



*Corso di Laurea Triennale in Informatica
Università degli Studi della Basilicata*

Reti di Calcolatori

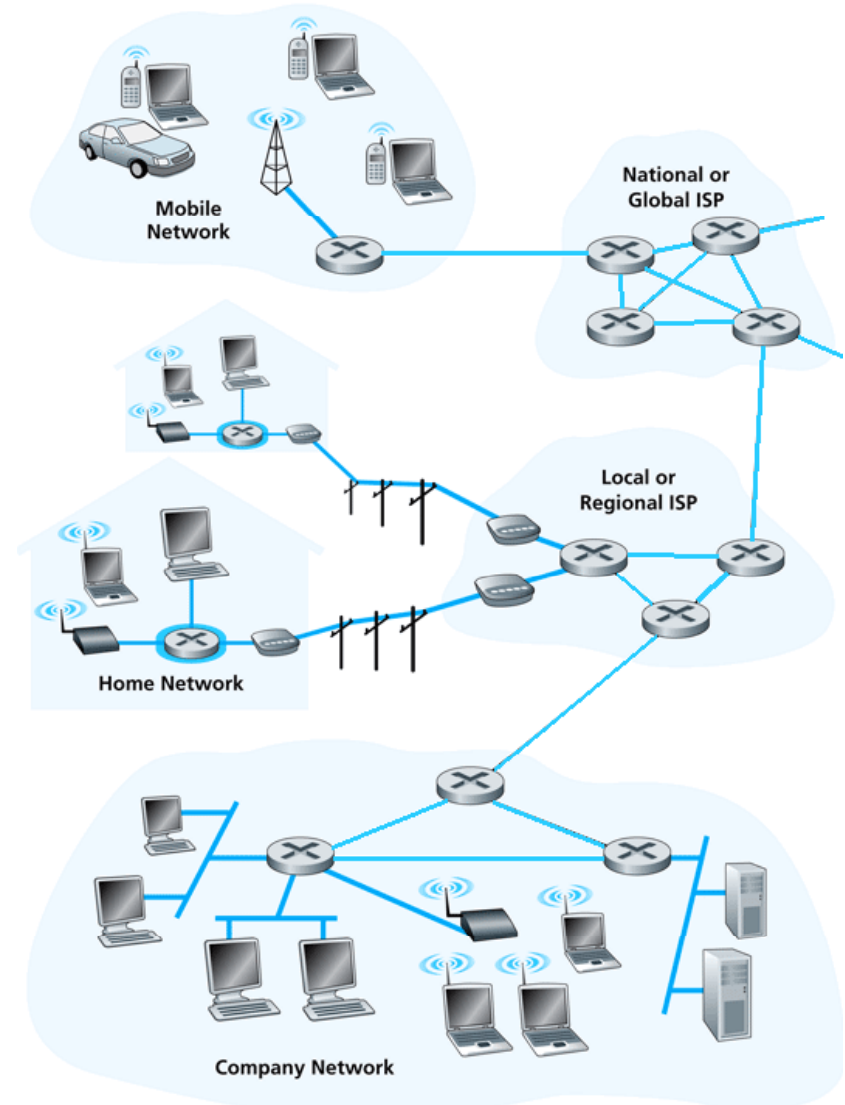
Docente: Ugo Erra

ugo.erra+reti@unibas.it

2° Lezione - Introduzione alle Reti - II° parte

Il nucleo della rete

- Composta da una maglia di router che interconnettono i sistemi terminali
- Due modi per trasferiti dati attraverso la rete
 - ▣ **Commutazione di circuito**
 - Circuito dedicato per l'intera durata della sessione
 - ▣ **Commutazione di pacchetto**
 - I messaggi di una sessione utilizzano le risorse su richiesta, e di conseguenza potrebbero dover attendere per accedere a un collegamento

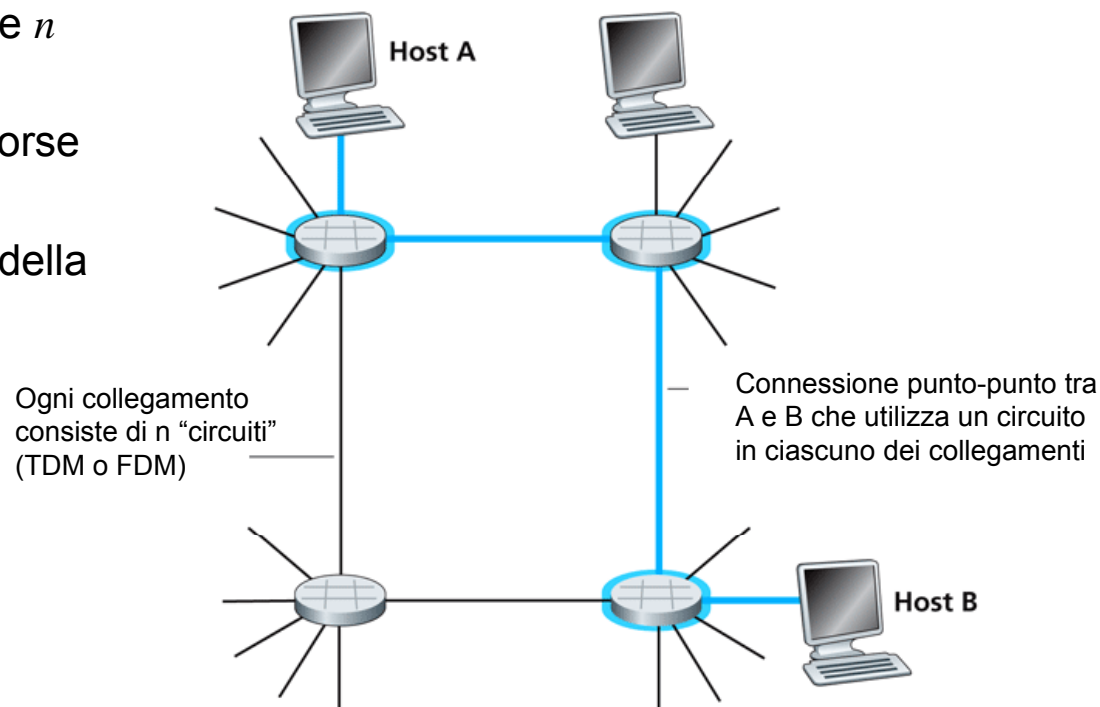


Commutazione di circuito

- In una **connessione punto-punto** dedicata
 - ▣ Ciascun commutatore dispone di n circuiti, in modo da supportare n connessioni contemporanee
 - ▣ Non c'è condivisione sulle risorse dedicate
 - ▣ E' necessaria l'impostazione della chiamata



Commutatore di circuito



Commutazione di circuito

- In una rete a commutazione di circuito le risorse della rete (ad es. larghezza di banda, bandwidth) sono suddivise in “pezzi”
 - ▣ Ciascun “pezzo” viene allocato ai vari collegamenti
 - ▣ Le risorse rimangono inattive se non utilizzate (non c'è condivisione)
- La suddivisione della banda in “pezzi” può essere realizzata attraverso una
 - ▣ Divisione di frequenza
 - ▣ Divisione di tempo

Commutazione di circuito: FDM e TDM

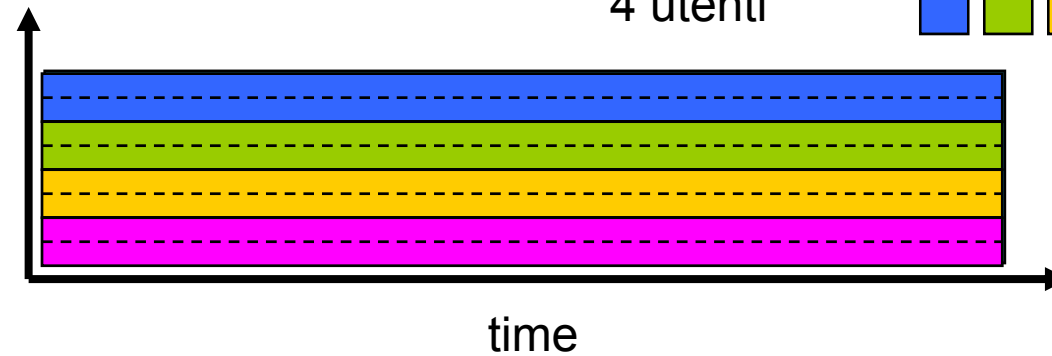
FDM

Esempio:

4 utenti

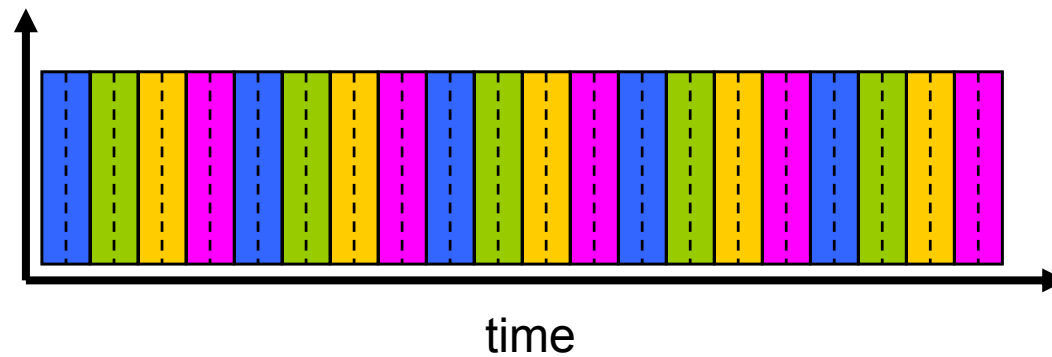


Frequenza



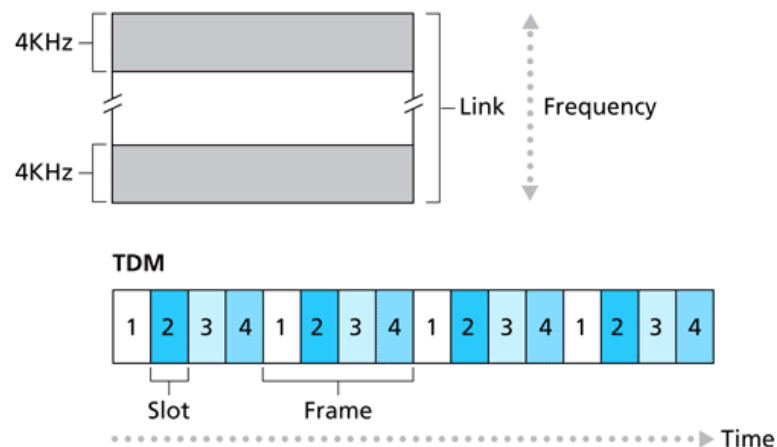
TDM

Frequenza



Multiplexing nelle reti

- Nel **multiplexing a divisione di frequenza (FDM)** ogni circuito occupa con continuità una frazione dell'ampiezza di banda
- Nel **multiplexing a divisione di tempo (TDM)** ogni circuito occupa l'intera ampiezza di banda per brevi intervalli



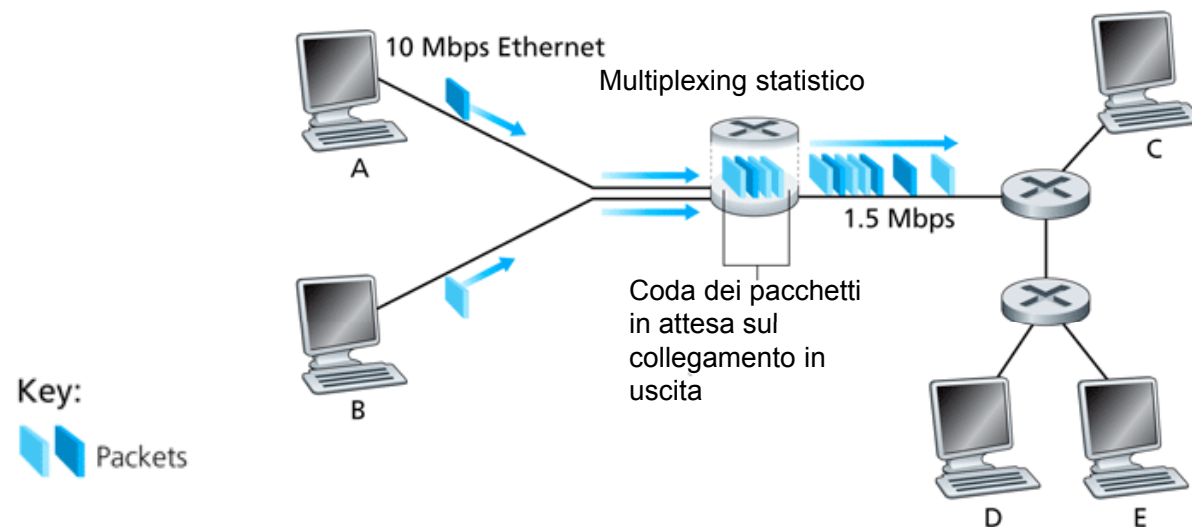
Commutazione di pacchetto



- Il flusso di dati punto-punto viene suddiviso in pacchetti
 - ▣ I pacchetti degli utenti A e B condividono le risorse di rete
 - ▣ Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale
 - ▣ Le risorse vengono usate a seconda delle necessità

Multiplexing statistico

- La sequenza dei pacchetti A e B non segue uno schema prefissato
 - ▣ La condivisione di risorse su richiesta avviene attraverso un **multiplexing statistico**
 - ▣ Nella TDM ciascun host ottiene uno slot di tempo dedicato unicamente a quella connessione



Contesa per le risorse



- Nelle reti a commutazione di pacchetto la richiesta di risorse può eccedere il quantitativo disponibile
 - ▣ Il commutatore deve ricevere l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita attraverso un meccanismo di **store and forward**
 - ▣ I pacchetti possono essere accodati in attesa dell'utilizzo del collegamento causando **congestione**

Vantaggi commutazione di pacchetto



- Nella commutazione di pacchetto non è necessario
 - ▣ Suddividere la larghezza di banda in pezzi
 - ▣ Allocare la banda in modo dedicato
 - ▣ Riservare le risorse

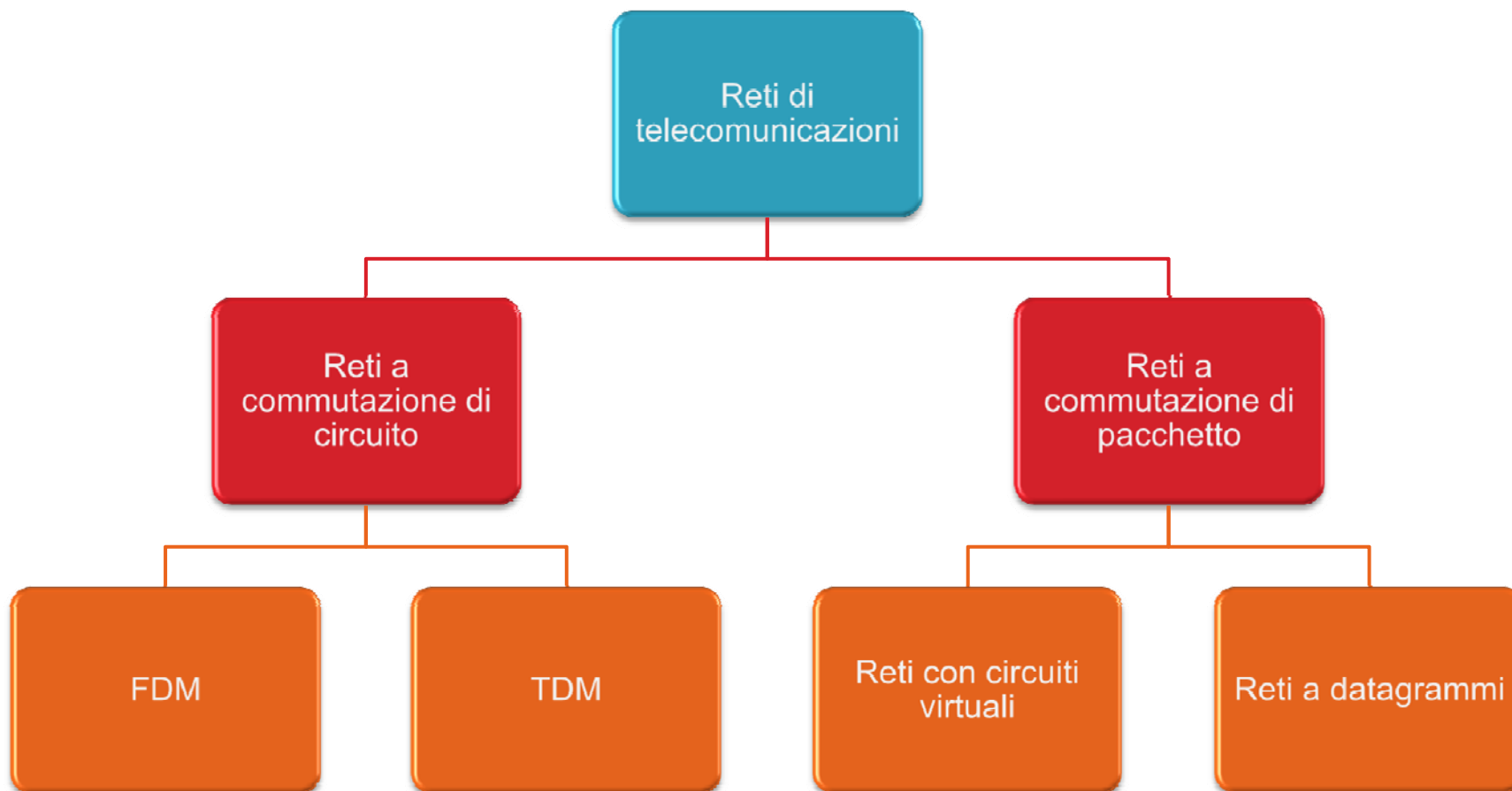
Commutazione di pacchetto

- La commutazione di pacchetto è ottima per i dati a raffica
 - ▣ Condivisione delle risorse
 - ▣ Semplice, non necessita l'impostazione della chiamata
- Ma nel caso di eccessiva congestione possono esserci ritardi e perdita di pacchetti
 - ▣ Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione
- Per ottenere un comportamento circuit-like è necessario fornire garanzie di larghezza di banda per le applicazioni audio/video
 - ▣ Problema ancora irrisolto

Classi di reti a commutazione di pacchetto

- Nelle reti a commutazione di pacchetto l'obiettivo è di instradare i pacchetti attraverso i router verso le loro destinazioni
- Reti a datagramma
 - ▣ L'indirizzo di destinazione sul pacchetto determina il salto successivo
 - ▣ I percorsi possono cambiare durante una sessione
 - ▣ Analogia: guidare, chiedendo indicazioni lungo il percorso
- Reti a circuito virtuale
 - ▣ Ciascun pacchetto è dotato di un identificatore (virtual circuit ID), che determina il salto successivo
 - ▣ Il percorso viene determinato quando il circuito viene stabilito per la prima volta, e rimane fisso per tutta la durata del collegamento
 - ▣ Un commutatore in una rete mantiene informazioni di stato per le proprie connessioni in corso

Tassonomia delle reti

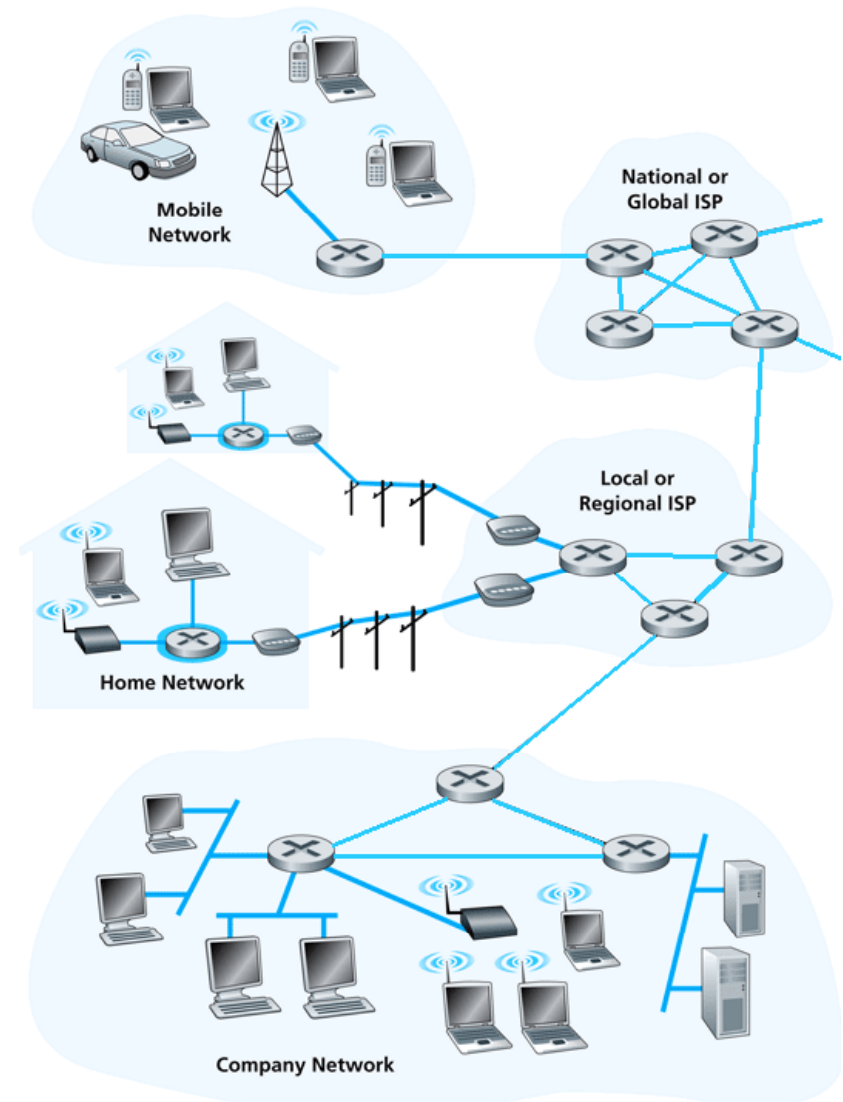


Accesso alla rete e mezzi trasmissivi

- Una **rete di accesso** fornisce l'infrastruttura per collegare il cliente (*customer premis*) alla rete
- Un **edge router** è il primo router che si incontra sul percorso da un host ad un altro host
 - ▣ L'edge router fa parte dell'infrastruttura della rete di accesso

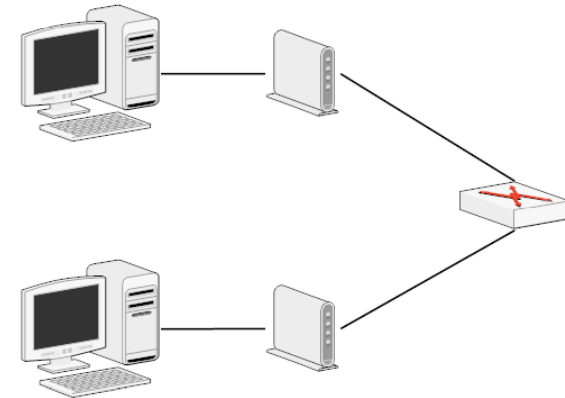
Reti di accesso

- Le reti di accesso possono essere classificate:
 - ▣ Accesso residenziale
 - ▣ Accesso aziendale(scuole, società, istituzioni)
 - ▣ Accesso wireless
- Le categorie possono anche essere miste



Accesso residenziale: punto-punto

- L'accesso residenziale punto-punto è fornito da un **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

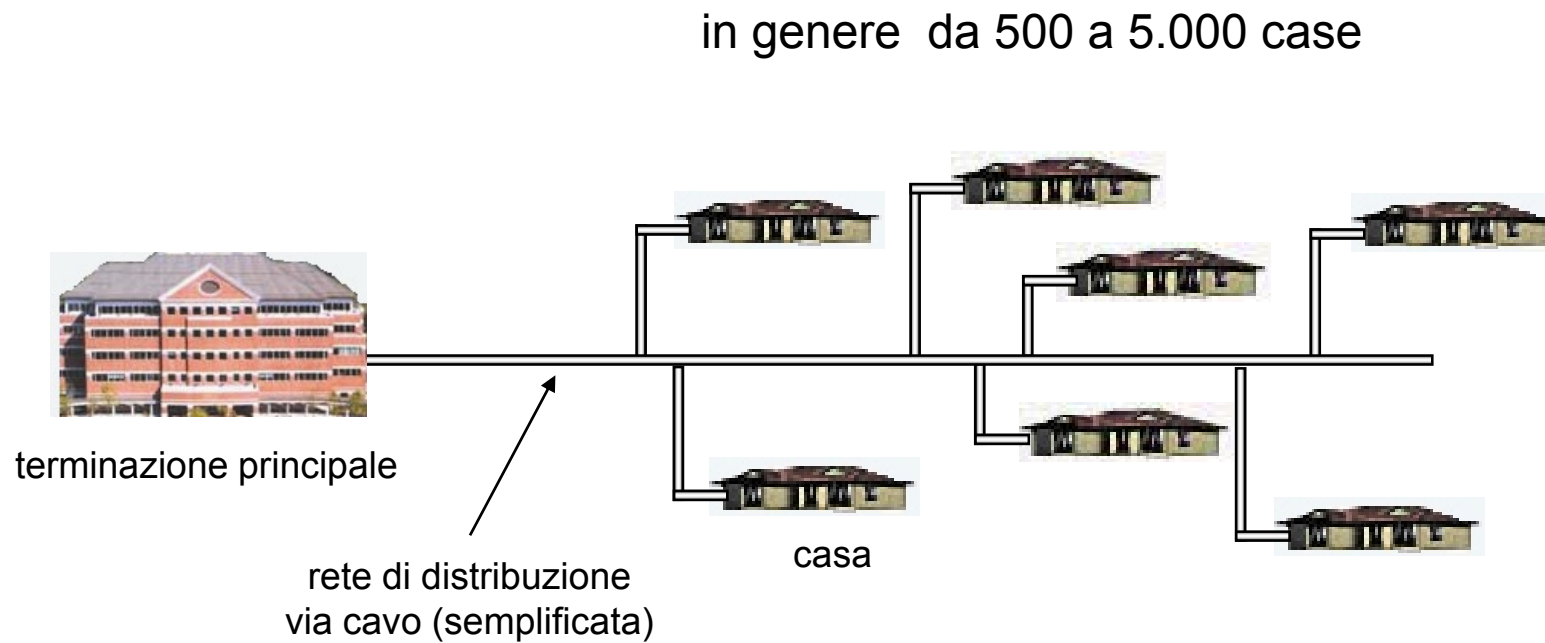


- **Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)**
 - ▣ Fino a 1 Mbps in *upstream* (attualmente, in genere < 256 kbps)
 - ▣ Fino a 8 Mbps *downstream* (attualmente, in genere < 1 Mbps)
 - ▣ FDM
 - 0 kHz - 4 kHz per il canale telefonico ordinario a due vie
 - 4 kHz - 50 kHz per il canale di upstream
 - 50 kHz - 1 MHz per il downstream

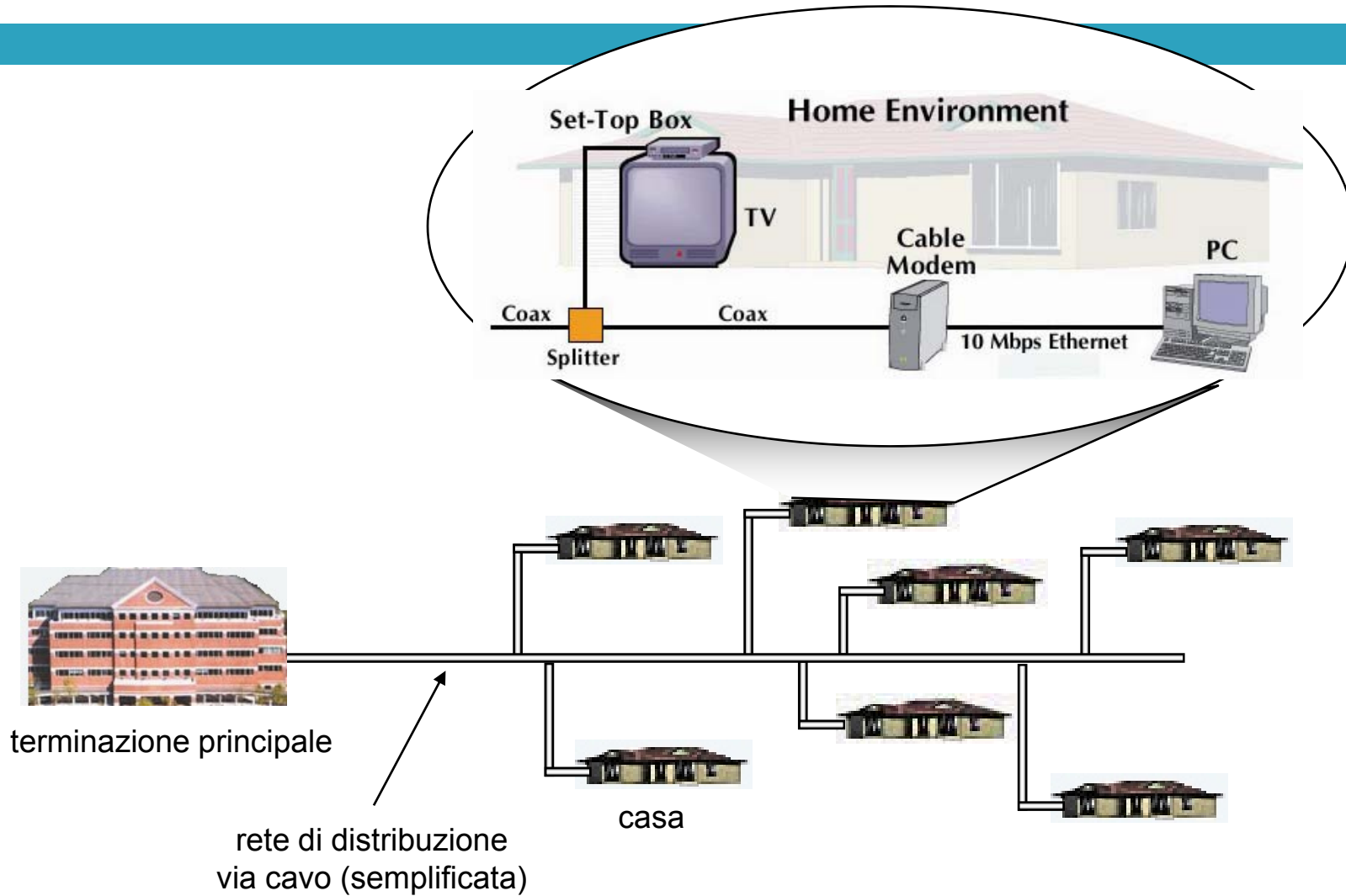
Accesso residenziale: cable modem

- **Hybrid Fiber Coax (HFC)**
 - ▣ Asimmetrico: fino a 30 Mbps in downstream, 2 Mbps in upstream
- **Rete** ibrida a fibra e cavo coassiale collega le case ai router degli ISP
 - ▣ HFC rappresenta un mezzo di trasmissione condiviso

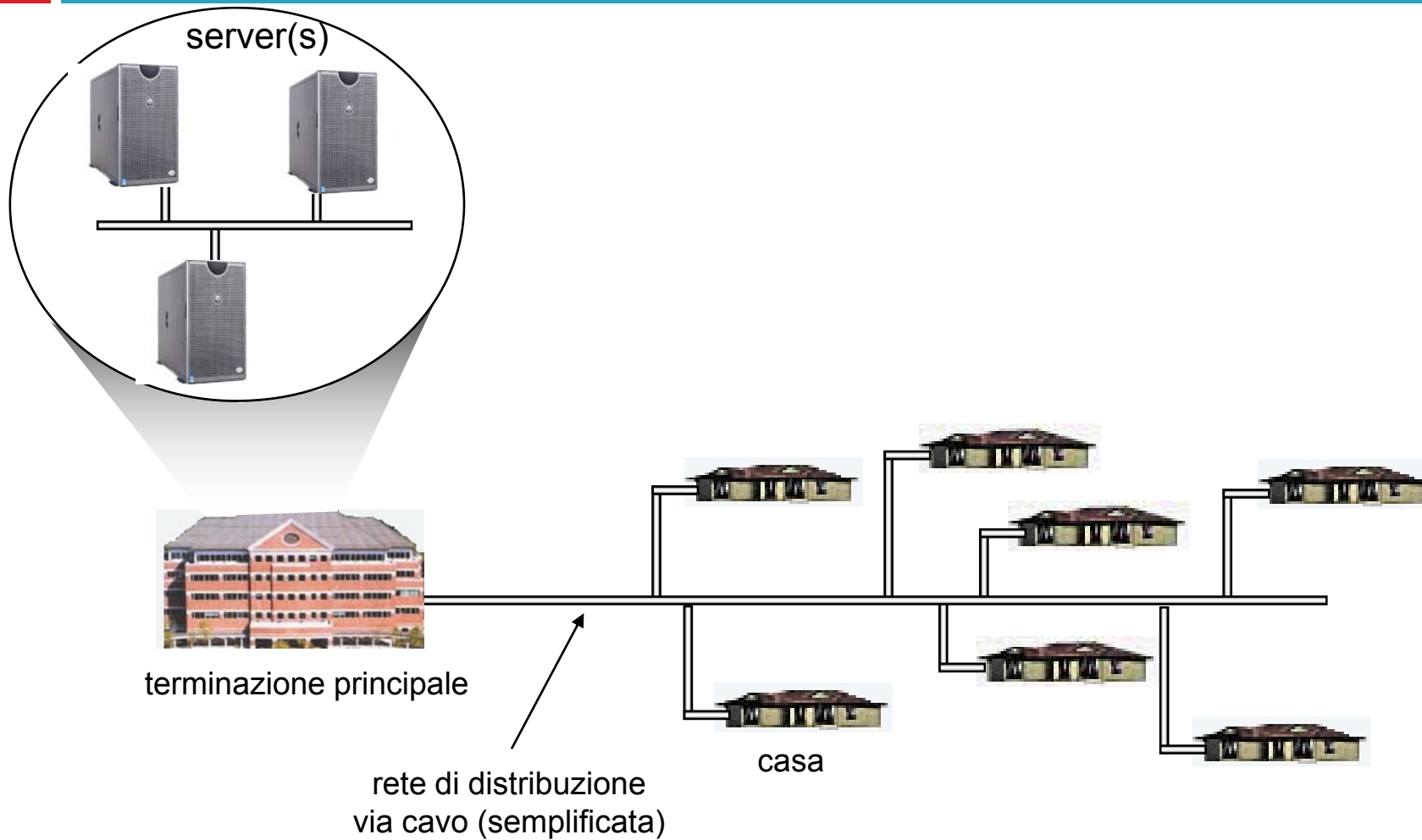
Rete d'accesso ibrida: una visione d'insieme



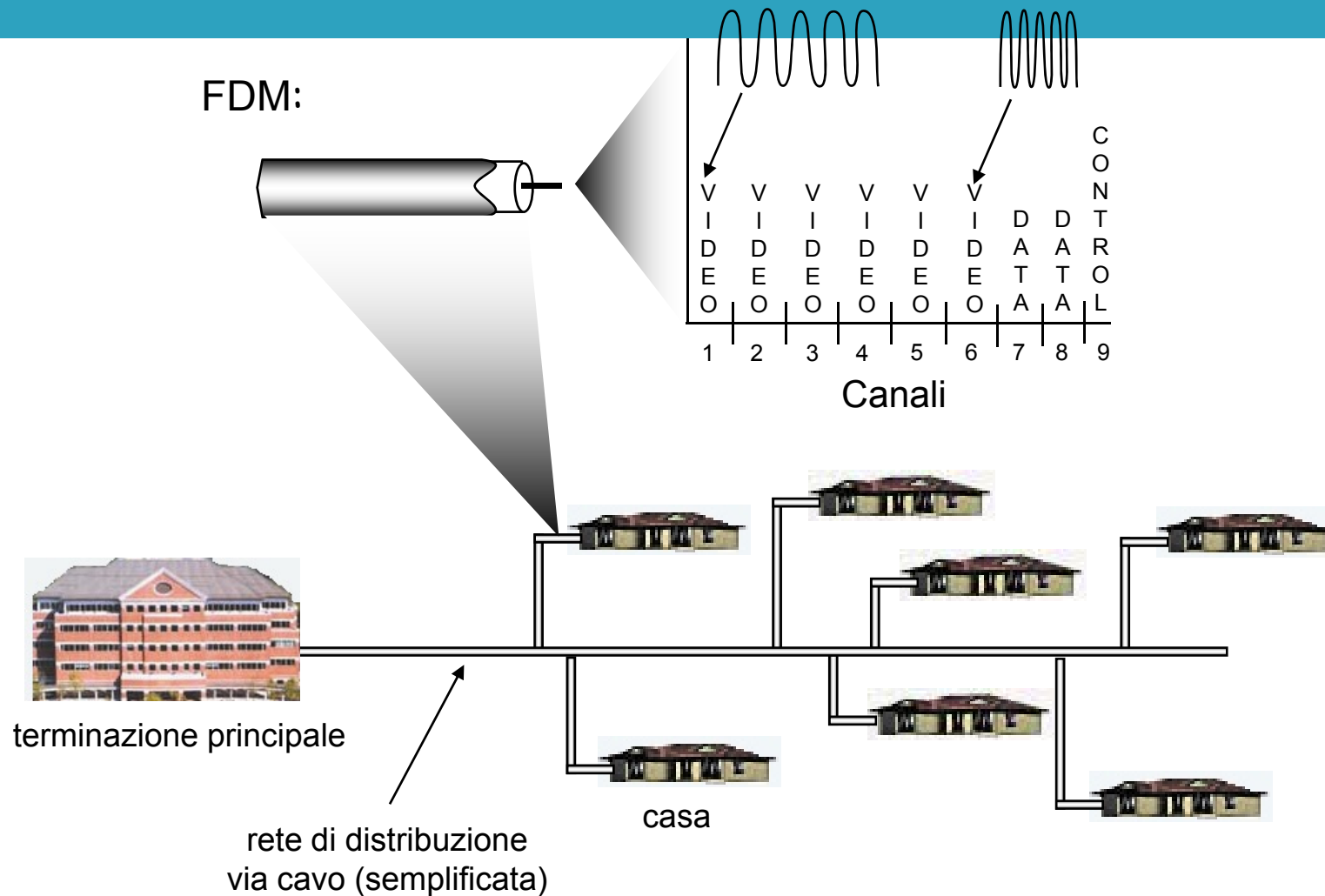
Rete d'accesso ibrida: una visione d'insieme



Rete d'accesso ibrida: una visione d'insieme

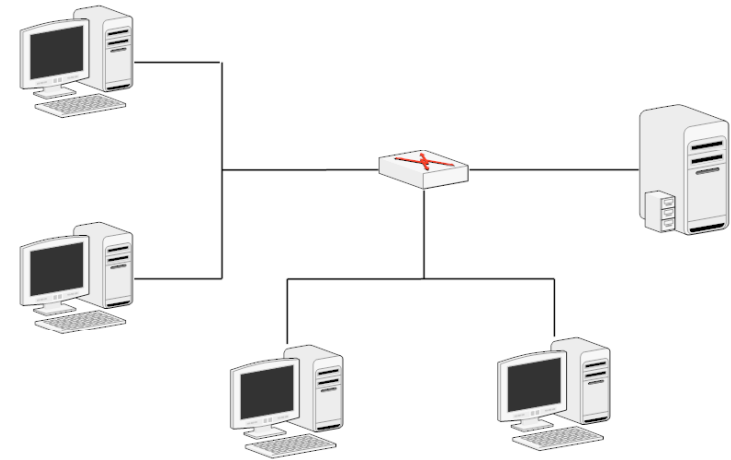


Rete d'accesso ibrida: una visione d'insieme



Accesso aziendale: reti locali (LAN)

- Una LAN collega i sistemi terminali di aziende e università all'edge router
- Le reti basate su Ethernet sono quelle più diffuse
 - ▣ Un canale condiviso o dedicato collega i sistemi terminali ai router
 - ▣ Ethernet raggiunge velocità di 10 Mbs, 100 Mbps, 1 Gbps



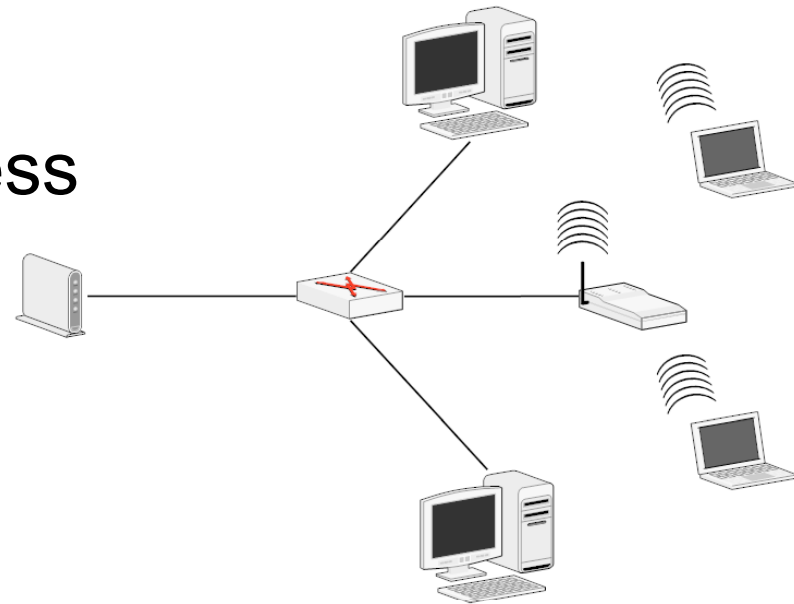
Accesso wireless



- Una rete d'accesso wireless collega i sistemi terminali al router
 - ▣ Attraverso la stazione base, detta anche “access point”
 - ▣ Le più famose utilizzano la famiglia di protocolli 802.11

Reti di abitazioni

- In una abitazione oggi è possibile trovare:
 - ▣ ADSL o cable modem
 - ▣ Router/firewall/NAT
 - ▣ Ethernet
 - ▣ Punto d'accesso wireless



Mezzi trasmissivi

- Il bit viaggia da un sistema terminale ad un altro passando per una serie di coppie trasmittente-ricevente attraverso un **mezzo fisico**
- Il mezzo fisico può essere di due categorie:
 - ▣ 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

Mezzi trasmissivi: Doppino - 1

- Il mezzo guidato elettrico più semplice è il doppino non schermato, detto UTP (*Unshielded Twisted Pair*), ampiamente usato nei sistemi telefonici
- È costituito da una coppia di fili di rame avvolti in un isolante e intrecciati in modo da annullare i relativi campi elettromagnetici



Mezzi trasmissivi: Doppino - 2

- I doppini possono trasportare sia segnali analogici che digitali e si possono estendere per vari km, dopodichè bisogna installare dei ripetitori per non far diminuire la banda passante
- Sulle lunghe distanze sono raggruppati in guaine di protezione a causa di vari fattori ambientali e non che potrebbero danneggiarli
- Esistono vari tipi di doppini che offrono bande passanti tra i 16 e i 600 MHz
 - **Categoria 1:** per telefonia analogica (in disuso)
 - **Categoria 2:** Telefonia digitale a bassa velocità (in disuso)
 - **Categoria 3:** Banda 16MHz. Utilizzato per Telefonia digitale (attualmente in uso)
 - **Categoria 4:** Banda 20MHz (scarsamente utilizzato)
 - **Categoria 5:** Banda 100MHz (attualmente in uso per le reti locali con cavi composti da 4 coppie e connettori RJ45)
 - **Categoria 6:** Banda a 250MHz
 - **Categoria 7:** Banda a 600MHz



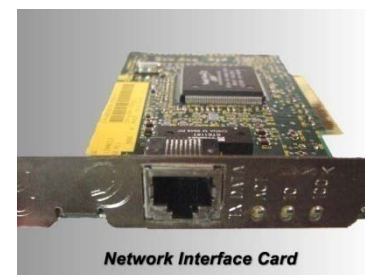
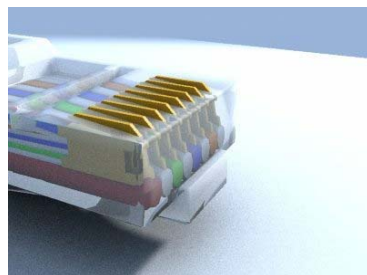
Categoria 3 – 16 MHz



Categoria 5 – 100 MHz

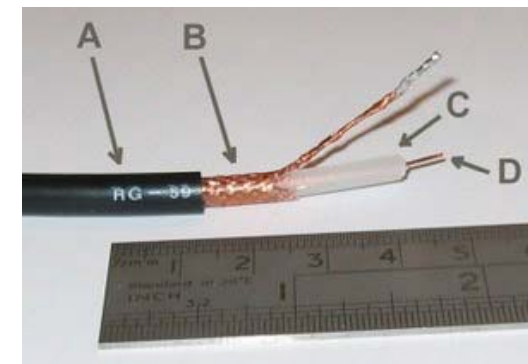
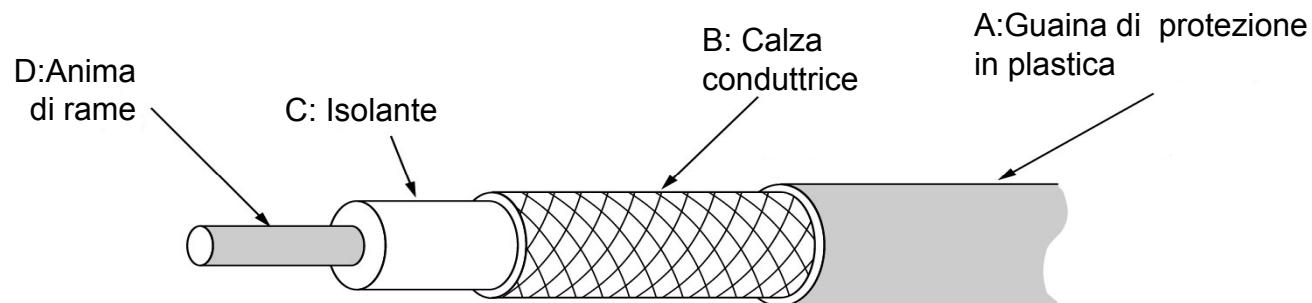
Mezzi trasmissivi: Doppino - 3

- In una rete Ethernet un cavo UTP termina con dei connettori di tipo RJ-45 che si innestano direttamente nell'interfaccia del dispositivo
 - ▣ Scheda di rete (NIC), Switch, Router, etc...
- La lunghezza massima di un cavo UTP nello standard Ethernet è di 100m



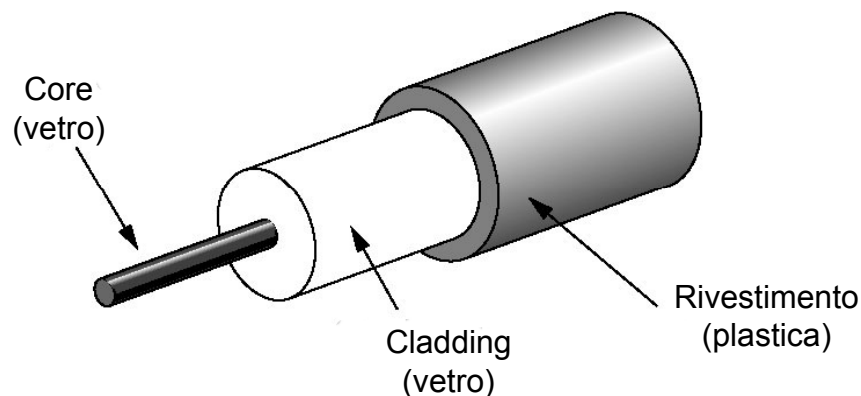
Mezzi trasmissivi: Cavo coassiale

- Il cavo coassiale era molto diffuso per i collegamenti telefonici su lunghe distanze perché rispetto al doppino è
 - ▣ Meno rumoroso
 - ▣ Si può estendere per distanze maggiori
 - ▣ Ha una banda passante maggiore (intorno ad 1 GHz)
 - ▣ Bidirezionale



Fibra ottica

- Le fibre ottiche hanno sostituito quasi del tutto i cavi coassiali nel sistema telefonico sulle lunghe distanze e si stanno diffondendo sempre di più sia per le WAN che per le LAN
- Ogni fibra è un filo di vetro racchiuso in un cilindro di vetro e poi in una guaina di plastica



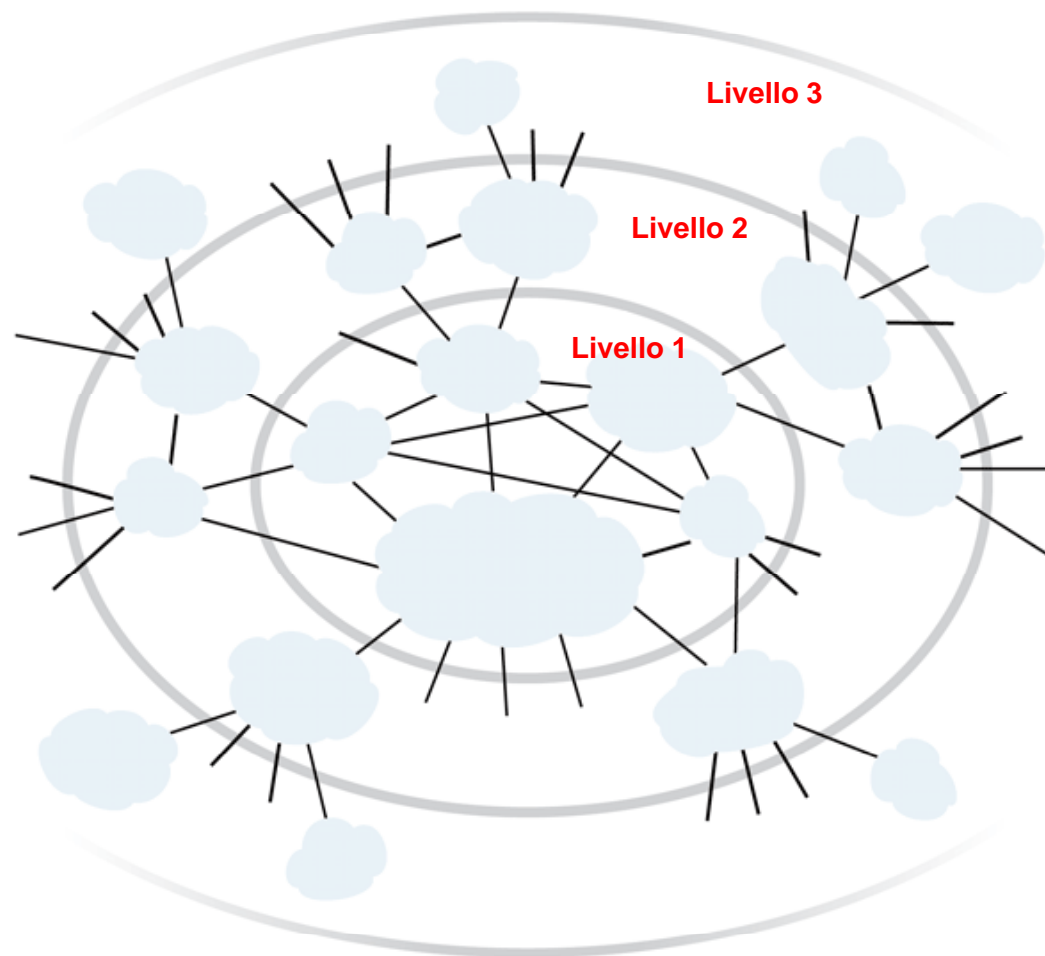
Elementi per trasmissione in Fibra ottica

- La trasmissione ottica richiede tre elementi:
 - Una sorgente luminosa
 - LED (Light Emitting Diode) o semiconduttore laser
 - Converte un segnale elettrico in impulsi luminosi
 - Fibra ottica
 - Permette solo comunicazione unidirezionale da sorgente a rilevatore
 - Rilevatore di luce
 - Fotodiode ricevitore
 - Converte gli impulsi luminosi in segnale elettrico
- Le fibre ottiche potrebbero trasmettere a velocità dell'ordine dei Tb/s, ma la conversione elettrico-luce e viceversa limita ai Gb/s
 - Limite teorico : 50.000 Gbps
 - Limite pratico : 10 Gbps
- Basso tasso di errore, immune all'interferenza elettromagnetica

Mezzi trasmissivi: canali radio

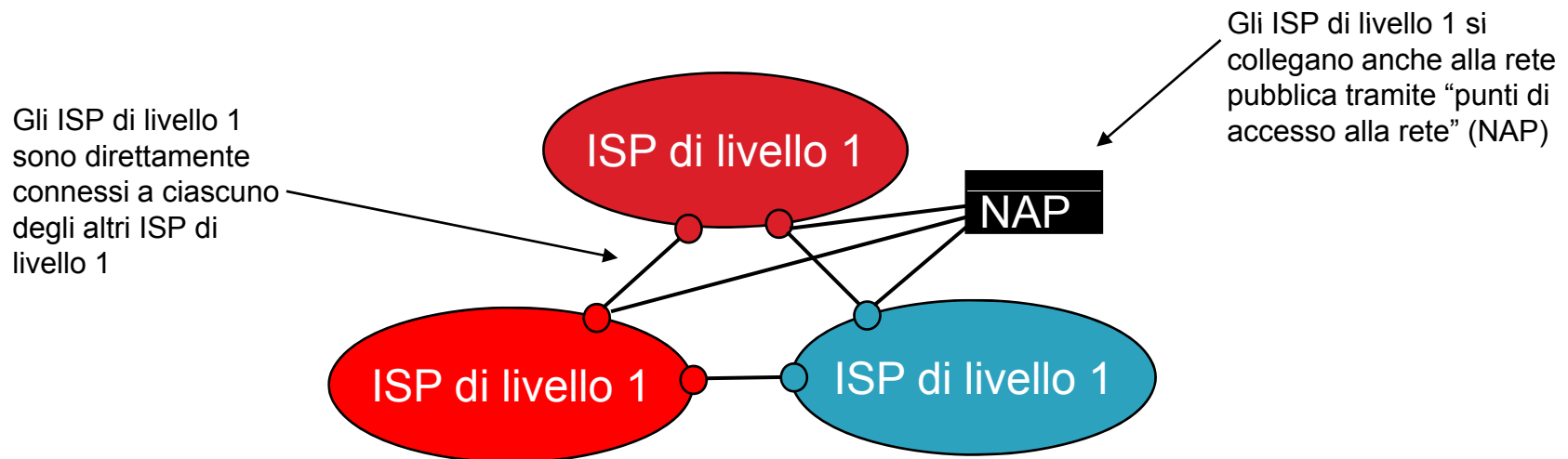
- Un canale radio trasporta il segnale nello spettro elettromagnetico
 - Non richiede installazione fisica di cavi bidirezionali
- La propagazione del segnale può subire degli errori a causa di:
 - Riflessione
 - Ostruzione da parte di ostacoli
 - Interferenza
- Alcuni tipi di canali radio sono:
 - Microonde terrestri
 - es.: canali fino a 45 Mbps
 - LAN (es.: Wifi)
 - 2 Mbps, 11 Mbps, 54 Mbps
 - Wide-area (es.: cellulari)
 - es.: 3G: centinaia di kbps
 - Satellitari
 - canali fino a 45 Mbps channel (o sottomultipli)
 - Ritardo punto-punto di 270 msec
 - Geostazionari/a bassa quota

Struttura di Internet



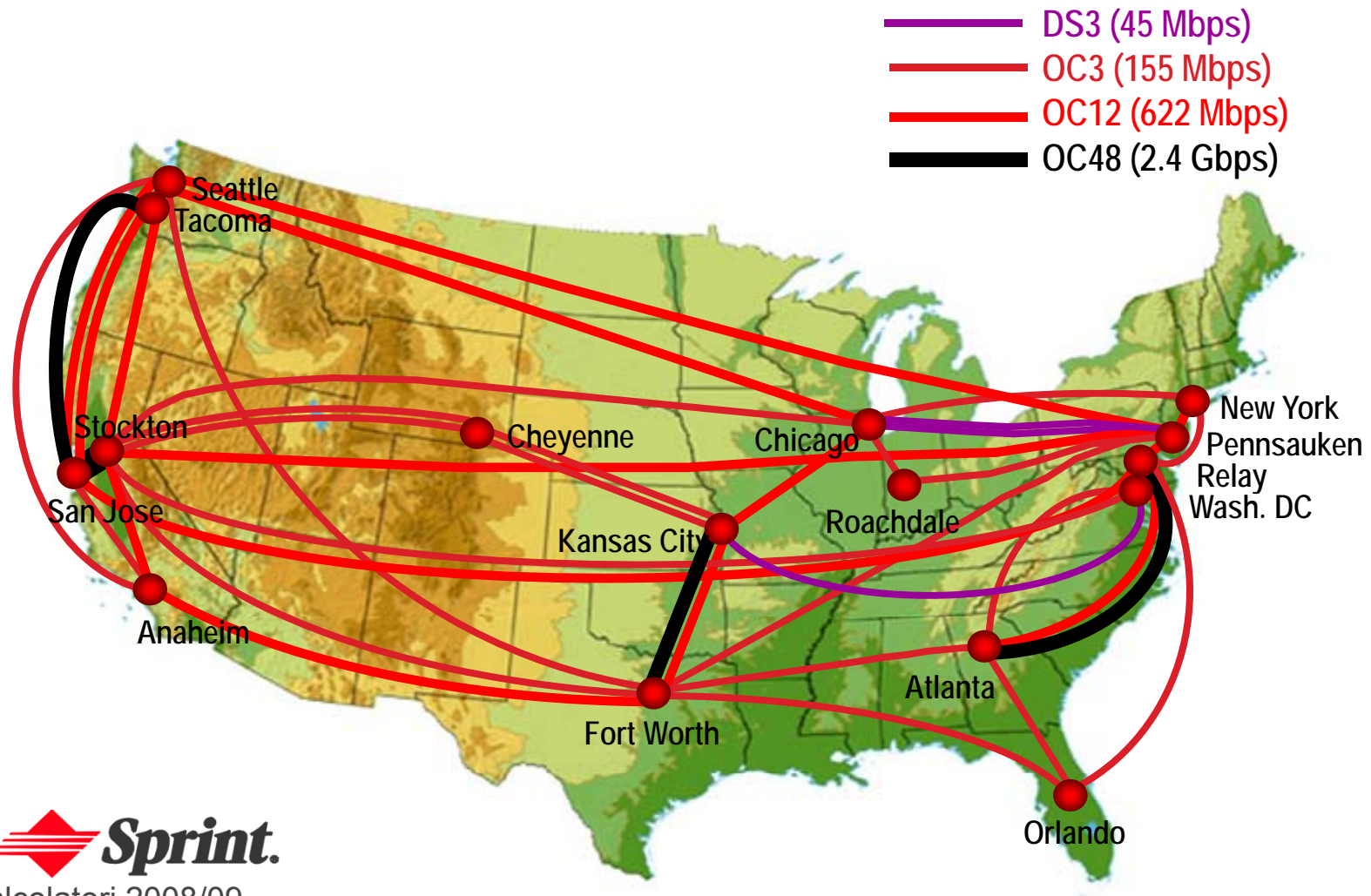
Struttura di Internet: la rete delle reti

- Internet è fondamentalmente gerarchica
- Al centro: “ISP di livello 1” o “reti dorsali di Internet” (es.: MCI, Sprint, AT&T, Cable&Wireless), copertura nazionale/internazionale



ISP di livello 1 - Un esempio: Sprint

La dorsale Sprint negli Stati Uniti

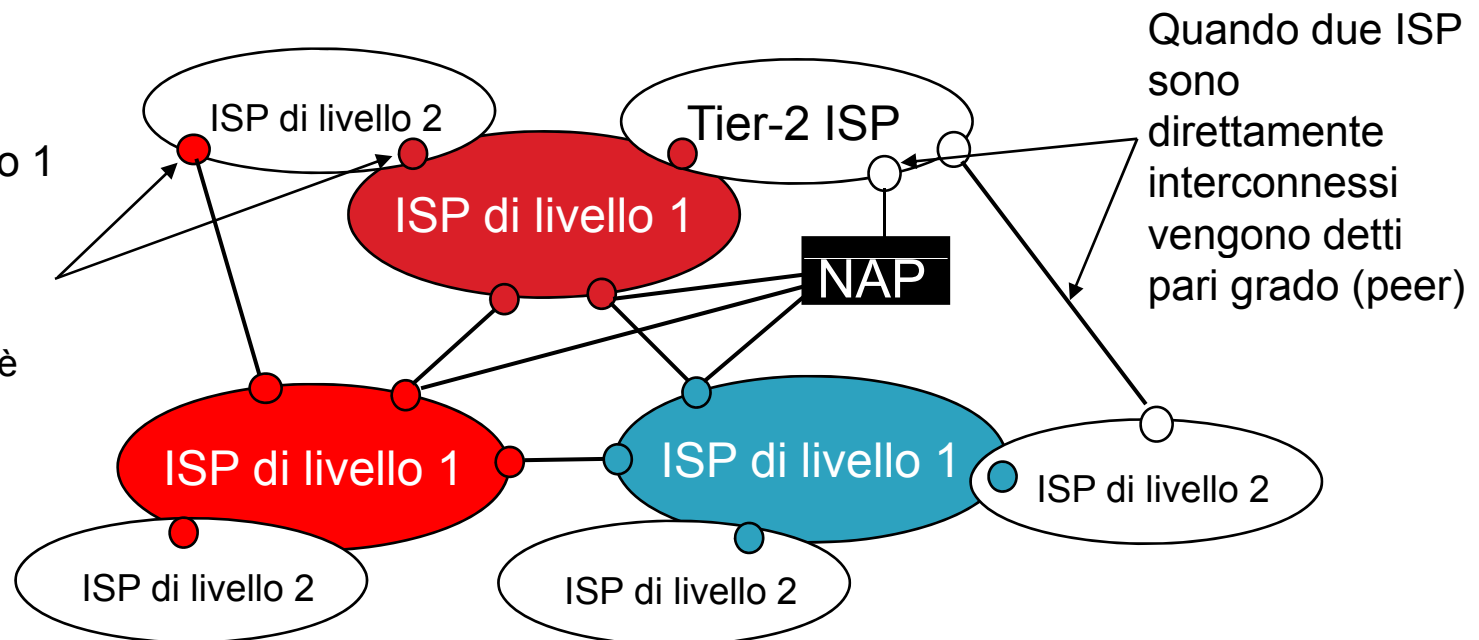


Struttura di Internet: la rete delle reti

- 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

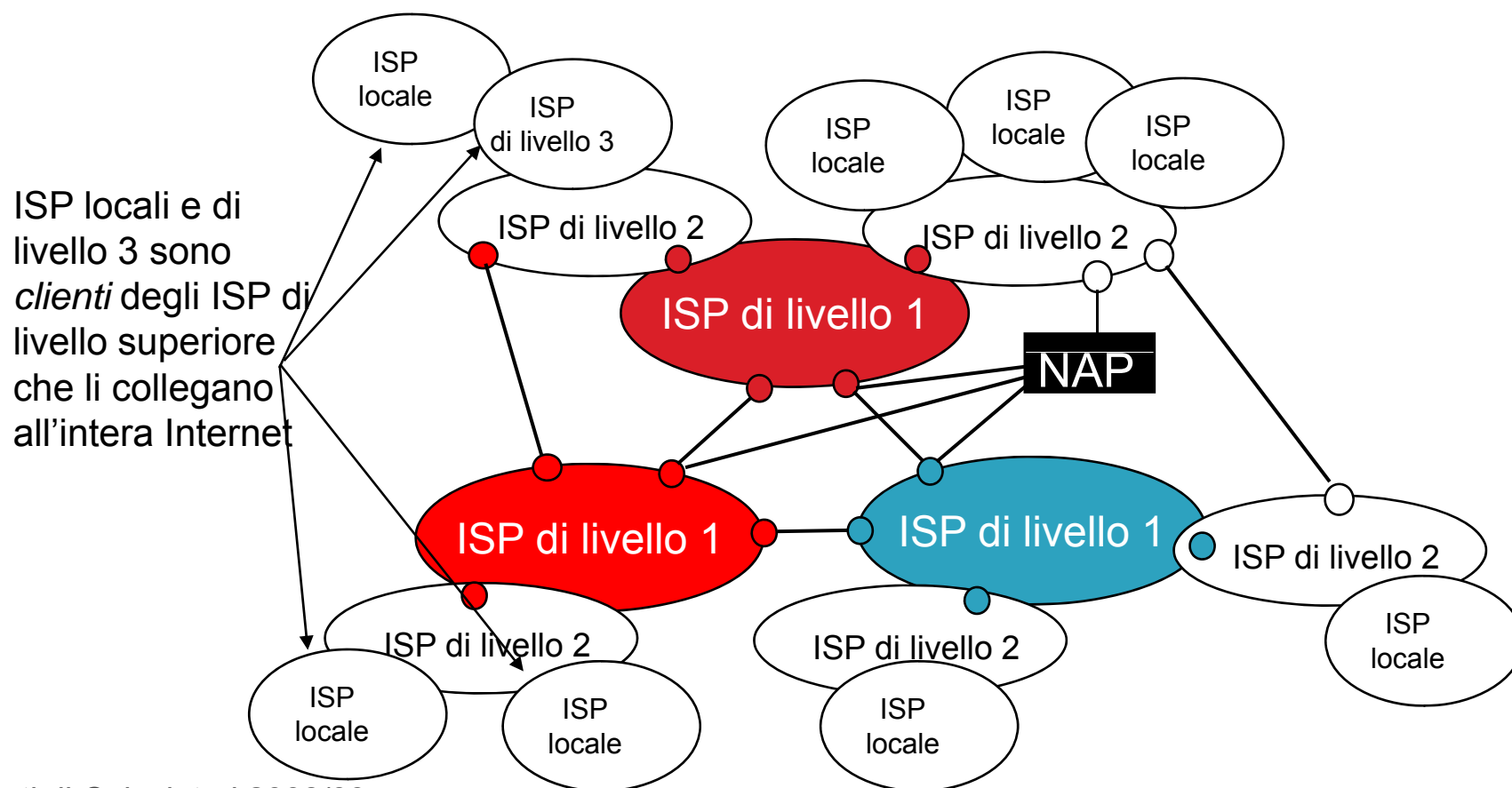
Un ISP di livello 2 paga l'ISP di livello 1 che gli fornisce la connettività per il resto della rete

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



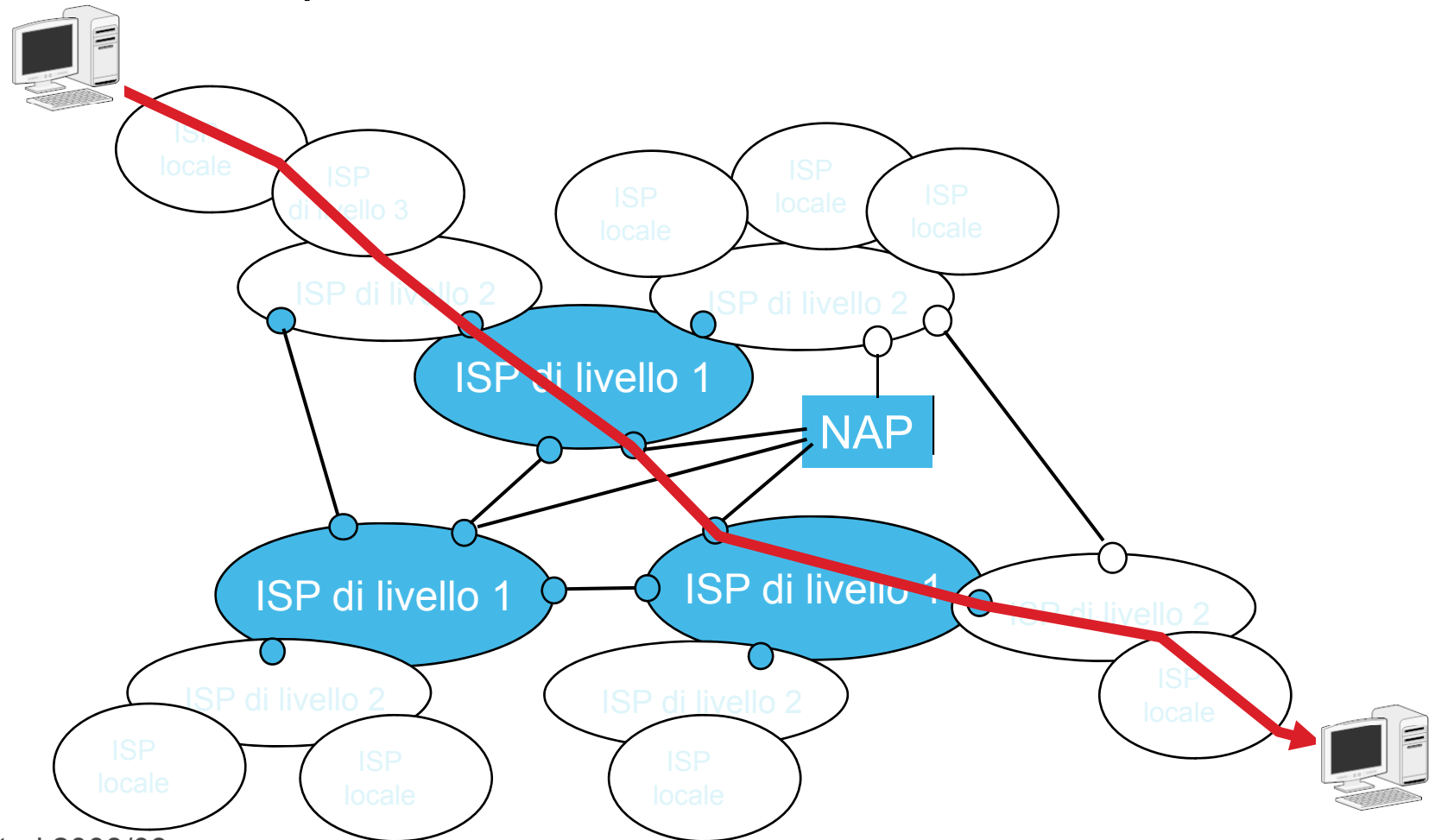
Struttura di Internet: la rete delle reti

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



Struttura di Internet: la rete delle reti

- Un pacchetto passa attraverso tante reti!



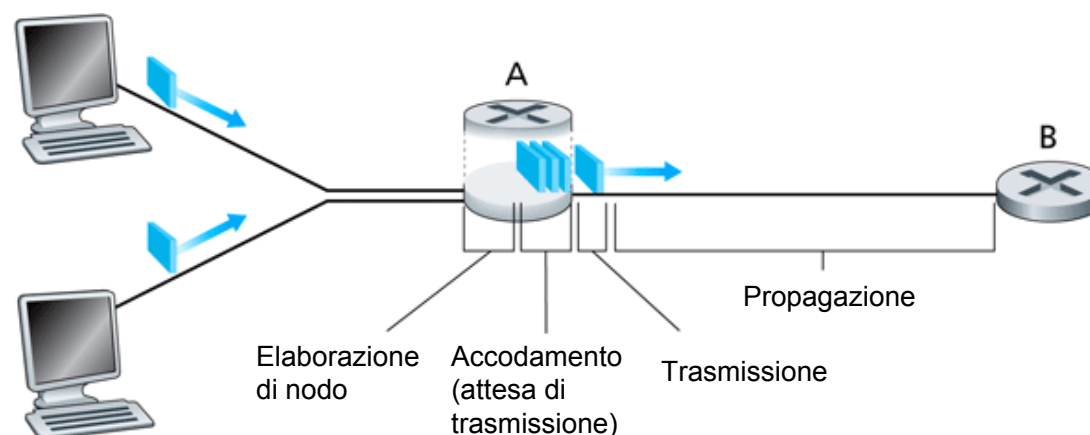
Ritardi



- Un pacchetto durante il suo percorso da un host sorgente ad un host destinazione passa attraverso una serie di router
- All'arrivo di un pacchetto nel router
 - ▣ Viene trasmesso se non ci sono altri pacchetti in fase di trasmissione
 - ▣ Non viene trasmesso se il collegamento è momentaneamente occupato o se altri pacchetti sono accodati
 - In questo caso il pacchetto si accoda agli altri

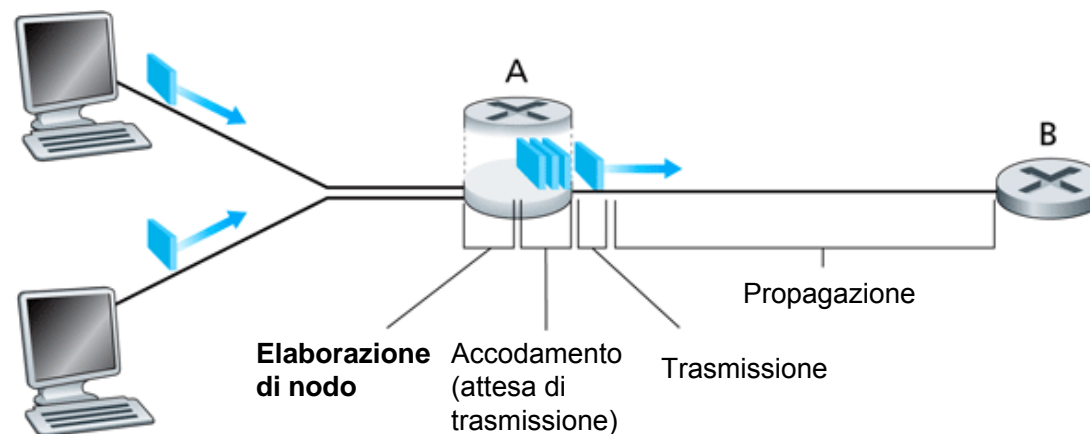
Tipi di ritardi

- I ritardi più importanti sono:
 - ▣ Ritardo di elaborazione del nodo
 - ▣ Ritardo di accodamento
 - ▣ Ritardo di trasmissione
 - ▣ Ritardo di propagazione



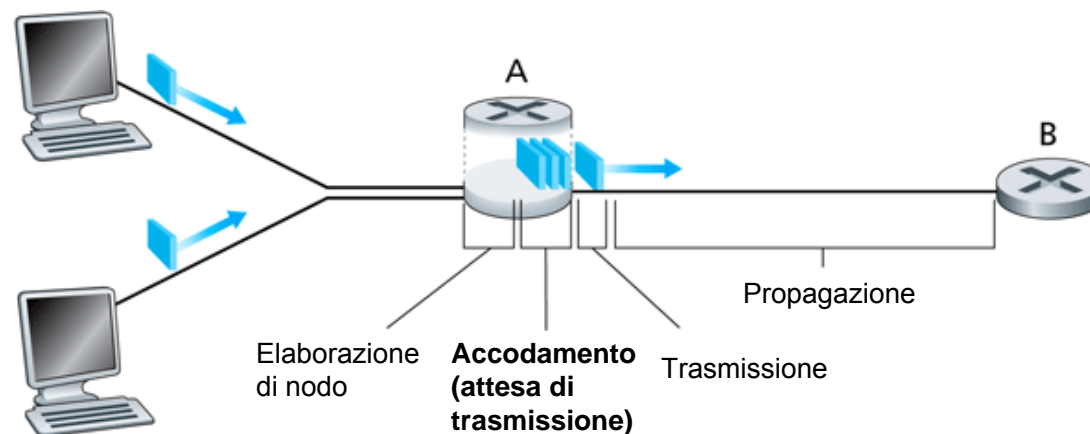
Ritardo di elaborazione

- Il **tempo di elaborazione** è il tempo richiesto per
 - ▣ Esaminare l'intestazione del pacchetto e decidere su quale canale di uscita instradarlo
 - ▣ Controllo errori sui bit



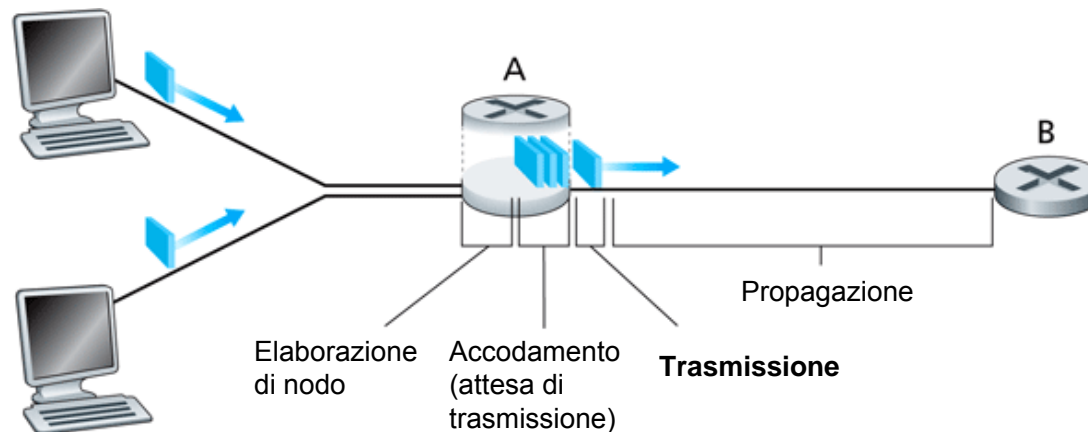
Ritardo di accodamento

- Il **ritardo di accodamento** dipende dal numero di pacchetti precedentemente arrivati, accodati ed in attesa di essere trasmessi
 - ▣ Dipende dal livello di congestione del router



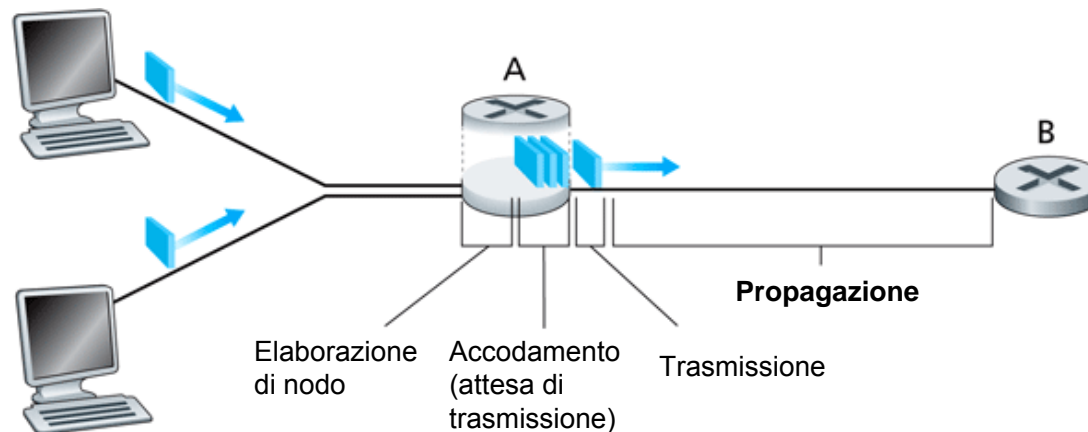
Ritardo di trasmissione

- Sia R =frequenza di trasmissione del collegamento (in bps)
- Sia L =lunghezza del pacchetto (in bit)
- Il ritardo di trasmissione L/R è il tempo richiesto per trasmettere tutti i bit del pacchetto sul collegamento



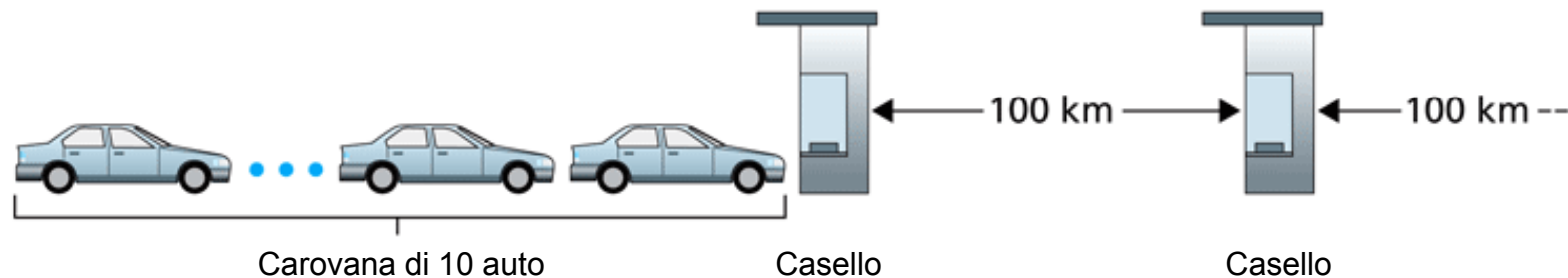
Ritardo di propagazione

- Il **ritardo di propagazione** è il tempo necessario al bit di propagarsi dal router A al router B
- Se d = lunghezza del collegamento fisico
- Se s = velocità di propagazione del collegamento ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- Il ritardo di propagazione è pari a d/s



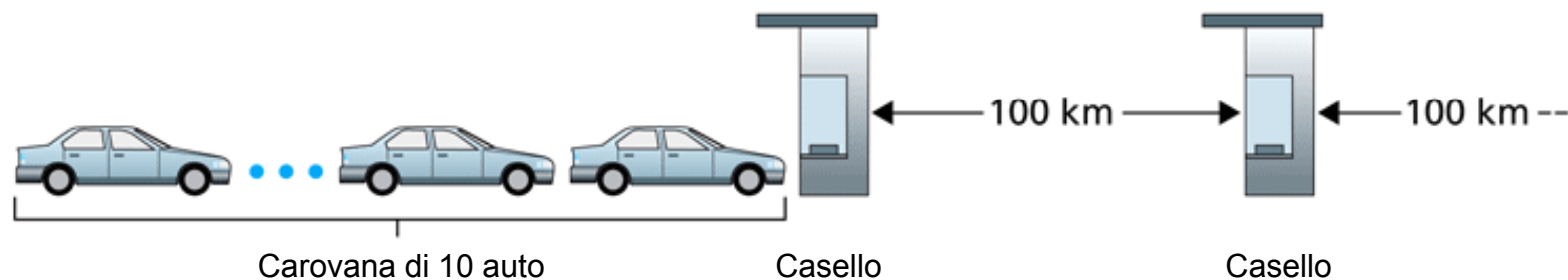
Un'analogia: ritardi in autostrada

- Prendiamo come esempio una carovana di 10 auto e che si spostano in autostrada, supponiamo che:
 - ▣ Le automobili viaggiano (ossia “si propagano”) alla velocità di 100 km/h
 - ▣ Il casello serve (ossia “trasmette”) un'auto ogni 12 secondi
 - ▣ Quindi l'auto \approx bit; carovana \approx pacchetto
- *Quanto tempo occorre perché le 10 auto in carovana si trovino di fronte al secondo casello?*



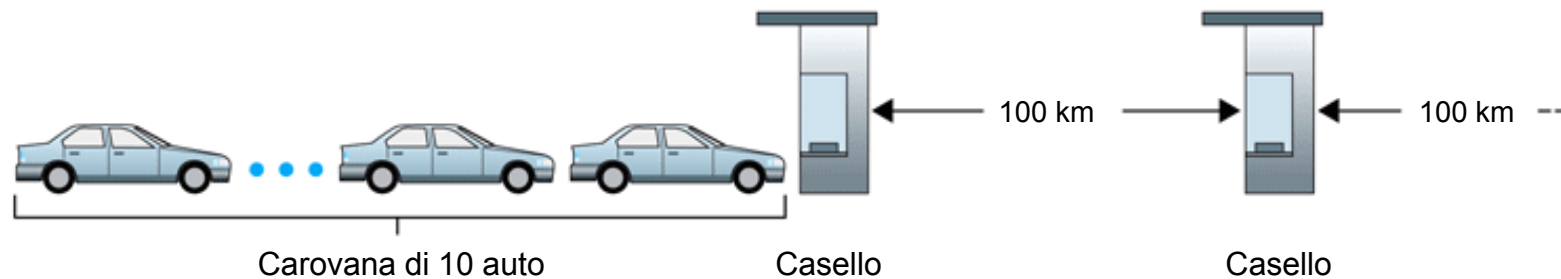
Un'analogia: ritardi in autostrada

- Tempo richiesto al casello per trasmettere l'intera carovana sull'autostrada = $12 \cdot 10 = 120$ sec
- Tempo richiesto a un'auto per viaggiare dall'uscita di un casello fino al casello successivo:
 $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1$ hr
- Ritardo totale = 62 minuti



Un'analogia: ritardi in autostrada

- Supponiamo ora che
 - ▣ Le auto ora “si propagano” alla velocità di 1000 km/h
 - ▣ Al casello occorre 1 min per servire ciascuna auto
- *Le prime auto arriveranno al secondo casello prima che le ultime auto della carovana lascino il primo?*
- Dopo 7 minuti, la prima auto sarà al secondo casello, e tre auto saranno ancora in coda davanti al primo casello
 - ▣ 1 minuto per servire l'auto + 6 minuti per propagarsi = 7 minuti
- In generale il primo bit di un pacchetto può arrivare al secondo router prima che il pacchetto sia stato interamente trasmesso dal primo router!



Ritardo di un nodo

- Supponendo che:
 - d_{proc} = ritardo di elaborazione (*processing delay*)
 - In genere pochi microsecondi, o anche meno
 - d_{queue} = ritardo di accodamento (*queuing delay*)
 - Dipende dalla congestione
 - d_{trans} = 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
- Il ritardo di un nodo è uguale a

$$d_{nodo} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$$

Ancora sul ritardo di accodamento

- Il ritardo di accodamento è il più complesso poiché varia da pacchetto a pacchetto
 - Se arrivano 10 pacchetti contemporaneamente il primo viene smistato subito mentre l'ultimo subirà un ritardo
- Per modellare il ritardo di accodamento si fa uso di misure statistiche
 - Tempo di accodamento medio
 - Varianza del ritardo di accodamento
 - Probabilità del ritardo di accodamento

Intensità di traffico

- Definiamo alcune misure:
 - a = Frequenza media di arrivo dei pacchetti al secondo
 - R = Frequenza di trasmissione dei bit in uscita al secondo
 - L = Numero di bit per pacchetto

- La frequenza media di arrivo è La bit/sec
- Definiamo l'**intensità di traffico** come La/R

Intensità di traffico

1. $L_a/R > 1$

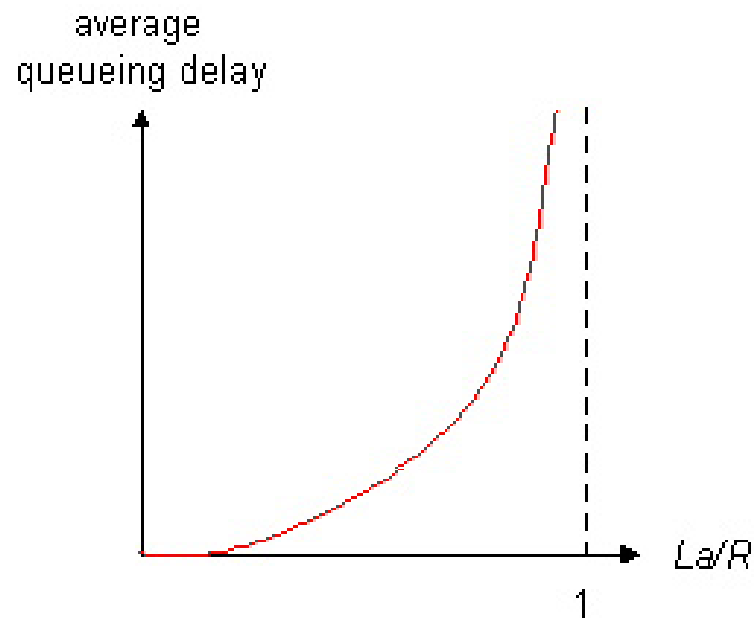
- ▣ La frequenza media di arrivo supera la frequenza di trasmissione
- ▣ La coda crescerà senza limiti ed il ritardo aumenterà ☹️

2. $L_a/R \leq 1$

- ▣ I pacchetti arrivano con cadenza periodica ad esempio ogni L/R secondi
- ▣ Ciascun pacchetto troverà la coda vuota 😊

Ritardo medio in funzione dell'intensità di traffico

- $La/R \sim 0$: poco ritardo
- $La/R \rightarrow 1$: il ritardo si fa consistente
- $La/R > 1$: più “lavoro” in arrivo di quanto possa essere effettivamente svolto, ritardo medio infinito!



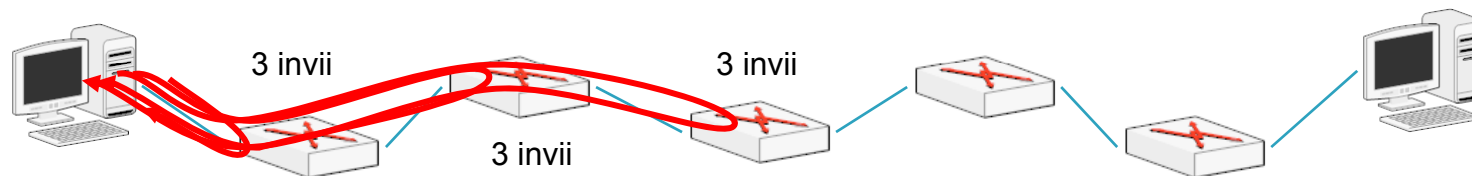
Perdita dei pacchetti



- ❑ Le code dei router hanno capacità finita
- ❑ Se un pacchetto trova la coda piena il router è costretto ad eliminarlo
- ❑ La perdita è legata all'intensità di traffico
- ❑ Un pacchetto perduto può essere ritrasmesso per iniziativa locale

Ritardi e percorsi su Internet

- Ma cosa significano effettivamente ritardi e perdite nella “vera” Internet?
- `traceroute` è un programma diagnostico che fornisce una misura del ritardo dalla sorgente al router lungo i percorsi Internet punto-punto verso la destinazione
 - ▣ Invia tre pacchetti che raggiungeranno il router i sul percorso verso la destinazione
 - ▣ Il router i restituirà i pacchetti al mittente
 - ▣ Il mittente calcola l'intervallo tra trasmissione e risposta



Ritardi e percorsi in Internet

traceroute da gaia.cs.umass.edu a www.eurecom.fr

Tre misure di ritardo da
gaia.cs.umass.edu a cs-gw.cs.umass.edu

```
1  cs-gw (128.119.240.254)  1 ms  1 ms  2 ms
2  border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)  1 ms  1 ms  2 ms
3  cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)  6 ms  5 ms  5 ms
4  jn1-atl1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)  16 ms  11 ms  13 ms
5  jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)  21 ms  18 ms  18 ms
6  abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)  22 ms  18 ms  22 ms
7  nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)  22 ms  22 ms  22 ms
8  62.40.103.253 (62.40.103.253)  104 ms  109 ms  106 ms
9  de2-1.del.de.geant.net (62.40.96.129)  109 ms  102 ms  104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)  113 ms  121 ms  114 ms
11 reater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)  112 ms  114 ms  112 ms
12 nio-n2.cssi.reater.fr (193.51.206.13)  111 ms  114 ms  116 ms
13 nice.cssi.reater.fr (195.220.98.102)  123 ms  125 ms  124 ms
14 r3t2-nice.cssi.reater.fr (195.220.98.110)  126 ms  126 ms  124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)  135 ms  128 ms  133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25)  126 ms  128 ms  126 ms
17 * * *
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)  132 ms  128 ms  136 ms
```

collegamento
transoceanico

* significa nessuna risposta (risposta persa, il router non risponde)