

Francesca Cuomo e Marco Polverini

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

Introduzione

■ Obiettivi

- introdurre la terminologia e i concetti di base
- Internet come fonte di esempi

■ Panoramica

- cos'è Internet ?
- cos'è un protocollo ?
- host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- commutazione di circuito e commutazione di pacchetto
- struttura di Internet
- prestazioni: ritardi, perdite e throughput

Che cos'è Internet ?



PC



server



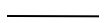
Portatile



Telefono
cellulare



Punti di
accesso



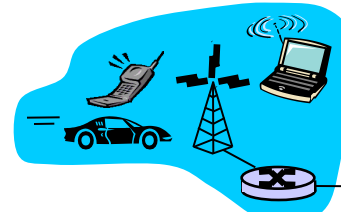
Collegam.
cablato



router

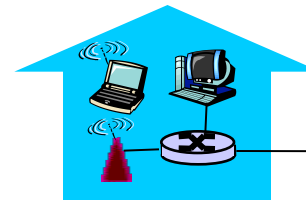
- *Host = sistema terminale*
- *Applicazioni di rete*
- *Collegamenti*
 - rame, fibra ottica, onde elettromagnetiche, satellite
 - Frequenza di trasmissione = *ampiezza di banda*
- *Router = instrada i pacchetti verso la loro destinazione finale*

Rete mobile



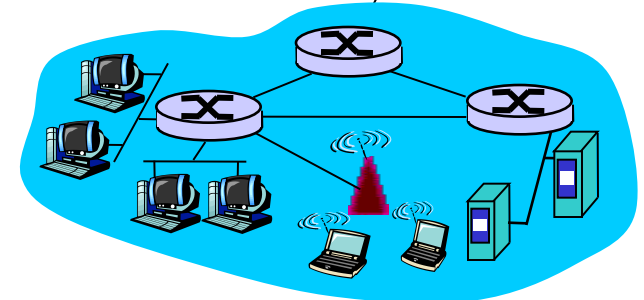
ISP nazionale
o internazionale

Rete domestica



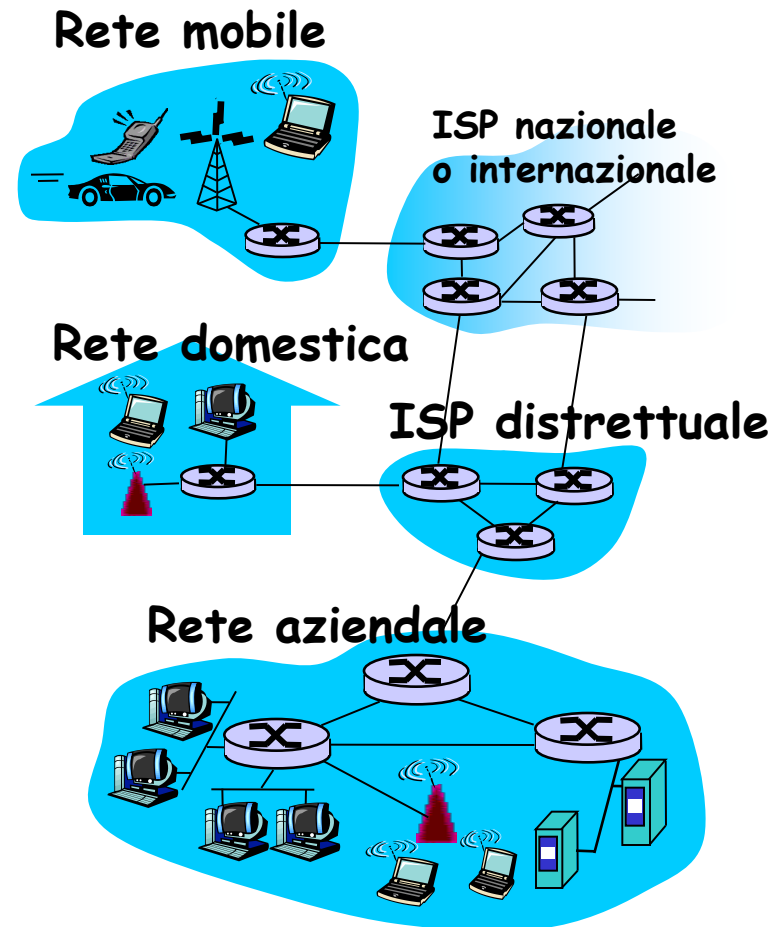
ISP distrettuale

Rete aziendale



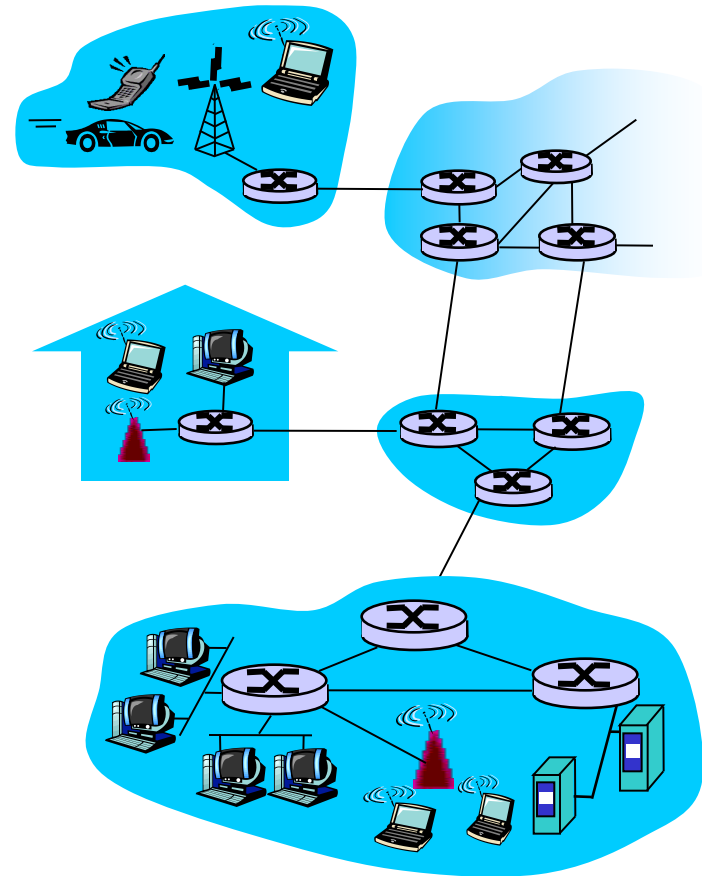
Che cos'è Internet ?

- 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



Che cos'è Internet ?

- **Infrastruttura di comunicazione per applicazioni distribuite**
 - 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



Cos'è un protocollo ?

Protocolli umani:

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

... invio di specifici
messaggi

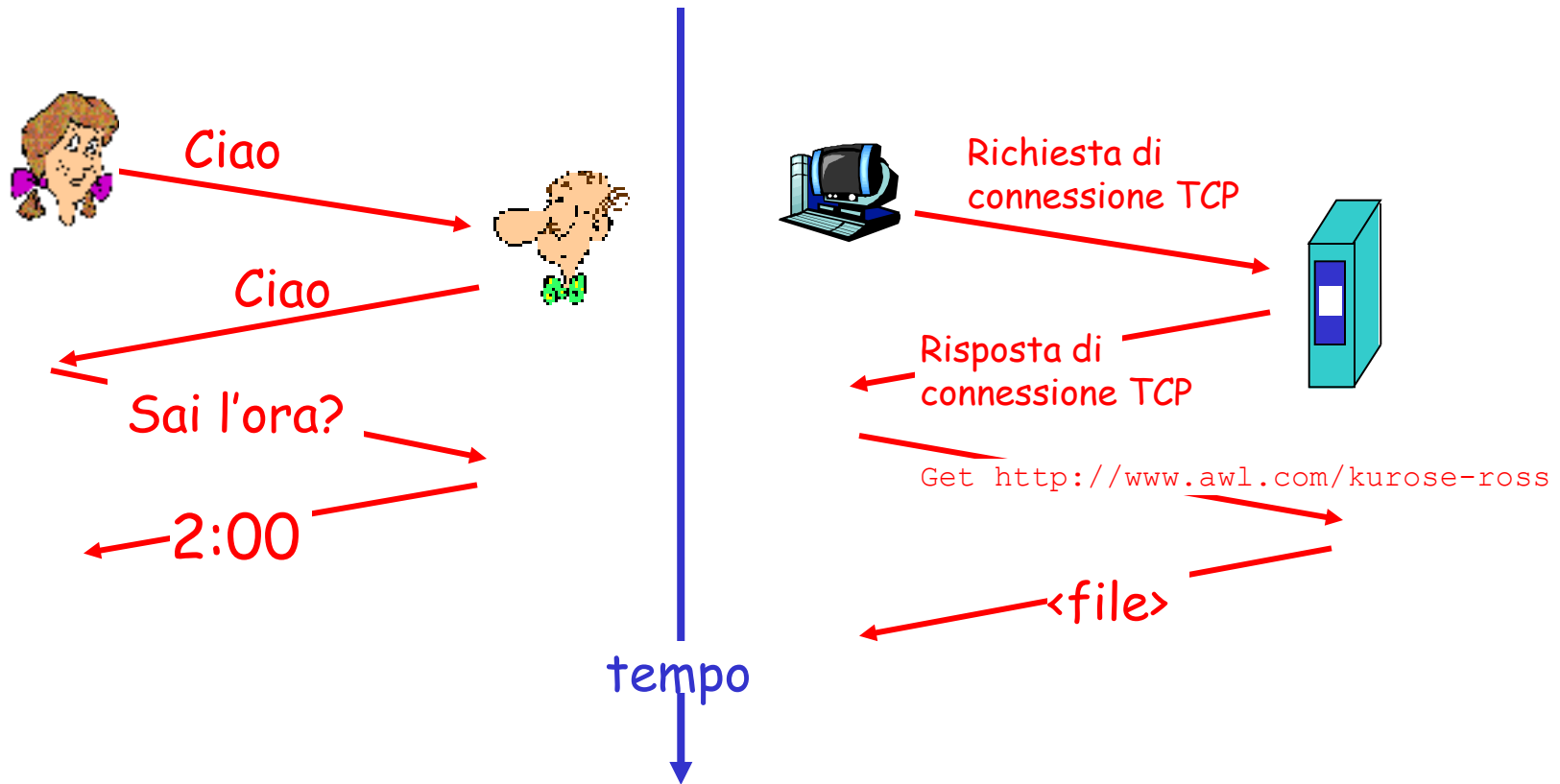
... quando il messaggio è
ricevuto, vengono
intraprese specifiche
azioni, o si verificano
altri eventi

Protocolli di rete:

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

Cos'è un protocollo ?

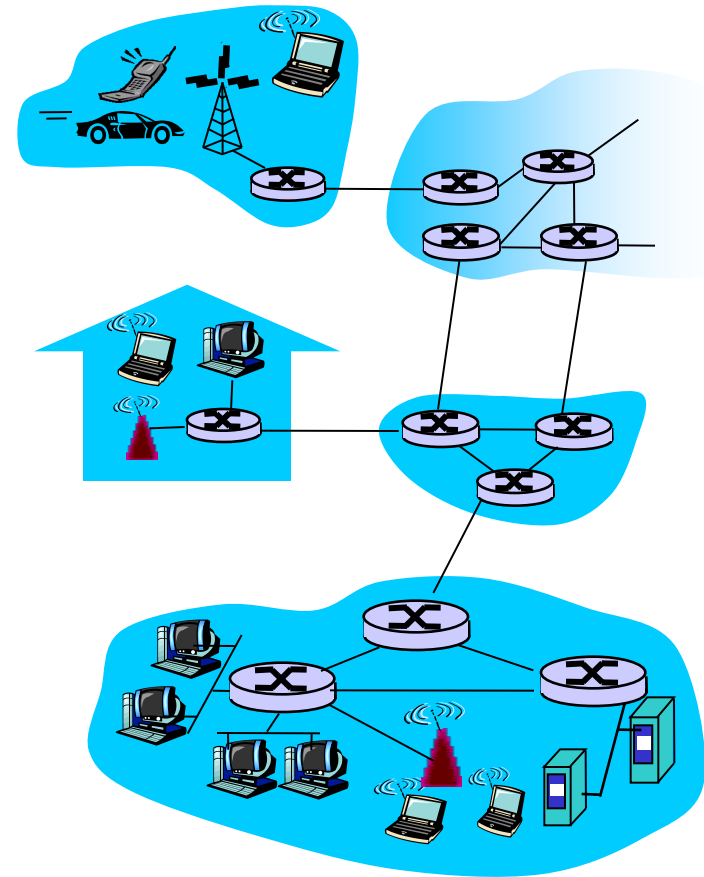
Protocollo umano e protocollo di rete



D: Conoscete altri protocolli umani ?

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 **peer to peer**

■ architettura client/server

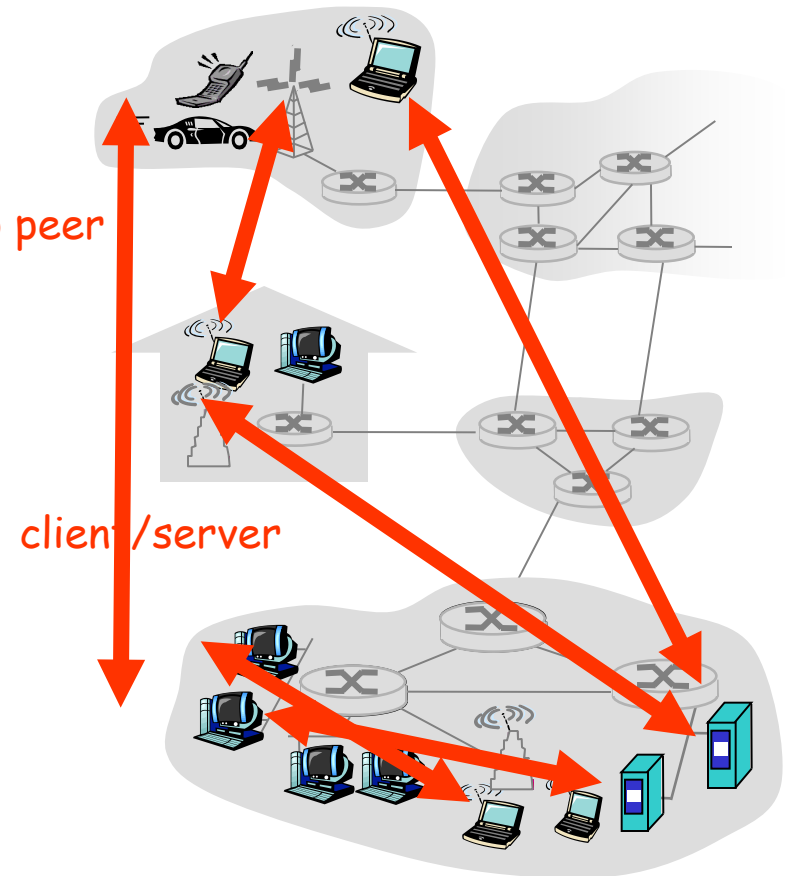
- L'host client richiede e riceve un servizio da un programma server in esecuzione su un altro terminale

- es.: browser/server Web ;
client/server e-mail

■ architettura peer to peer

- uso limitato (o inesistente) di server dedicati

- es.: Skype, Bit Torrent



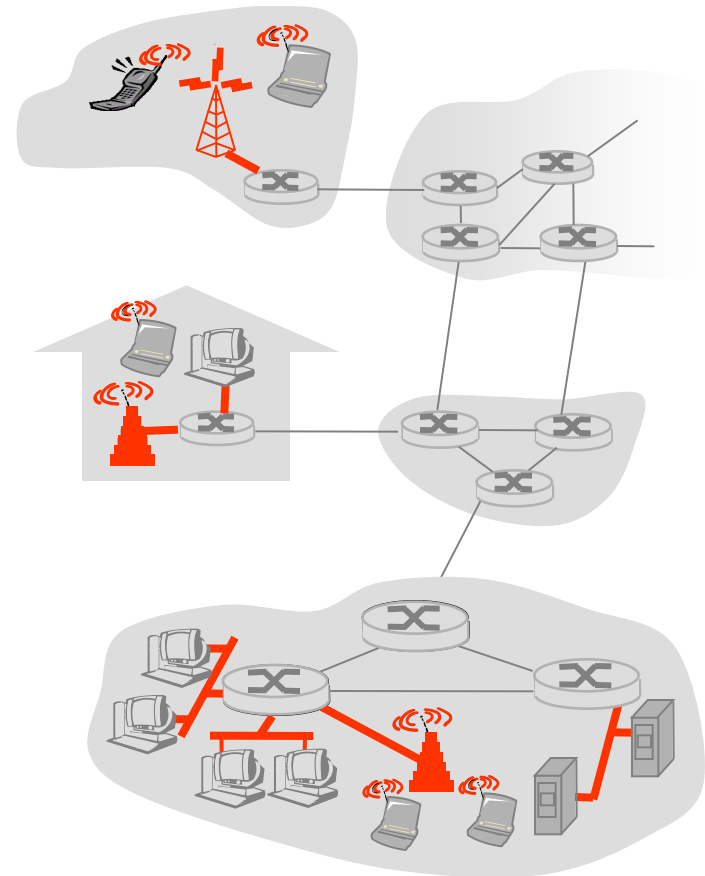
Reti d'accesso e mezzi fisici

D: Come collegare sistemi terminali e router esterni?

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

Ricordate:

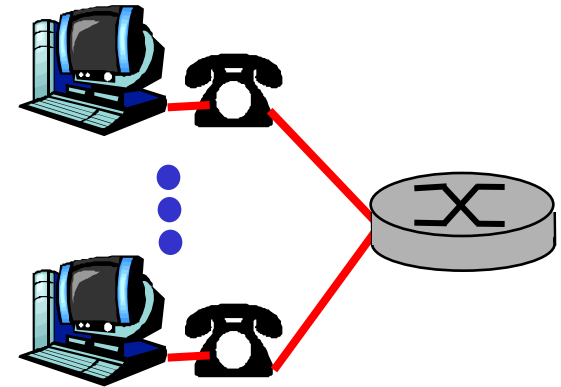
- ampiezza di banda (bit al secondo)?
- condivise o dedicate?



Accesso residenziale: punto-punto

■ Modem dial-up

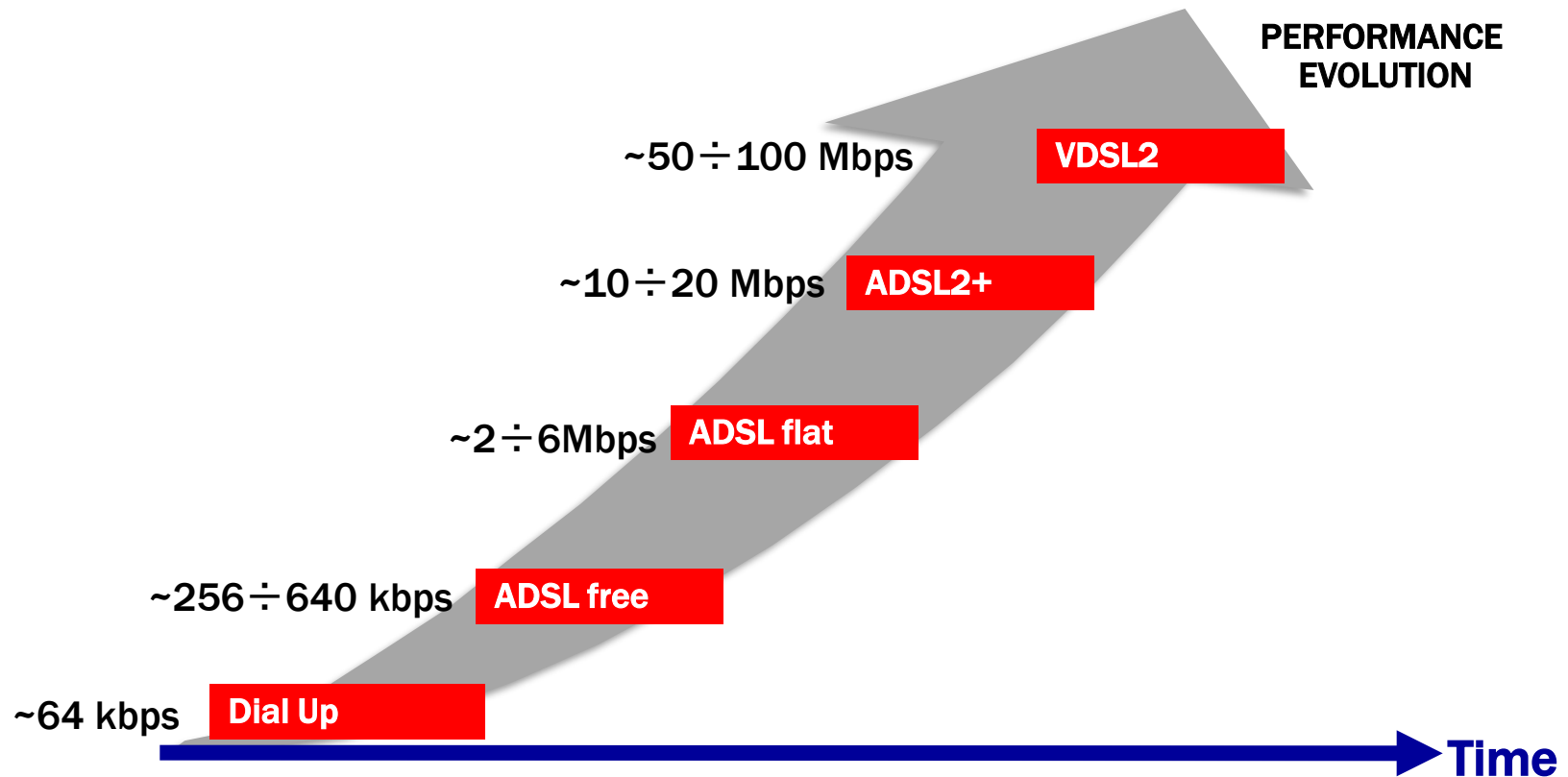
- fino a 56 Kbps di accesso diretto al router (ma spesso è inferiore)
- non è possibile "navigare" e telefonare allo stesso momento



■ DSL: digital subscriber line

- installazione: in genere da una società telefonica
- ~ 1 Mbps in upstream
- ~ 8 Mbps in downstream
- linea dedicata

Accesso a Larga Banda di rete fissa

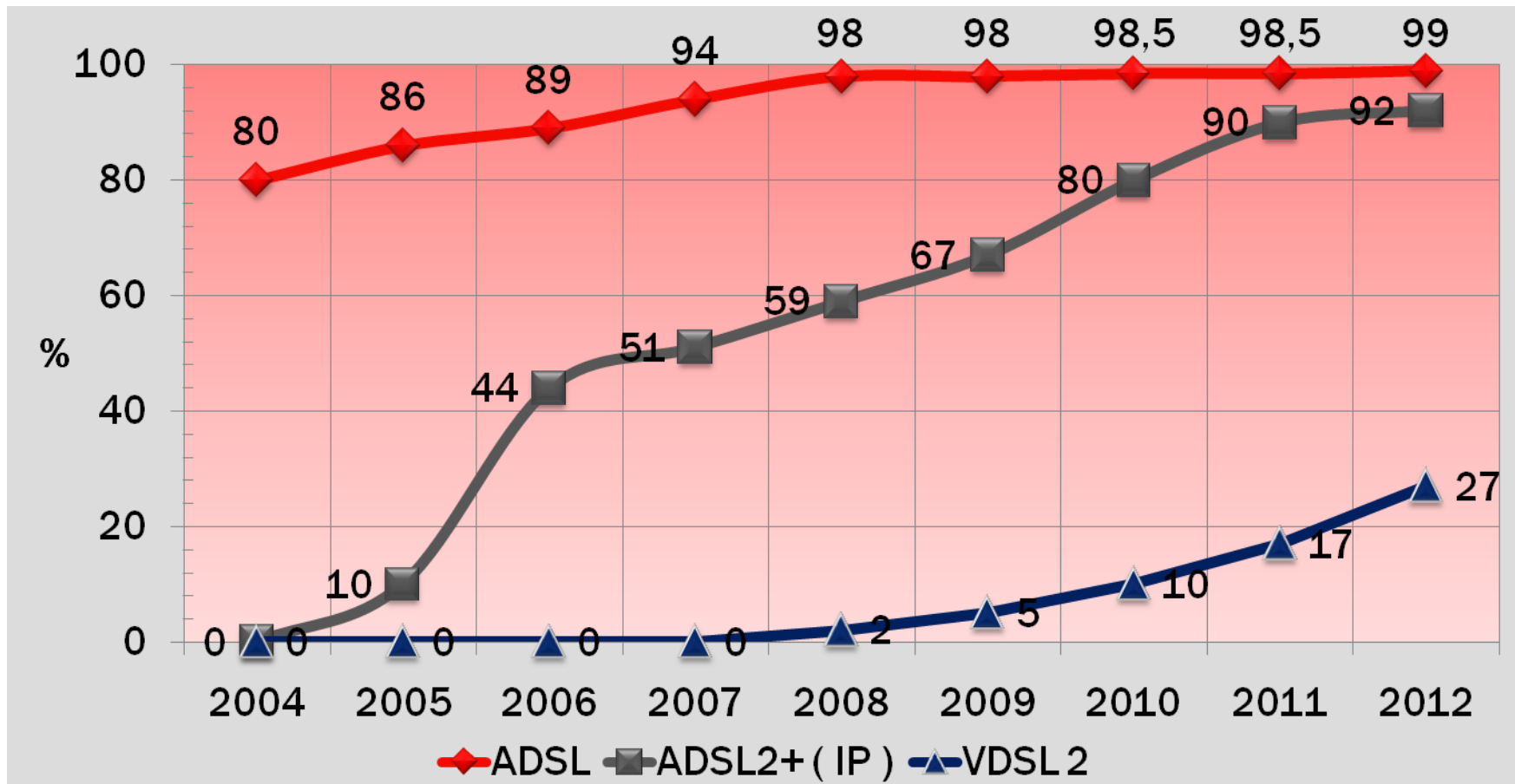


Sistemi XDSL

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

14



Rete di Distribuzione Telefonica

■ Obiettivo

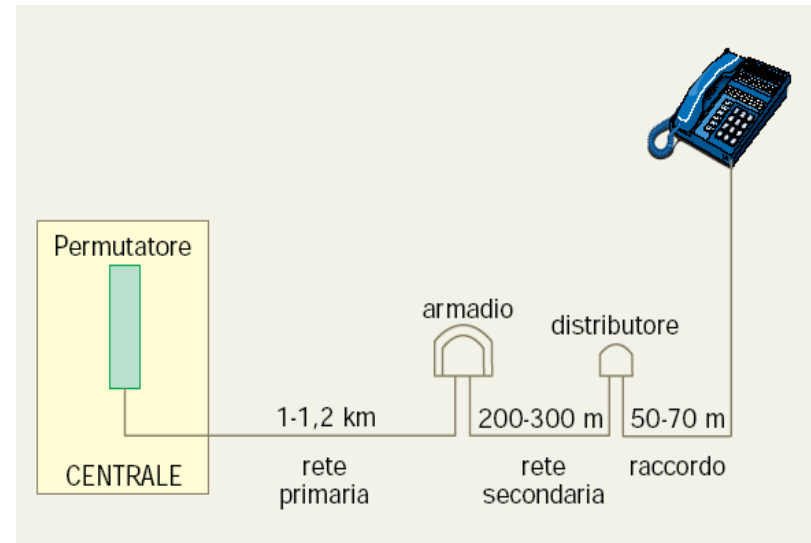
- Trasporto e trattamento del segnale dalla centrale (SL) all'apparecchio del cliente

■ E' costituita da

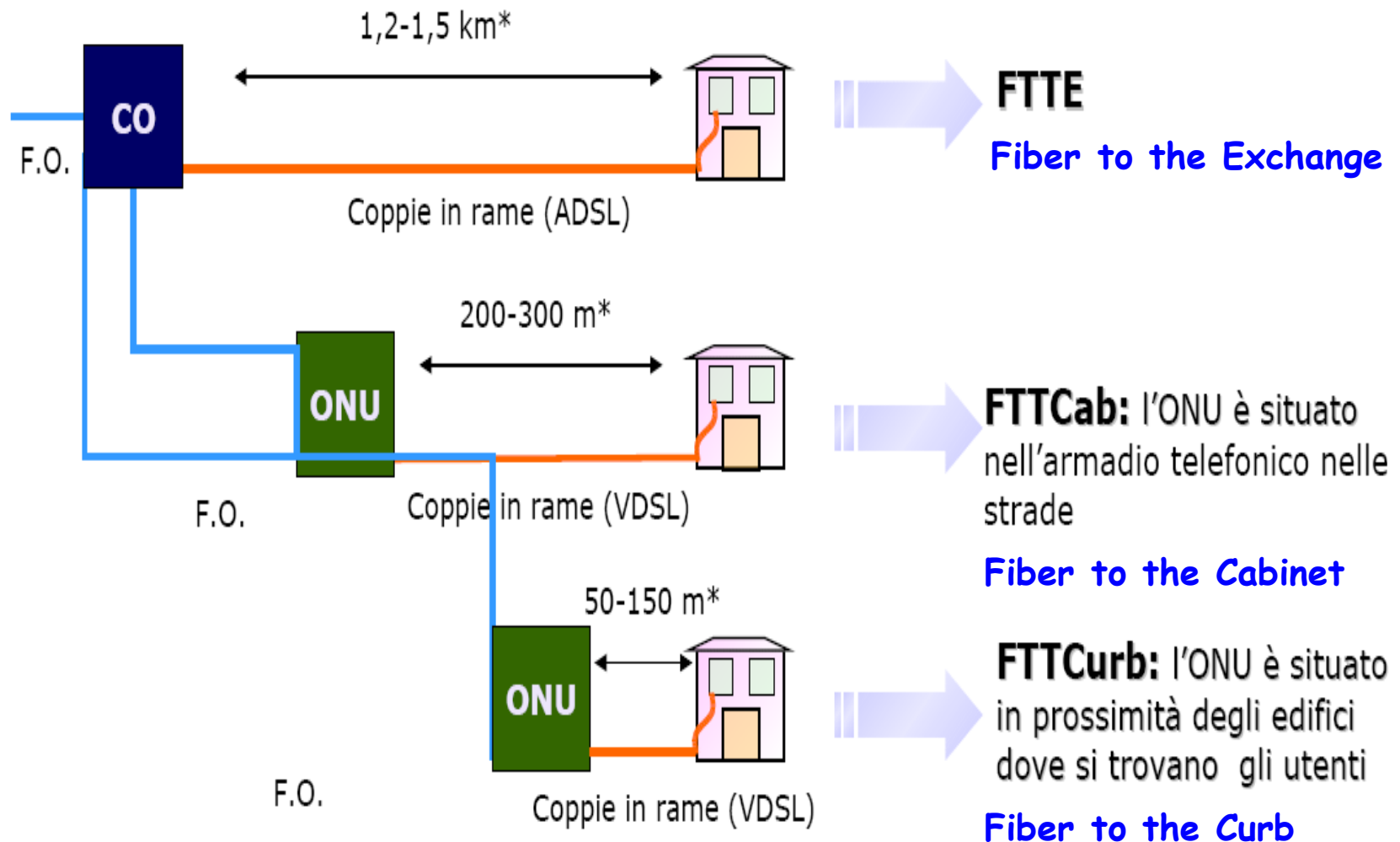
- Portanti fisici
- Attestazioni e terminazioni
- Appareati trasmissivi
- Altri dispositivi

■ Si suddivide nelle seguenti sezioni

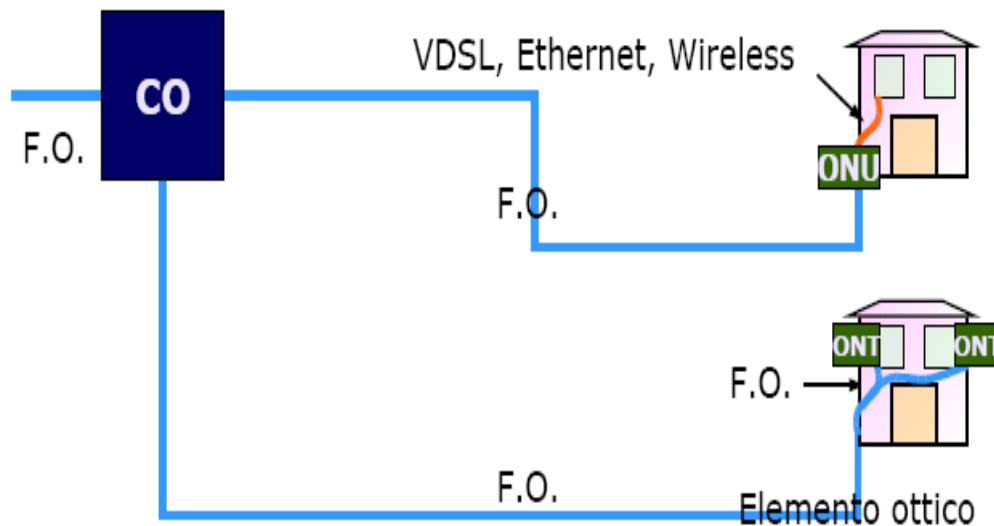
- Rete Primaria (~ 1 km)
- Rete Secondaria (~ 200 m)
- Raccordo (~ 50 m)



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

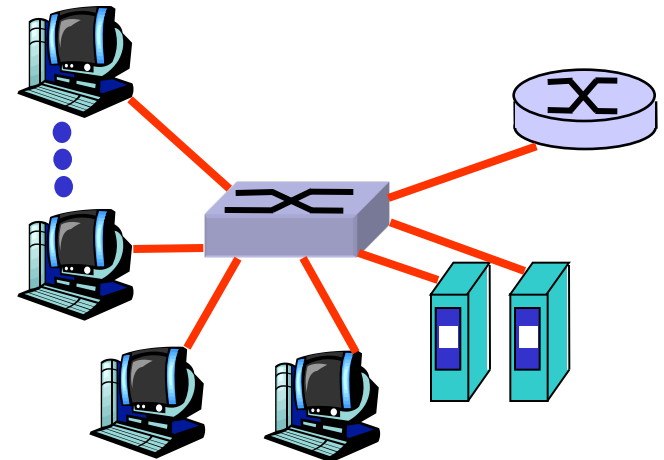
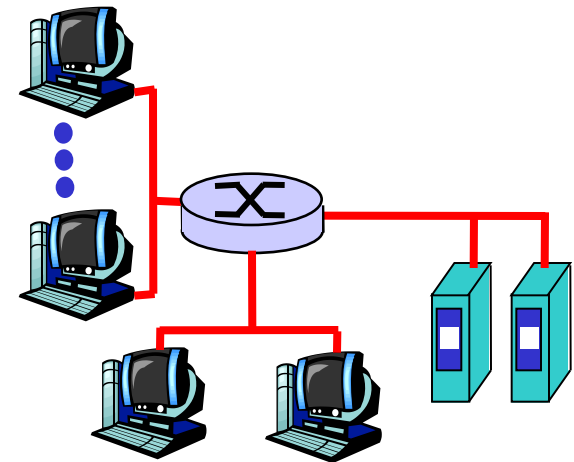
Fiber to the Home

Concetti acquisiti (1)

- **Protocollo di rete**
- **Struttura generale di una rete**
 - Sezione di accesso
 - Sezione dorsale (Backbone)
- **Tipologie di reti di accesso**
 - Fisse (wired)
 - Mobili (wireless)
- **Tipologie di risorse**
 - Risorse dedicate
 - Risorse condivise
- **Banda di accesso**

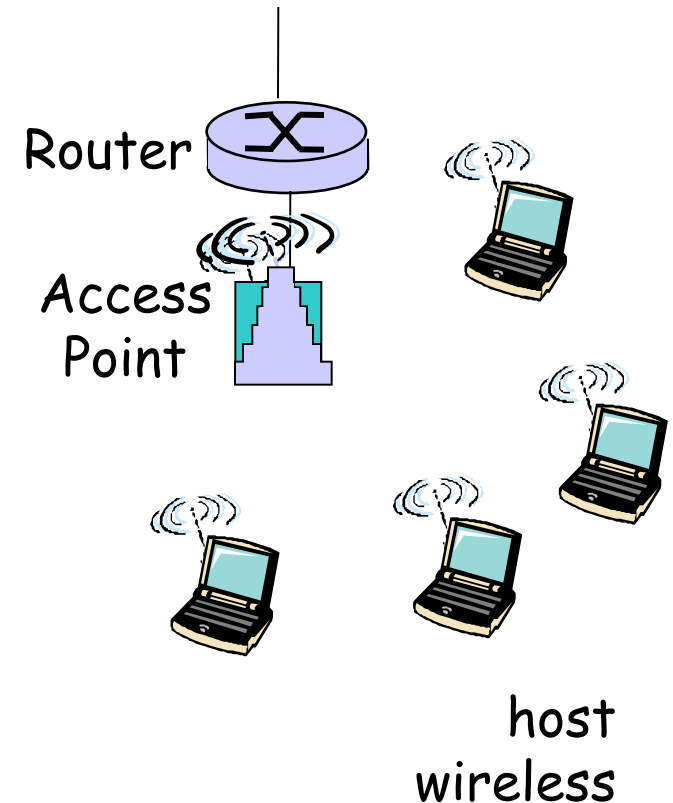
Accesso aziendale: reti locali (LAN)

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



Accesso wireless

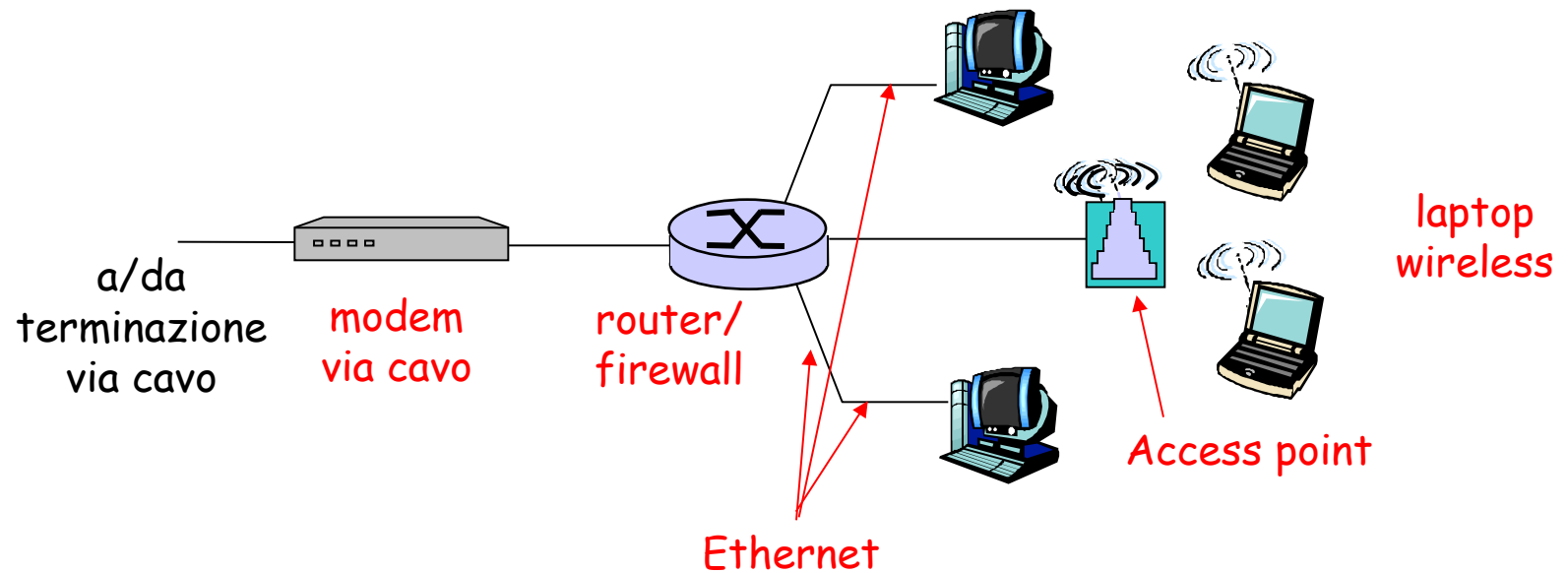
- Una rete condivisa d'accesso wireless collega i sistemi terminali al router
 - Access Point (AP)
- **Wireless LAN**
 - 802.11b/g (WiFi): 11 o 54 Mbps
- **Rete d'accesso wireless geografica**
 - gestita da un provider di telecomunicazioni
 - ~ 1 Mbps per i sistemi cellulari (HSDPA)...
 - WiMax per aree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

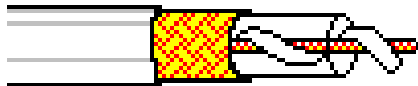
- due fili di rame distinti
 - Categoria 3: tradizionale cavo telefonico, 10 Mbps Ethernet
 - Categoria 5: 100 Mbps Ethernet



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

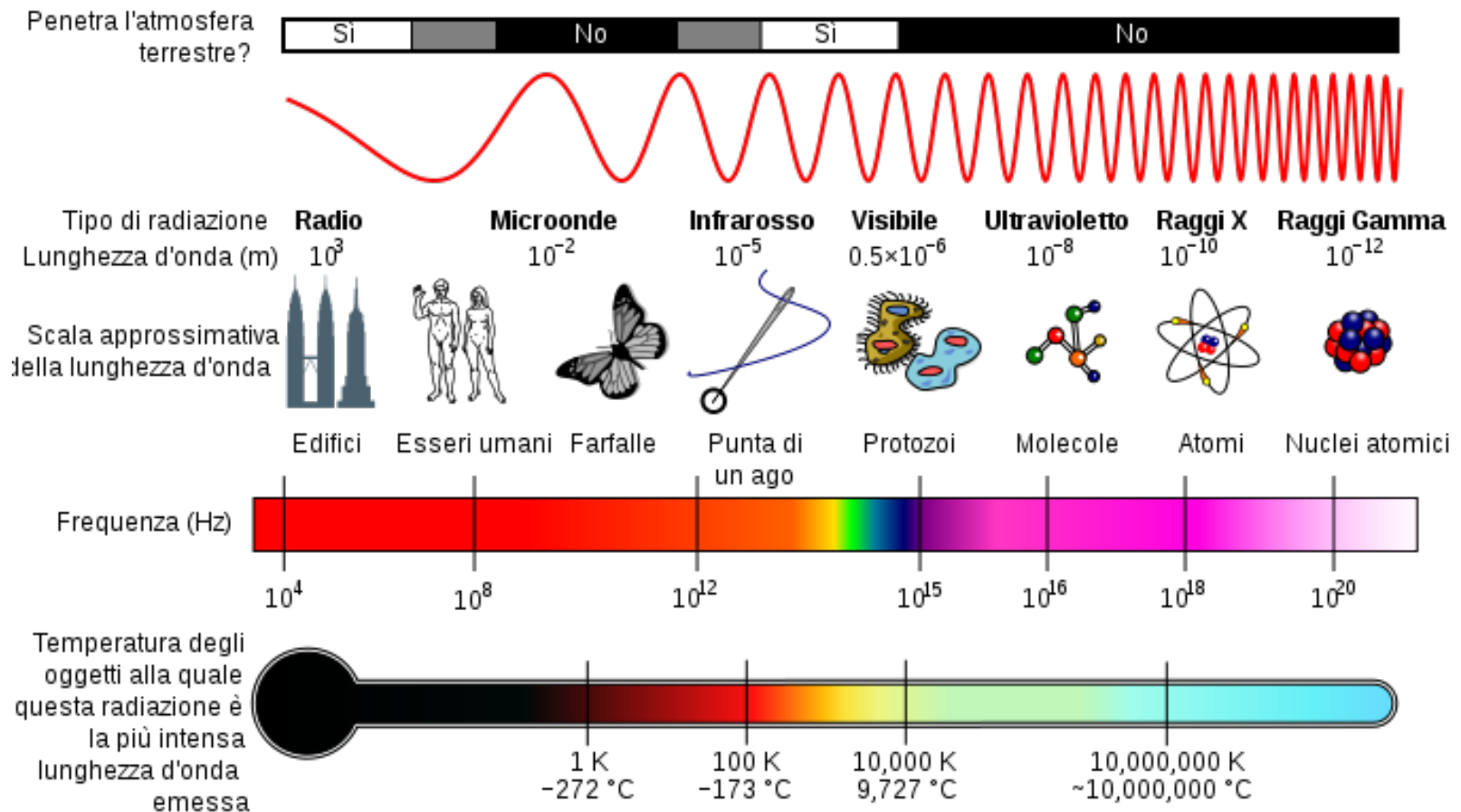
- Mezzo sottile e flessibile che conduce impulsi di luce
- Alta frequenze trasmissiva:
 - Elevata velocità di trasmissione punto-punto (da 10 a 100 Gps)
- Basso tasso di errore, immune all'interferenza elettromagnetica



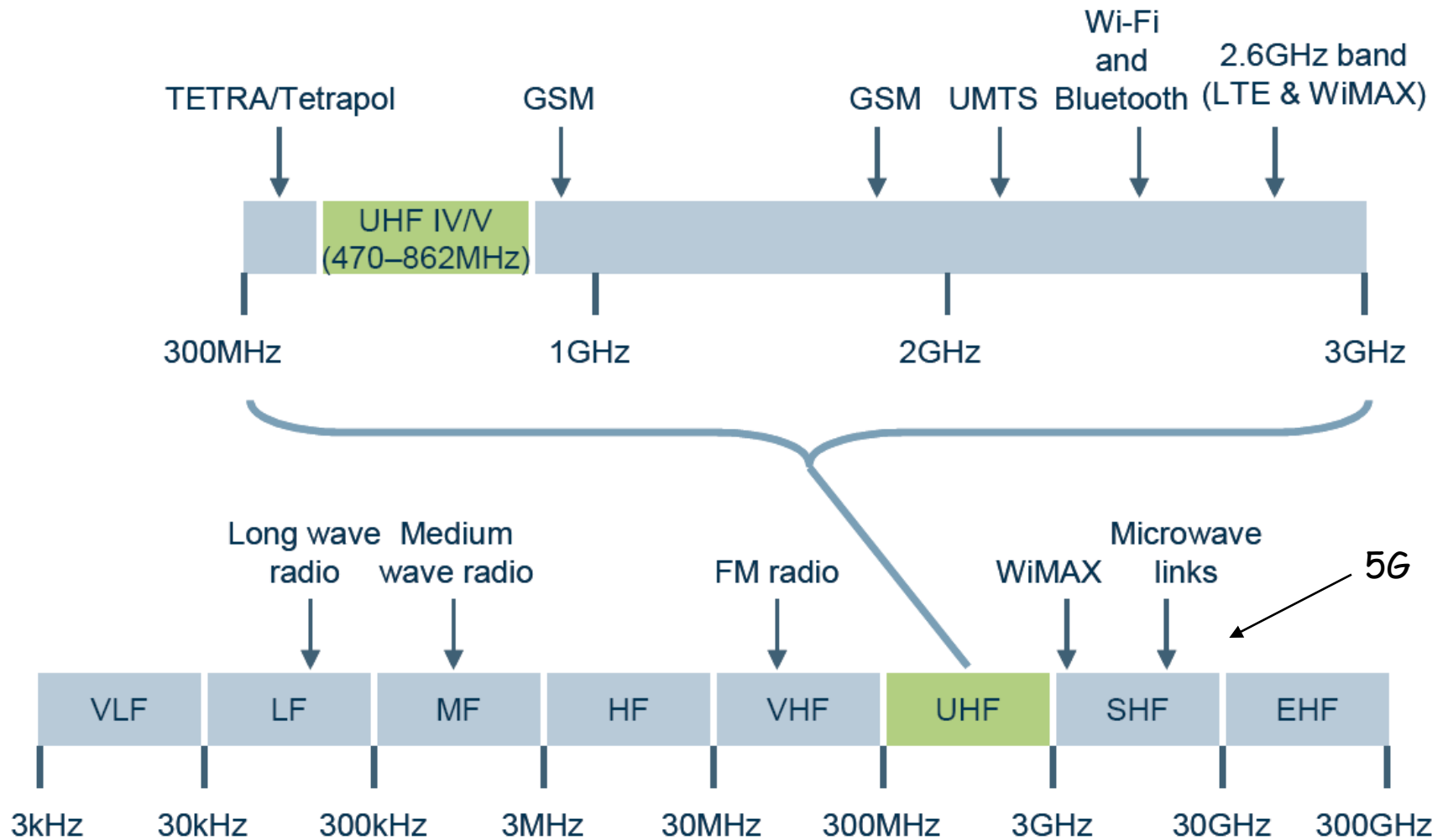
Mezzi trasmissivi: canali radio

- 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

Spettro elettromagnetico

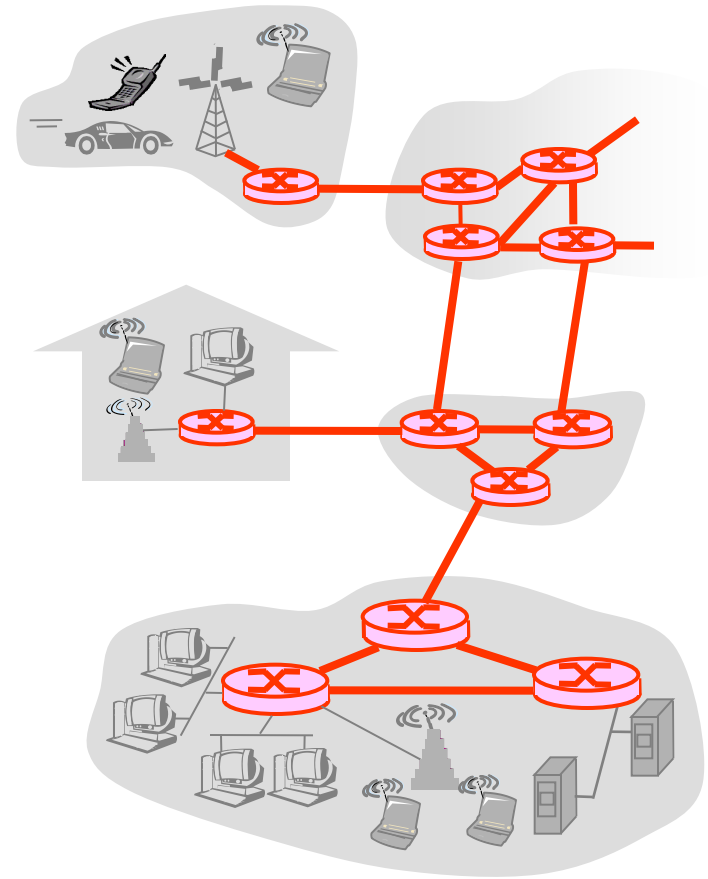


Sistemi a microonde



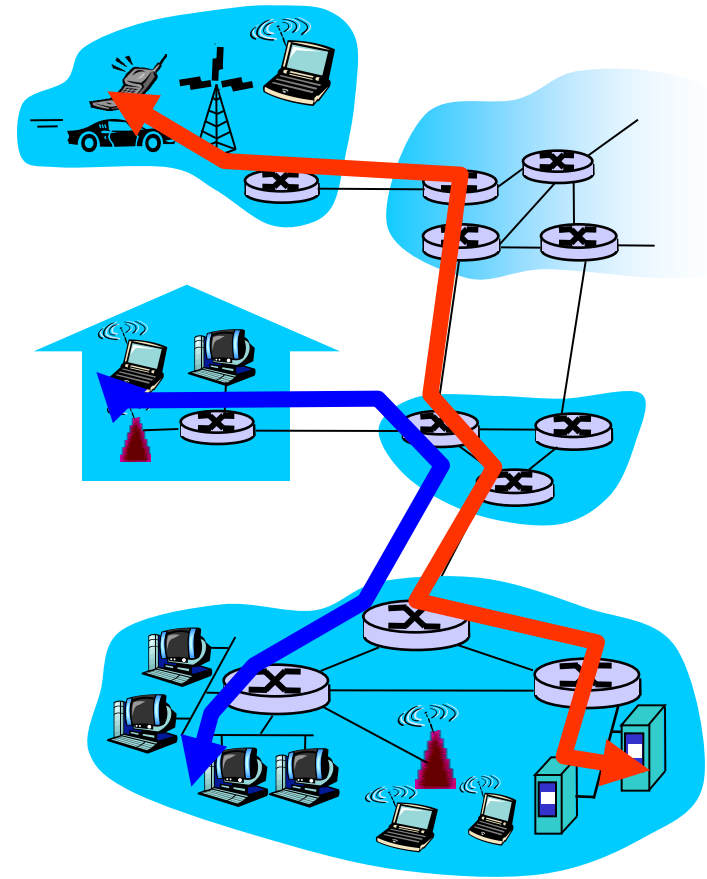
Il nucleo della rete

- 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

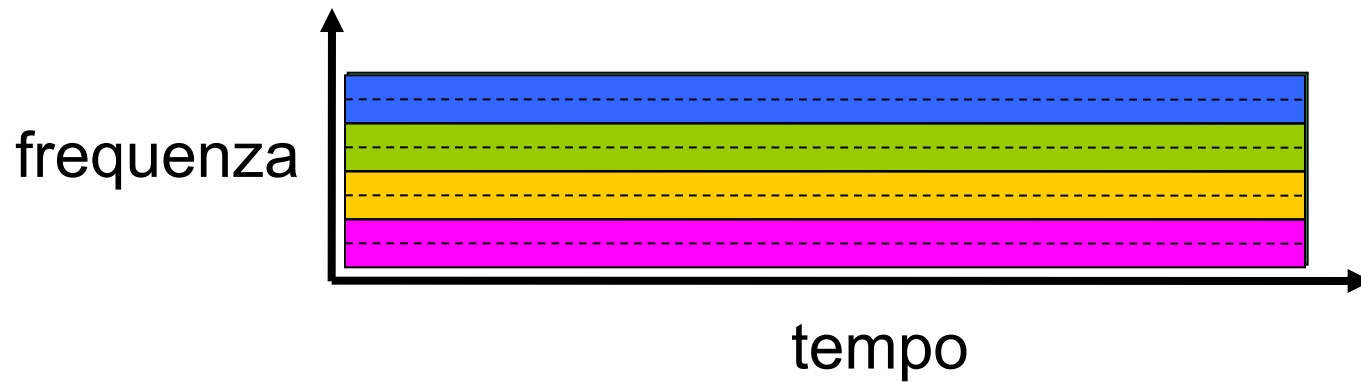
- Risorse di rete (**banda**) suddivise in "pezzi"
- ciascun "pezzo" viene allocato ai vari collegamenti
- le risorse rimangono inattive se non utilizzate (non c'è condivisione)
- Suddivisione della banda in "pezzi"
 - divisione di frequenza
 - divisione di tempo

Commutazione di circuito: FDM e TDM

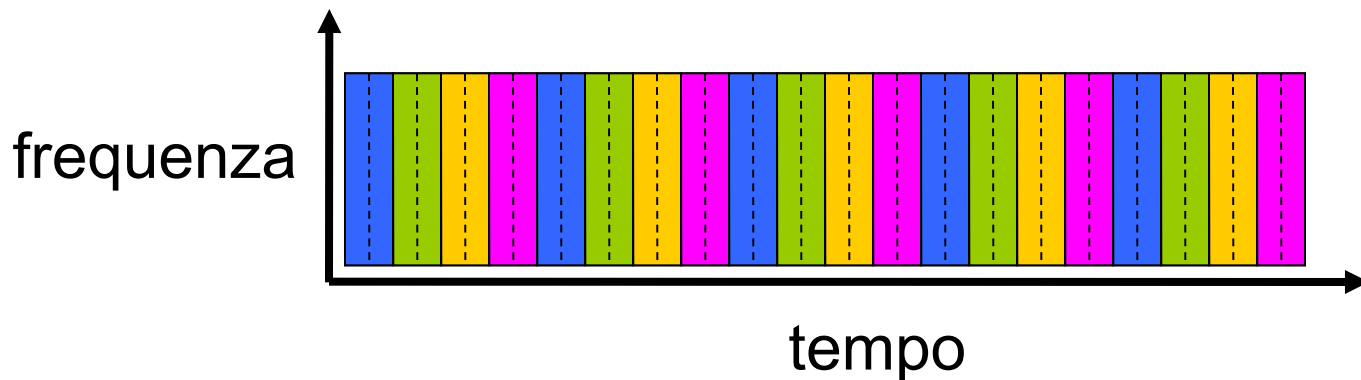
FDM

Esempio:

4 utenti



TDM



Un esempio numerico

- Quanto tempo occorre per inviare un file di 640000 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

Concetti acquisiti (2)

- **Topologia del backbone**
 - stella
 - maglia
 - gerarchica
- **Commutazione di circuito**
 - Canale di comunicazione dedicato alla sessione
 - Multiplazione statica (es. TDM, FDM)
 - Sessione composta da tre fasi
 - Protocollo di segnalazione
 - Efficienza bassa
 - Solo contese di preassegnazione
 - Ritardo di trasferimento basso

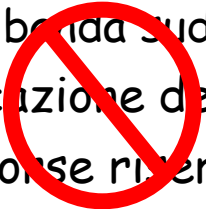
Commutazione di pacchetto (Packet Switching - PS)

- 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**

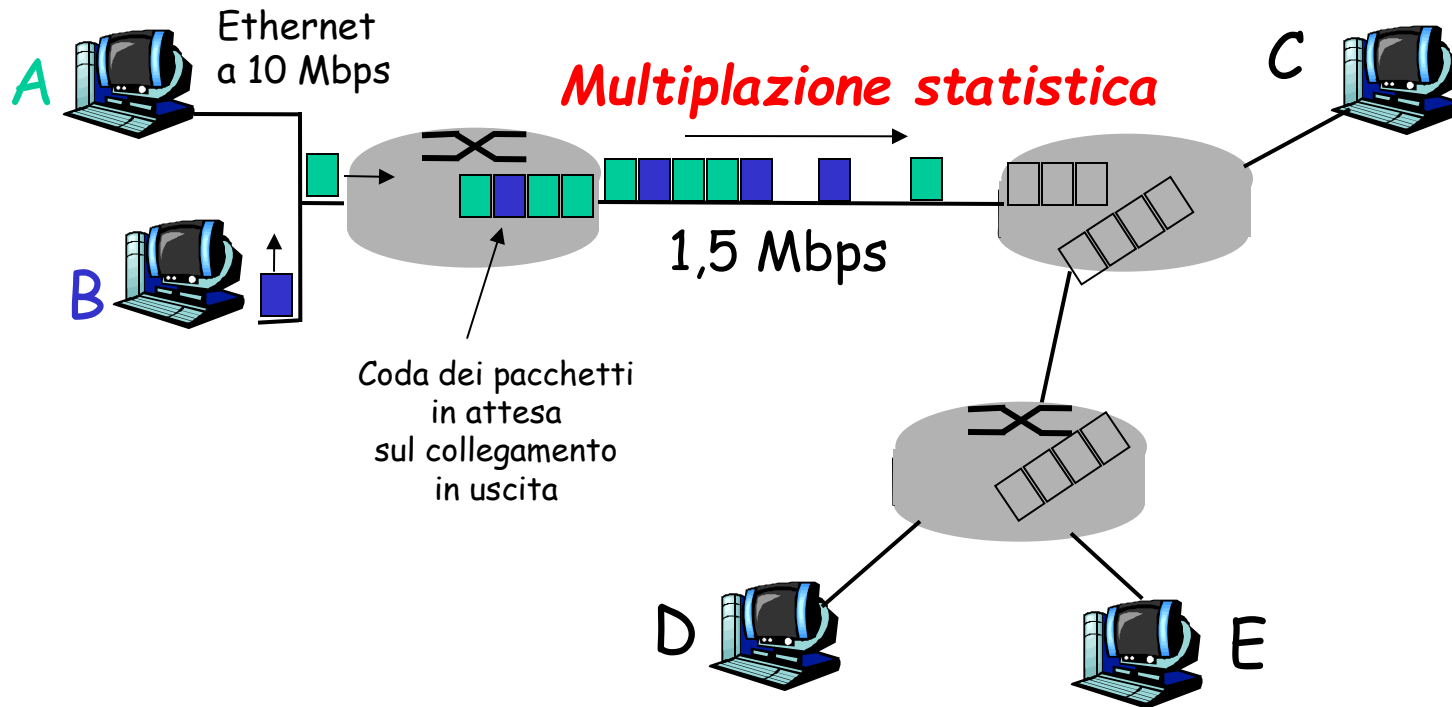
- **Contesa per le risorse**

- 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

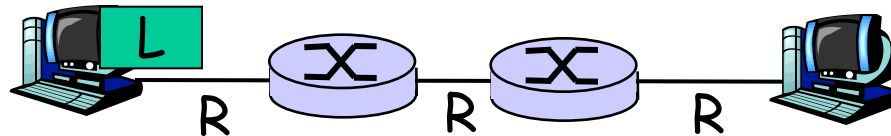


Multiplazione statistica



- 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

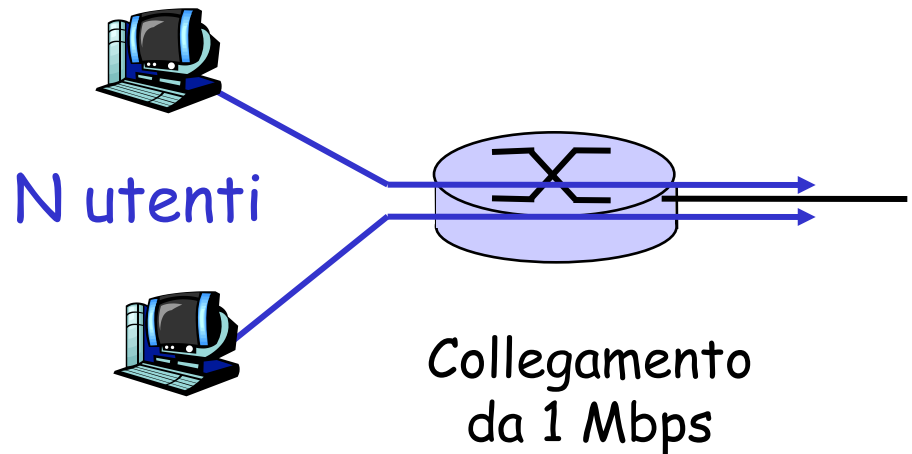


- Occorrono L/R secondi per trasmettere un pacchetto di L bit su un collegamento in uscita da R bps
 - store and forward
 - l'intero pacchetto deve arrivare al router prima che questo lo trasmetta sul link successivo
 - ritardo = $3L/R$ (supponendo che il ritardo di propagazione sia zero)
 - Occorre 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 ?"

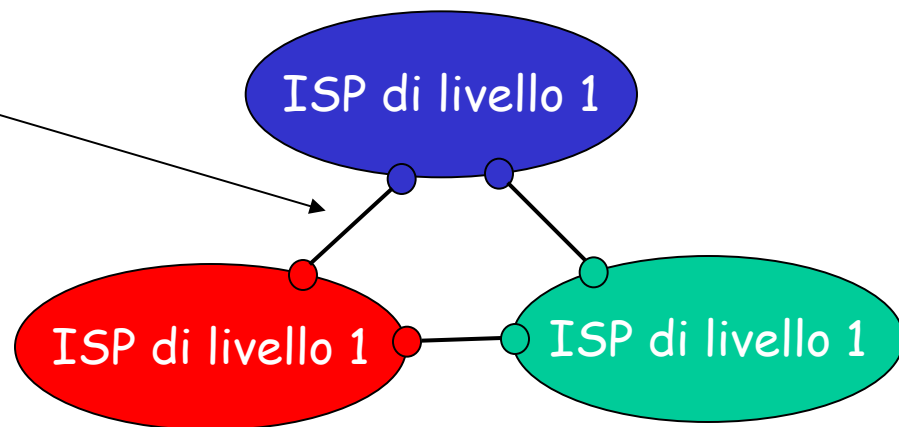
- **Ottima per i dati a "burst"**
 - Condivisione delle risorse
 - Più semplice, non necessita l'impostazione della chiamata
- **Eccessiva congestione: ritardo e perdita di pacchetti**
 - Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione
- **D: Come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

Struttura di Internet: rete di reti

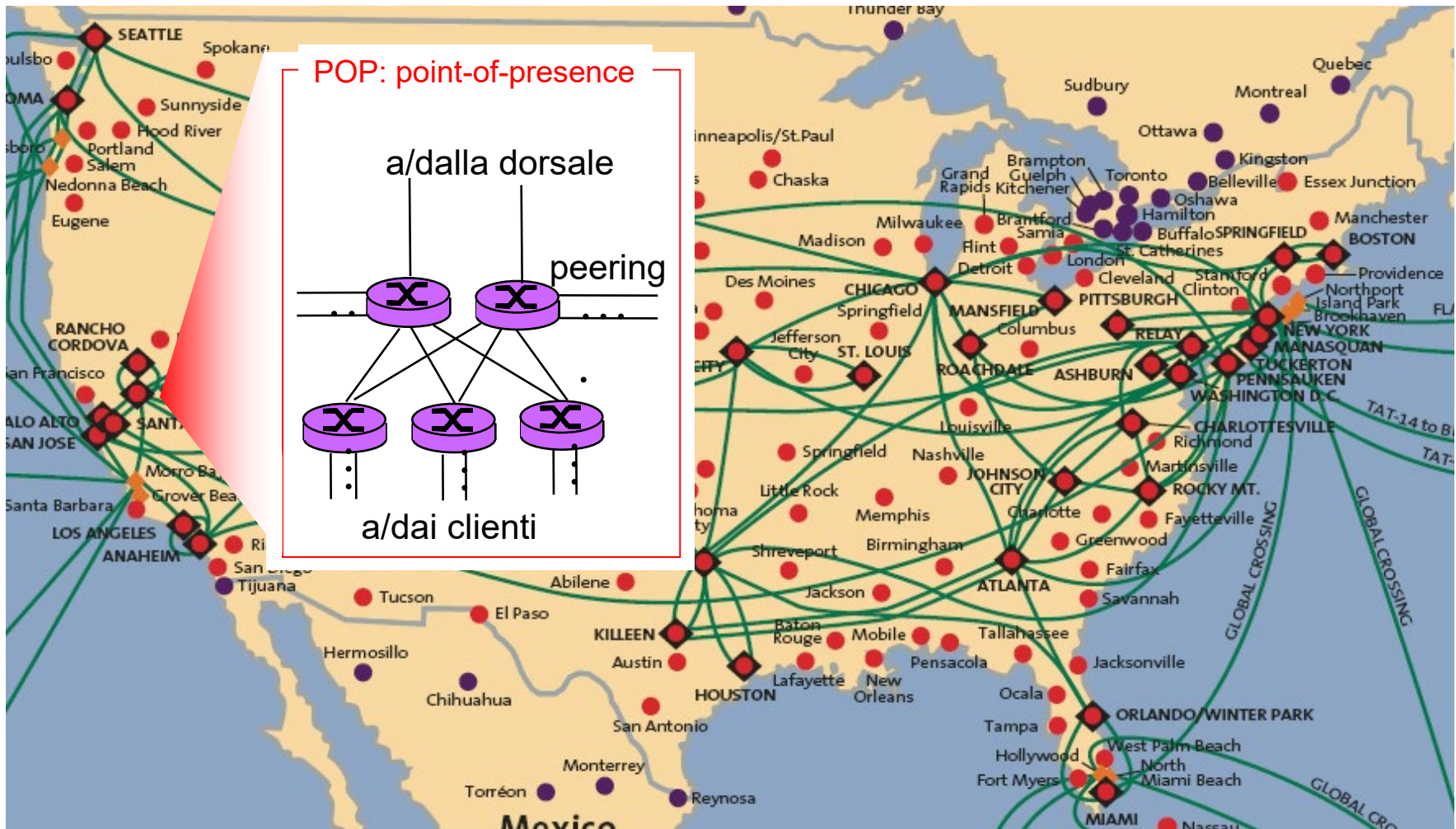
■ Fondamentalmente gerarchica

- 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



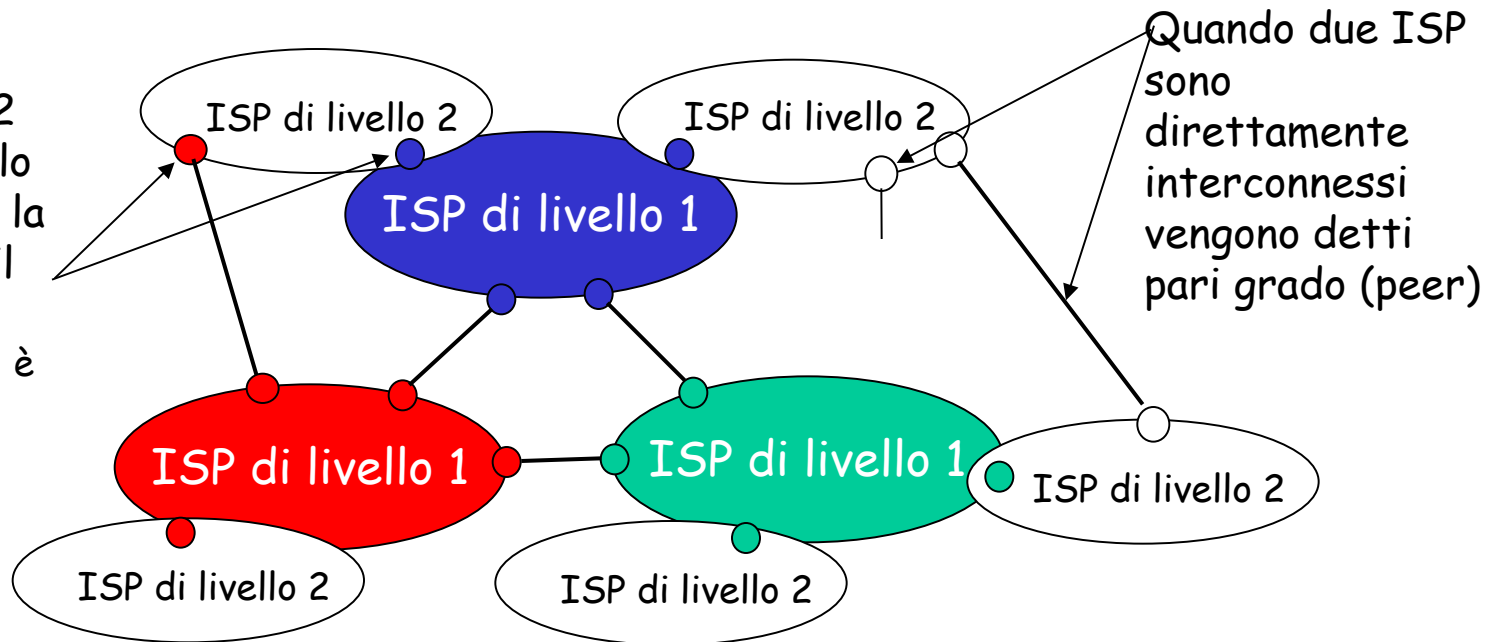
Struttura di Internet

■ 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

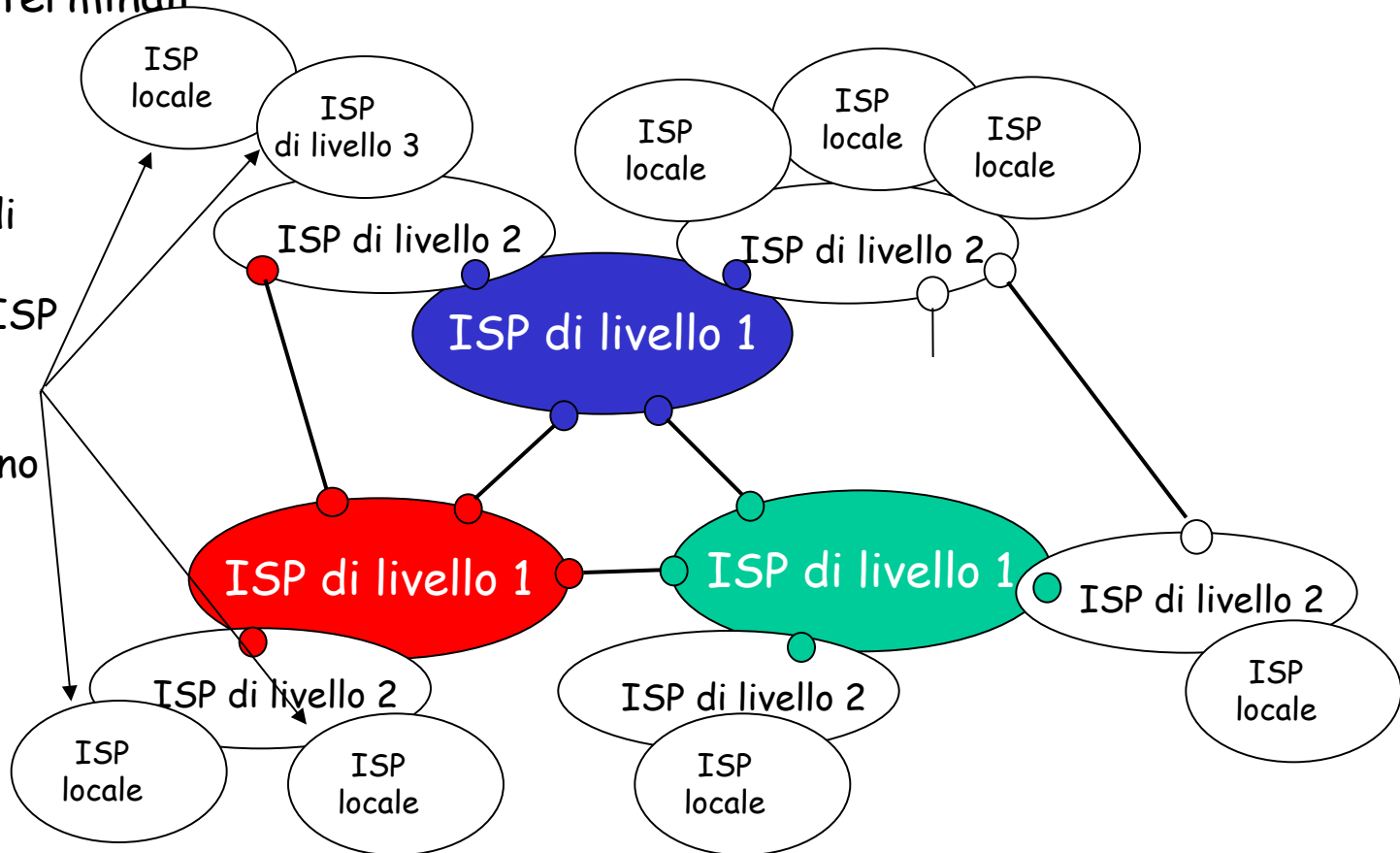


Struttura di Internet

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

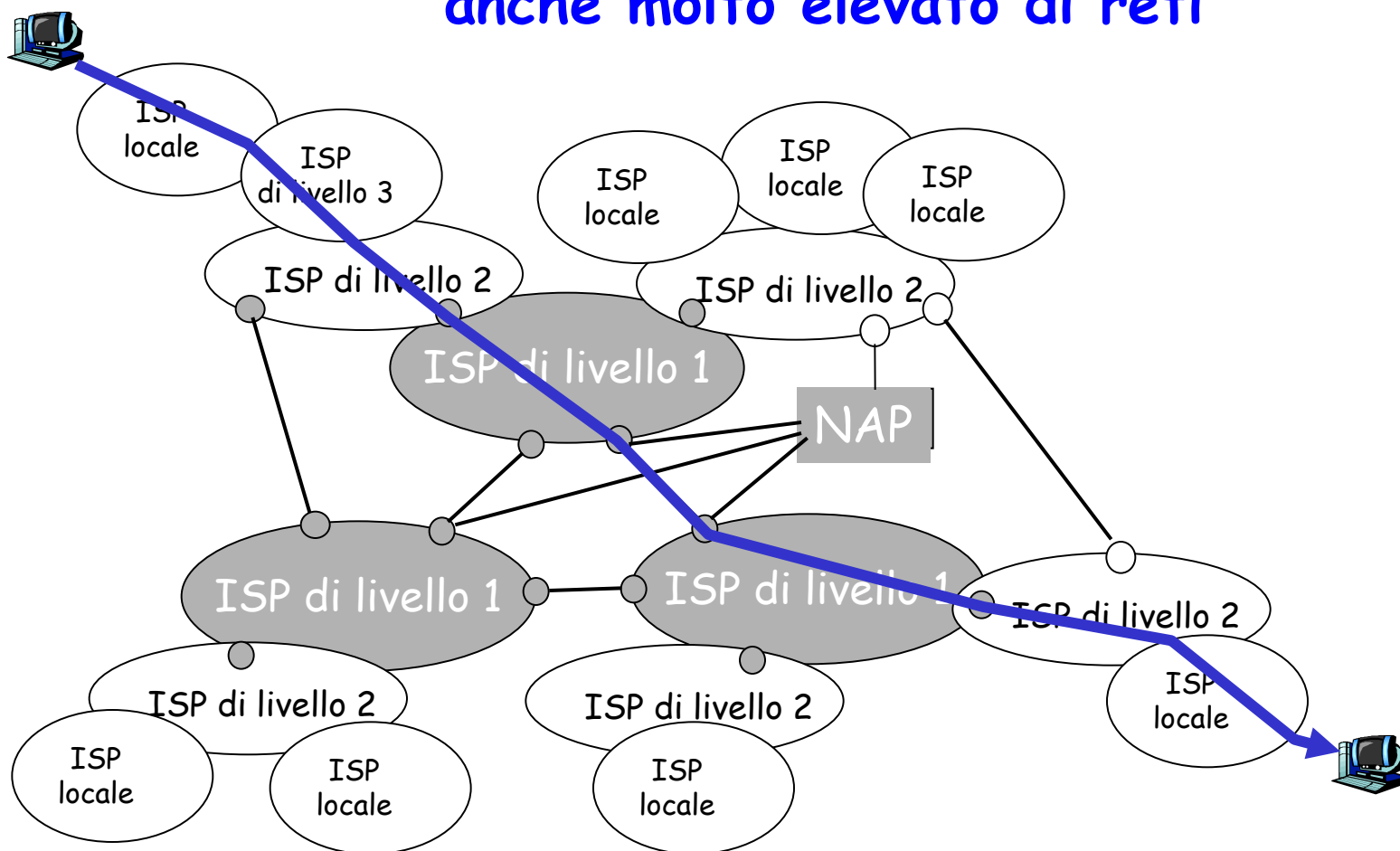
- Reti "ultimo salto" (*last hop network*), le più vicine ai sistemi terminali

ISP locali e di livello 3 sono *clienti* degli ISP di livello superiore che li collegano all'intera Internet



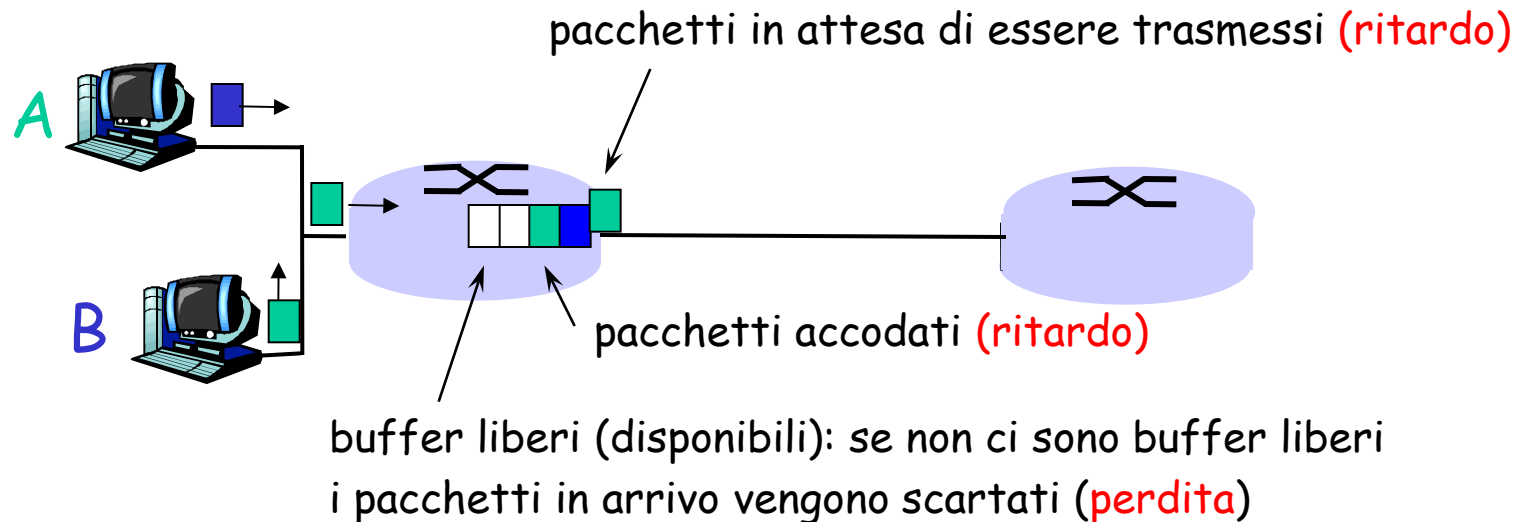
Struttura di Internet

- Un pacchetto attraversa un numero anche molto elevato di reti



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



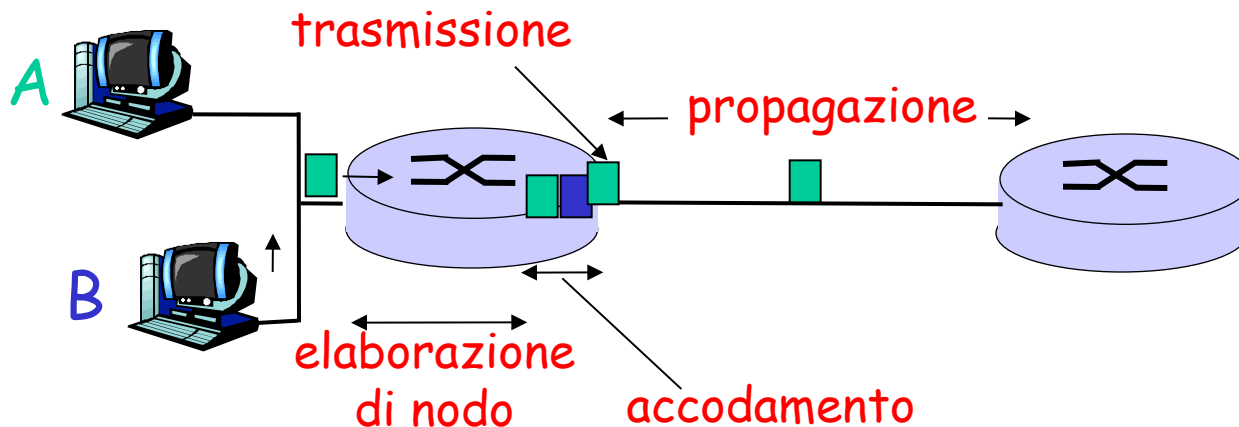
Quattro cause di ritardo per i pacchetti

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



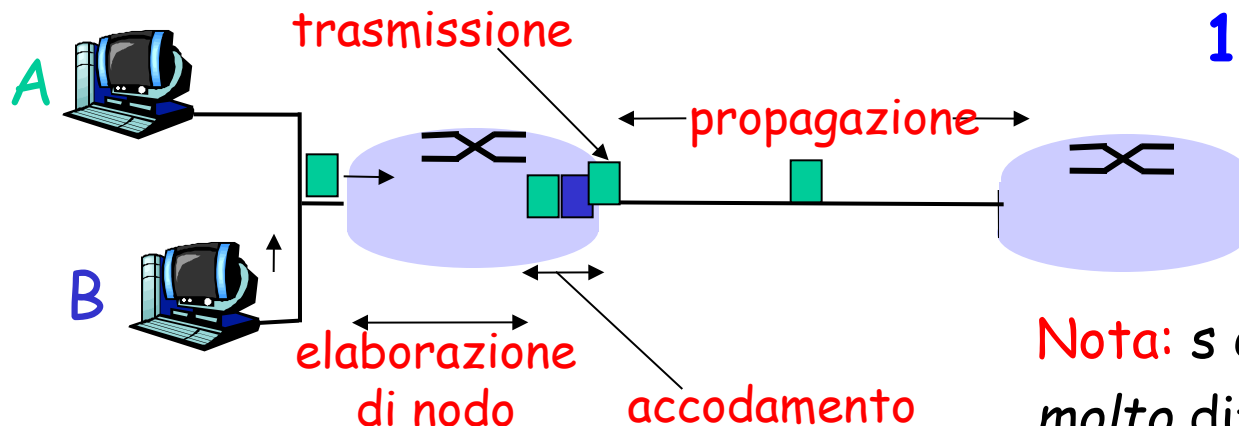
Ritardo nelle reti PS

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)

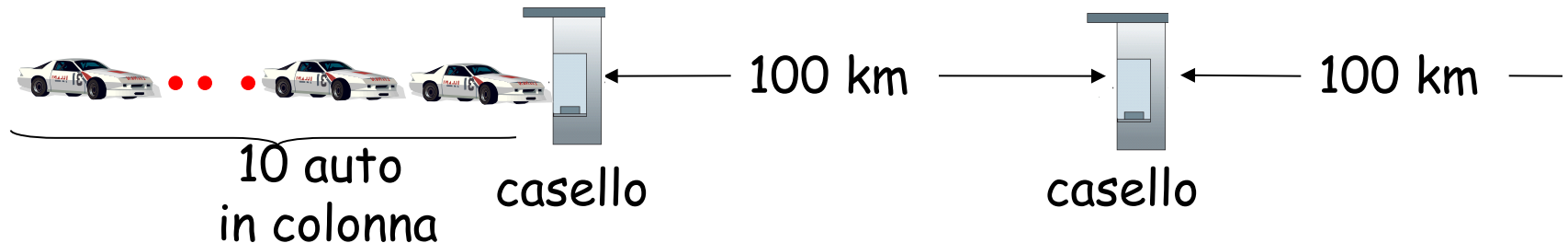
- d = lunghezza del collegamento fisico
- s = velocità di propagazione del collegamento ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- Ritardo di propagazione = d/s



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

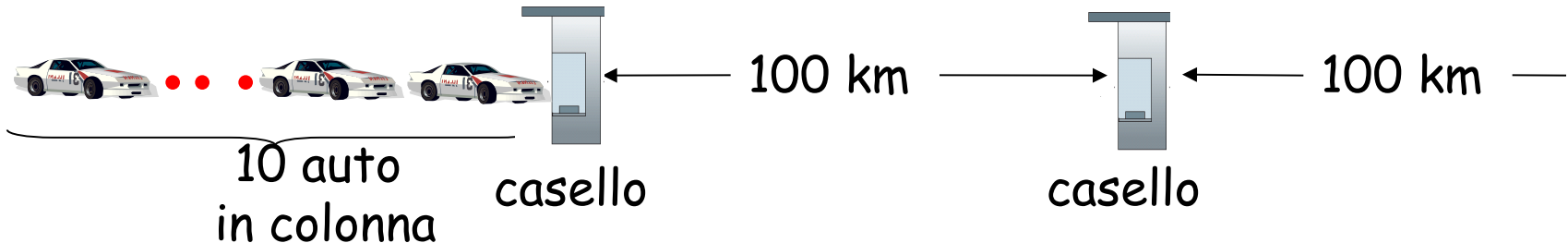
Nota: s e R sono due quantità molto differenti!

L'analogia del casello autostradale



- Le automobili viaggiano (ossia "si propagano") alla velocità di 100 km/h
- Il casello serve (ossia "trasmette") un'auto ogni 12 secondi
- auto~bit; colonna ~ pacchetto
- **D: quanto tempo occorre perché le 10 auto si trovino di fronte al secondo casello?**
- Tempo richiesto al casello per trasmettere l'intera colonna sull'autostrada = $12 \times 10 = 120 \text{ sec}$
- Tempo richiesto a un'auto per viaggiare dall'uscita di un casello fino al casello successivo:
 $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1 \text{ hr}$
- **R: 62 minuti**

L'analogia del casello autostradale



- Le auto ora "si propagano" alla velocità di 1000 km/h
- Al casello adesso occorre 1 min per servire ciascuna auto
- **D: le prime auto arriveranno al secondo casello prima che le ultime auto della colonna lascino il primo?**
- **Sì!** Dopo 7 minuti, la prima auto sarà al secondo casello, e tre auto saranno ancora in coda davanti al primo casello.
- Il primo bit di un pacchetto può arrivare al secondo router prima che il pacchetto sia stato interamente trasmesso dal primo router

Ritardo di link

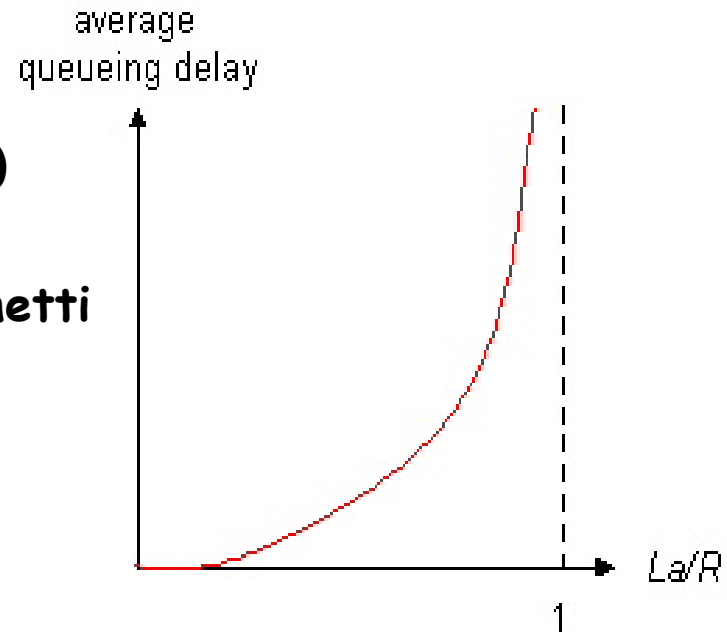
$$d_{\text{link}} = d_{\text{elab}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trasm}} + d_{\text{prop}}$$

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

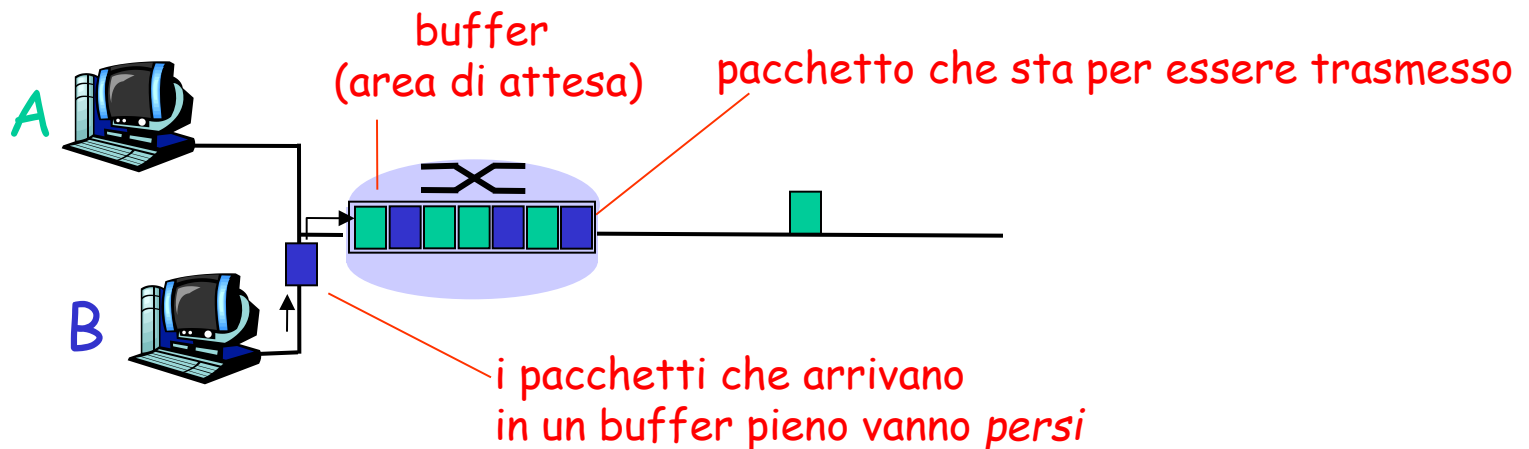
$L \cdot a / R$ = intensità di traffico



- $L \cdot a / R \sim 0$: 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

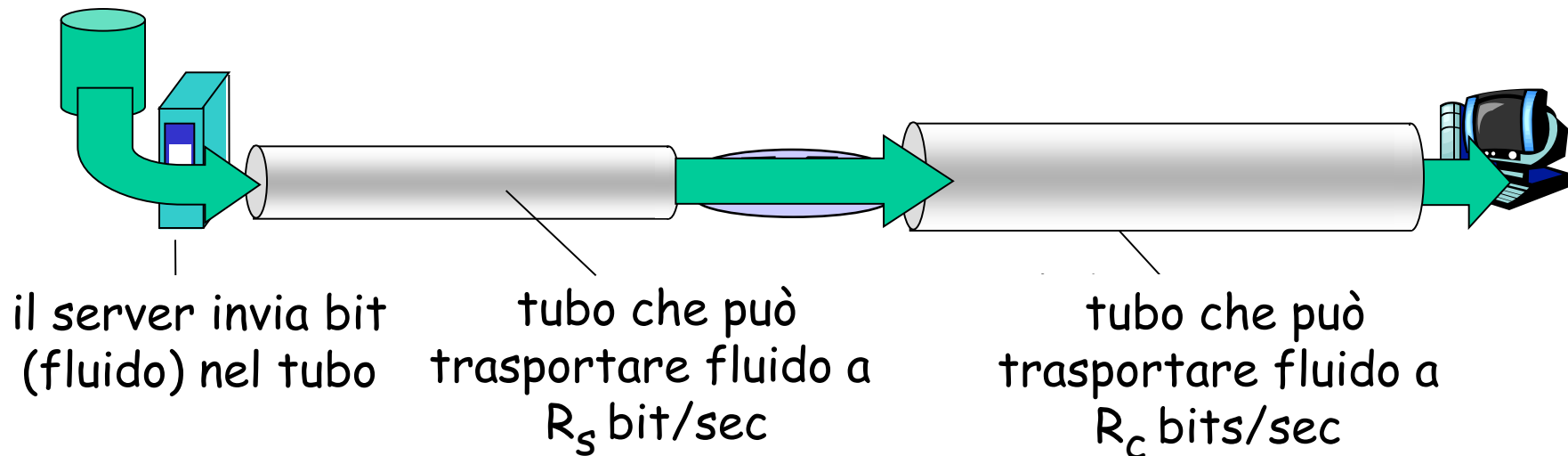
Perdita di pacchetti

- 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



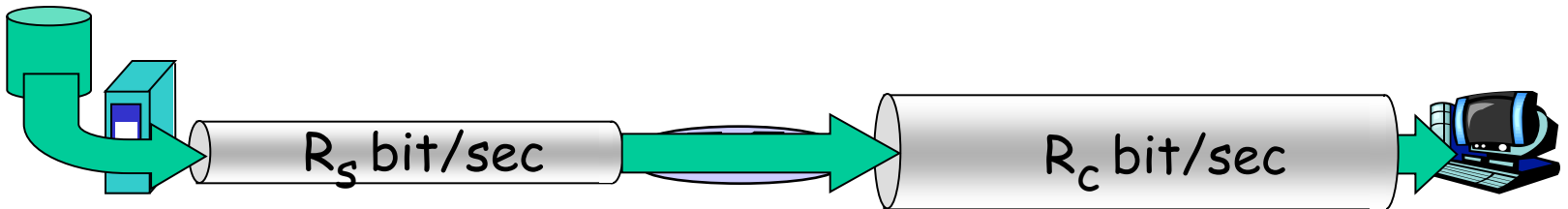
Throughput

- 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

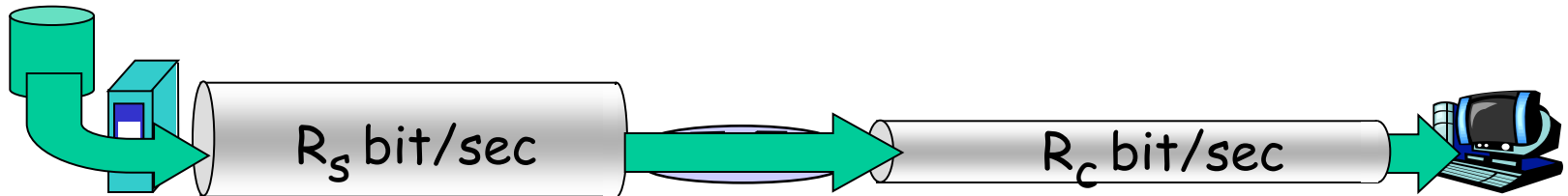


Throughput (segue)

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



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



Collo di bottiglia (Bottleneck)

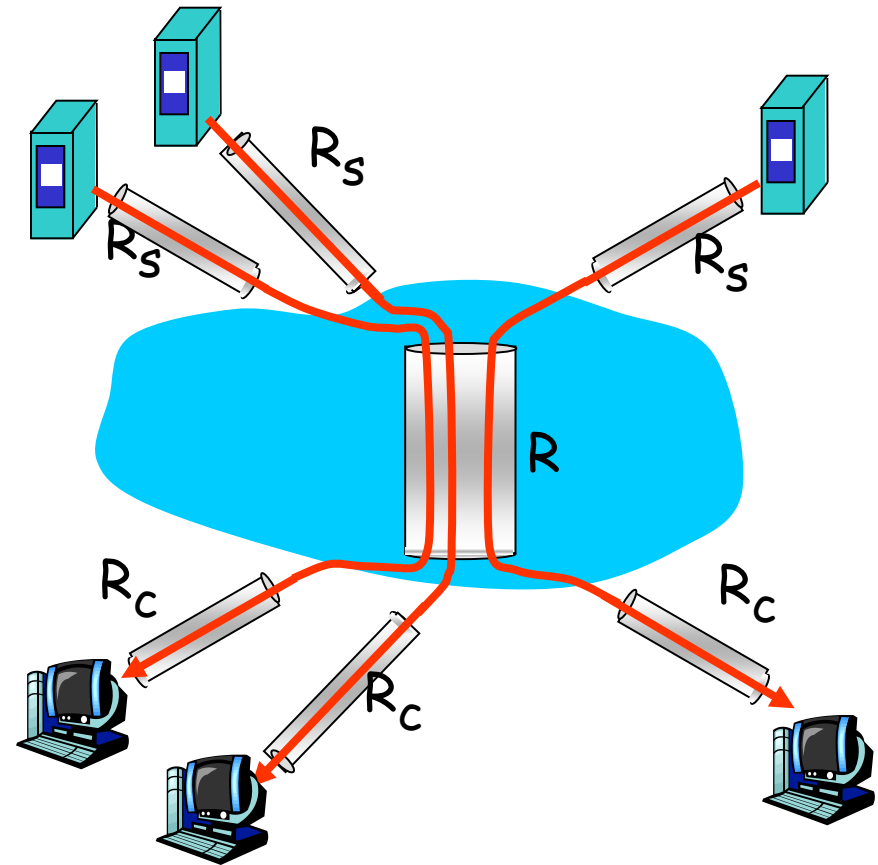
Collegamento su un percorso punto-punto che vincola un throughput end to end

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

Elementi architetturali 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