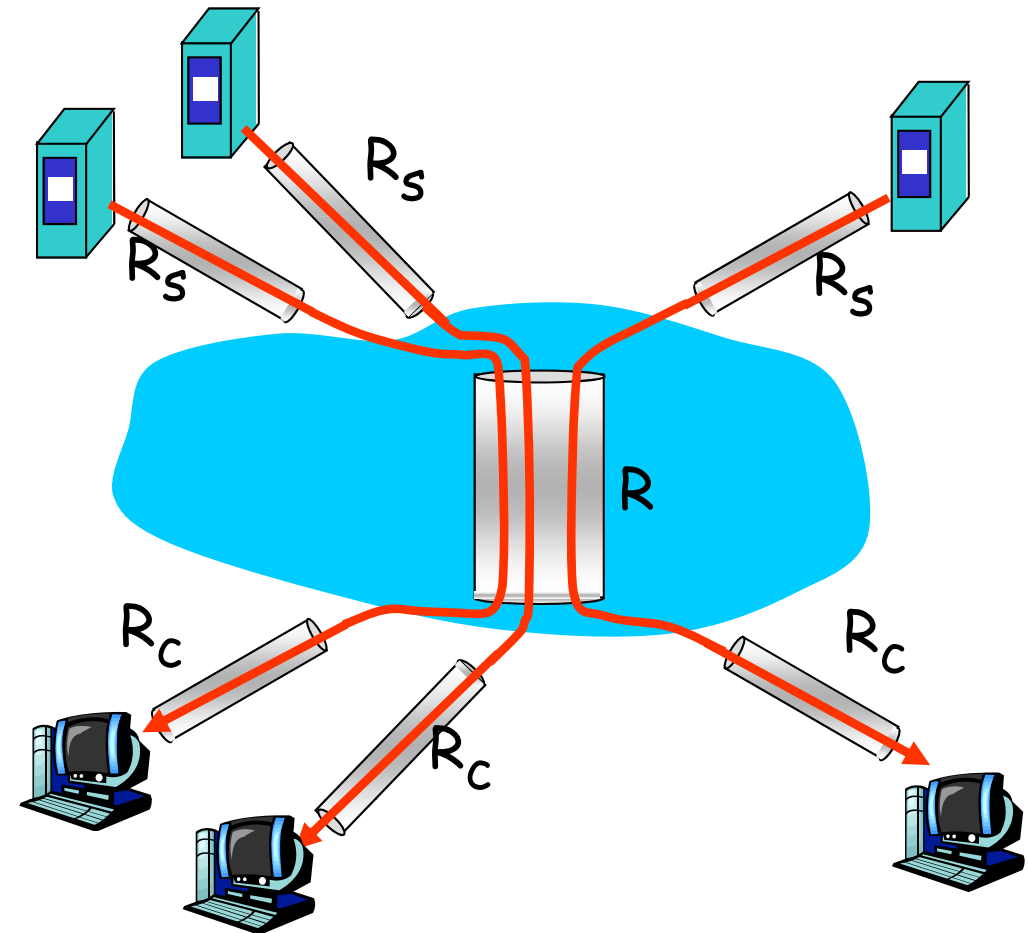


# Throughput: scenario Internet

- Throughput end to end per ciascuna connessione

- $\min(R_c, R_s, R/10)$

- In pratica  $R_c$  o  $R_s$  è spesso nel collo di bottiglia



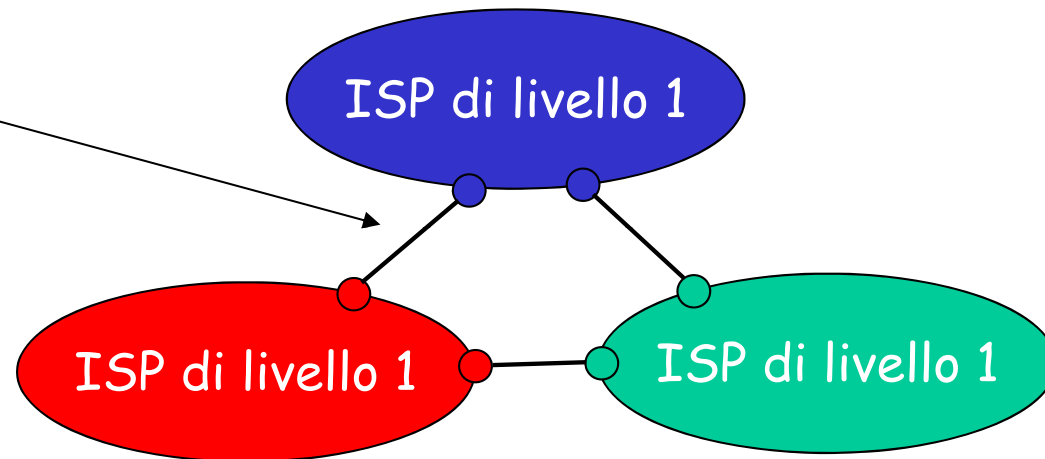
10 collegamenti (equamente) condivisi  
collegamento collo di bottiglia  $R$  bit/sec

# Struttura di Internet: rete di reti

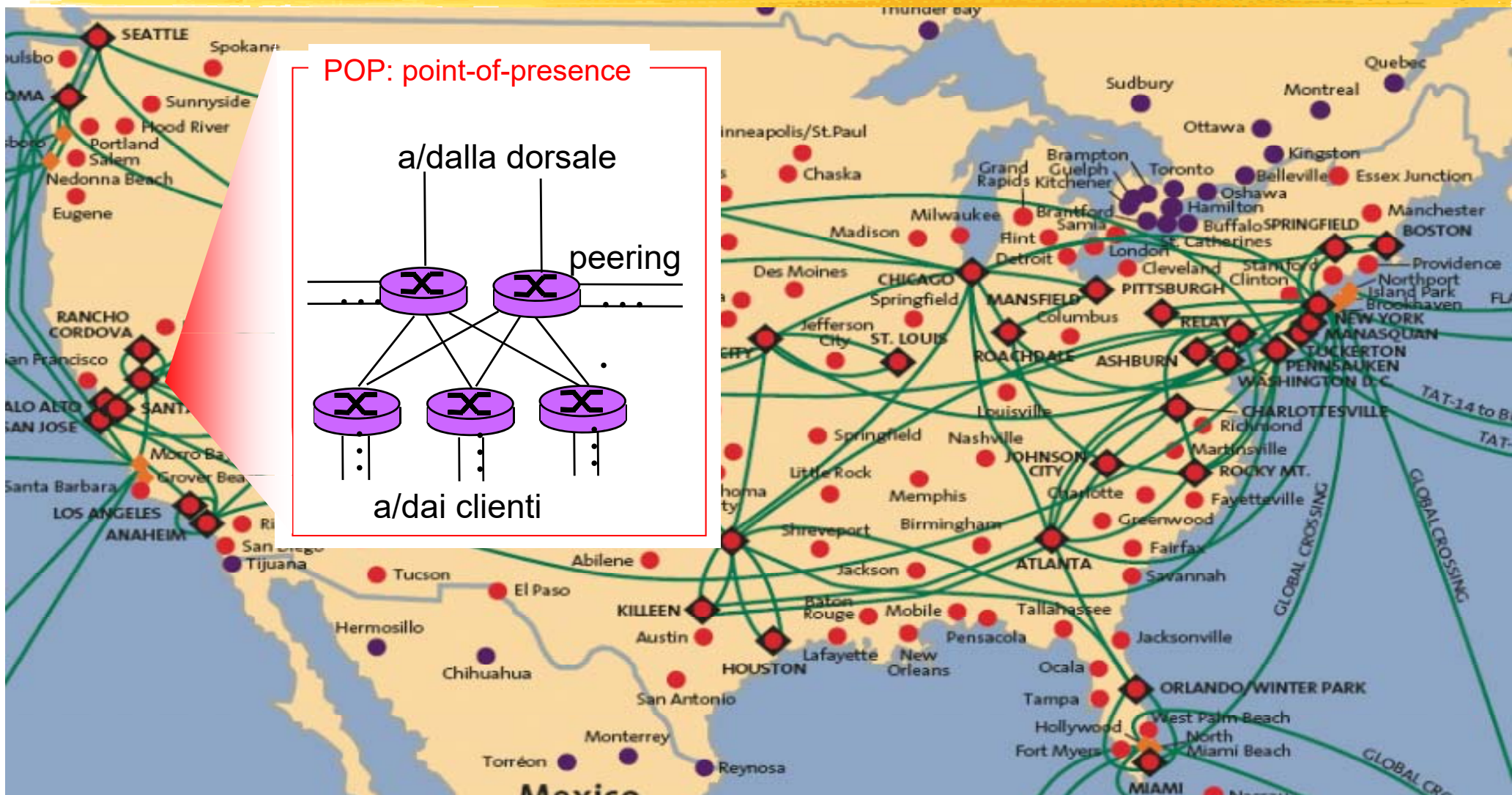
## ■ Fondamentalmente gerarchica

- al centro: "ISP di livello 1"
  - Verizon, Sprint, AT&T, Cable&Wireless
  - copertura nazionale/internazionale
- Comunicano tra di loro come "pari"

Gli ISP di livello 1 sono direttamente connessi a ciascuno degli altri ISP di livello 1



# ISP di livello 1 - Un esempio: Sprint



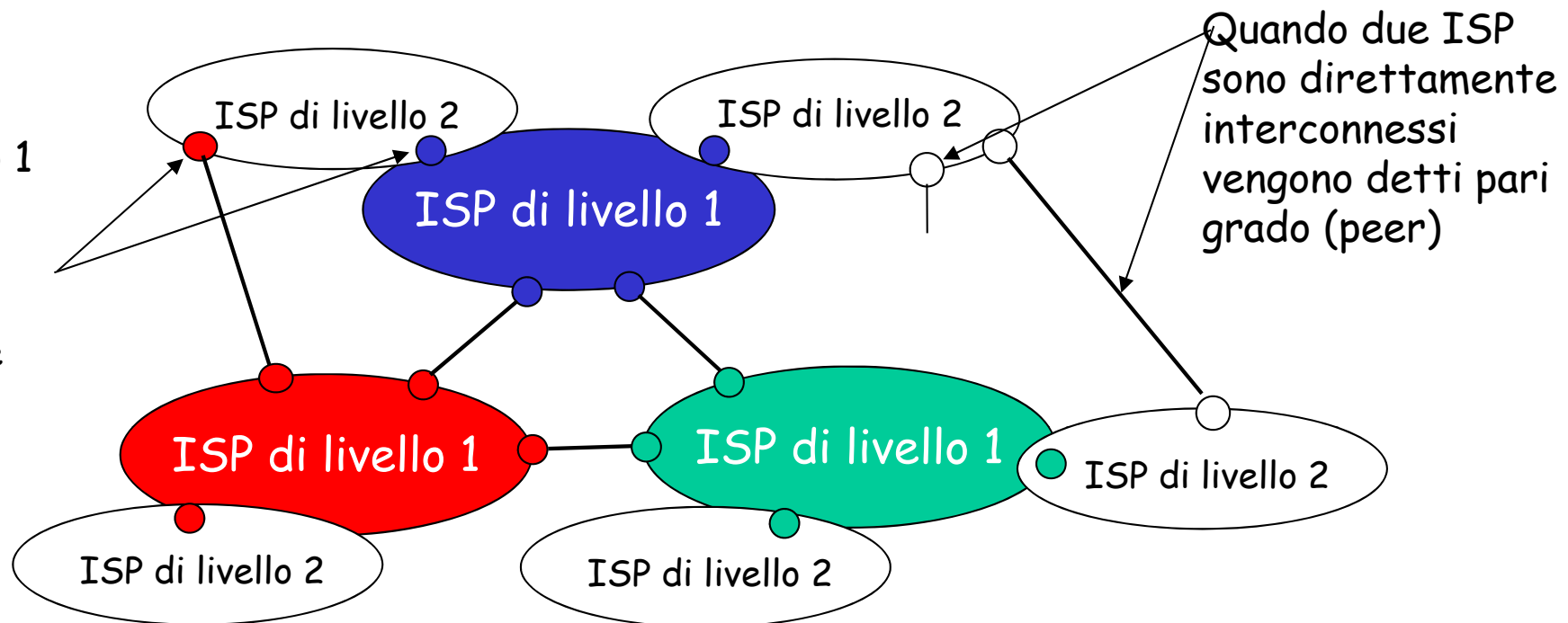
# Struttura di Internet

## ■ ISP di livello 2: ISP più piccoli (nazionali o distrettuali)

- Si può connettere solo ad alcuni ISP di livello 1, e possibilmente ad altri ISP di livello 2

Un ISP di livello 2 paga l'ISP di livello 1 che gli fornisce la connettività per il resto della rete

■ un ISP di livello 2 è cliente di un ISP di livello 1

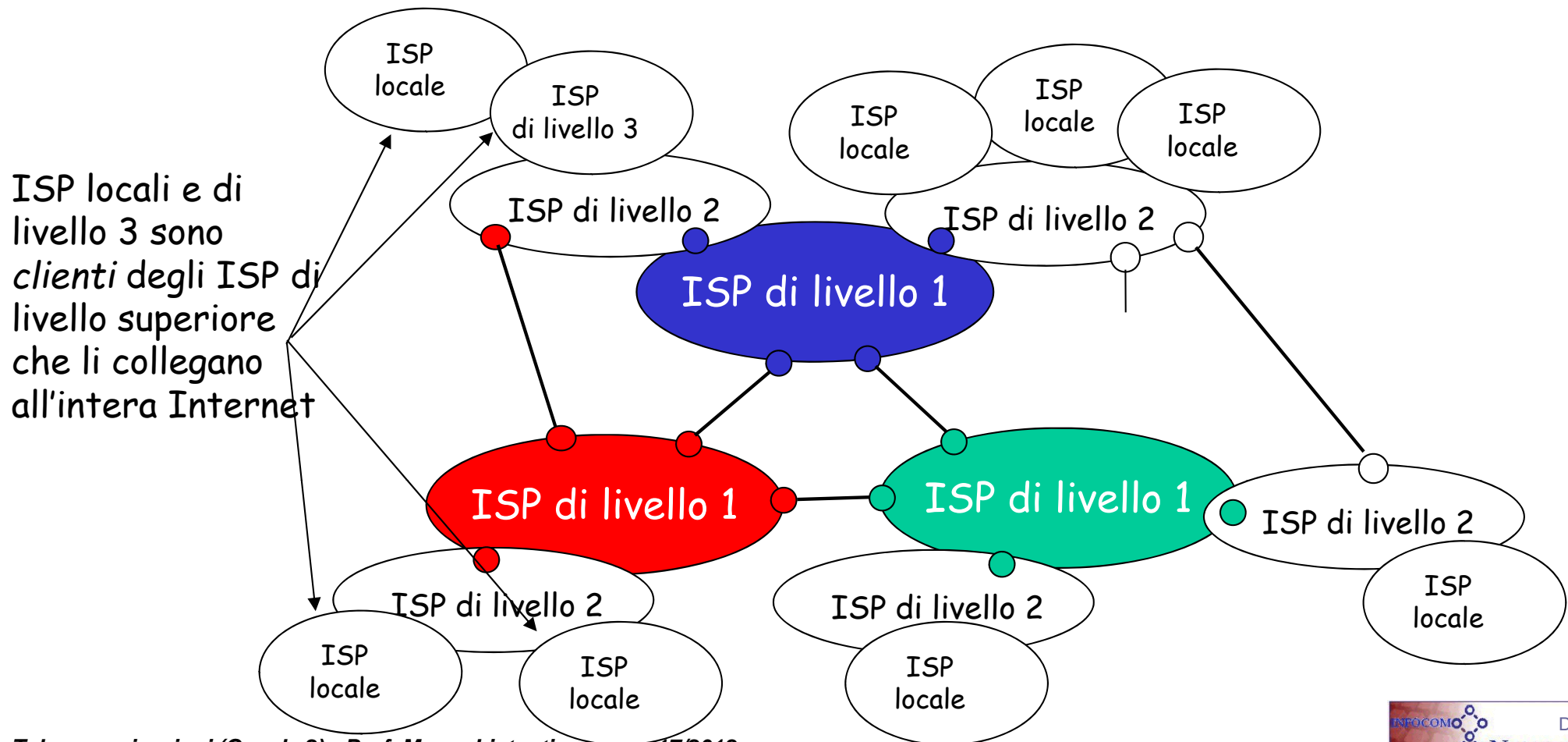




# Struttura di Internet

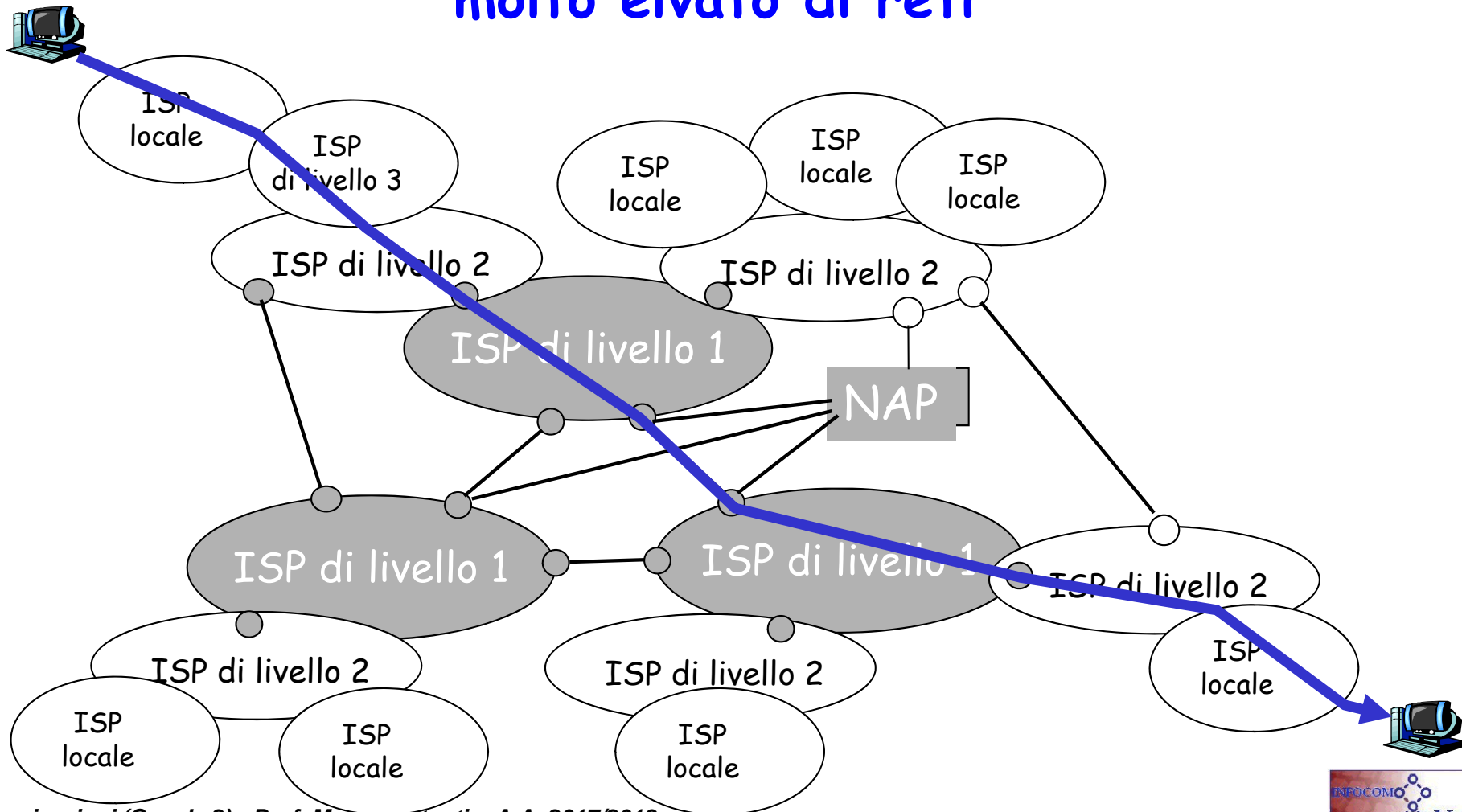
## ■ ISP di livello 3 e ISP locali (ISP di accesso)

- Reti "ultimo salto" (*last hop network*), le più vicine ai sistemi terminali



# Struttura di Internet

- Un pacchetto attraversa un numero anche molto elevato di reti





# Elementi architettureali di una Computer Network

- Trasmissioni digitali
- Scambio di **frames** tra elementi di rete adiacenti
  - Framing e error control
- **Medium access control (MAC)** regola l'accesso ai mezzi condivisi
- **Indirizzi** identificano il punto di accesso alla rete (interfaccia)
- Trasferimento dei **pacchetti** in rete
- Calcolo distribuito delle **tabelle di routing**



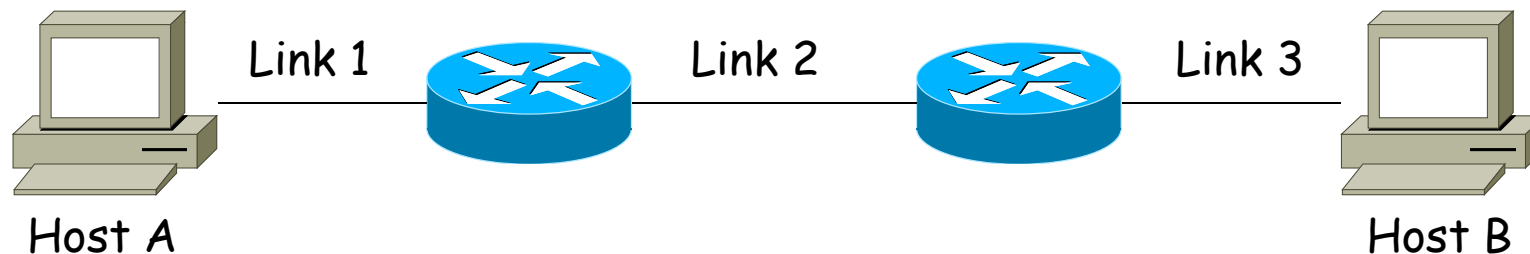
# Elementi architetturali di una Computer Network

- Congestion control all'interno della rete
- Internetworking tra reti diverse
- Segmentazione e riassemblaggio dei messaggi in pacchetti all'ingresso e all'uscita da una rete
- Protocolli di trasporto end-to-end per comunicazioni tra processi
- Applicazioni che utilizzano le informazioni che attraversano la rete
- Intelligenza ai bordi della rete



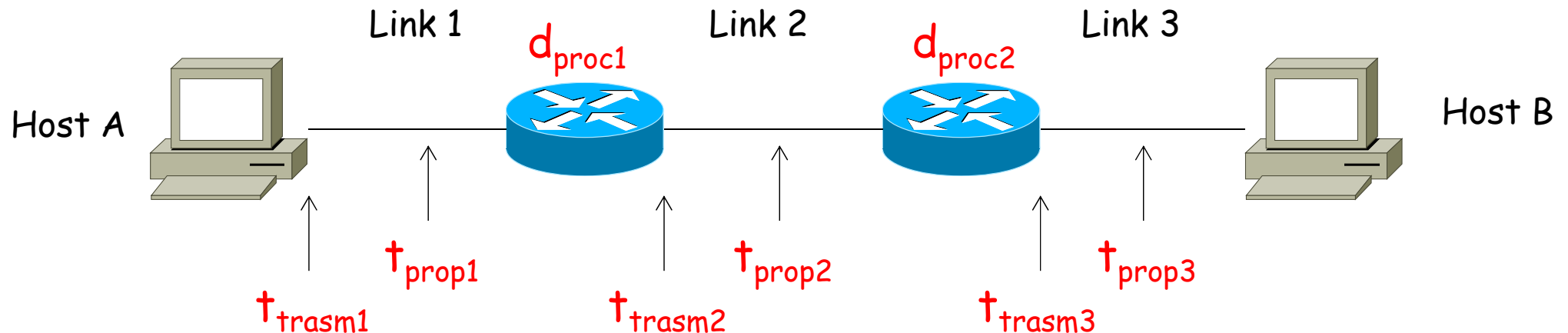
# Esercizio 1 (1)

- Consideriamo un pacchetto di lunghezza  $L$  (bit) trasmesso da un host A ad un host B attraverso tre link. Siano  $d_i$ ,  $v_i$ , e  $R_i$  la lunghezza (km), la velocità di propagazione (m/s) ed il bit rate di trasmissione (bit/s) sul link  $i=1,2,3$ ; sia inoltre  $d_{proc}$  il tempo di elaborazione (ms) necessario in ogni router per le operazioni di switching.
- Assumendo che il tempo di accodamento in ogni router sia nullo, si determini il tempo complessivo  $D_{e2e}$  di trasferimento del pacchetto dall'host A all'host B.





# Esercizio 1 (2)



■ Il ritardo end-to-end ( $D_{e2e}$ ) è dato da:

$$D_{e2e} = t_{trasm1} + t_{prop1} + d_{proc1} + t_{trasm2} + t_{prop2} + d_{proc2} + t_{trasm3} + t_{prop3}$$

■ quindi

$$\begin{aligned} D_{e2e} &= \frac{L}{R_1} + \frac{d_1}{v_1} + d_{proc1} + \frac{L}{R_2} + \frac{d_2}{v_2} + d_{proc2} + \frac{L}{R_3} + \frac{d_3}{v_3} = \\ &= L \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) + \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} + \frac{d_3}{v_3} + d_{proc1} + d_{proc2} \end{aligned}$$



# Esercizio 1 (3)

## ■ Nelle ipotesi che:

- a) il pacchetto abbia una lunghezza  $L=1500$  byte;
- b) la velocità di propagazione sui tre link sia  $v=2 \cdot 10^8$  m/s ( $5 \mu\text{s/km}$ );
- c) il rate di trasmissione sui tre link sia  $R=2$  Mbit/s;
- d) il tempo di processamento dei due router sia  $d_{\text{proc}}=3$  ms;
- e) le lunghezze dei link siano  $d_1=5000$  km,  $d_2=4000$  km,  $d_3=1000$  km

## ■ qual è il ritardo end-to-end $D_{\text{e2e}}$ del pacchetto ?

## ■ Si ha

$$\begin{aligned} D_{\text{e2e}} &= L \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) + \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} + d_{\text{proc1}} + d_{\text{proc2}} = \\ &= \frac{3L}{R} + \frac{1}{v} \cdot (d_1 + d_2 + d_3) + 2 \cdot d_{\text{proc}} \end{aligned}$$



# Esercizio 1 (4)

## ■ Quindi

$$D_{e2e} = \frac{3L}{R} + \frac{1}{v} \cdot (d_1 + d_2 + d_3) + 2 \cdot d_{\text{proc}}$$

- $3L = 3 \cdot 1500 \cdot 8 = 36.000 \text{ bit}$

- $d_1 + d_2 + d_3 = 5000 + 4000 + 1000 = 10.000 \text{ km}$

- $2 \cdot d_{\text{proc}} = 6 \text{ ms}$

## ■ Da cui

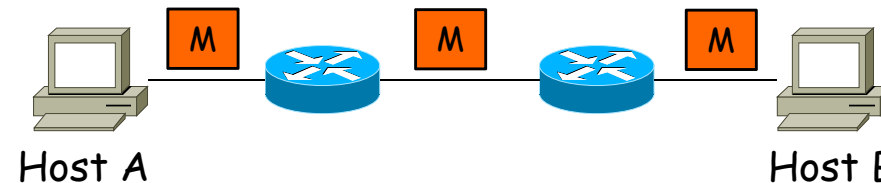
$$\frac{3L}{R} = \frac{36000}{2 \cdot 10^6} = 18 \text{ ms} \quad \frac{1}{v} \cdot (d_1 + d_2 + d_3) = \frac{10000}{2 \cdot 10^5} = 50 \text{ ms} \quad 2 \cdot d_{\text{proc}} = 6 \text{ ms}$$

$$D_{e2e} = 18 + 50 + 6 = 74 \text{ ms}$$



# Esercizio 2(1)

- L'host sorgente suddivide i messaggi (per esempio, un'immagine o un file di musica) in pacchetti che trasmette in rete. Il destinatario riassume i pacchetti per ricostruire il messaggio originale. Chiamiamo questo processo segmentazione del messaggio. La Figura illustra il trasporto end-to-end di un messaggio con e senza segmentazione.



- (a) Si consideri un messaggio lungo  $M=8 \cdot 10^6$  bit e si supponga che ogni link abbia un bit rate  $R=2$  Mbit/s. Si trascurino i ritardi di propagazione, di accodamento e di elaborazione.
  - Calcolare il tempo di trasferimento del messaggio dall'host sorgente al primo router.
  - Qual è il tempo totale richiesto per trasferire il messaggio tra l'host sorgente e quello di destinazione?
- (b) Si consideri ora che il messaggio venga segmentato in  $N=800$  pacchetti, di lunghezza  $L=10000$  bit.
  - Quanto tempo è richiesto per trasferire il primo pacchetto dall'host sorgente al primo router ?
  - In quale istante il secondo pacchetto sarà completamente ricevuto dal primo router ?
- (c) Quanto tempo richiede la trasmissione del file se si usa la segmentazione del messaggio in pacchetti ?
- Confrontate questo risultato con la risposta del punto (a).



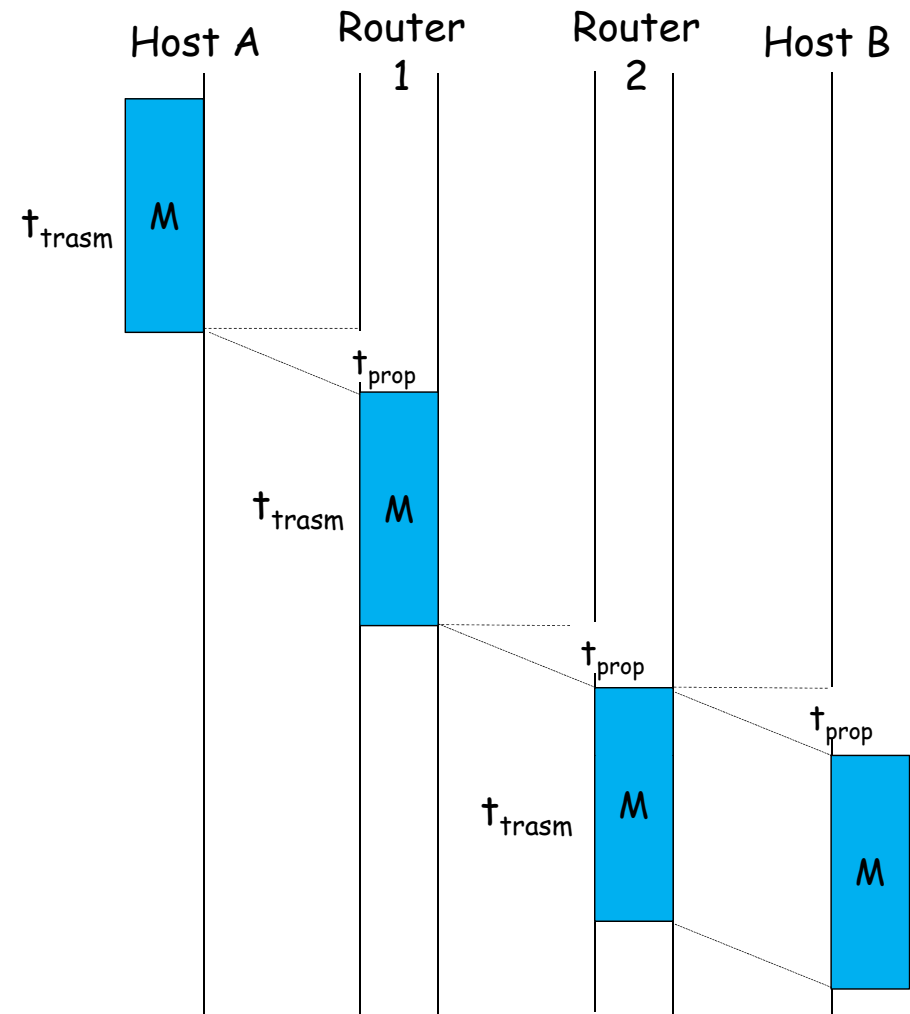
## Esercizio 2(2)

### ■ Quesito (a)

- Riprendendo l'espressione del ritardo di trasferimento calcolato nell'esercizio 1 e considerando che sono trascurabili i tempi di propagazione e di elaborazione, si ha:

$$D_1 = \frac{M}{R} + t_{prop} = \frac{8 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} + 0 = 4 \text{ s}$$

$$D_{e2e} = \frac{3M}{R} + 3t_{prop} = \frac{3 \cdot 8 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} + 0 = 12 \text{ s}$$

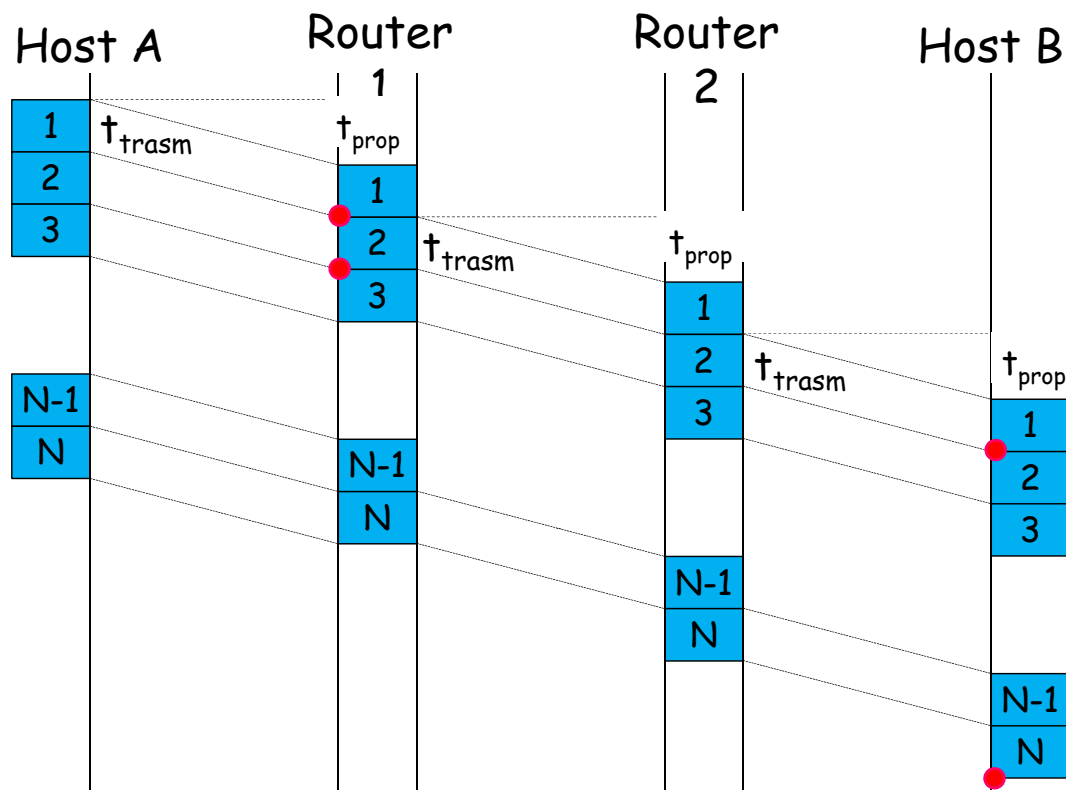




## Esercizio 2(3)

### ■ Quesiti (b) e (c)

- Il trasferimento dei pacchetti avviene secondo lo schema illustrato in figura



$$t_{\text{trasm}} = \frac{L}{R} = \frac{10^4}{2 \cdot 10^6} = 5 \text{ ms}$$

$$T_1 = \frac{L}{R} + t_{\text{prop}} = 5 + 0 = 5 \text{ ms}$$

$$T_2 = \frac{2L}{R} + t_{\text{prop}} = 10 + 0 = 10 \text{ ms}$$

$$D_{\text{e2e}} = [3 \cdot t_{\text{trasm}} + 3 \cdot t_{\text{prop}}] + [(N-1) \cdot t_{\text{trasm}}]$$

Tempo di trasferimento  
del primo pacchetto

Tempo di trasmissione dei  
restanti (N-1) pacchetti



## Esercizio 2(4)

- Il tempo di trasferimento complessivo  $D_{e2e}$  sarà:

$$D_{e2e} = [3 \cdot t_{trasm} + 3 \cdot t_{prop}] + [(N - 1) \cdot t_{trasm}] = 3 \frac{L}{R} + 3 \cdot t_{prop} + (N - 1) \frac{L}{R} = 4.01 \text{ s}$$

- (d) Oltre a ridurre il ritardo, ci sono altri vantaggi della segmentazione dei messaggi ?
  - Migliori prestazioni dei meccanismi di error recovery e di ritrasmissione
- (e) Quali sono gli svantaggi della segmentazione dei messaggi.
  - Maggiore overhead



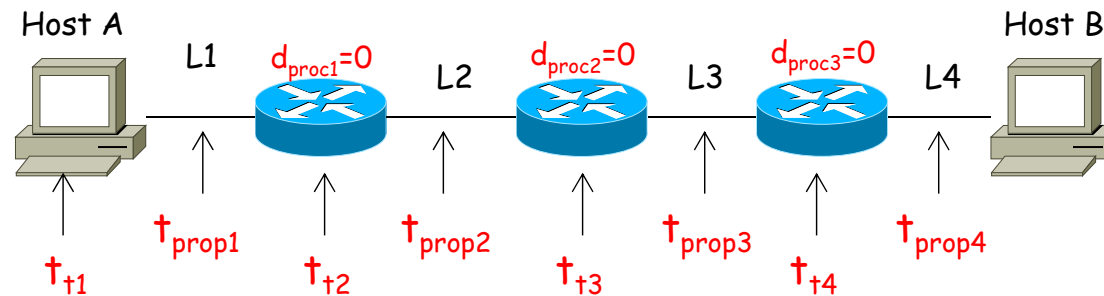


# Esercizio 3(1)

- Si consideri il trasferimento di un messaggio di  $M=1000$  bit tra due host A e B attraverso una sezione di rete a pacchetto costituita da  $K=3$  nodi.
- Si suppone che:
  - il ritardo di propagazione su ogni link sia di  $D=0,1$  s
  - il bit rate su ogni link sia  $R=400$  bit/s
  - il carico su ogni nodo e il tempo di elaborazione dei nodi siano trascurabili
  - l'intestazione dei pacchetti sia di lunghezza costante  $H=20$  bit
- Si vogliono confrontare due soluzioni:
  - a) i pacchetti della rete hanno un campo informativo di dimensione costante  $L=80$  bit
  - b) i pacchetti della rete hanno un campo informativo di dimensione variabile di dimensione massima  $L=80$  bit
- Si chiede di:
  - 1. calcolare il ritardo di trasferimento del messaggio nelle soluzioni a) e b)
  - 2. indicare, in generale, come la differenza di ritardi di trasferimento delle due soluzioni a) e b) varia al crescere  $L$



## Esercizio 3(2)



### ■ Caso (a): lunghezza pacchetti costante $L$

- Il messaggio è segmentato in  $N$  pacchetti

$$N = \left\lceil \frac{M}{L} \right\rceil = \left\lceil \frac{1000}{80} \right\rceil = 13$$

- Considerando che ogni pacchetto avrà lunghezza complessiva  $L_p = H + L = 100$  bit e quindi  $t_{ti} = 250$  ms ( $i=1, \dots, 4$ ), il ritardo  $D_{e2e}(a)$  è dato da

$$D_{e2e}(a) = 4 \frac{H + L}{R} + 4D + \left( \left\lceil \frac{M}{L} \right\rceil - 1 \right) \frac{(H + L)}{R} = 4 \cdot 250 + 4 \cdot 100 + 12 \cdot 250 = 4400 \text{ ms} = 4.4 \text{ s}$$

Tempo di trasferimento  
del primo pacchetto

Tempo di trasmissione dei  
restanti  $(N-1)$  pacchetti



## Esercizio 3(3)

### ■ Caso (b): pacchetti di lunghezza variabile con lunghezza massima $L$

- In questo caso il messaggio sarà segmentato in  $N=13$  pacchetti, di cui i primi  $N-1=12$  saranno di lunghezza massima  $L$ , mentre l'ultimo avrà lunghezza  $L_2$

$$L_2 = M - (N - 1) \cdot L = 1000 - 12 \cdot 80 = 40 \text{ bit}$$

- Da cui il tempo di trasferimento  $D_{e2e}(b)$

$$\begin{aligned} D_{e2e}(a) &= 4 \frac{H + L}{R} + 4D + \left( \left\lceil \frac{M}{L} \right\rceil - 2 \right) \frac{(H + L)}{R} + \frac{(H + L_2)}{R} = \\ &= 4 \cdot 250 + 4 \cdot 100 + 11 \cdot 250 + 150 = 4300 \text{ ms} = 4.3 \text{ s} \end{aligned}$$



## Esercizio 3(4)

### ■ Differenza dei ritardi al variare di L

■  $\text{Diff} = D_{e2e}(a) - D_{e2e}(b)$



$$\text{Diff} = D_{e2e}(a) - D_{e2e}(b) = \frac{1}{R} \left( \left\lceil \frac{M}{L} \right\rceil \cdot L - M \right)$$

■ I due ritardi sono uguali per valori di L sottomultipli di M

■ Al crescere di L la differenza tendenzialmente cresce perché pesa maggiormente in  $D_{e2e}(a)$  il tempo di trasmissione dell'ultimo pacchetto

