Introduzione

Obiettivi:

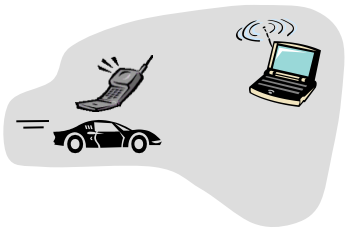
- Introdurre la terminologia e i concetti di base

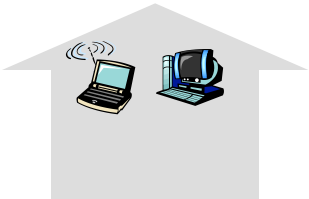
Panoramica:

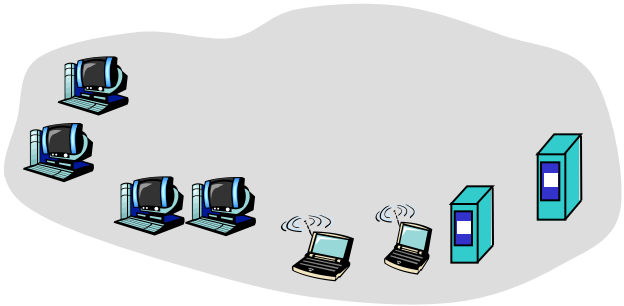
- Backbone internet
- **Prestazioni**: ritardi, perdite e throughput
- **Stack protocollare**: livelli di protocollo, modelli di servizio

Sistemi terminali

- Sistemi terminali – ***Host***
- Ospitano ed eseguono programmi applicativi
  - es.: Web, e-mail,
  - situati all'estremità di Internet
- Suddivisi in 2 categorie:
  - ***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
- Applicazioni ***peer-to-peer***
  - Programmi che svolgono funzioni sia client che server
  - uso limitato (o inesistente) di server dedicati
  - es.: Skype, Bit Torrent







Rete di accesso

- ***Access network***
- Collegamenti fisici che connettono un sistema al primo ***edge router***
  - Collegamento al primo router sul percorso dal sistema di origine a un qualsiasi sistema destinazione
- Residenziale
  - punto-punto (Modem dial-up, DSL)
  - Modem via cavo (fibra ottica)
- Aziendale
  - LAN
- Wireless
  - Tramite access point LAN o cellulare

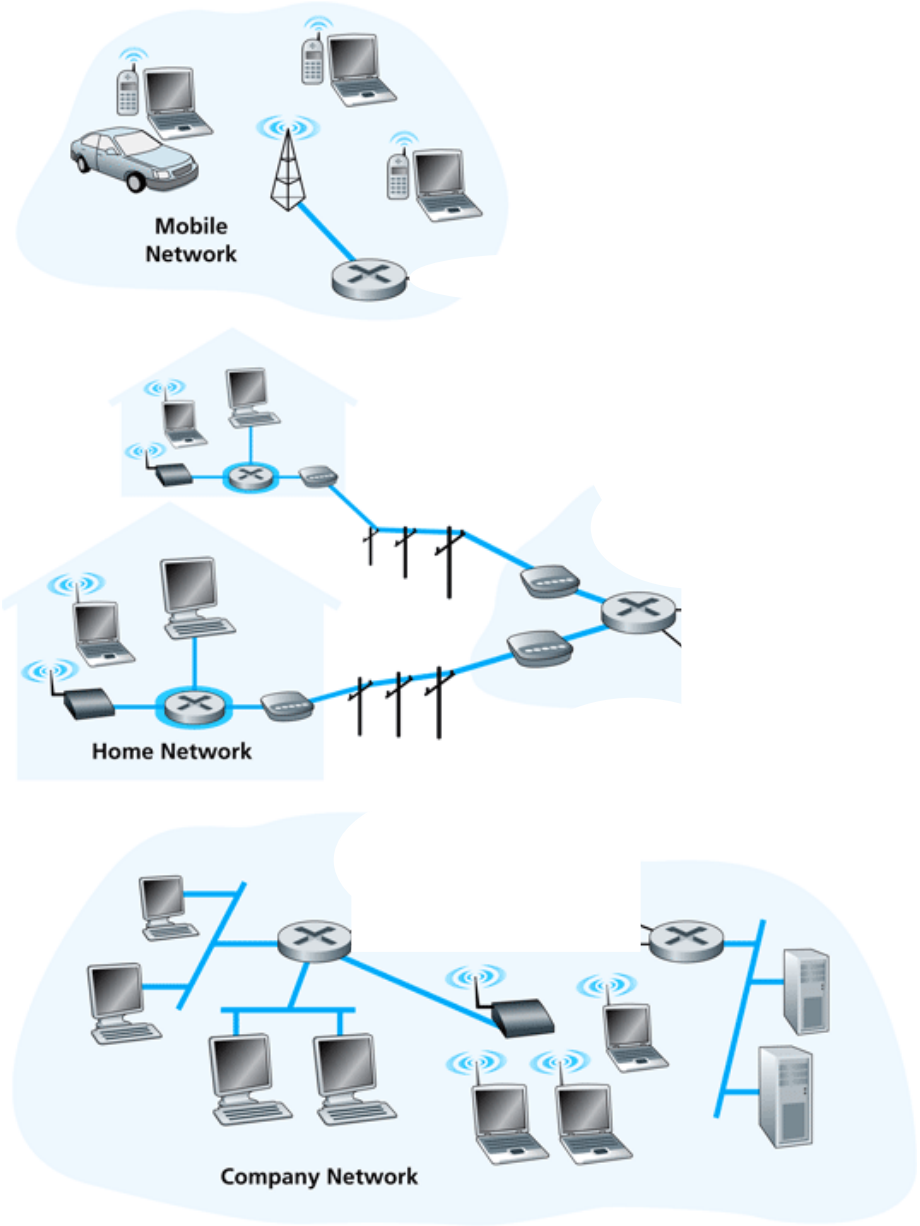


Figure 1.4 ♦ Access networks

ISDN

- **Integrated Services Digital Network** (**ISDN**)
- È un insieme di standard di comunicazione per la trasmissione digitale *simultanea* di voce, video e dati e altri servizi di rete sulla tradizionale rete telefonica analogica.
- È una rete telefonica a commutazione di circuito che fornisce accesso a reti a commutazione di pacchetto
- 128 kbit/s in entrambe le direzioni upstream downstream
- Presto soppiantata dall'ADSL

Backbone Internet

- Commutazione di circuito
  - circuito dedicato per l'intera durata della sessione
- Commutazione di pacchetto
  - i messaggi di una sessione utilizzano le risorse su richiesta

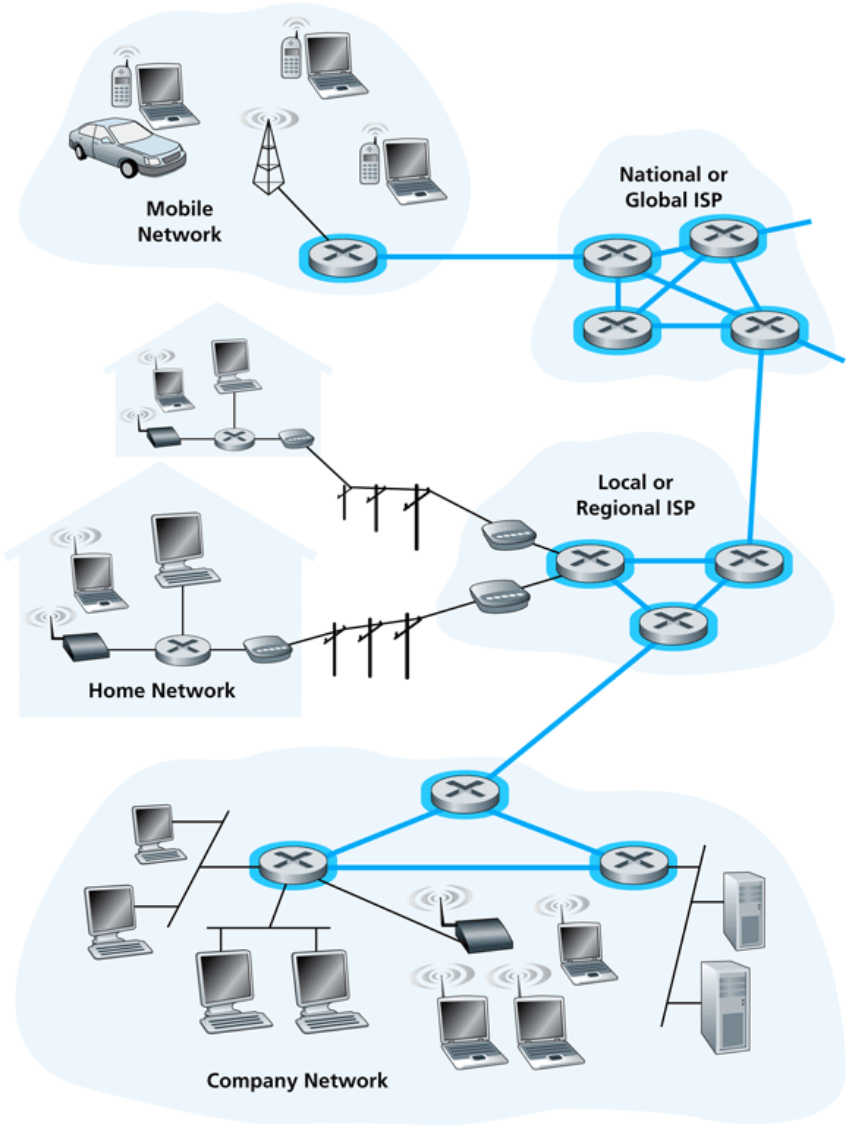
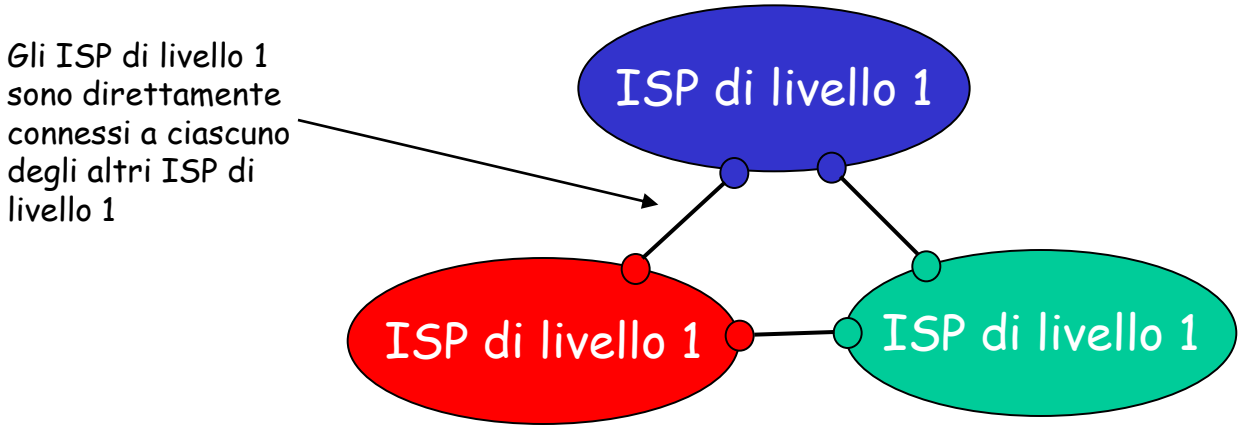


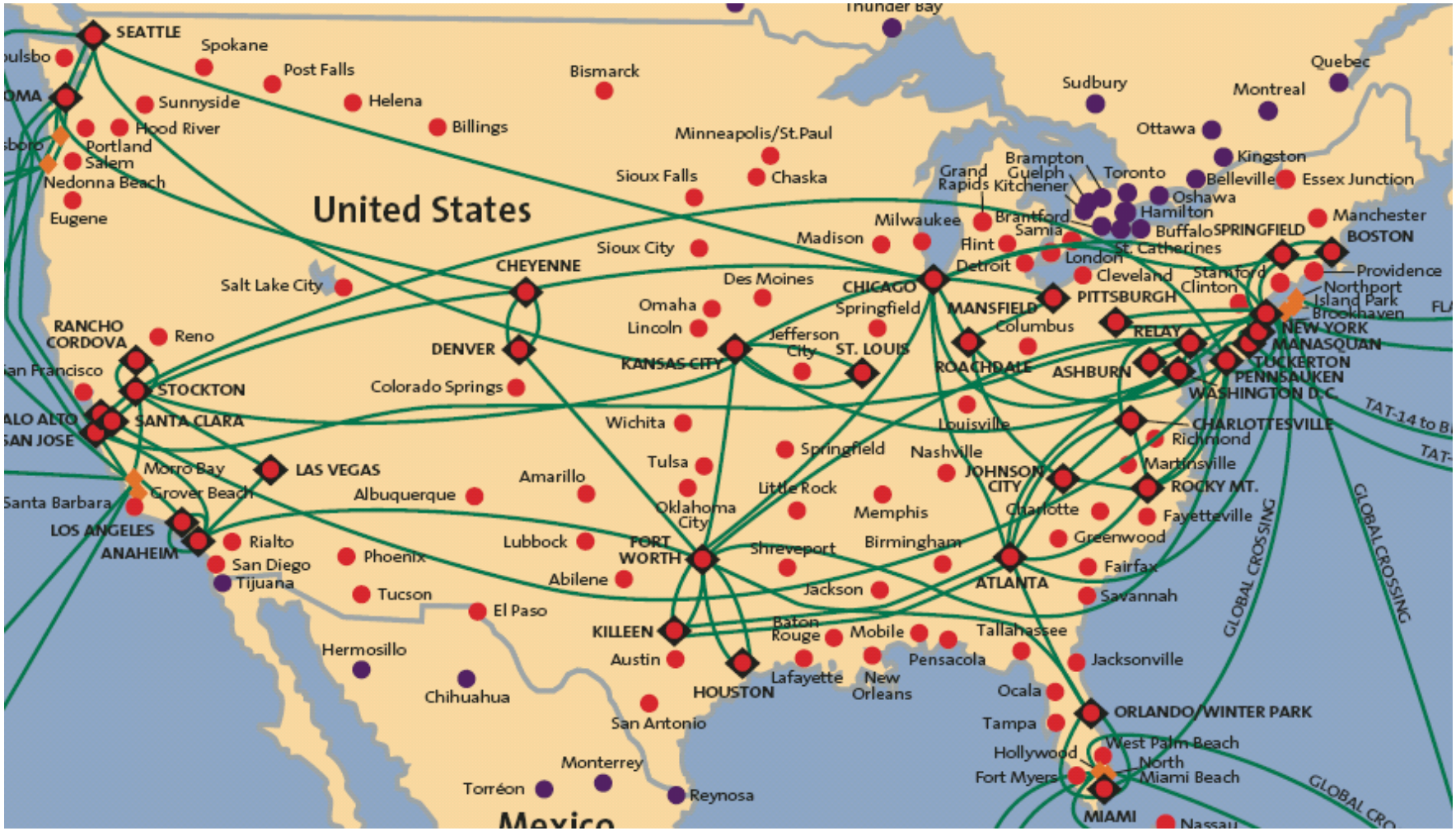
Figure 1.7 ♦ The network core

Struttura di Internet: la rete delle reti

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



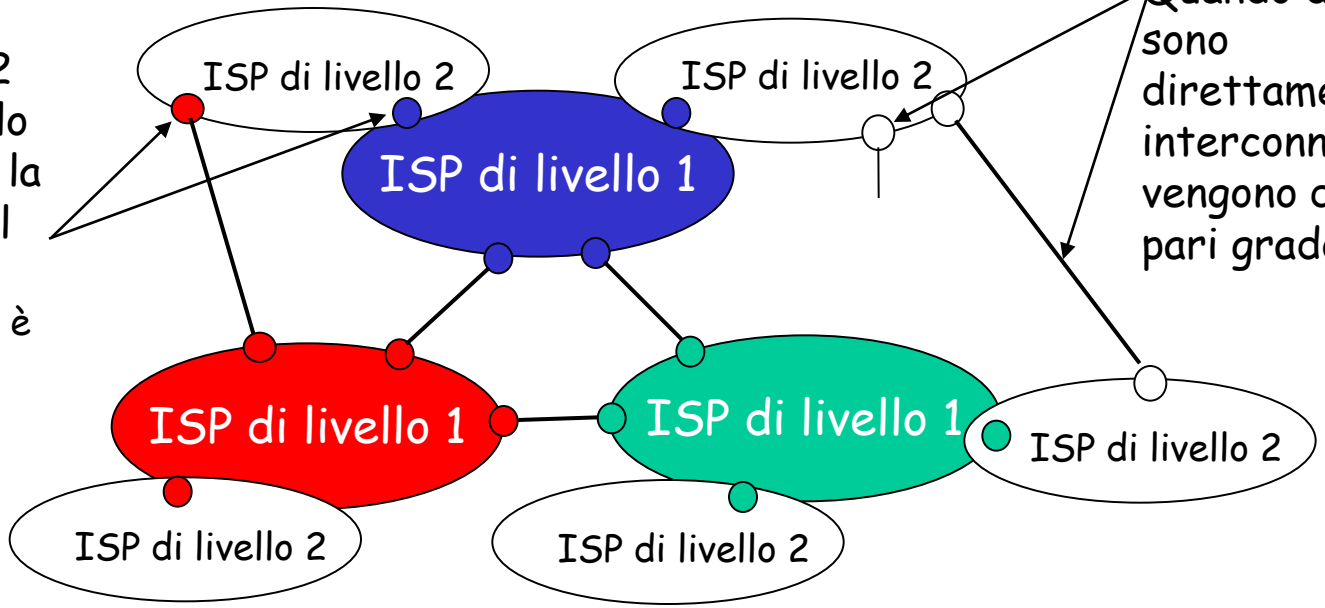
ISP di livello 1 - Un esempio: Sprint



Struttura di Internet: la rete delle reti

- ISP di livello 2: ISP più piccoli (nazionali o distrettuali)
  - Si può connettere solo al alcuni ISP di livello 1, e possibilmente ad altri ISP di livello 2

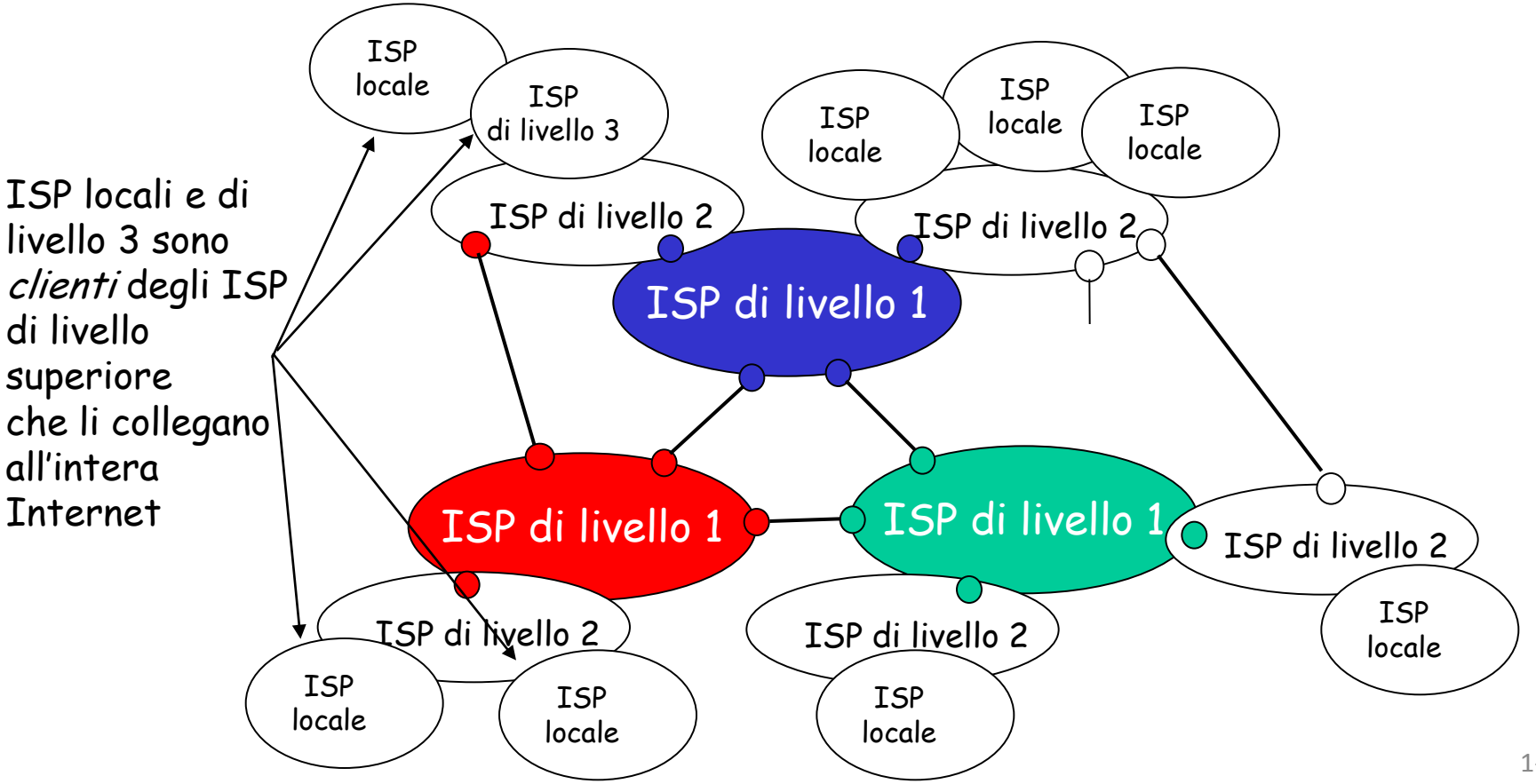
Un ISP di livello 2 paga l'ISP di livello 1 che gli fornisce la connettività per il resto della rete
- un ISP di livello 2 è cliente di un ISP di livello 1



Quando due ISP sono direttamente interconnessi vengono detti pari grado (peer)

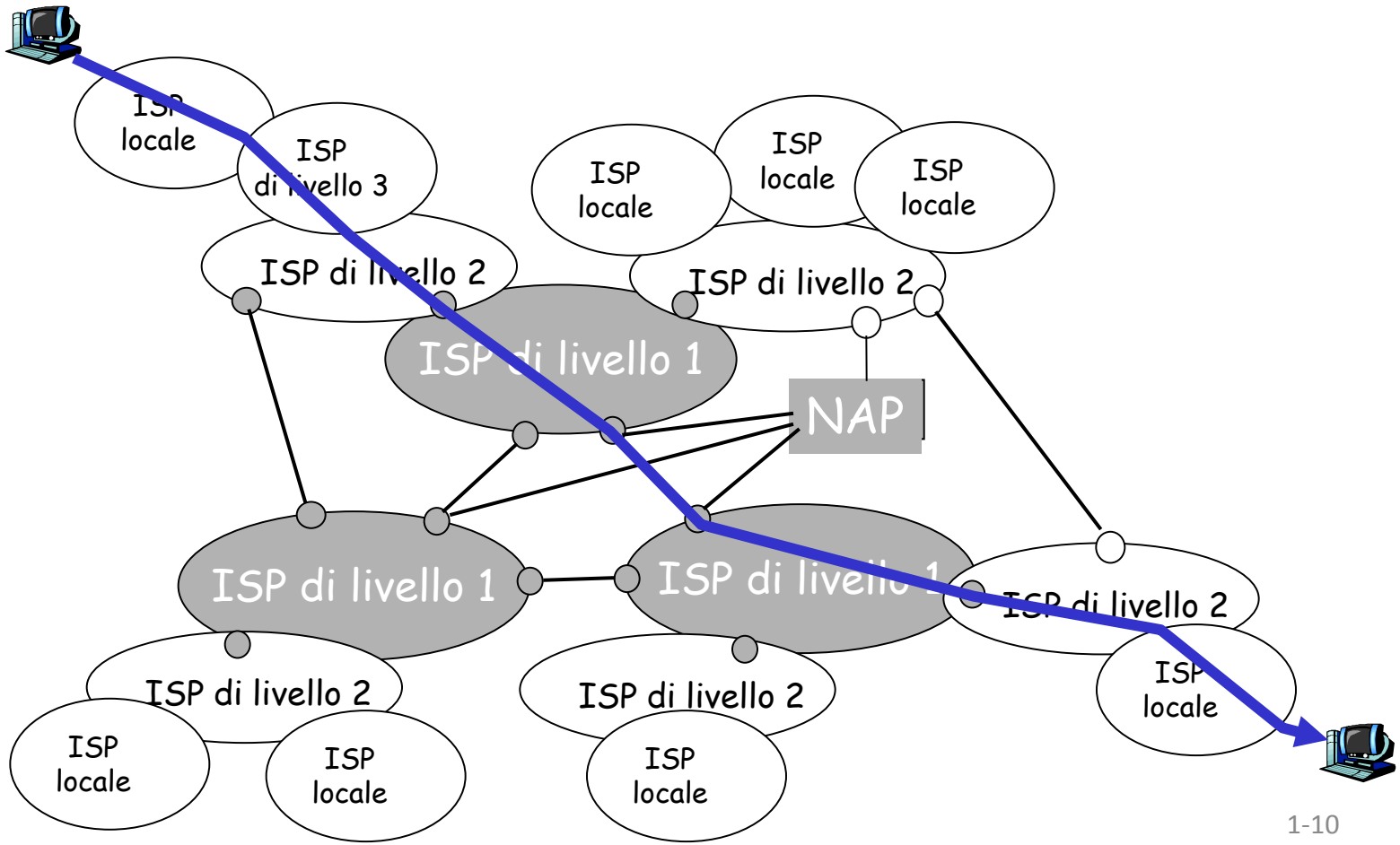
Struttura di Internet: la rete delle reti

- 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: la rete delle reti

- un pacchetto passa attraverso un sacco di reti!



- Routing (instradamento)

Introduzione: roadmap

1.1 Cos'è Internet?

1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

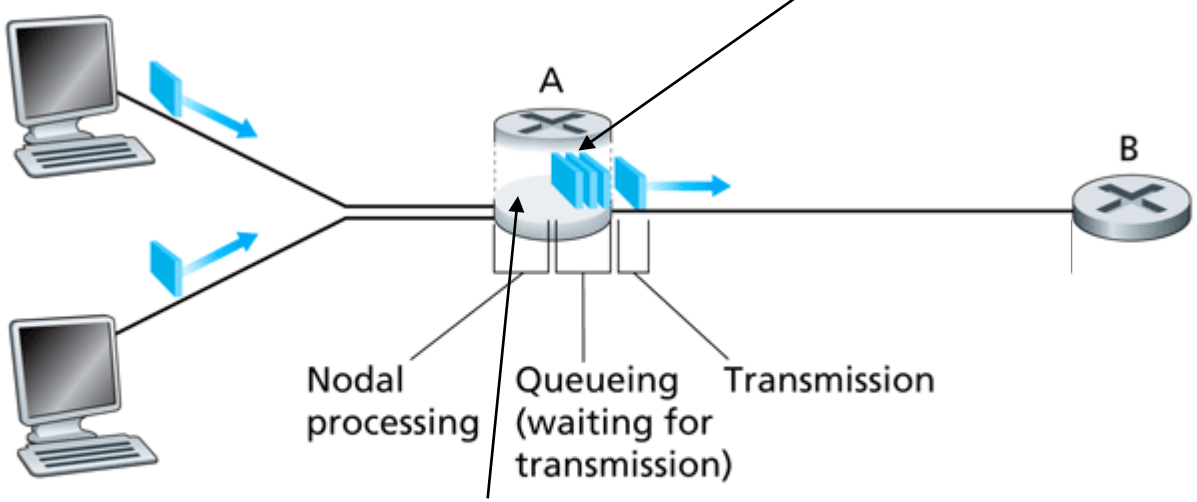
1.6 Storia del computer networking e di Internet

Come si verificano ritardi e perdite?

Nella ***commutazione di pacchetto*** i pacchetti *si accodano* nei buffer dei router

- il tasso di arrivo dei pacchetti sul collegamento eccede la capacità del collegamento di evaderli
- i pacchetti si accodano, in attesa del proprio turno

pacchetti in attesa di essere trasmessi (ritardo)

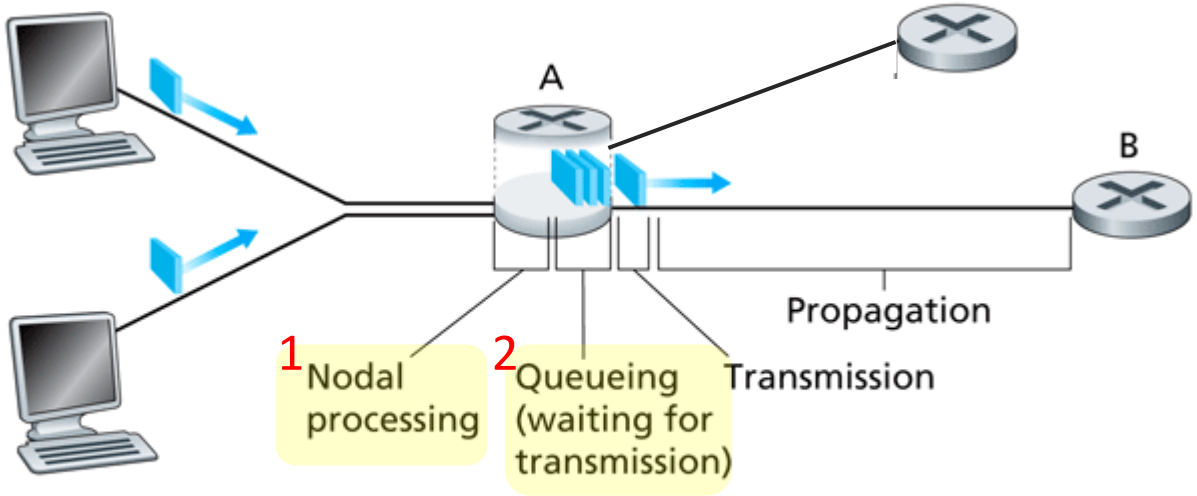


buffer liberi (disponibili): se non ci sono buffer liberi i pacchetti in arrivo vengono scartati (perdita)

Quattro cause di ritardo per i pacchetti

- 1. Ritardo di elaborazione del nodo (processing delay):
  - controllo errori sui bit
  - determinazione del canale di uscita

- 2. Ritardo di accodamento (queueing delay)
  - attesa di trasmissione
  - livello di congestione del router
  - può variare da pacchetto a pacchetto



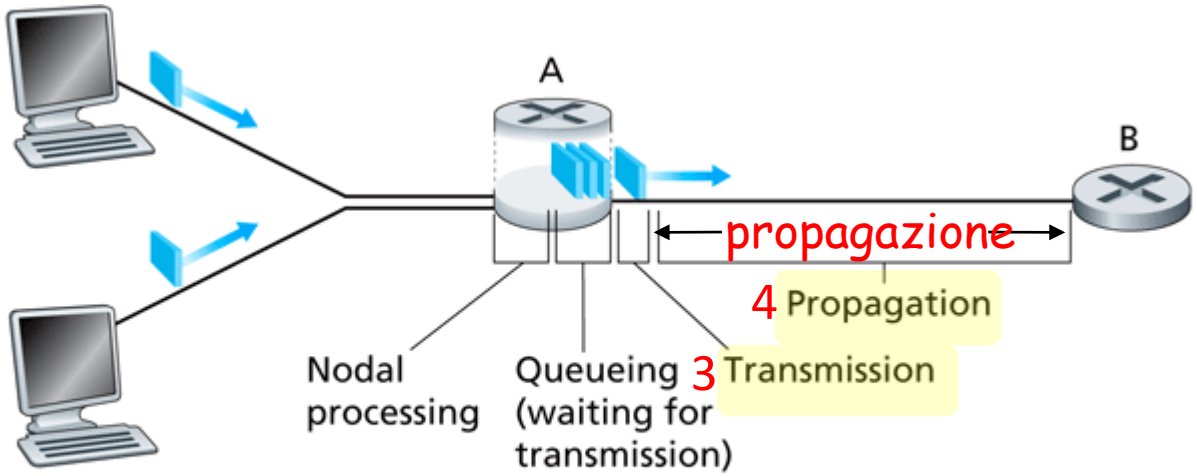
Ritardo nelle reti a commutazione di pacchetto

3. Ritardo di trasmissione (transmission delay):

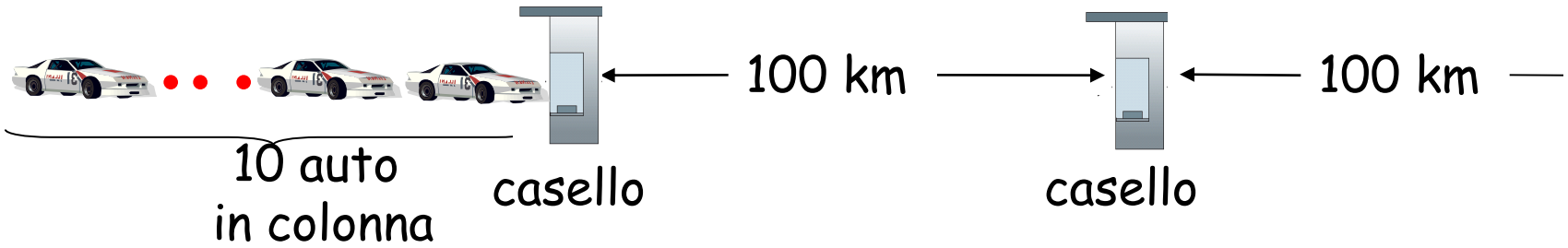
- Tempo richiesto per trasmettere tutti i bit del pacchetto sul collegamento
- Pacchetti trasmessi in First-come-first-served
- R=frequenza di trasmissione del collegamento (in bps)
- L=lunghezza del pacchetto (in bit)
- Ritardo di trasmissione = **L/R**

4. Ritardo di propagazione (propagation delay):

- Tempo che un bit impiega per propagarsi sul collegamento
- d = lunghezza del collegamento fisico
- s = velocità di propagazione del collegamento (~$2x10^8$ m/sec), corrisponde alla velocità della luce
- Ritardo di propagazione = **d/s**



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 in carovana si trovino di fronte al secondo casello?

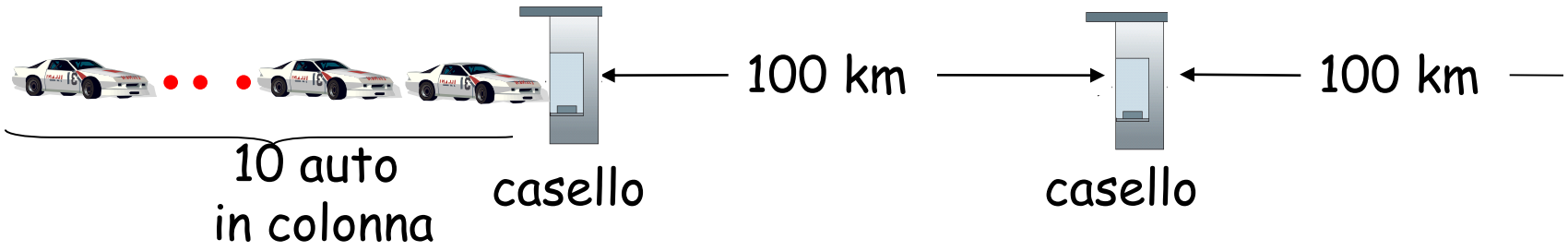
- Tempo richiesto al casello per trasmettere l'intera colonna sull'autostrada = 12*10 = 120 sec

  (equivale al tempo di trasmissione)
- Tempo richiesto a un'auto per viaggiare dall'uscita di un casello fino al casello successivo: 100km/(100km/h)= 1 hr

  (corrisponde al tempo di propagazione)

Il tempo che intercorre da quando l'intera colonna di vetture si trova di fronte al casello di partenza fino al momento in cui raggiunge quello successivo è la somma del ritardo di trasmissione e del ritardo di propagazione, ovvero 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!
  - Si veda l'applet sul sito web

Transmission versus Propagation Delay

- Applet

Ritardo di nodo

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

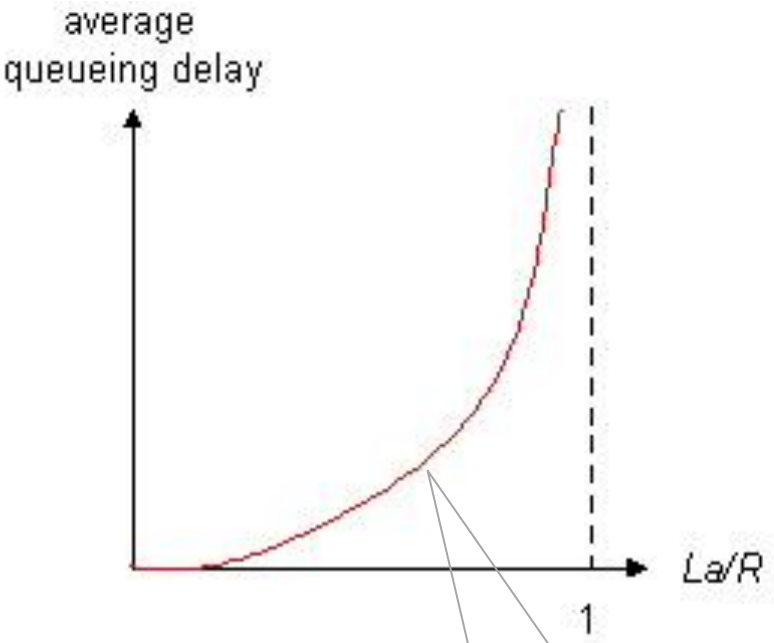
- d_{proc} = ritardo di elaborazione (*processing delay*)
  - in genere pochi microsecondi, o anche meno
- d_{queue} = ritardo di accodamento (*queuing delay*)
  - dipende dalla congestione
- d_{trans} = ritardo di trasmissione (*transmission delay*)
  - = L/R, significativo sui collegamenti a bassa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

Ritardo di accodamento

- Può variare da pacchetto a pacchetto
- Si fa uso di misure statistiche
- Dipende dalla frequenza di arrivo, dalla frequenza di trasmissione , e dalla lunghezza dei pacchetti

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

La/R = intensità di traffico

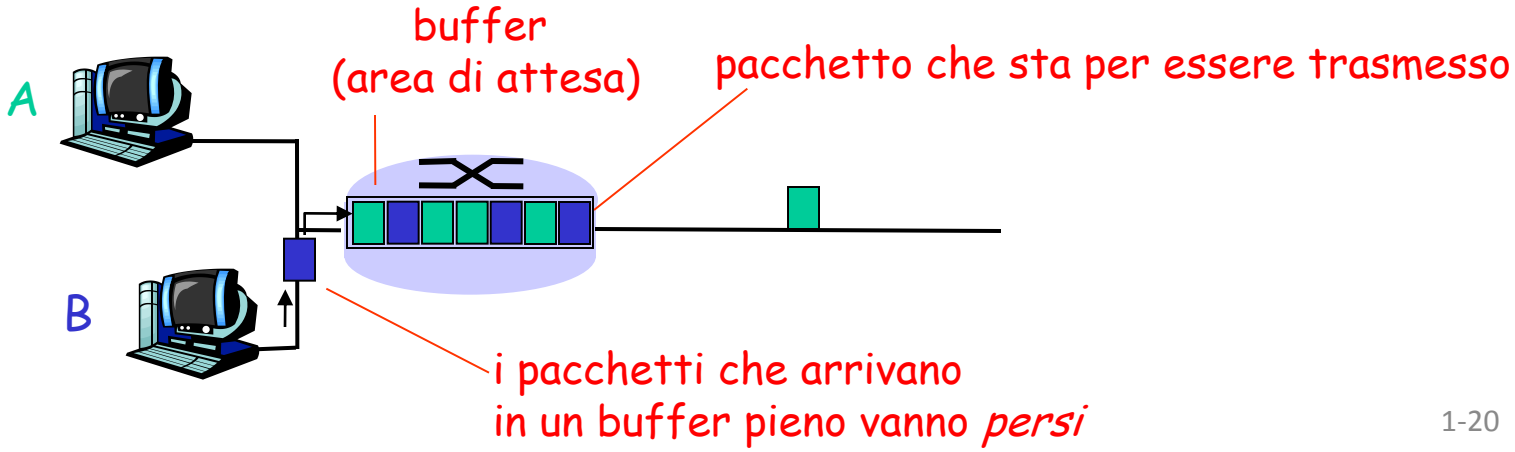


Quanto più l'intensità di traffico si avvicina a 1 tanto più rapidamente cresce il ritardo medio di accodamento

- La/R ~ 0: poco ritardo
- La/R -> 1: il ritardo si fa consistente
- La/R > 1: più "lavoro" in arrivo di quanto possa essere effettivamente svolto, ritardo medio infinito!

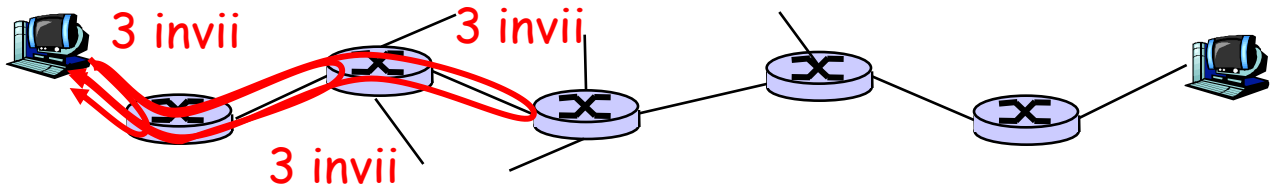
Perdita di pacchetti

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



Ritardi e percorsi in Internet

- Ma cosa significano effettivamente ritardi e perdite nella "vera" Internet?
- **Traceroute**: 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

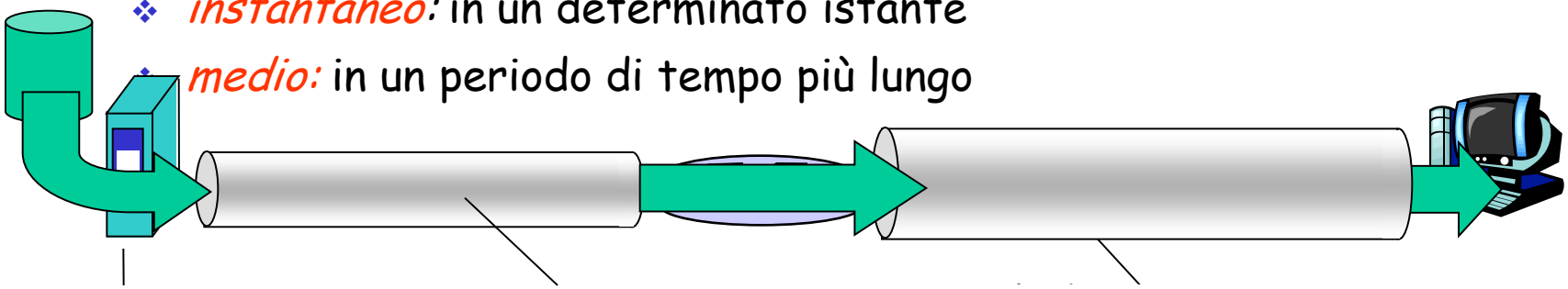
```
1  cs-gw (128.119.240.254)  1 ms  1 ms  2 ms
2  border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)  1 ms  1 ms  2 ms
3  cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)  6 ms 5 ms 5 ms
4  jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)  16 ms 11 ms 13 ms
5  jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)  21 ms 18 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.de1.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  renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)  112 ms  114 ms  112 ms
12  nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)  111 ms  114 ms  116 ms
13  nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)  123 ms  125 ms  124 ms
14  r3t2-nice.cssi.renater.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)

Throughput

- *throughput:* frequenza (bit/unità di tempo) alla quale i bit sono trasferiti tra mittente e ricevente
- Se il file consiste di *F* bit e il trasferimento richiede *T* secondi allora *th=F/T bps*
  - *instantaneo:* in un determinato istante
  - *medio:* in un periodo di tempo più lungo



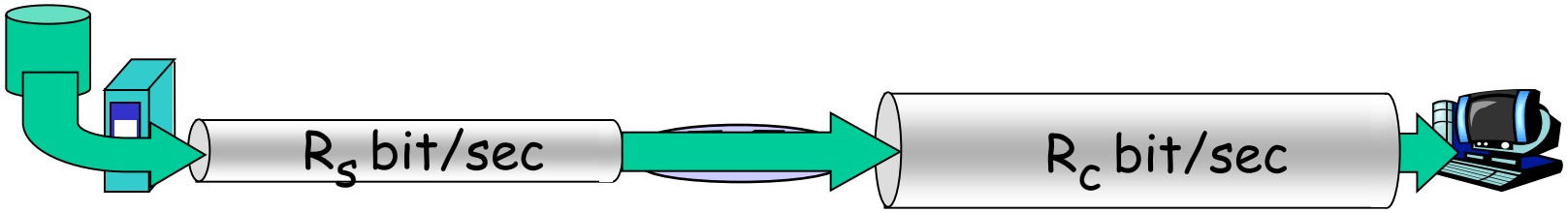
il server invia bit (fluido) nel tubo

tubo che può trasportare fluido a R_s bit/sec

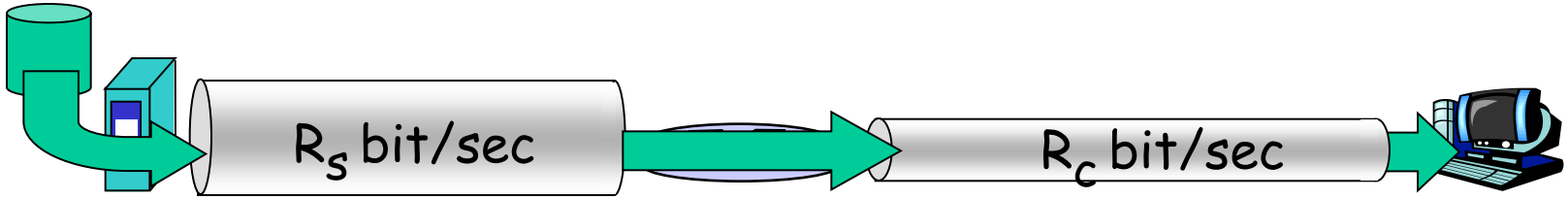
tubo che può trasportare fluido a R_c bits/sec

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

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

Throughput: scenario Internet

- throughput end to end per ciascuna connessione:

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

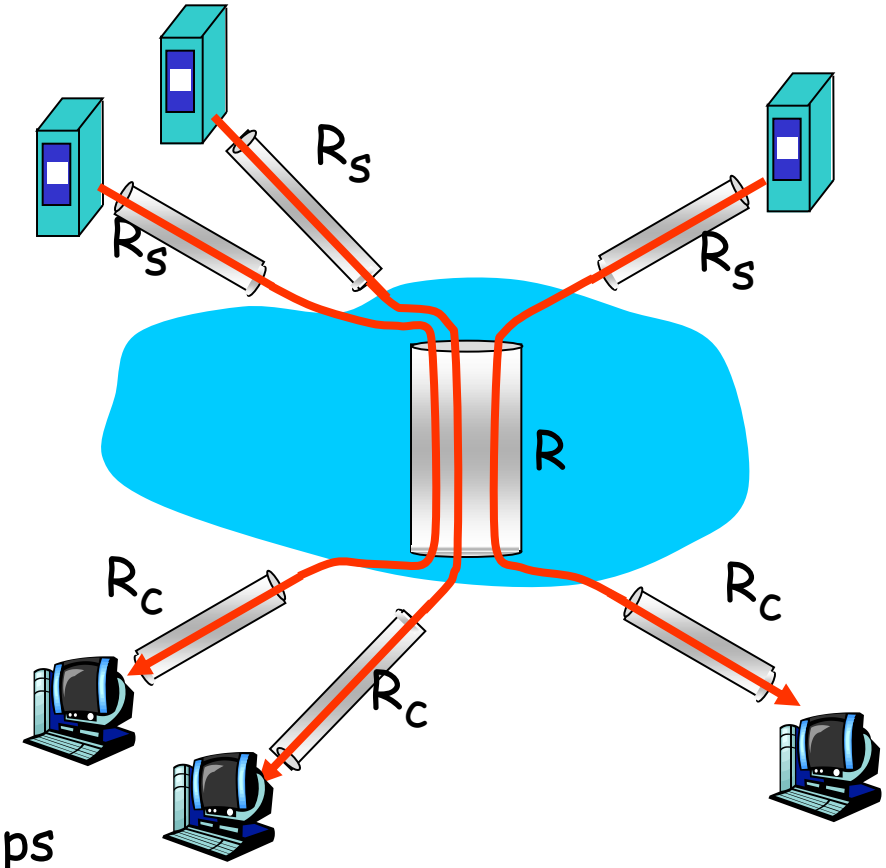
- Esempio:

  R_c = 1Mbps

  Rs = 2Mbps

  R = 5Mbps

  throughput end-to-end = 500kbps



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

Introduzione: roadmap

1.1 Cos'è Internet?

1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

Livelli di protocollo

Le reti sono complesse!

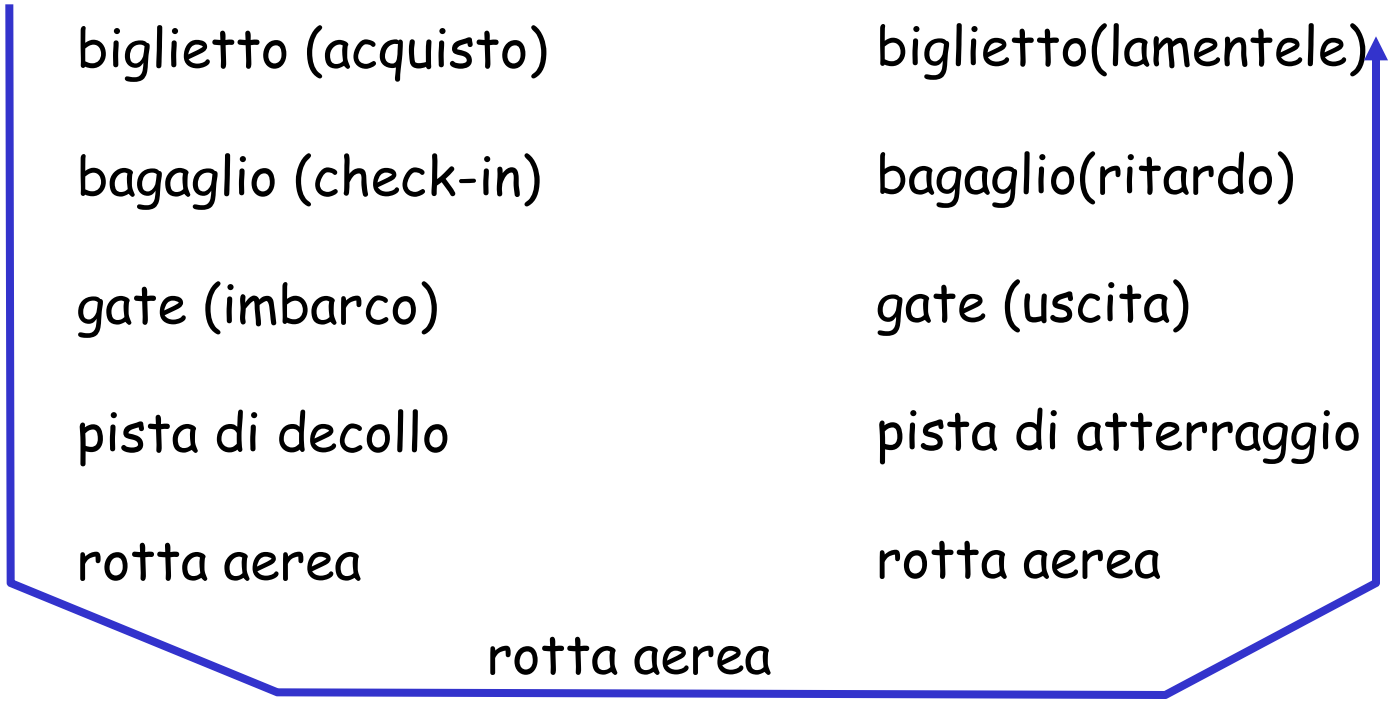
- molti "pezzi":
  - host
  - router
  - svariate tipologie di mezzi trasmissivi
  - applicazioni
  - protocolli
  - hardware, software

Domanda:

C'è qualche speranza di *organizzare* l'architettura delle reti?

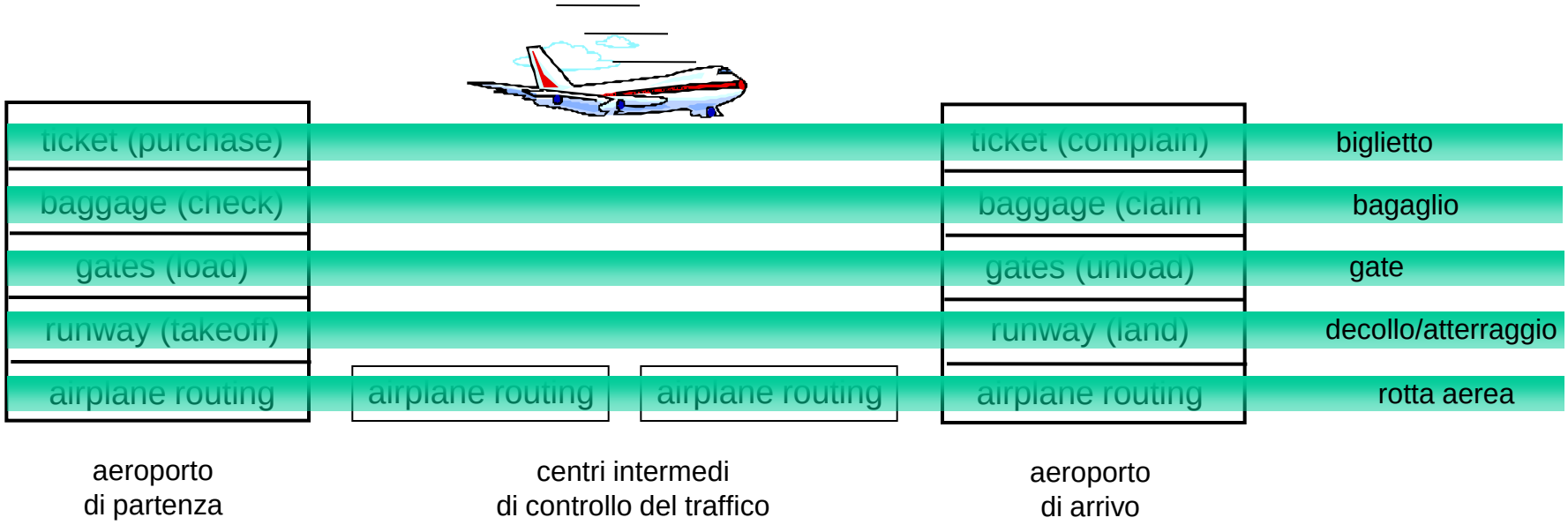
O almeno la nostra trattazione sulle reti?

Organizzazione di un viaggio aereo



- una serie di passi successivi

Stratificazione delle funzionalità di una linea aerea



Livelli: ciascun livello realizza un servizio

- effettuando determinate azioni all'interno del livello stesso
- utilizzando i servizi del livello immediatamente inferiore

Perché la stratificazione?

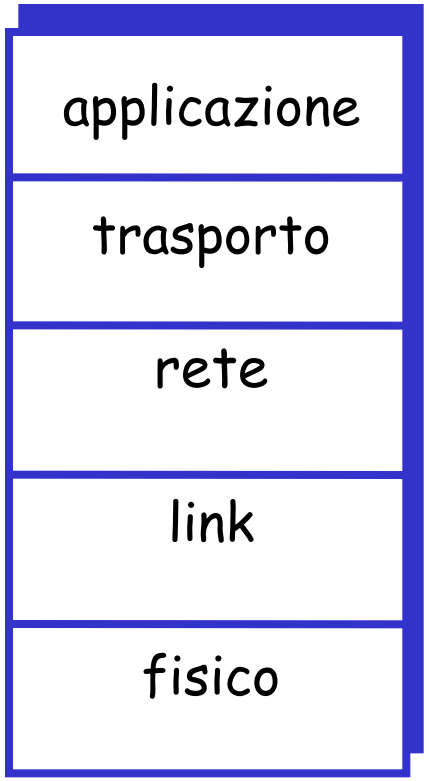
Quando si ha a che fare con sistemi complessi:

- Una struttura “esplicita” consente l’identificazione dei vari componenti di un sistema complesso e delle loro inter-relazioni
  - analisi del modello di riferimento a strati
- La modularizzazione facilita la manutenzione e l’aggiornamento di un sistema
  - modifiche implementative al servizio di uno dei livelli risultano trasparenti al resto del sistema
  - es.: modifiche nelle procedure effettuate al gate non condizionano il resto del sistema

Pila di protocolli Internet (protocol stack)

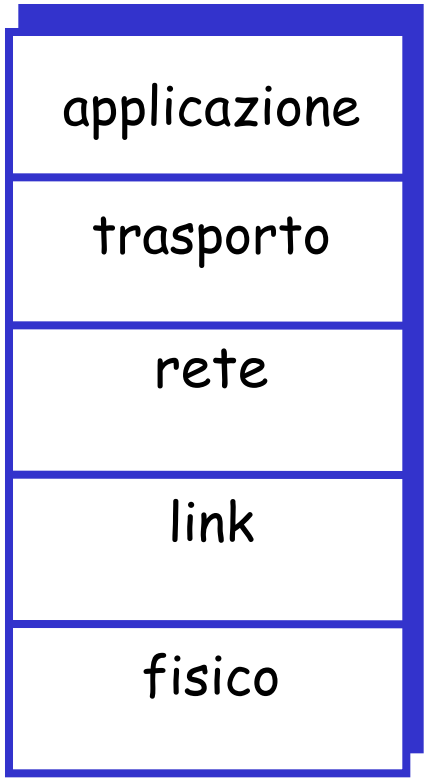
- Applicazione: è la sede delle applicazioni di rete
  - HTTP, SMTP, FTP, DNS
  - I pacchetti sono denominati ***messaggi***

- Trasporto: trasferimento dei messaggi a livello di applicazione tra il modulo client e server di un'applicazione
  - TCP, UDP
  - I pacchetti sono denominati ***segmenti***

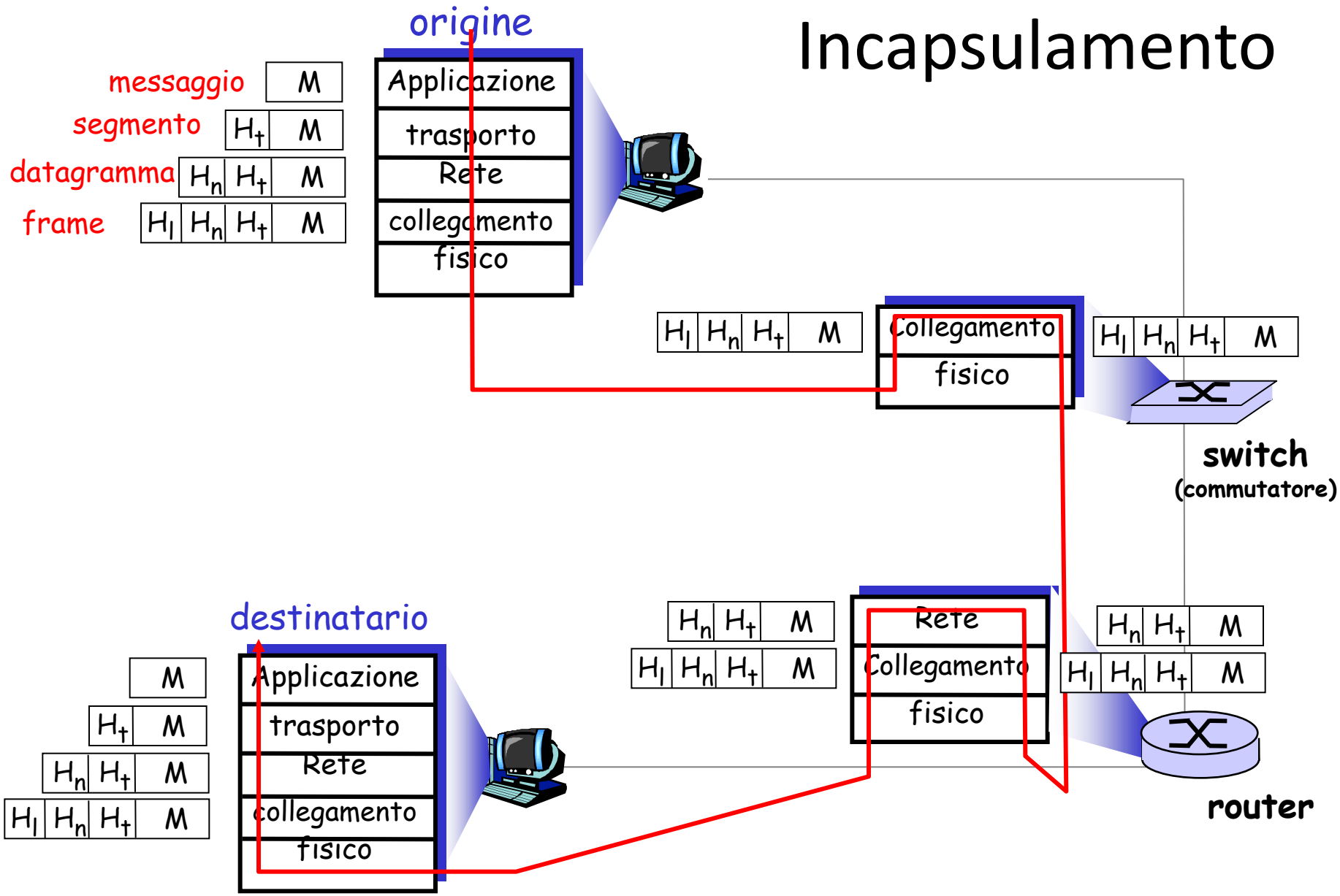


Pila di protocolli Internet

- Rete: instradamento dei segmenti dall'origine al destinatario
  - IP, protocolli di instradamento
  - I pacchetti sono denominati ***datagrammi***
- Link (collegamento): instradamento dei datagrammi da un nodo a quello successivo sul percorso
  - Ethernet, Wi-Fi, PPP
  - Lungo un percorso sorgente-destinazione un datagramma può essere gestito da protocolli diversi
  - I pacchetti sono denominati ***frame***
- fisico: trasferimento dei singoli bit



Incapsulamento



Modello di riferimento ISO/OSI

- Negli anni '70 l'International Organization for Standardization (ISO) propose che le reti fossero organizzate in sette livelli, chiamati modello Open System Interconnection (OSI)
- Due livelli aggiuntivi
  - presentazione: consente alle applicazioni di interpretare il significato dei dati (es. cifratura, compressione, convenzioni specifiche della macchina)
  - *sessione:* sincronizzazione, controllo, recupero dei dati
- La pila Internet è priva di questi due livelli!
  - questi servizi, *se necessario,* possono essere implementati nelle applicazioni

Riassunto

Abbiamo visto molti argomenti!

- Panoramica di Internet
- Cos'è un protocollo?
- Ai confini e nel cuore delle reti
  - Commutazione di pacchetto e commutazione di circuito
  - Struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardo, throughput
- Stratificazioni e modelli di servizio

Adesso siete in grado di:

- contestualizzare, fornire una panoramica sulle reti, avere un'idea precisa di che cosa si intende per "networking"
- maggiori approfondimenti e dettagli *nelle prossime lezioni!*