

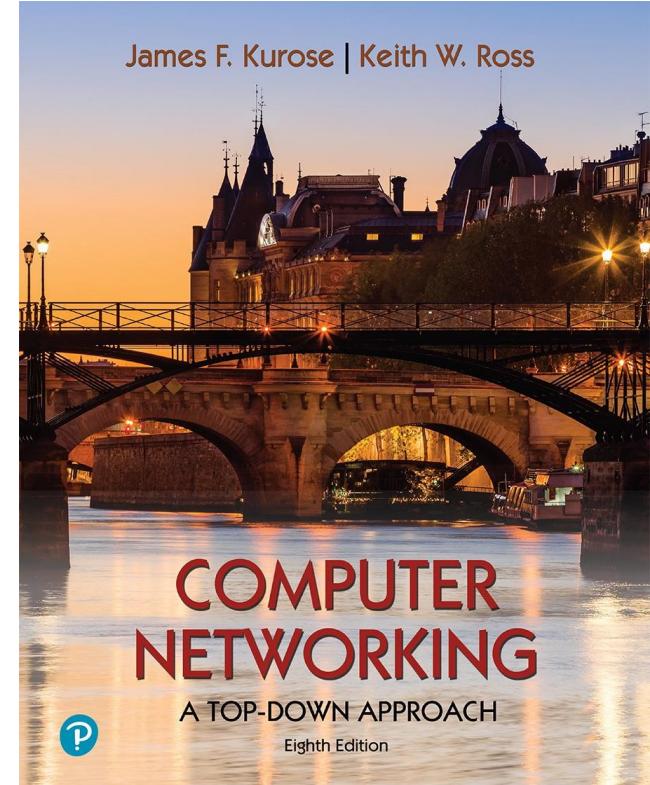


DeepL

Abbonati a DeepL Pro per tradurre file di maggiori dimensioni.
Per ulteriori informazioni, visita www.DeepL.com/pro.

Capitolo 1

Introduzione



*Reti informatiche: un approccio
dall'alto verso il basso*

8a edizione

Jim Kurose, Keith Ross Pearson, 2020

Tutti i diritti riservati 1996-2023

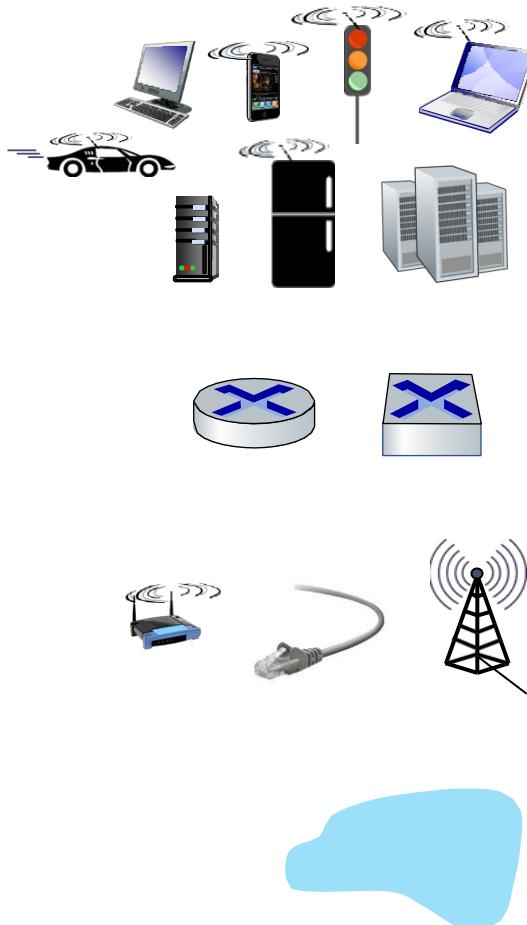
J.F Kurose e K.W. Ross, Tutti i diritti riservati

Introduzione

Panoramica/roadmap:

- Che cos'è Internet? Che cos'è un protocollo?
- Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici
- Nucleo della rete: commutazione di pacchetti/circuiti, struttura di Internet
- Prestazioni: perdita, ritardo, velocità effettiva
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Sicurezza
- Storia

Internet



Miliardi di **dispositivi** informatici connessi:

- **host** = *sistemi finali*
- che eseguono **applicazioni** di rete presso "periferia" di Internet

Commutatori di pacchetti: inoltrano i pacchetti (blocchi di dati)

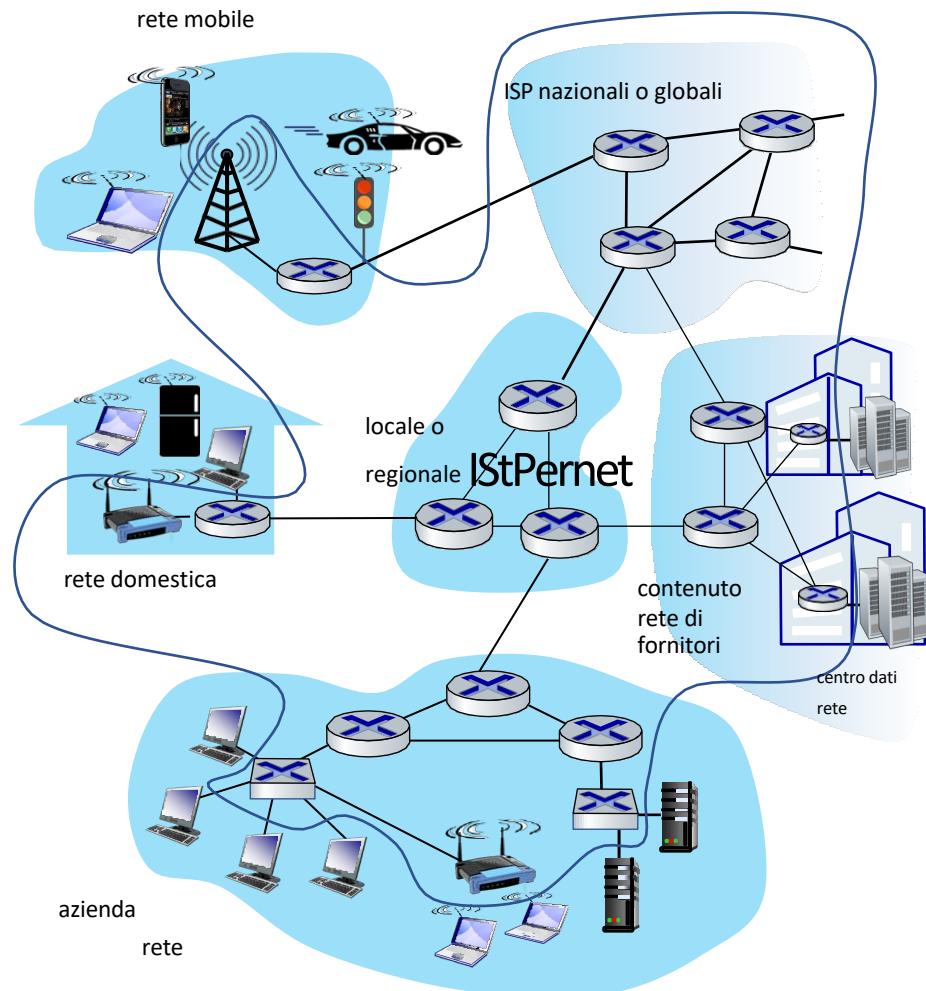
- *router, switch*

Collegamenti di comunicazione

- fibra, rame, radio, satellite
- velocità di trasmissione: *larghezza di banda*

Reti

- insieme di dispositivi, router, collegamenti: gestiti da un'organizzazione



Dispositivi "divertenti" connessi a Internet



Amazon Echo



Frigorifero
connesso a
Internet



Telecamera di sicurezza



Telefoni Internet



Cornice digitale IP



Slingbox: telecomando
per TV via cavo



Dispositivi di gioco



Pacemaker e monitor



Tostapane abilitato al web +
meteo



sensorizzato,
materasso



Dispositivi AR



Fitbit



pannolini



Tweet-a-watt: monitorare il
consumo energetico

biciclette



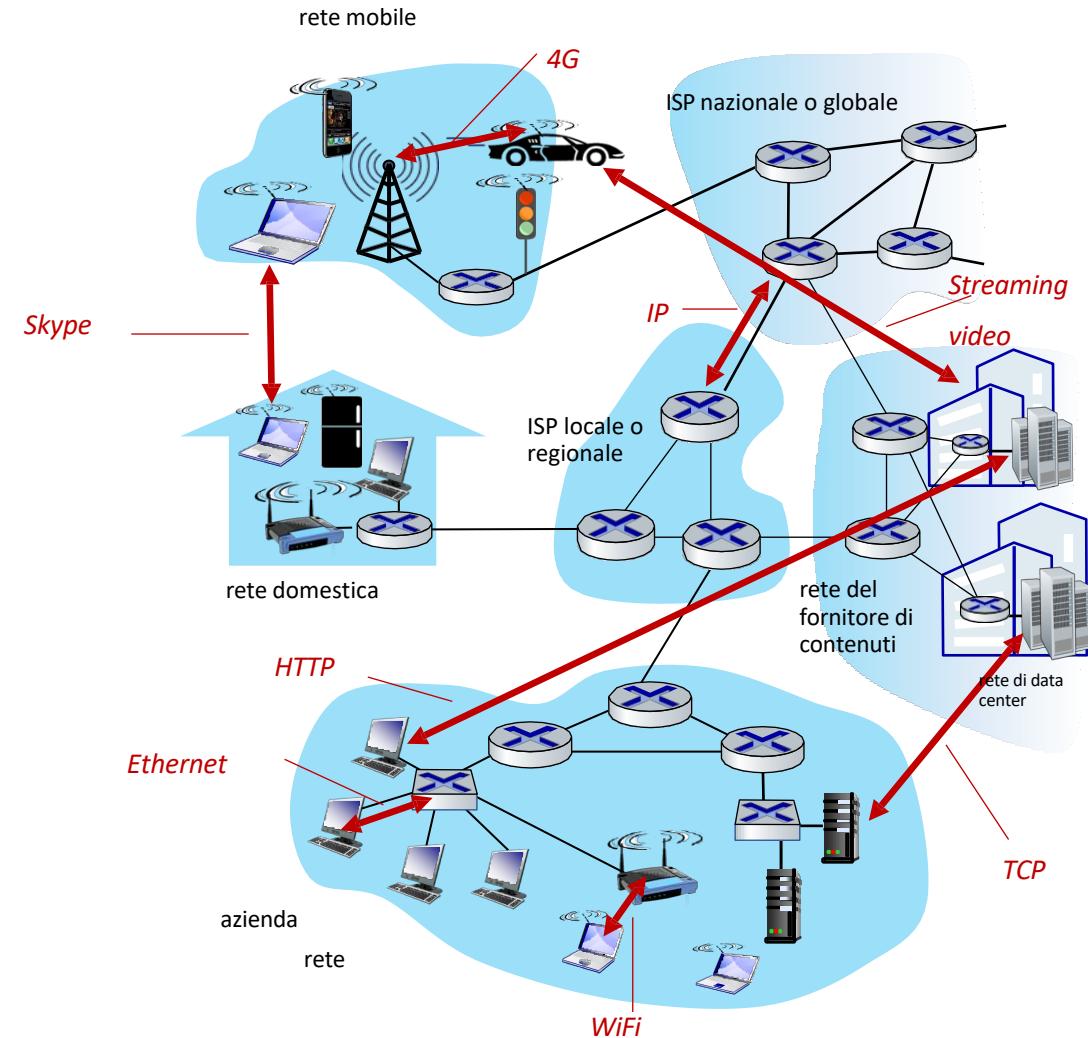
auto



Altro?

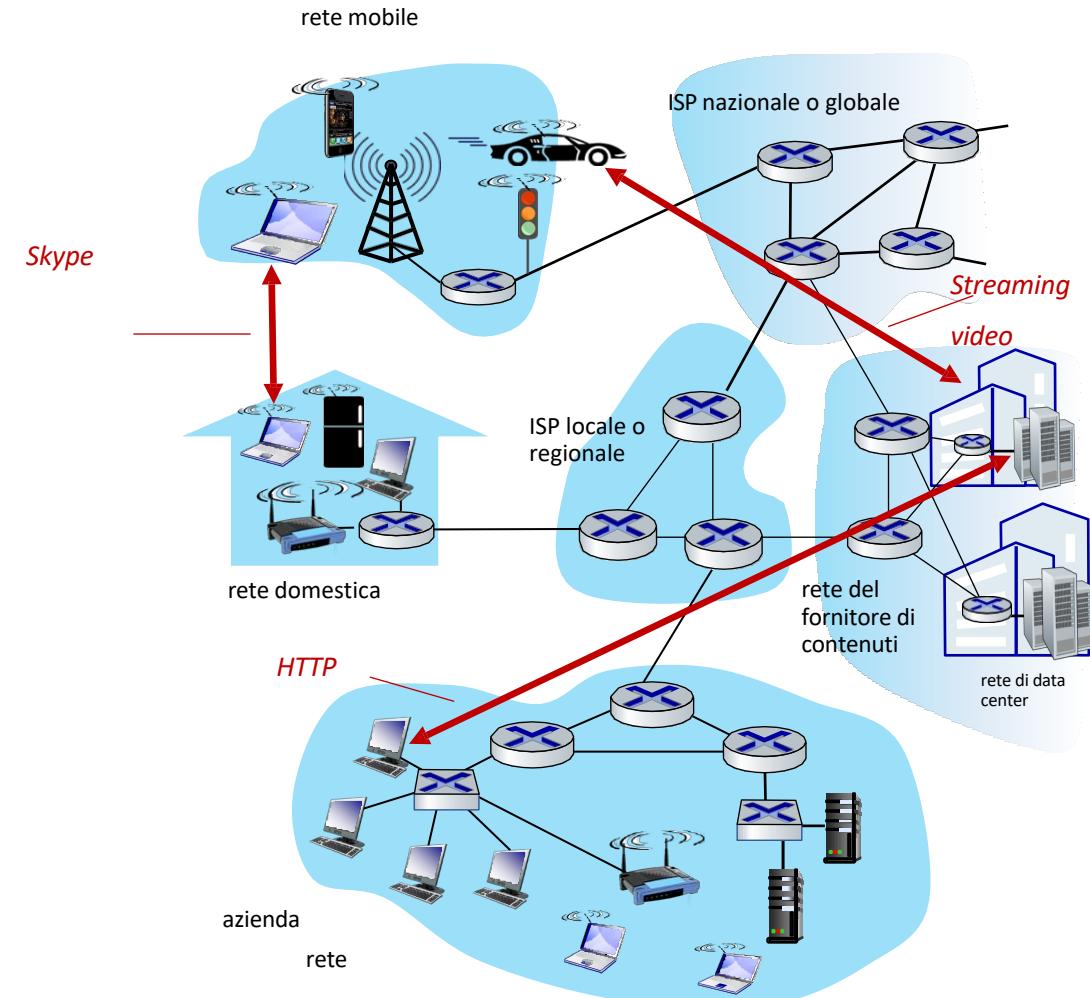
Internet

- *Internet: "rete di reti"*
 - ISP interconnessi
- *I protocolli sono ovunque*
 - controllano l'invio e la ricezione dei messaggi
 - ad esempio HTTP (Web), streaming video, Skype, TCP, IP, WiFi, 4/5G, Ethernet
- *Standard Internet*
 - RFC: Richiesta di commenti
 - IETF: Internet Engineering Task Force



Internet: una visione orientata ai "servizi"

- *Infrastruttura* che fornisce servizi alle applicazioni:
 - Web, streaming video, teleconferenze multimediali, e-mail, giochi, rete mobile, social media, interconnessione di elettrodomestici connessi, ...
- fornisce *un'interfaccia di programmazione* alle applicazioni distribuite:
 - "hook" che consentono alle app di invio/ricezione di "connettersi" e utilizzare il servizio di trasporto Internet
 - fornisce opzioni di servizio analoghe al servizio postale



Che cos'è un protocollo?

Protocolli umani:

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

Regole per:

- ... messaggi specifici inviati
- ... azioni specifiche intraprese
 - quando si riceve un messaggio,
 - o altri eventi

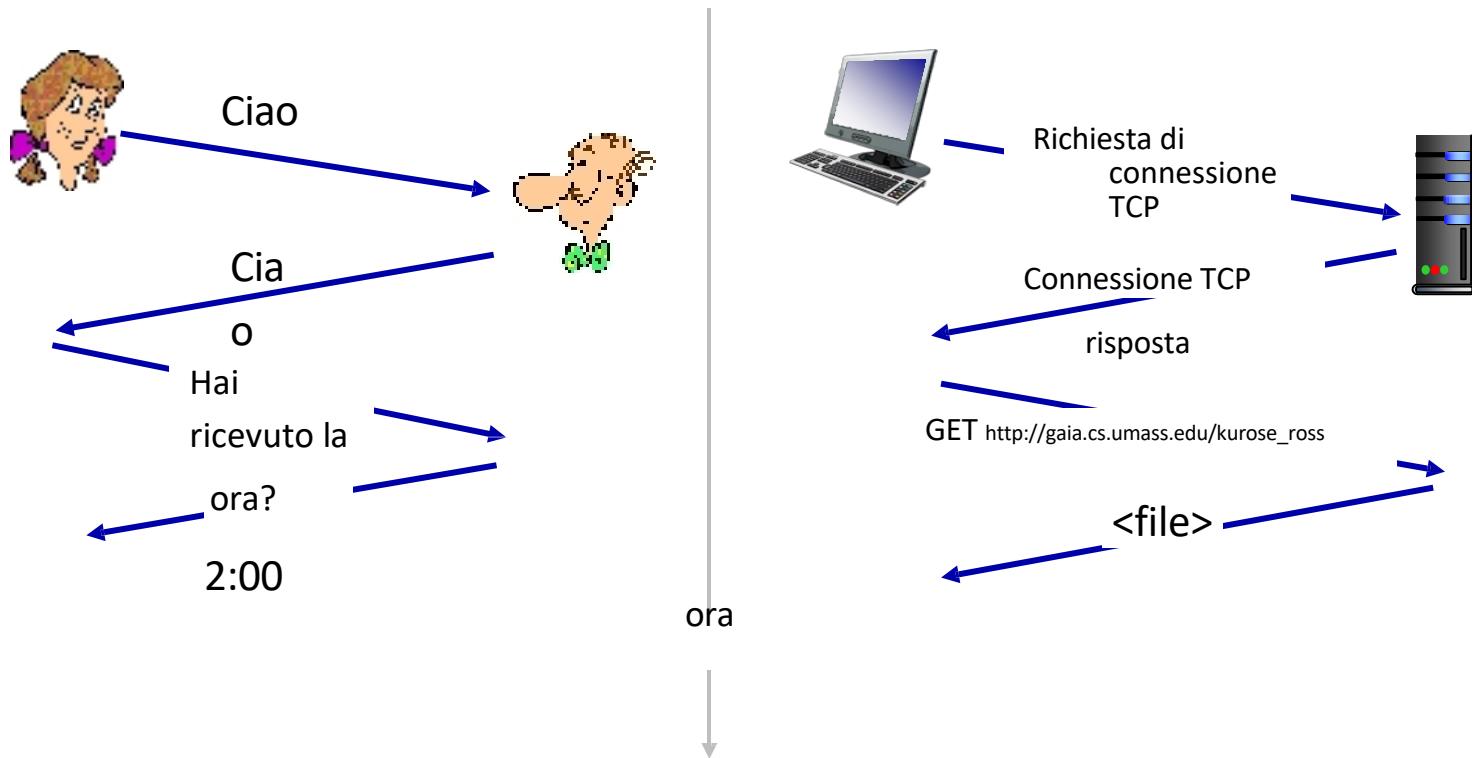
Protocolli di rete:

- computer (dispositivi) anziché esseri umani
- Tutte le attività di comunicazione su Internet sono regolate da protocolli

I protocolli definiscono il formato, l'ordine dei messaggi inviati e ricevuti tra le entità di rete e le azioni intraprese durante la trasmissione e la ricezione dei messaggi

Che cos'è un protocollo?

Un protocollo umano e un protocollo di rete informatica:



Introduzione

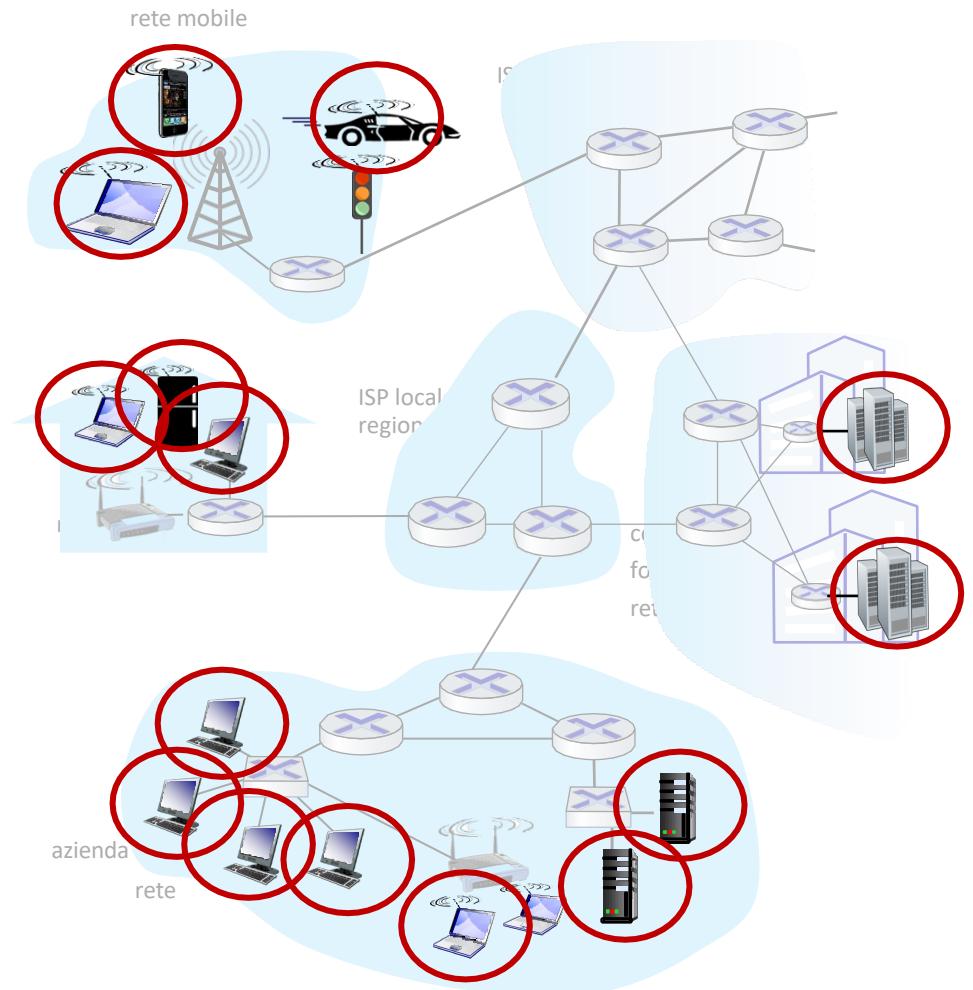
- Che cos'è Internet?
- Che cos'è un protocollo?
- **Periferia della rete:** host, rete di accesso, supporti fisici
- Nucleo della rete: commutazione di pacchetti/circuiti, struttura di Internet
- Prestazioni: perdita, ritardo, velocità effettiva
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Storia



Uno sguardo più da vicino alla struttura di Internet

Periferia della rete:

- host: client e server
- server spesso nei data center



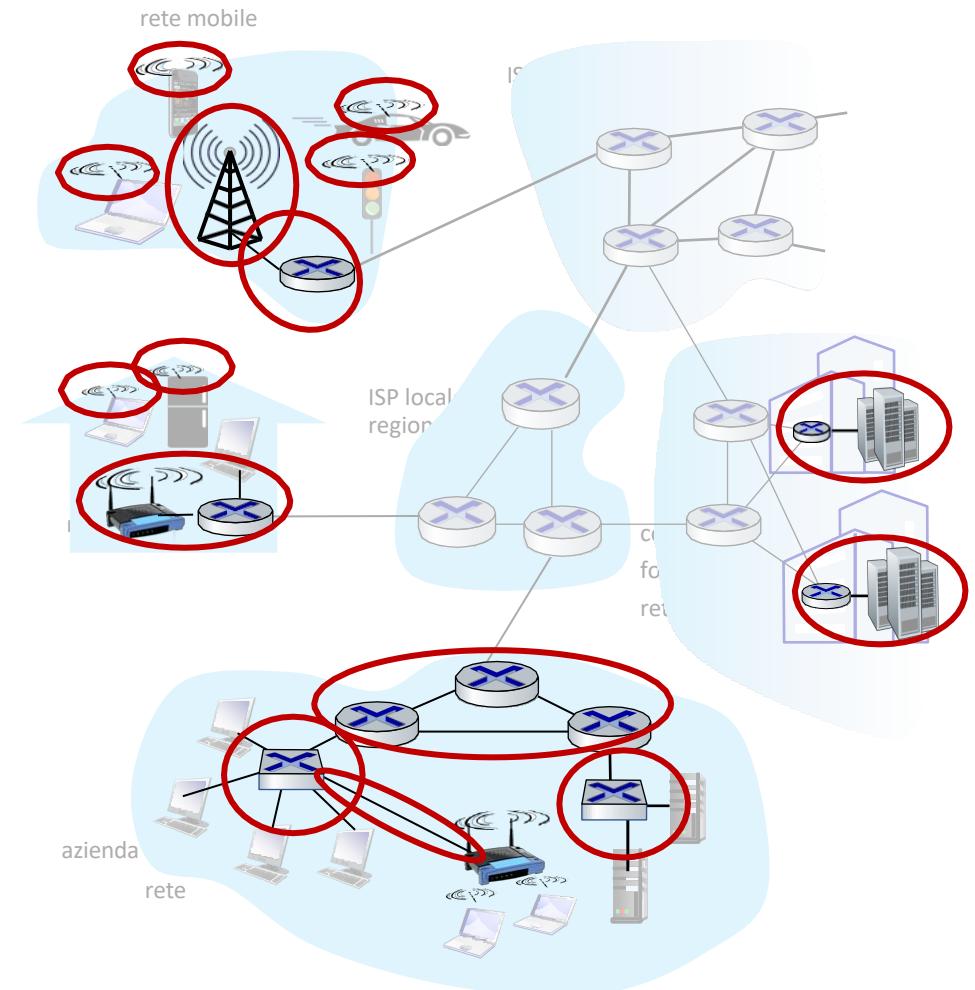
Uno sguardo più da vicino alla struttura di Internet

Periferia della rete:

- host: client e server
- server spesso nei data center

Reti di accesso, supporti fisici:

- collegamenti di comunicazione cablati e wireless



Uno sguardo più da vicino alla struttura di Internet

Periferia della rete:

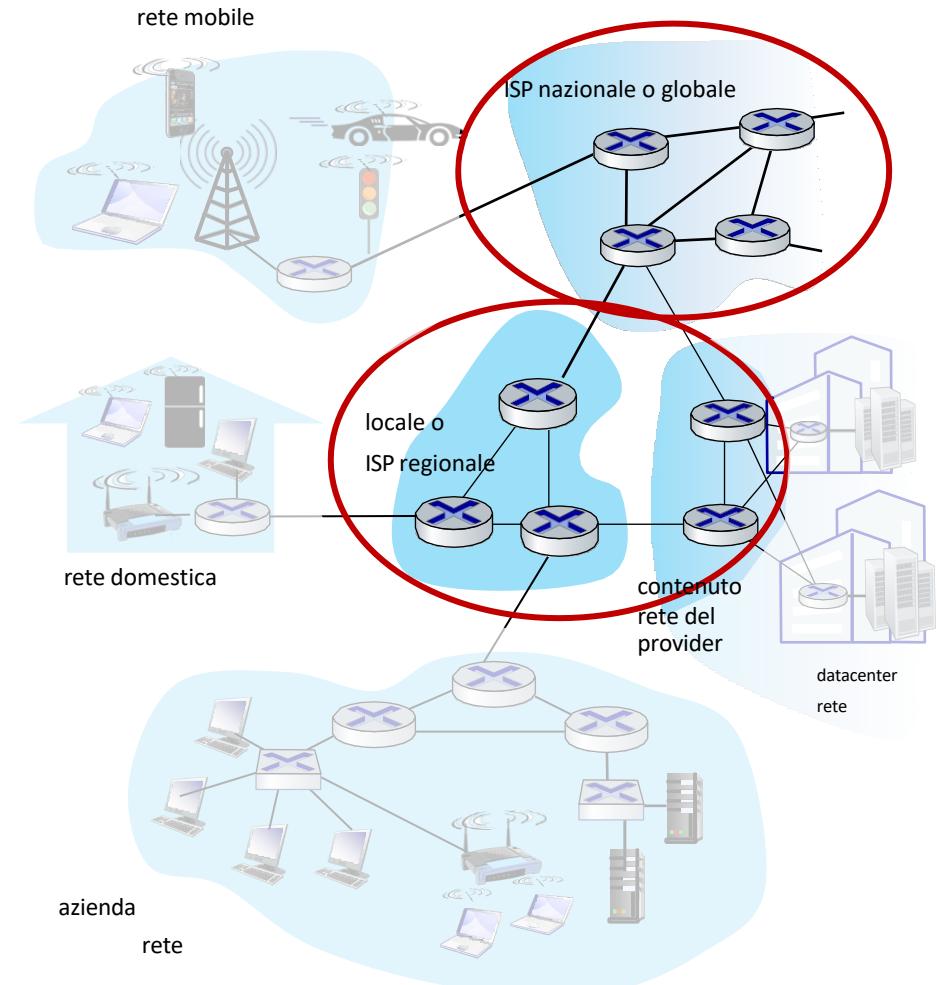
- host: client e server
- server spesso nei centri dati

Reti di accesso, supporti fisici:

- collegamenti di comunicazione cablati e wireless

Nucleo della rete:

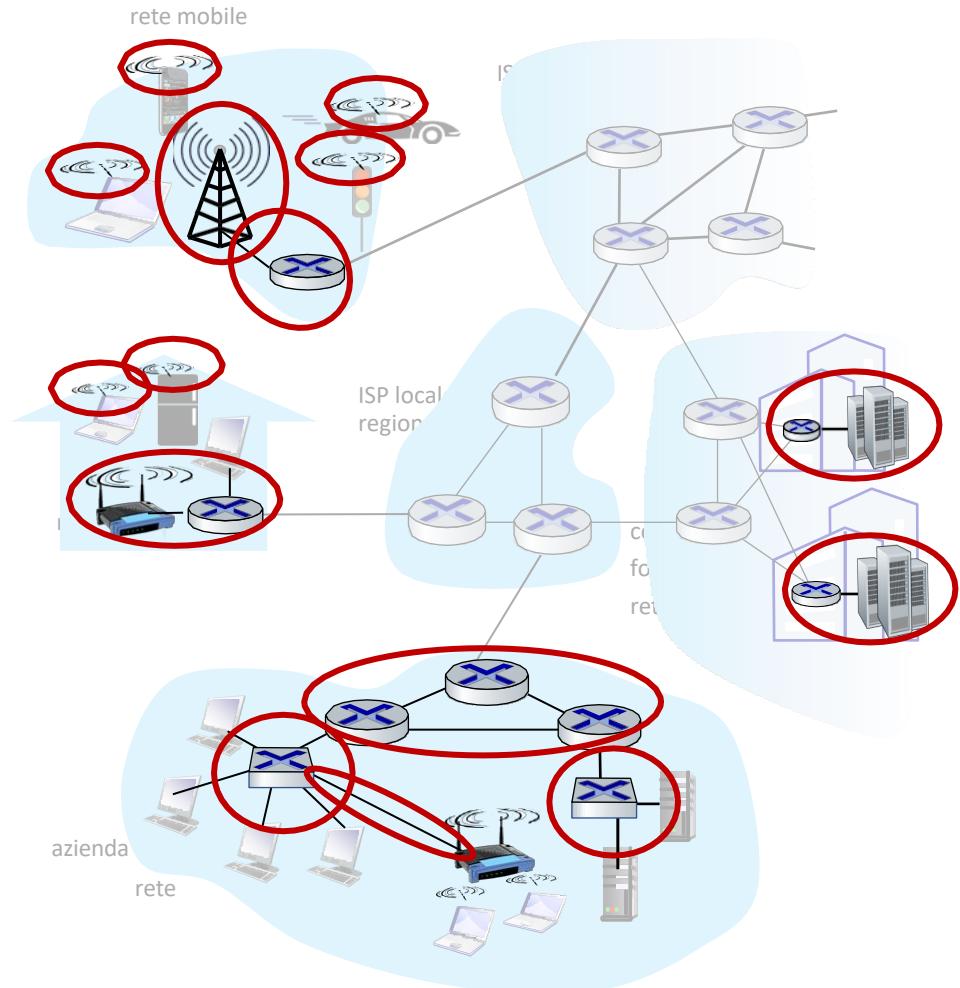
- router interconnessi
- rete di reti



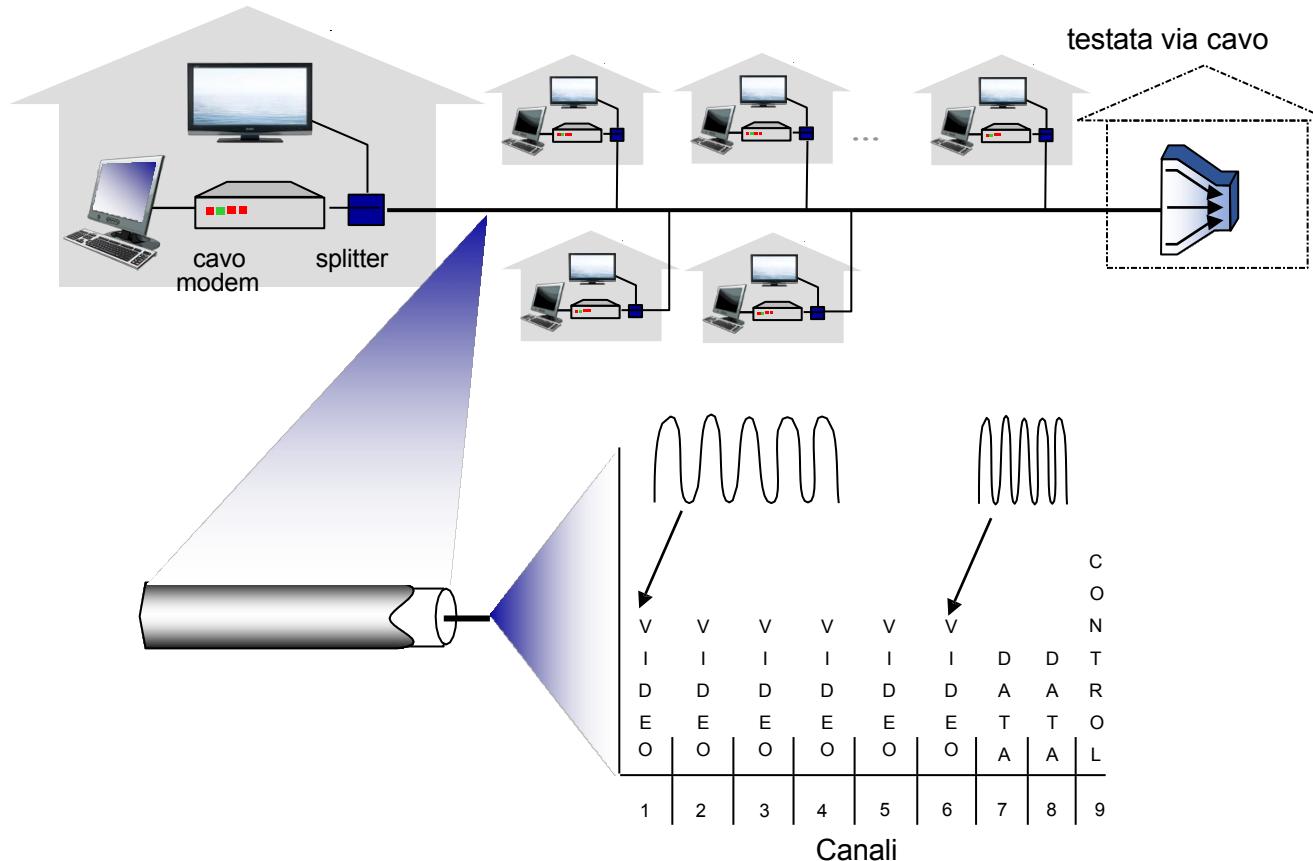
Reti di accesso e supporti fisici

D: Come collegare i sistemi finali al router periferico?

- reti di accesso residenziali
- reti di accesso istituzionali (scuola, azienda)
- reti di accesso mobili (WiFi, 4G/5G)

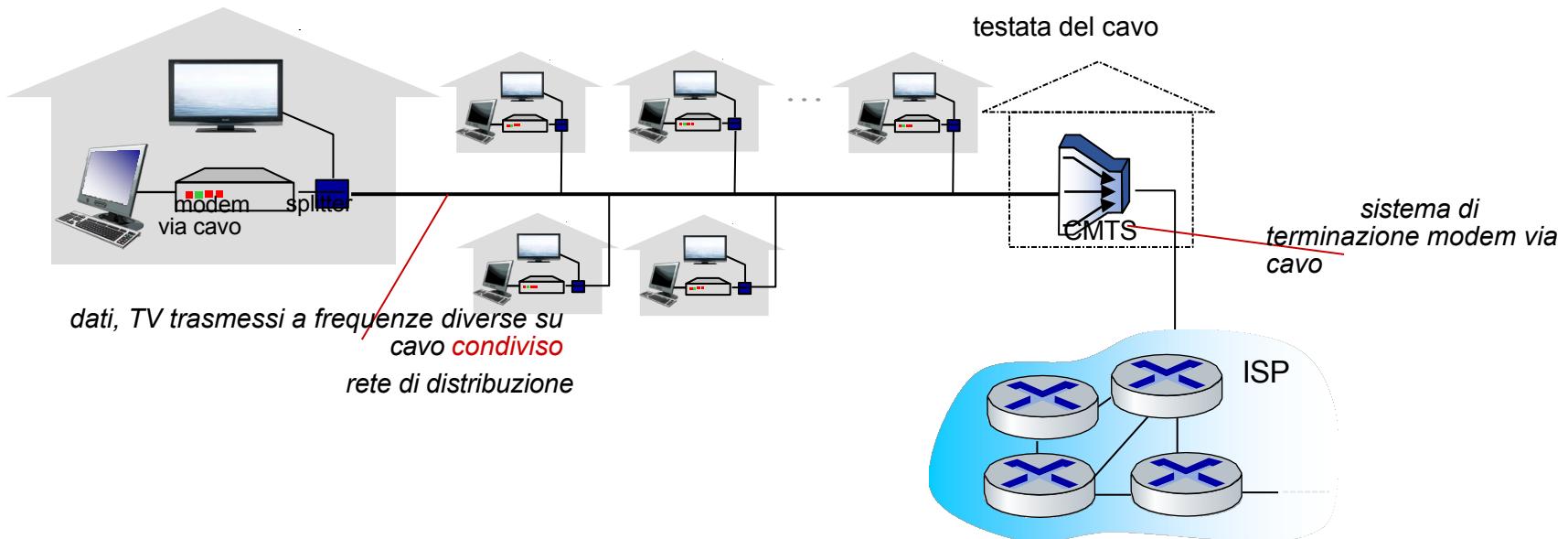


Reti di accesso: accesso via cavo



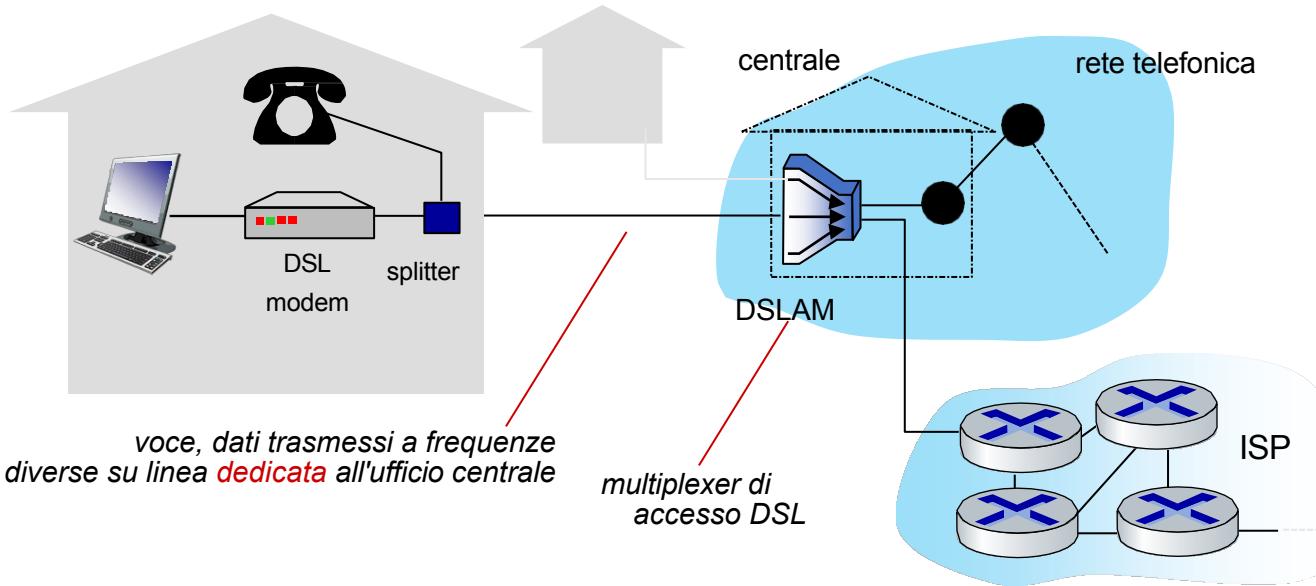
multiplexing a divisione di frequenza (FDM): diversi canali trasmessi in bande di frequenza diverse

Reti di accesso: accesso via cavo



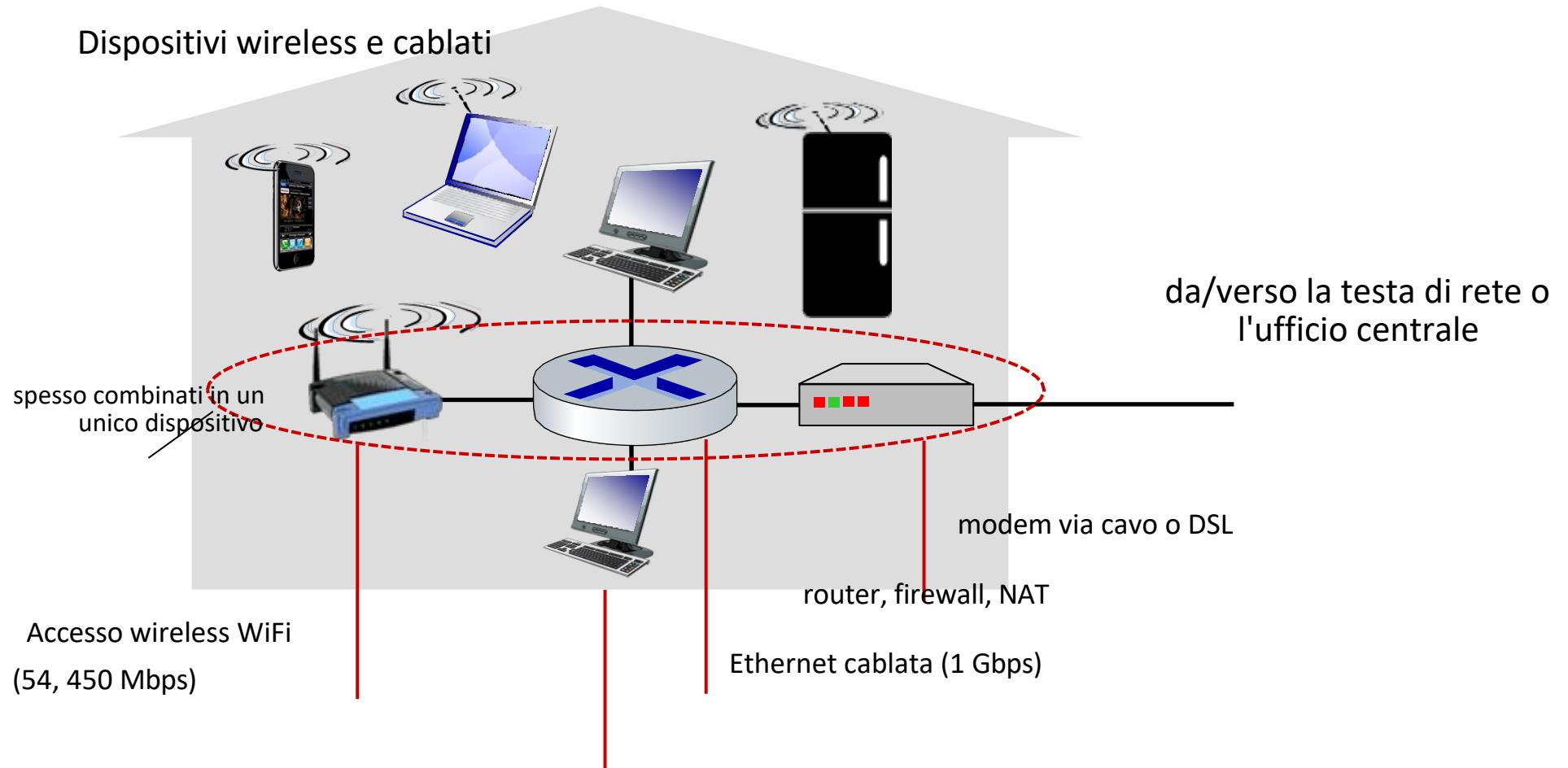
- HFC: ibrido fibra coassiale
 - asimmetrico: fino a 40 Mbps – 1,2 Gbps di velocità di trasmissione in downstream, 30-100 Mbps di velocità di trasmissione in upstream
- rete di cavi, fibra collega le abitazioni al router ISP
 - le abitazioni **condividono la rete di accesso** alla testa di rete via cavo

Reti di accesso: linea digitale dell'abbonato (DSL)



- utilizza la linea telefonica **esistente** per raggiungere l'ufficio centrale DSLAM
 - i dati sulla linea telefonica DSL vengono inviati a Internet
 - la voce tramite linea telefonica DSL viene inviata alla rete telefonica
- Velocità di trasmissione downstream dedicata di 24-52 Mbps
- Velocità di trasmissione upstream dedicata 3,5-16 Mbps

Reti di accesso: reti domestiche



Reti di accesso wireless

La rete di accesso *wireless* condivisa collega il sistema finale al router

- tramite una stazione base, detta anche "punto di accesso"

Reti locali wireless

(WLAN)

- tipicamente all'interno o intorno edificio (~30 metri)
- 802.11b/g/n (WiFi): 11, 54, 450 Mbps velocità di trasmissione

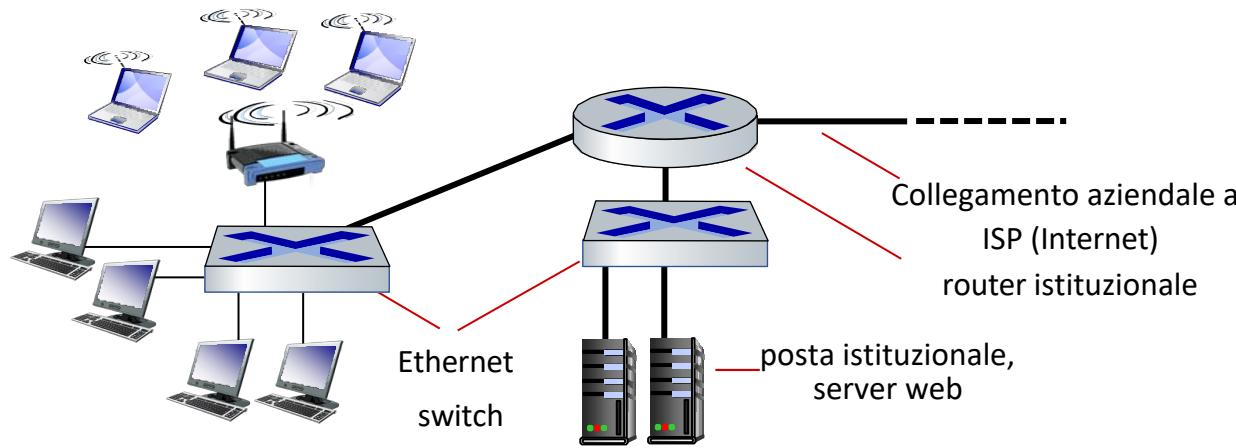


Reti di accesso cellulare a vasta copertura

- fornite da operatori di reti mobili e cellulari (10 km)
- 10 Mbps
- Reti cellulari 4G/5G



Reti di accesso: reti aziendali



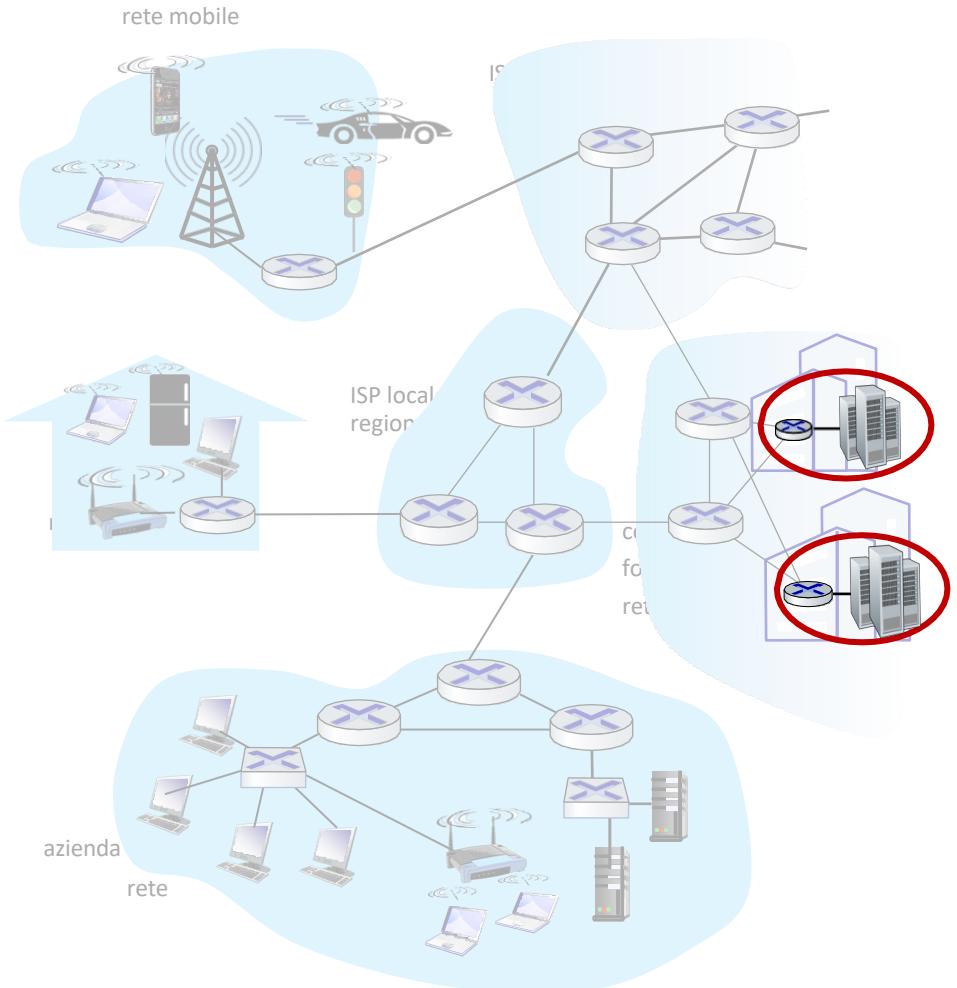
- aziende, università, ecc.
- mix di tecnologie di collegamento cablate e wireless, che collegano una combinazione di switch e router (tratteremo le differenze tra poco)
 - Ethernet: accesso cablato a 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps
 - WiFi: punti di accesso wireless a 11, 54, 450 Mbps

Reti di accesso: reti di data center

- collegamenti ad alta larghezza di banda (da 10 a 100 Gbps) che collegano centinaia o migliaia di server tra loro e a Internet



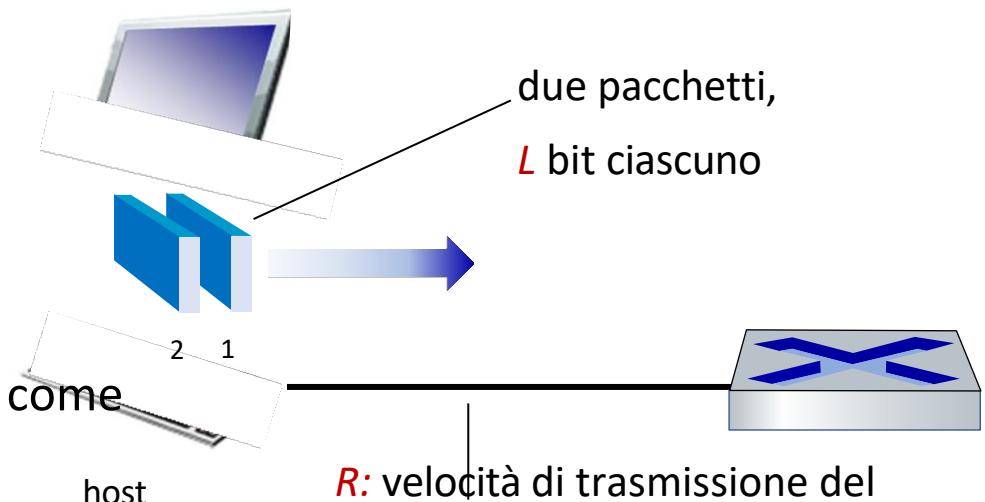
Per gentile concessione: Massachusetts Green High Performance Computing Center
(mghpcc.org)



Host: invia *pacchetti* di dati

Funzione di invio dell'host:

- riceve il messaggio dell'applicazione
- si suddivide in blocchi più piccoli, noti come *pacchetti*, di lunghezza L bit
- trasmette il pacchetto nella rete di accesso a *una velocità di trasmissione R*
 - velocità di trasmissione del collegamento, nota anche come *capacità, ovvero larghezza di banda del collegamento*



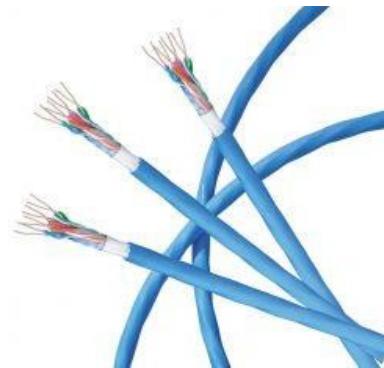
$$\begin{array}{rcl} \text{trasmissione} & = & \text{tempo necessario per} \\ \text{dei pacchetti} & & \text{trasmettere } L \text{ bit} \\ \text{ritardo} & = & \text{pacchetto nel} \\ & & \text{collegamento} \\ & & = \\ & & \underline{L} \text{ (bit)} \\ & & R \text{ (bit/sec)} \end{array}$$

Collegamenti: supporto fisico

- **bit:** si propaga tra coppie trasmettitore/ricevitore
- **collegamento fisico:** ciò che si trova tra trasmettitore e ricevitore
- **mezzi guidati:**
 - i segnali si propagano in mezzi solidi: rame, fibra, cavo coassiale
- **mezzi non guidati:**
 - i segnali si propagano liberamente, ad esempio la radio

Doppino intrecciato (TP)

- due fili di rame isolati
 - Categoria 5: 100 Mbps, 1 Gbps Ethernet
 - Categoria 6: Ethernet 10 Gbps



Collegamenti: supporti fisici

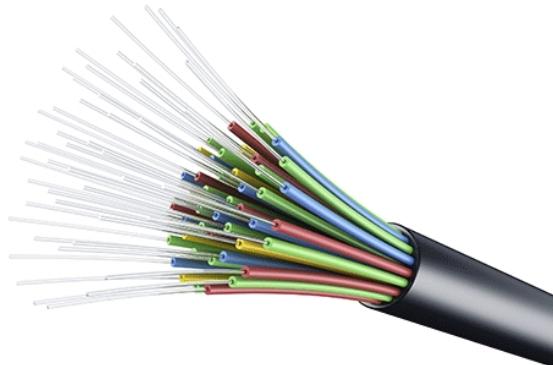
Cavo coassiale:

- due conduttori concentrici in rame
- bidirezionale
- banda larga:
 - canali a frequenza multipla sul cavo
 - 100 Mbps per canale



Cavo in fibra ottica:

- fibra di vetro che trasporta impulsi luminosi, ogni impulso è un bit
- funzionamento ad alta velocità:
 - trasmissione punto-punto ad alta velocità (da 10 a 100 Gbps)
- basso tasso di errore:
 - ripetitori distanziati tra loro
 - immune al rumore elettromagnetico



Collegamenti: supporti fisici

Radio wireless

- segnale trasportato in varie "bande" dello spettro elettromagnetico
- nessun "cavo" fisico
- trasmissione "half-duplex"
(da trasmettitore a ricevitore)
- effetti dell'ambiente di propagazione:
 - riflessione
 - ostruzione da parte di oggetti
 - Interferenza/rumore

Tipi di collegamento radio:

- **Wireless LAN (WiFi)**
 - 10-100 Mbps; decine di metri
- **area estesa** (ad es. cellulare 4G/5G)
 - 10 Mbps (4G) su ~10 km
- **Bluetooth**: sostituzione del cavo
 - brevi distanze, velocità limitate
- **microonde terrestri**
 - punto-punto; canali a 45 Mbps
- **satellite**
 - fino a < 100 Mbps (Starlink) downlink
 - 270 msec di ritardo end-to-end (geostazionario)

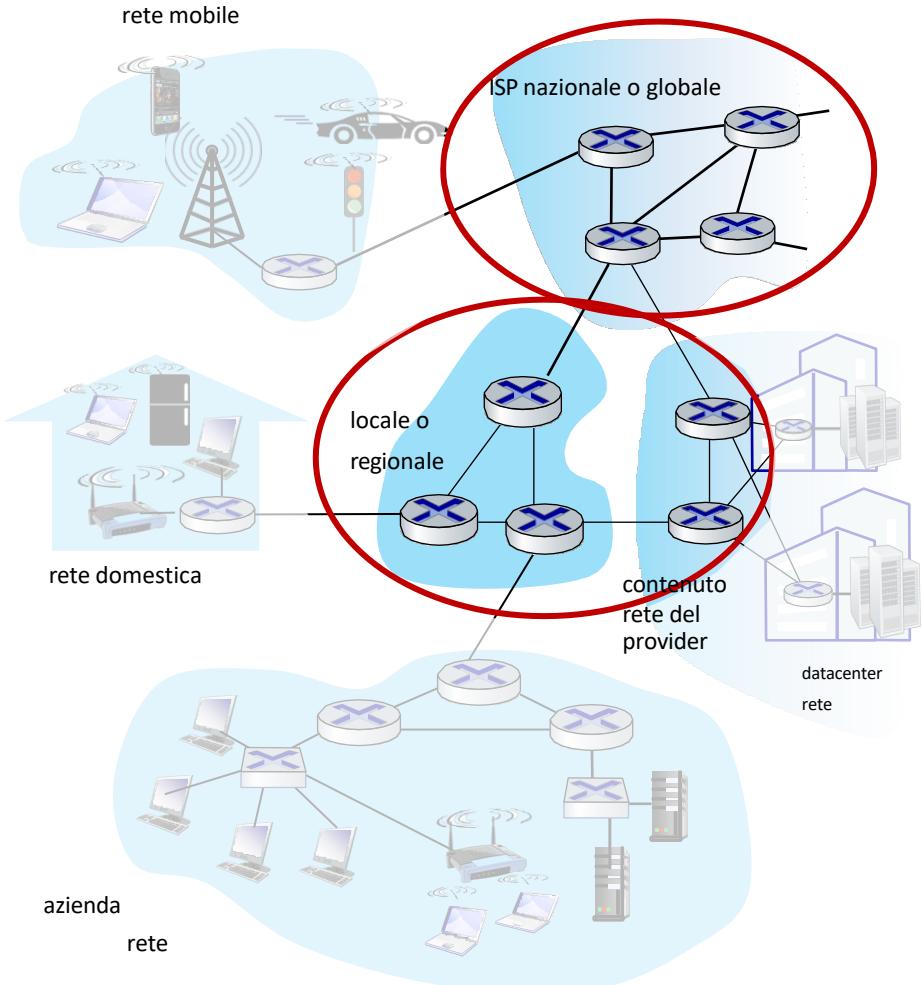
Introduzione

- *Cos'è Internet?*
- *Che cos'è un protocollo?*
- Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici
- **Nucleo della rete:** commutazione di pacchetti/circuiti, struttura di Internet
- Prestazioni: perdita, ritardo, velocità effettiva
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Storia



Il nucleo della rete

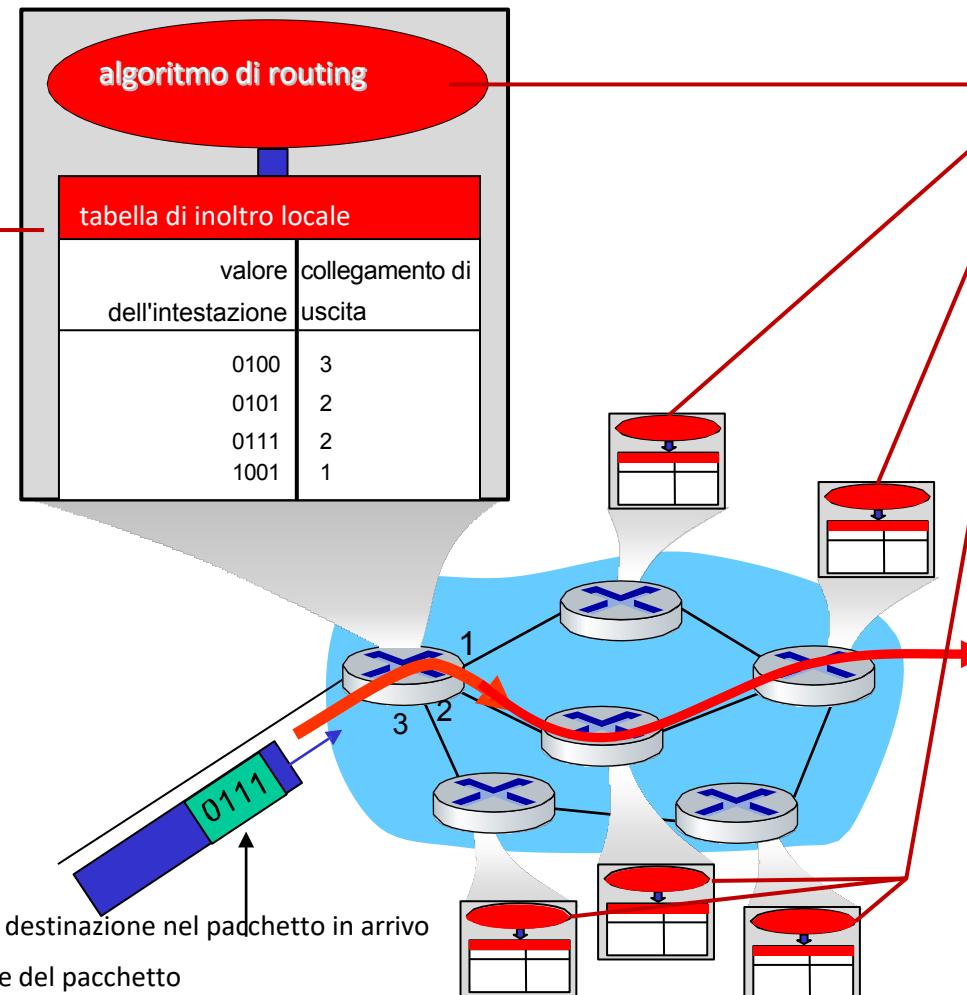
- rete mesh di router interconnessi
- **commutazione di pacchetti:** gli host suddividono i messaggi a livello di applicazione in *pacchetti*
 - la rete **inoltra** i pacchetti da un router al successivo, attraverso i collegamenti sul percorso dalla **sorgente alla destinazione**



Due funzioni chiave del nucleo della rete

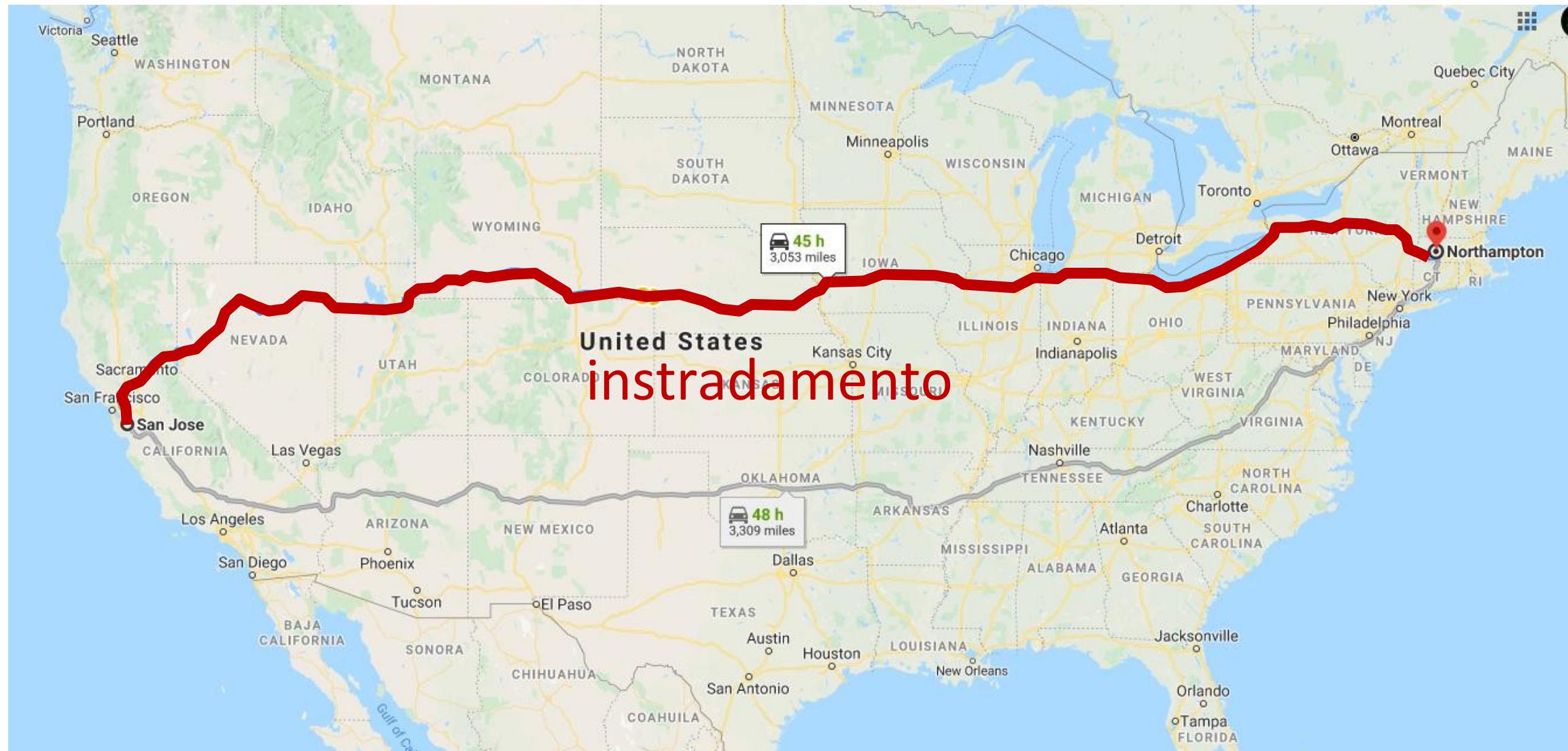
Inoltro:

- nota anche come "commutazione"
- azione *locale*: spostare i pacchetti in arrivo dal collegamento di ingresso del router al collegamento di uscita appropriato del router



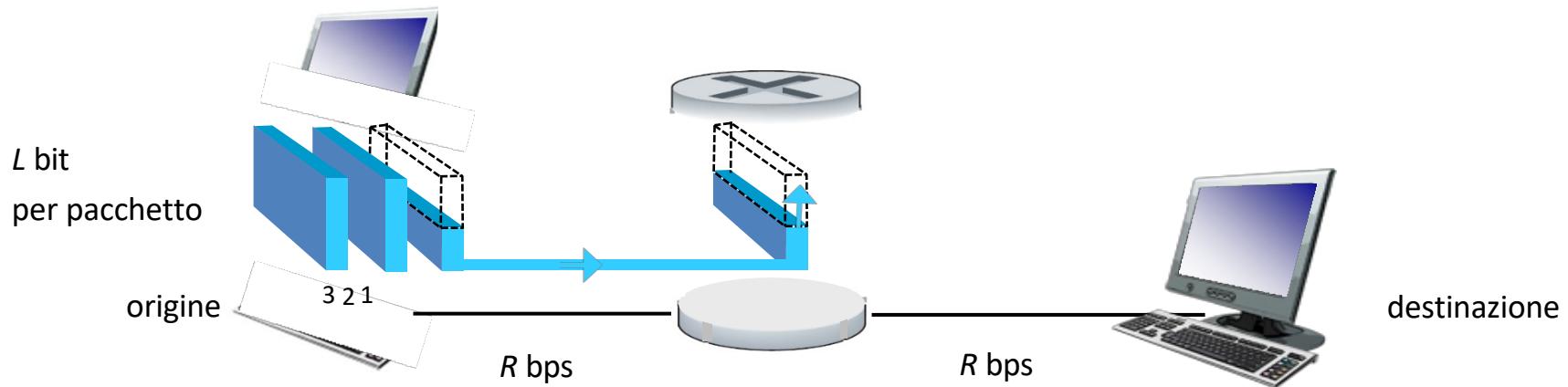
Routing:

- azione *globale*: determinare i percorsi sorgente-destinazione seguiti dai pacchetti
- algoritmi di routing





Commutazione di pacchetto: memorizzazione e inoltro

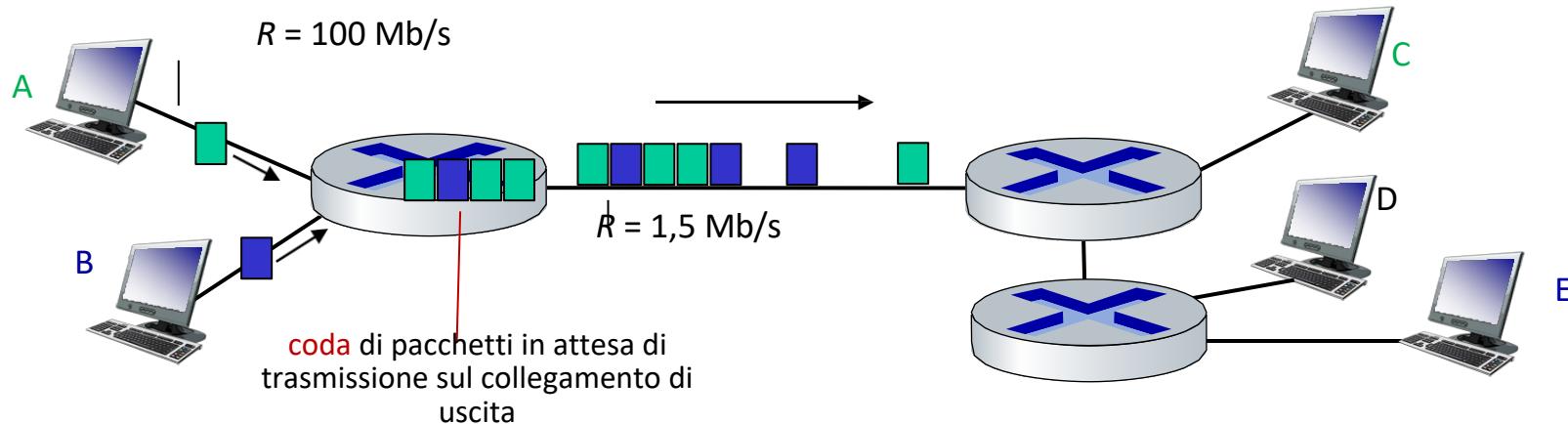


- **ritardo nella trasmissione dei pacchetti:** occorrono L/R secondi per trasmettere (inviare) un pacchetto di L bit nel collegamento a R bps
- **memorizzazione e inoltro:** l'intero pacchetto deve arrivare al router prima di poter essere trasmesso sul collegamento successivo

Esempio numerico a un salto:

- $L = 10 \text{ Kbit}$
- $R = 100 \text{ Mbps}$
- ritardo di trasmissione a un salto
 $= 0,1 \text{ msec}$

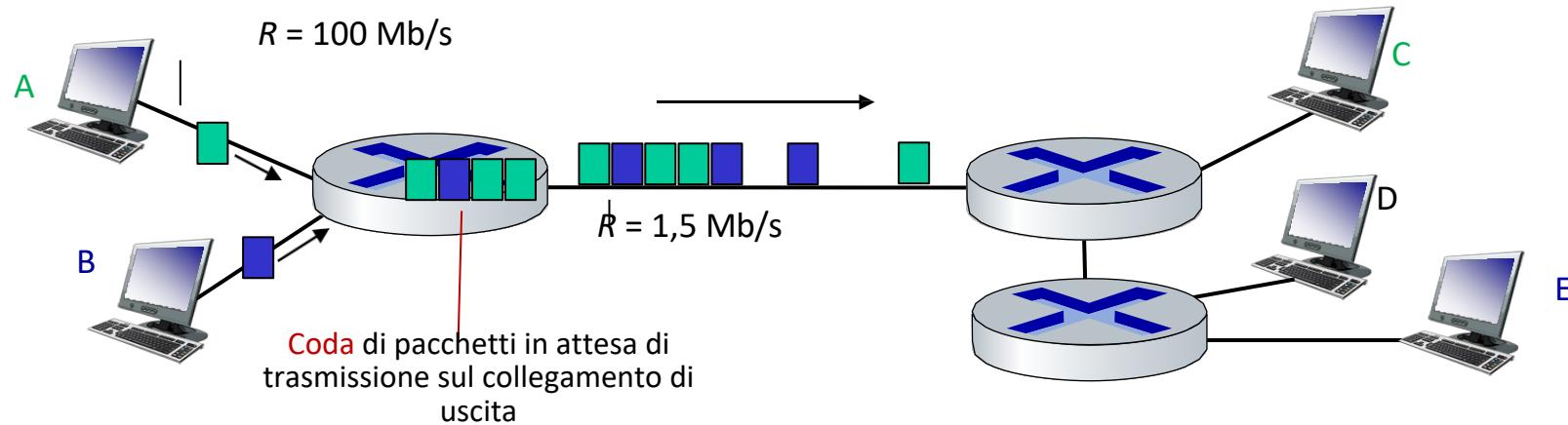
Commutazione di pacchetto: accodamento



La coda si verifica quando il lavoro arriva più velocemente di quanto possa essere gestito:



Commutazione di pacchetti: accodamento



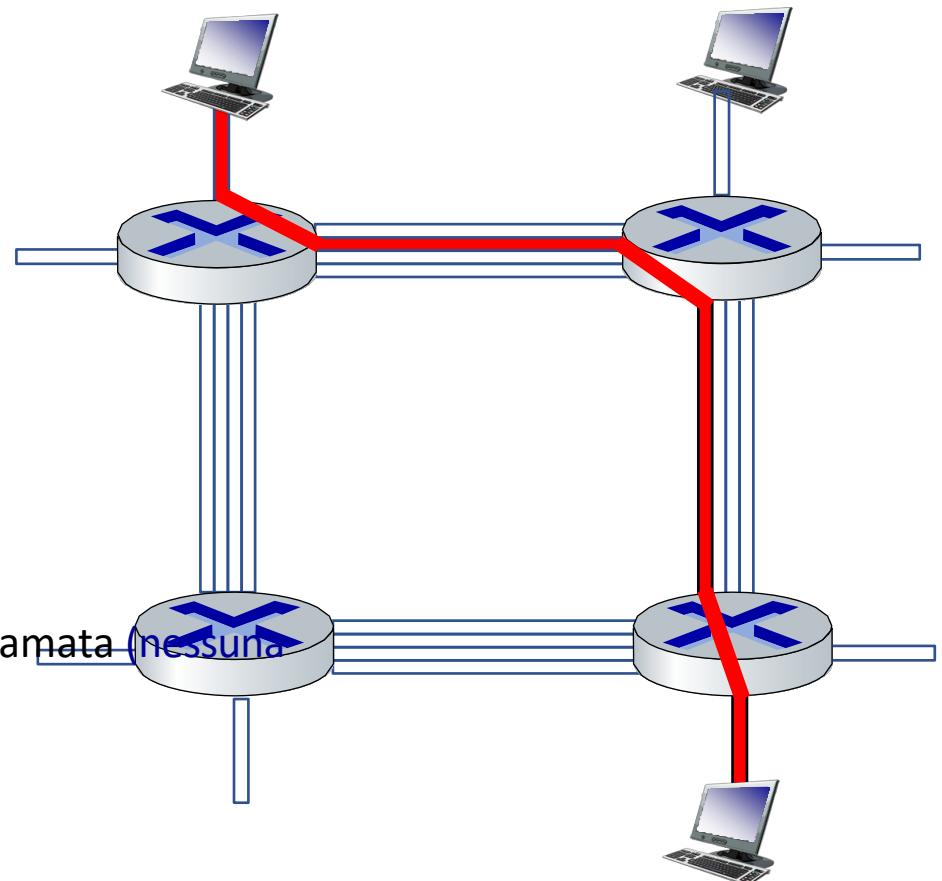
Accodamento e perdita dei pacchetti: se la velocità di arrivo (in bps) al collegamento supera la velocità di trasmissione (bps) del collegamento per un certo periodo di tempo:

- i pacchetti verranno messi in coda, in attesa di essere trasmessi sul collegamento di uscita
- i pacchetti possono essere eliminati (persi) se la memoria (buffer) nel router si riempie

Alternativa alla commutazione di pacchetti: commutazione di circuito

risorse end-to-end assegnate,
riservate per la "chiamata" tra la fonte
e destinazione

- nel diagramma, ogni collegamento ha quattro circuiti.
 - La chiamata ottiene il 2° circuito nel collegamento superiore e il 1° circuito nel collegamento destro.
- risorse dedicate: nessuna condivisione
 - prestazioni simili a quelle di un circuito (garantite)
- Il segmento di circuito rimane inattivo se non utilizzato dalla chiamata (nessuna condivisione)
- comunemente utilizzato nelle reti telefoniche tradizionali



* Per ulteriori esempi, consulta gli esercizi interattivi online: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive

Commutazione di circuito: FDM e TDM

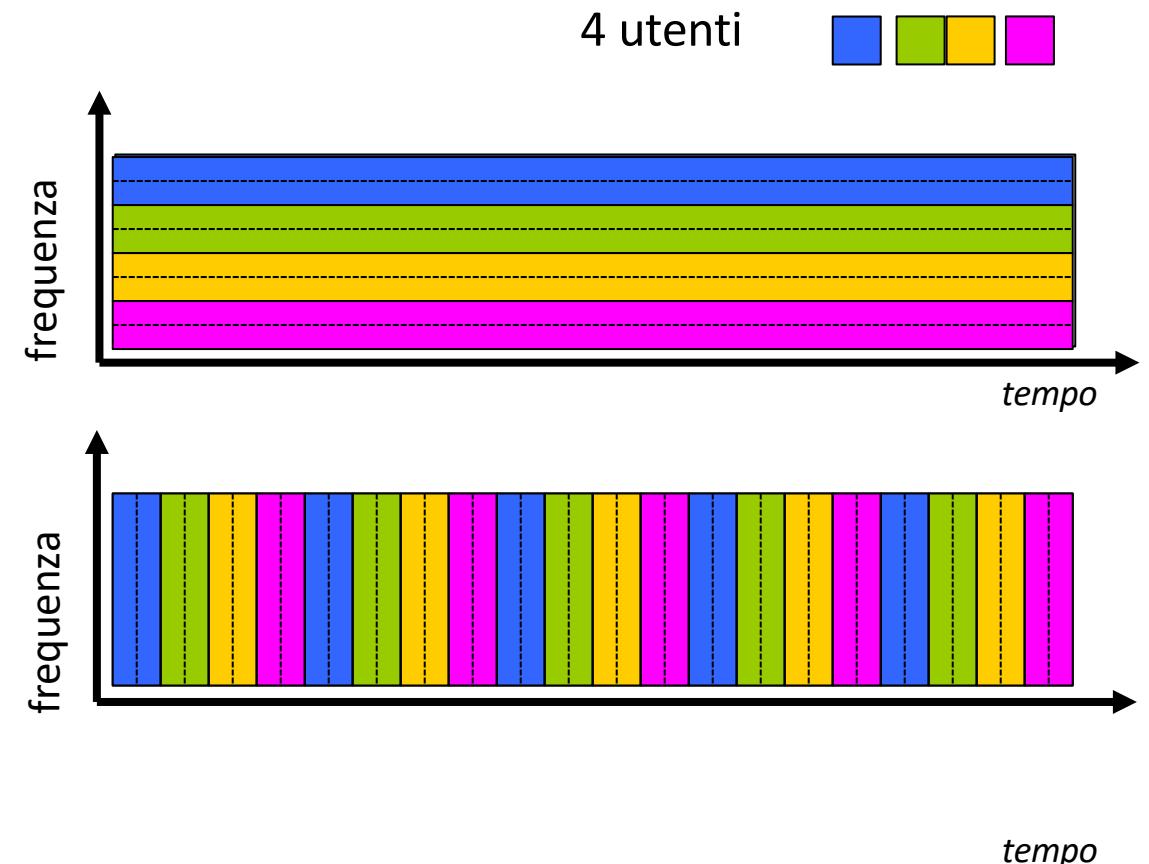
Multiplexing a divisione di frequenza

(FDM)

- ottico, frequenze elettromagnetiche suddivise in bande di frequenza (strette)
- a ciascuna chiamata viene assegnata una propria banda, in grado di trasmettere alla velocità massima di quella banda stretta

Multiplexing a divisione di tempo (TDM)

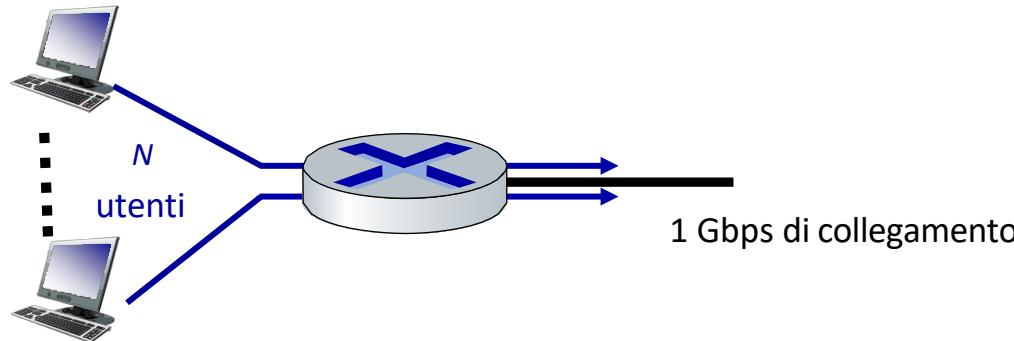
- tempo suddiviso in slot
- a ciascuna chiamata vengono assegnati slot periodici, è possibile trasmettere alla velocità massima della banda di frequenza (più ampia) (solo) durante i propri slot temporali



Commutazione di pacchetto contro commutazione di circuito

esempio:

- collegamento da 1 Gb/s
- ogni utente:
 - 100 Mb/s quando "attivo"
 - attivo il 10% del tempo



D: quanti utenti possono utilizzare questa rete con commutazione di circuito e commutazione di pacchetto?

- *commutazione di circuito:* 10 utenti
- *commutazione di pacchetto:* con 35 utenti, la probabilità che più di 10 siano attivi contemporaneamente è inferiore allo 0,0004% *

* Per ulteriori esempi, consulta gli esercizi interattivi online: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive

Commutazione di pacchetto contro commutazione di circuito

Il commutazione di pacchetto è una soluzione vincente?

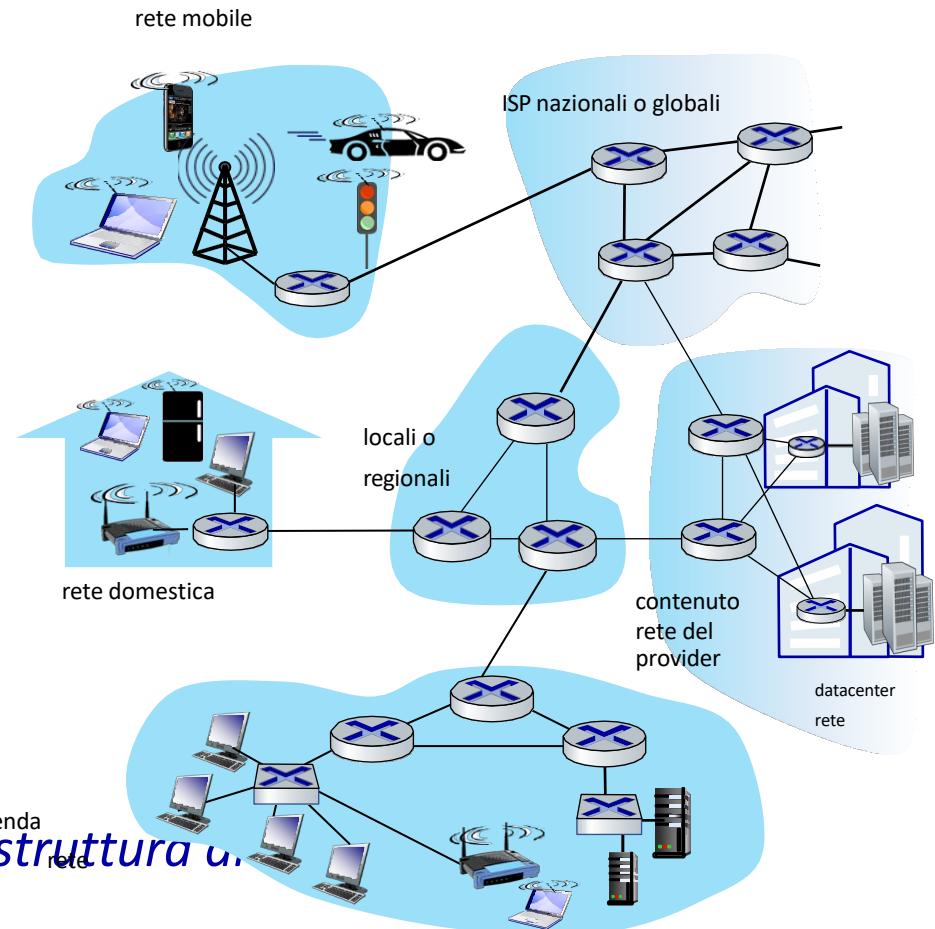
- Ottimo per i dati "bursty" (a raffica): a volte ci sono dati da inviare, ma altre volte no
 - Condivisione delle risorse
 - più semplice, nessuna configurazione della chiamata
- Possibile congestione eccessiva: ritardo e perdita di pacchetti a causa del buffer overflow
 - protocolli necessari per un trasferimento dati affidabile, controllo della congestione
- *D: Come fornire un comportamento simile a quello dei circuiti con la commutazione di pacchetti?*
 - "È complicato." Studieremo varie tecniche che cercano di rendere la commutazione di pacchetti il più possibile simile a un circuito.

D: analogie umane tra risorse riservate (commutazione di circuito) e allocazione su richiesta (commutazione di pacchetto)?

Struttura di Internet: una "rete di reti"

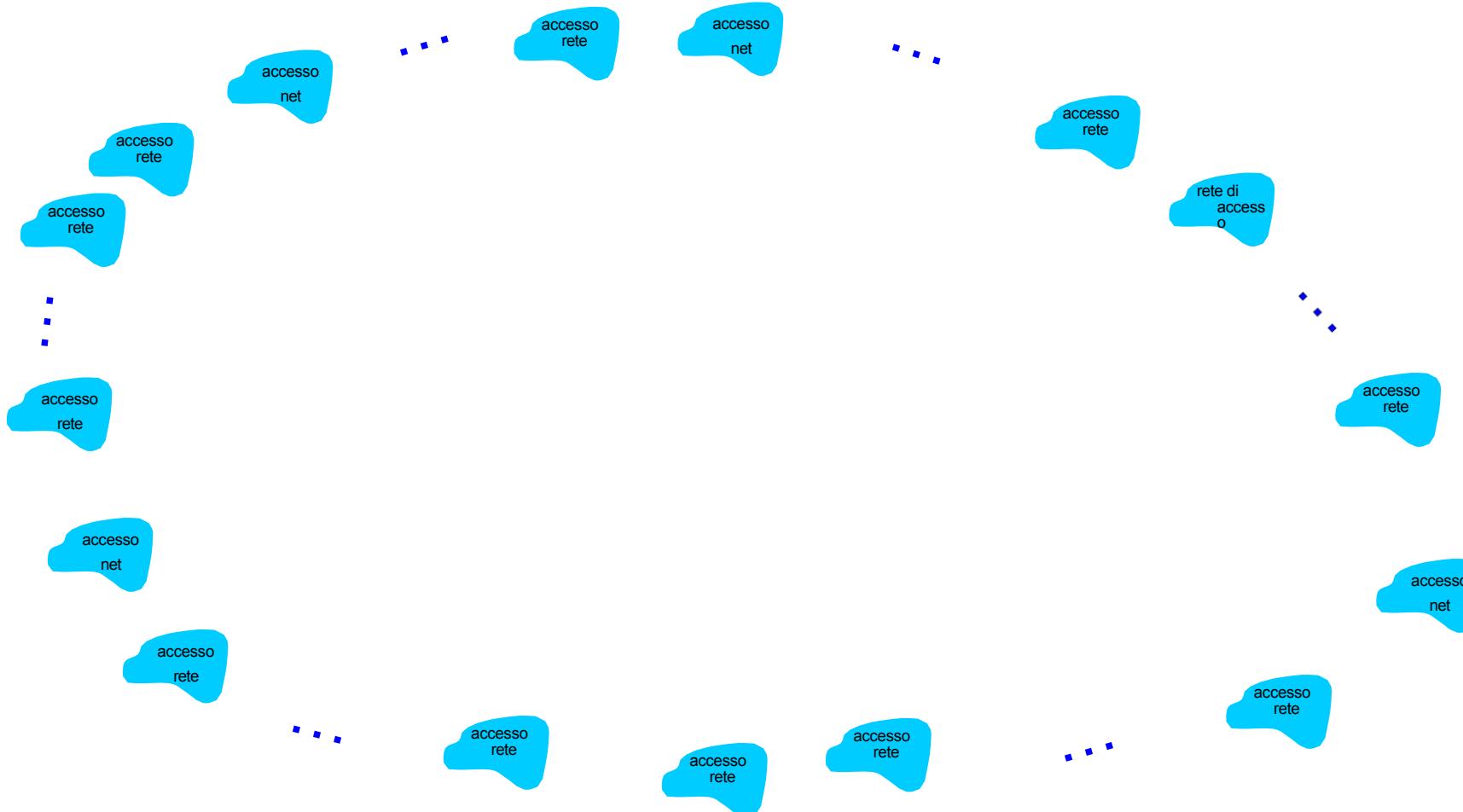
- gli host si connettono a Internet tramite provider di servizi Internet (ISP)
- accesso Gli ISP devono a loro volta essere interconnessi
 - in modo che due host *qualsiasi* (*ovunque!*) possano scambiarsi pacchetti
- la rete di reti risultante è molto complessa
 - evoluzione guidata dall'**economia, dalle politiche nazionali**

Adottiamo un approccio graduale per descrivere l'attuale struttura di Internet.



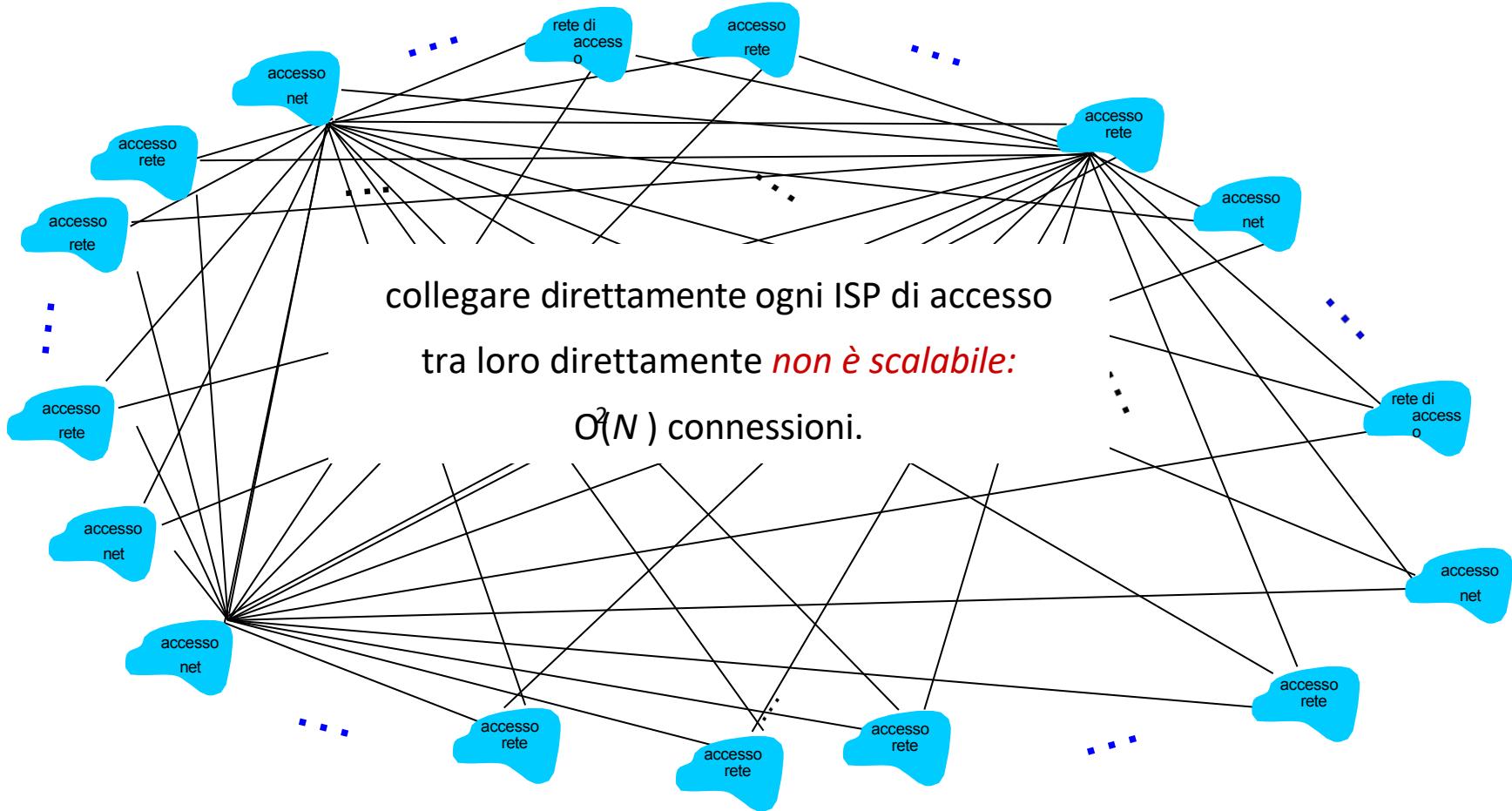
Struttura di Internet: una "rete di reti"

Domanda: dati *milioni* di ISP di accesso, come collegarli tra loro?



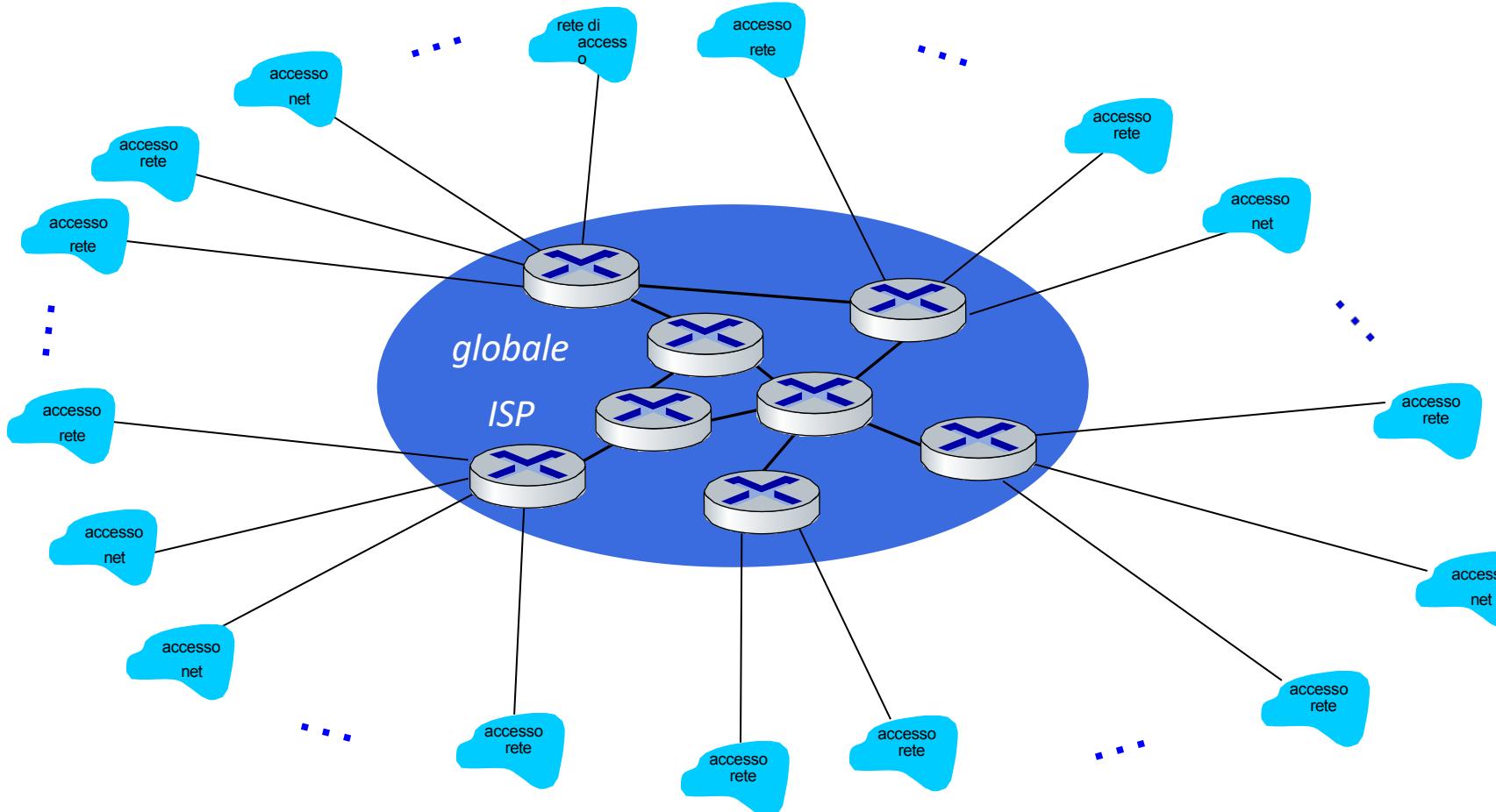
Struttura di Internet: una "rete di reti"

Domanda: dati *milioni* di ISP di accesso, come collegarli tra loro?



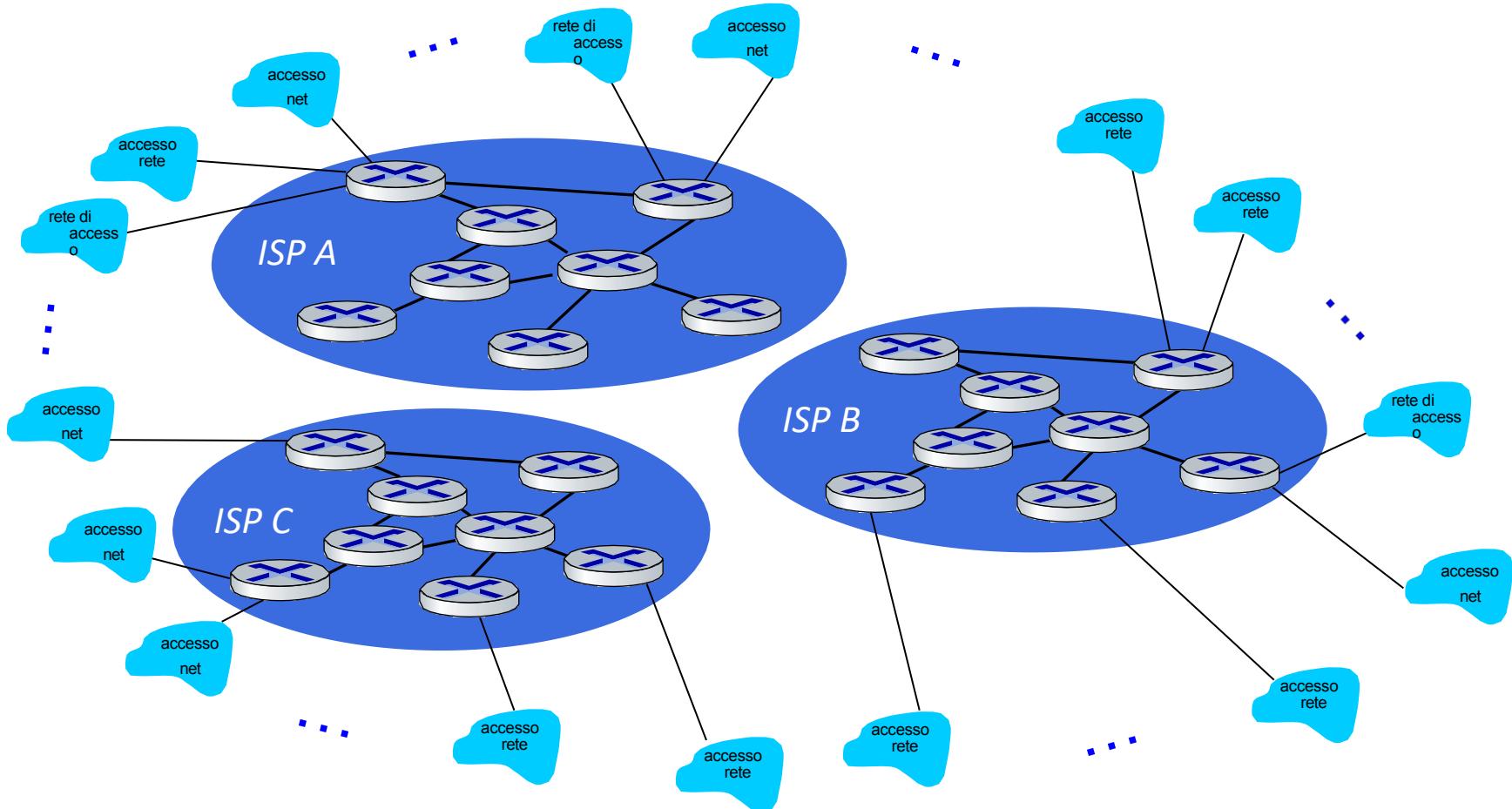
Struttura di Internet: una "rete di reti"

*Opzione: collegare ogni ISP di accesso a un ISP di transito globale? Gli ISP **dei clienti e dei fornitori** hanno un accordo economico.*



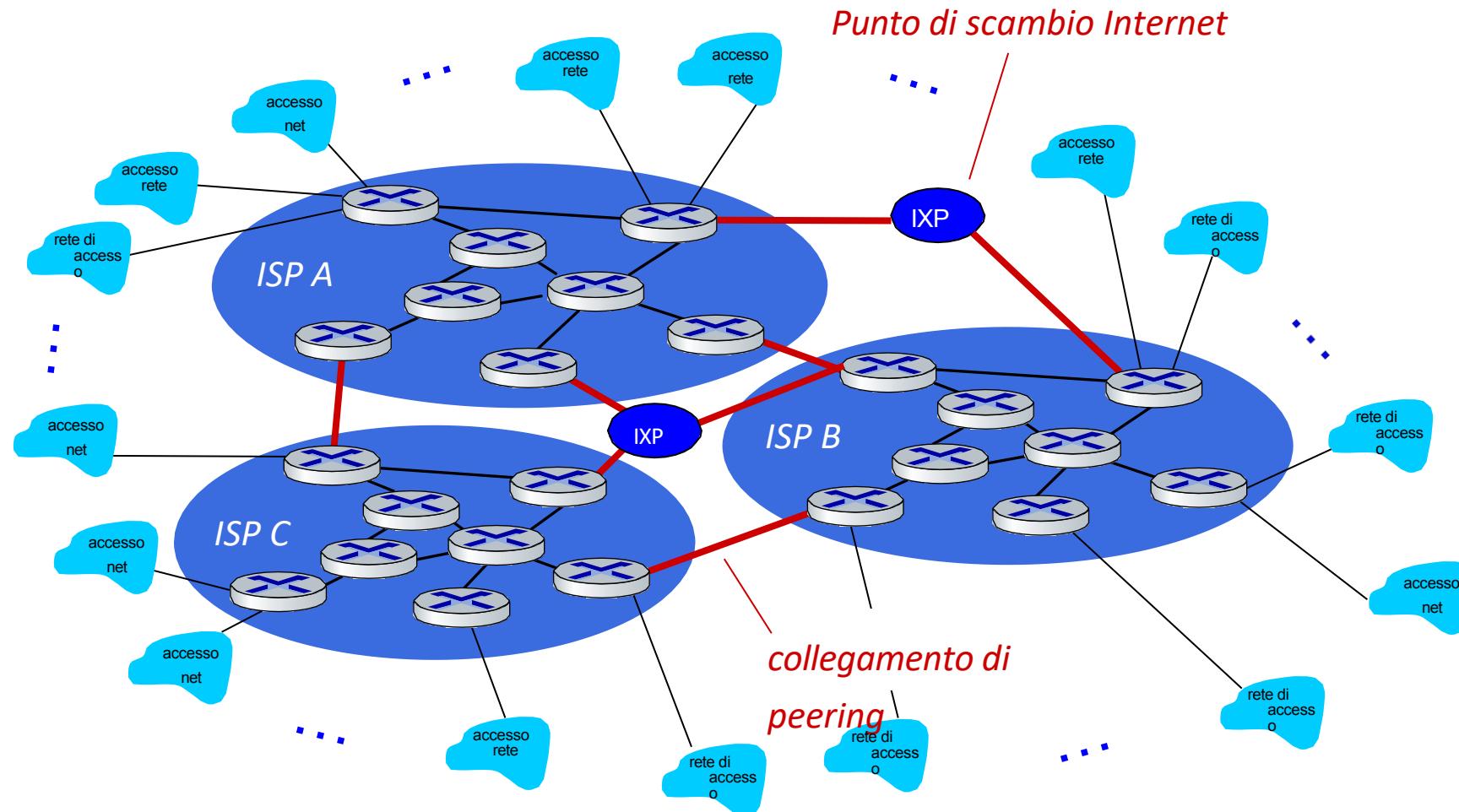
Struttura di Internet: una "rete di reti"

Ma se un ISP globale è un'attività redditizia, ci saranno dei concorrenti...



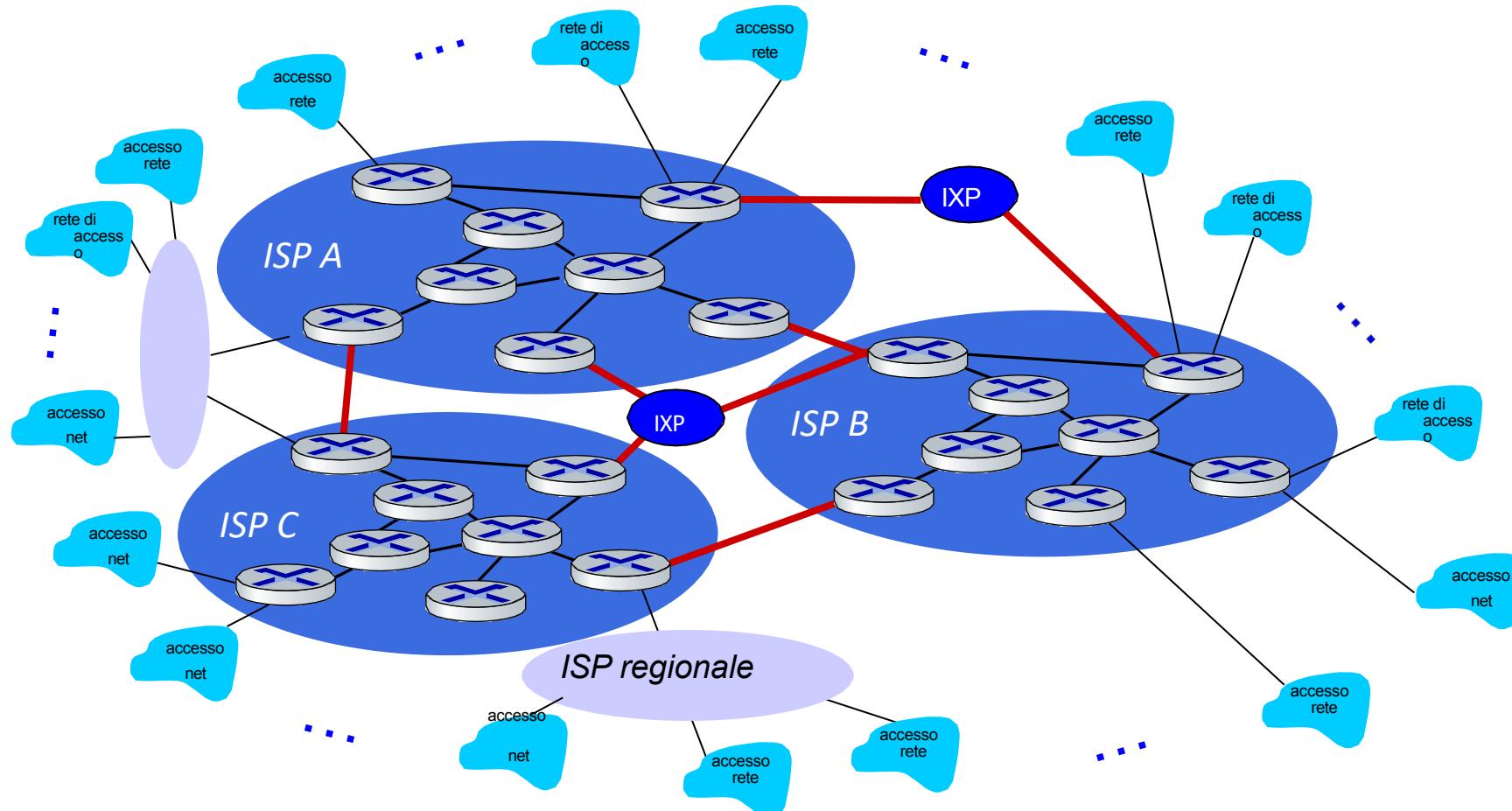
Struttura di Internet: una "rete di reti"

Ma se un ISP globale è un'attività redditizia, ci saranno concorrenti ... che vorranno essere collegati



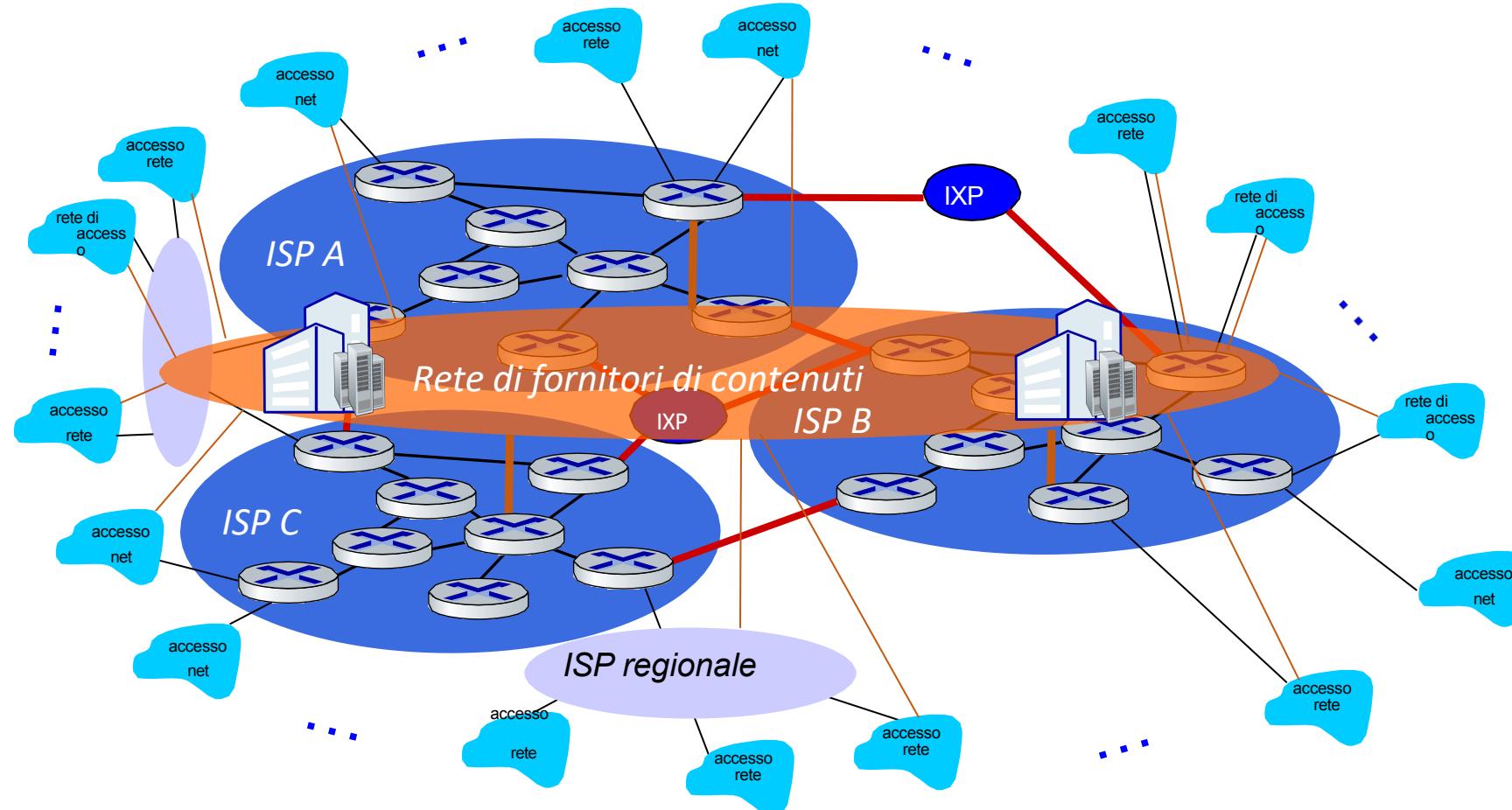
Struttura di Internet: una "rete di reti"

... e potrebbero nascere reti regionali per collegare le reti di accesso agli ISP

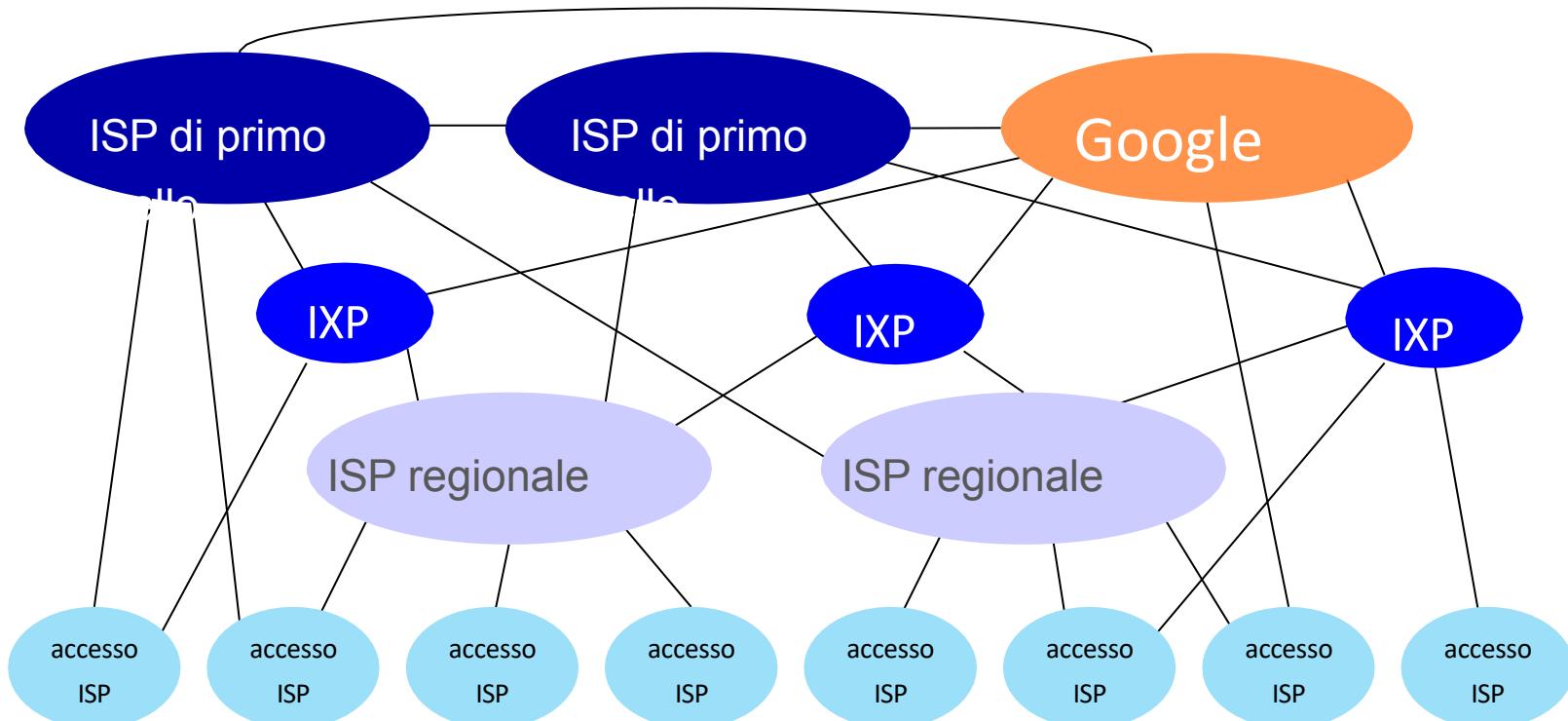


Struttura di Internet: una "rete di reti"

... e le reti dei fornitori di contenuti (ad esempio Google, Microsoft, Akamai) possono gestire la propria rete, per avvicinare servizi e contenuti agli utenti finali



Struttura di Internet: una "rete di reti"



Al "centro": un numero ridotto di reti di grandi dimensioni ben collegate

- **ISP commerciali "tier-1"** (ad esempio Level 3, Sprint, AT&T, NTT), copertura nazionale e internazionale
- **reti di fornitori di contenuti** (ad es. Google, Facebook): rete privata che collega i propri data center a Internet, spesso bypassando gli ISP regionali di livello 1

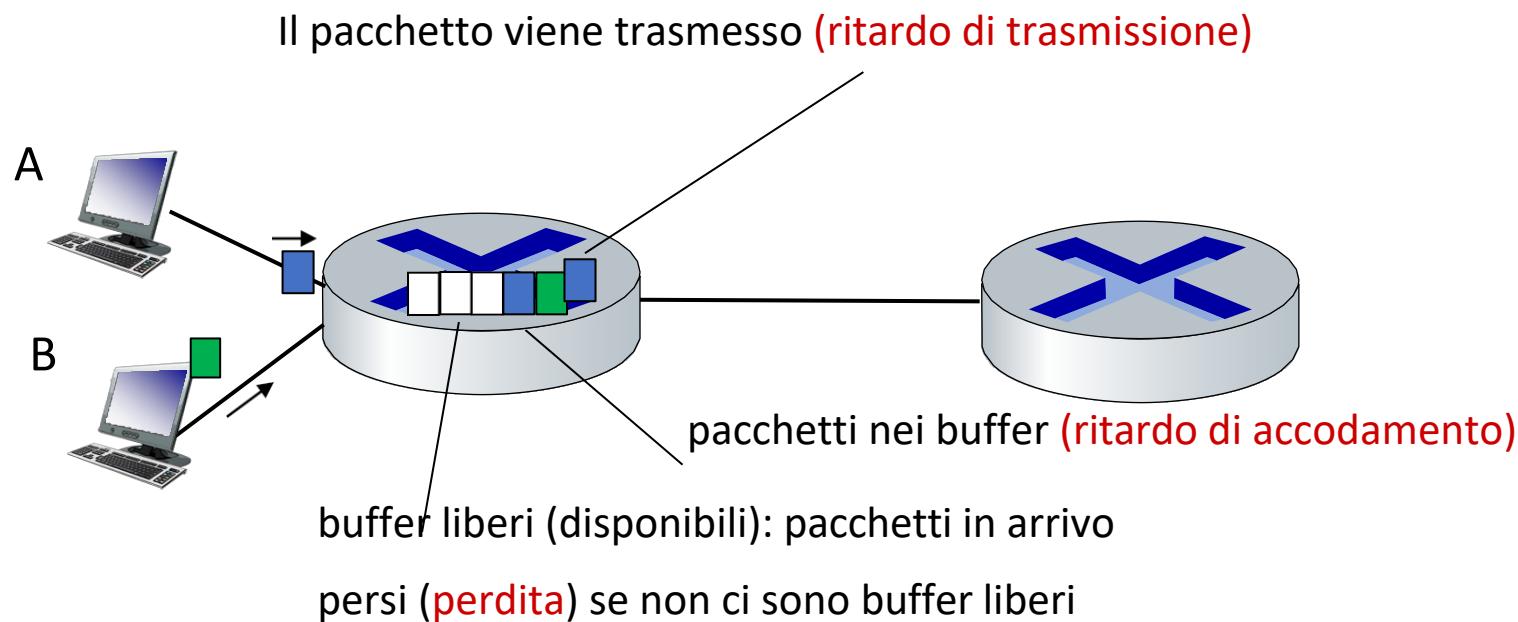
Introduzione

- Che cos'è Internet?
- Che cos'è un protocollo?
- Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici
- Nucleo della rete: commutazione di pacchetti/circuiti, struttura di Internet
- **Prestazioni: perdita, ritardo, velocità effettiva**
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Storia

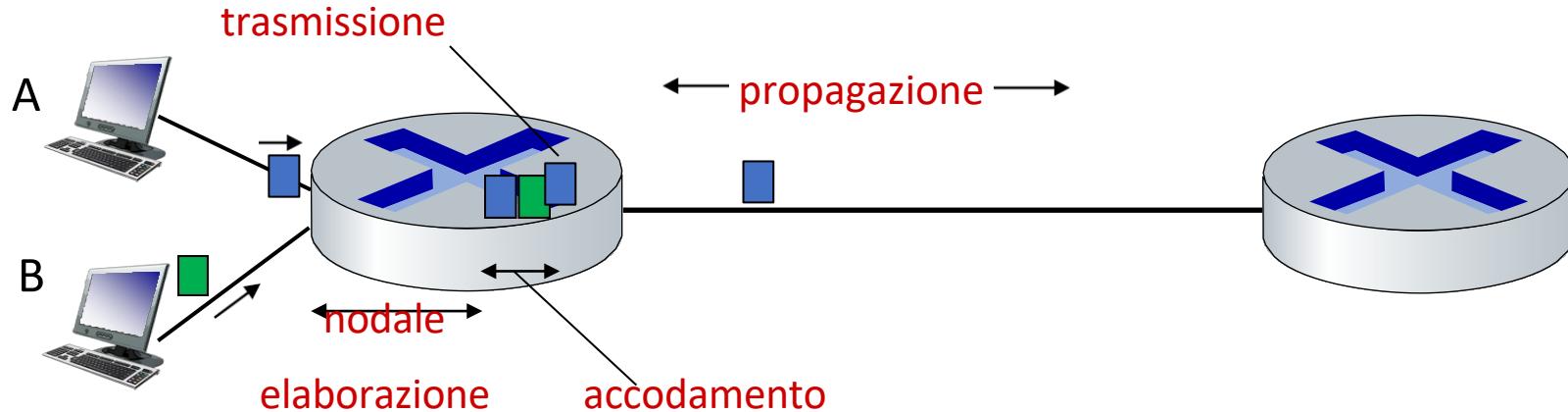


Come si verificano il ritardo e la perdita dei pacchetti?

- I pacchetti *vengono messi in coda* nei buffer del router, in attesa del proprio turno per la trasmissione.
 - la lunghezza della coda aumenta quando la velocità di arrivo al collegamento (temporaneamente) supera la capacità di uscita del collegamento
capacità
- La perdita* di pacchetti si verifica quando la memoria che contiene i pacchetti in coda si riempie



Ritardo dei pacchetti: quattro fonti



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

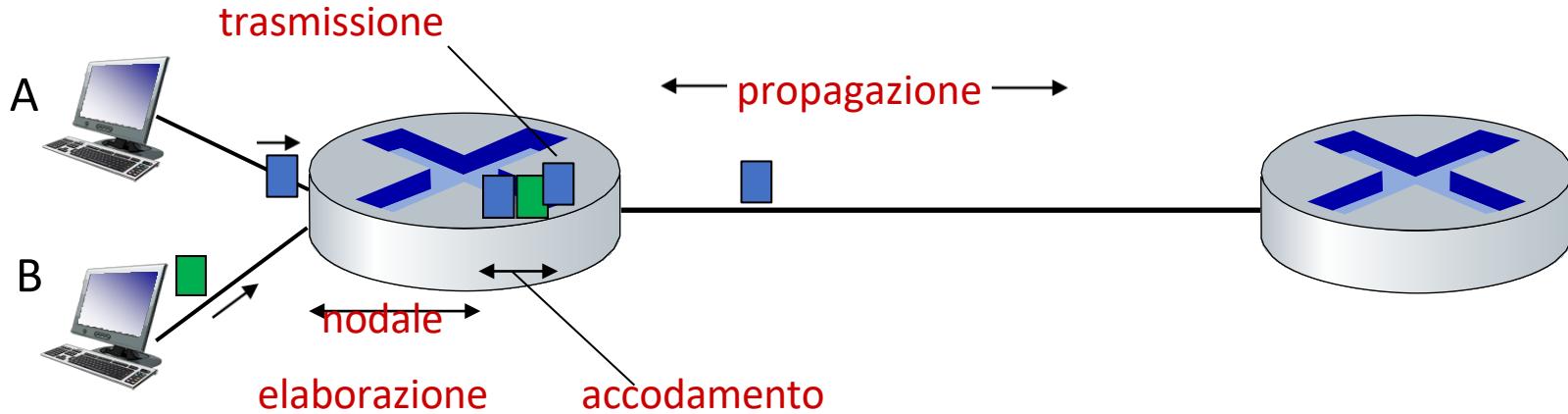
d_{proc} : elaborazione nodale

- controllo errori bit
- determina il collegamento di uscita
- tipicamente < microsecondi

d_{queue} : ritardo di accodamento

- tempo di attesa sul collegamento di uscita per la trasmissione
- dipende dal livello di congestione del router

Ritardo dei pacchetti: quattro fonti



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

d_{trans} : ritardo di trasmissione:

- L : lunghezza del pacchetto (bit)
- R : *velocità di trasmissione* del collegamento

$$(bps) \quad d_{\text{trans}} = L/R$$

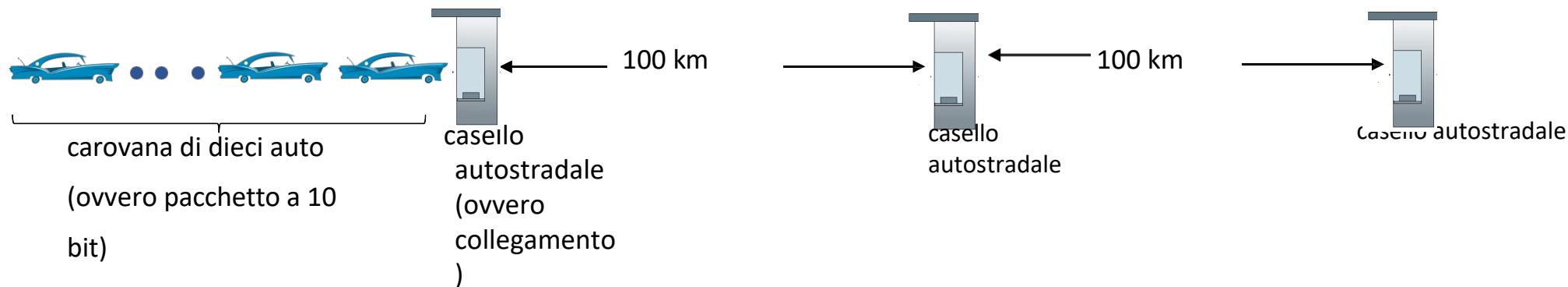
d_{prop} : ritardo di propagazione:

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

$$d_{\text{prop}} = d/s$$

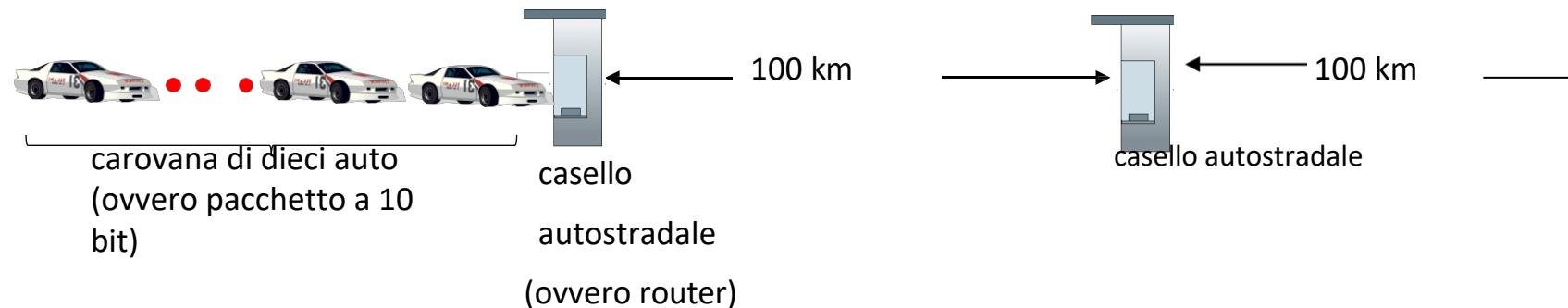
d_{trans} e d_{prop} molto diversi

Analogia con una carovana



- auto ~ bit; carovana ~ pacchetto; servizio di pedaggio ~ trasmissione del collegamento
- il casello impiega 12 secondi per servire l'auto (tempo di trasmissione del bit)
- "propagare" a 100 km/h
- **D:** Quanto tempo occorre per allineare la carovana prima del secondo casello autostradale?
- Tempo necessario per "spingere" l'intera carovana attraverso il casello autostradale = $12 * 10 = 120$ sec
- Tempo necessario all'ultima auto per passare dal primo al secondo casello: $100 \text{ km} / (100 \text{ km/h}) = 1$ ora
- **R:** 62 minuti

Analogia con la carovana

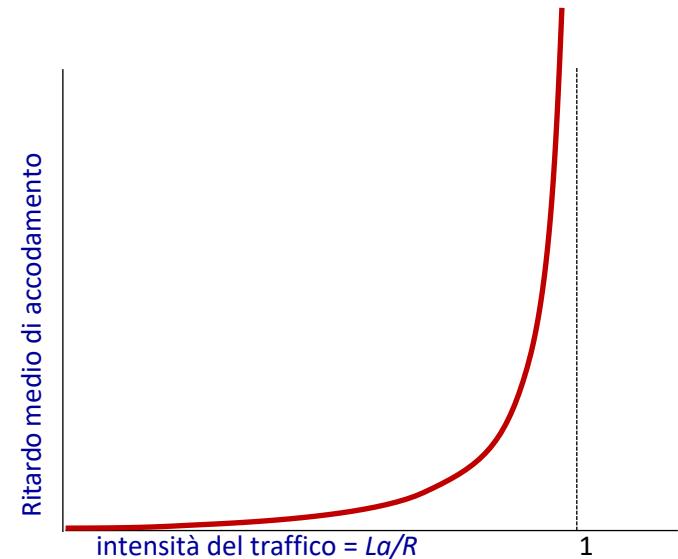


- supponiamo che le auto ora "si propaghino" a 1000 km/h
 - e supponiamo che il casello impieghi ora un minuto per servire un'auto
 - **D: Le auto arriveranno al secondo casello prima che tutte le auto siano state servite al primo casello?**
- R: Sì!** Dopo 7 minuti, la prima auto arriva alla seconda cabina; tre auto sono ancora alla prima cabina

Ritardo nella coda dei pacchetti (rivisto)

- a : frequenza media di arrivo dei pacchetti
- L : lunghezza dei pacchetti (bit)
- R : larghezza di banda del collegamento (velocità di trasmissione in bit)

$$\frac{L \cdot a}{R} : \begin{array}{l} \text{velocità di arrivo dei bit} \\ \text{velocità di servizio dei bit} \end{array} \quad \text{"intensità} \\ \text{\textit{del traffico}}"$$



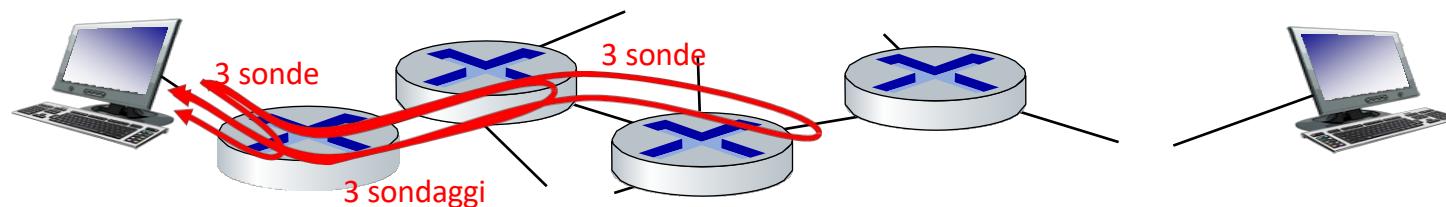
- $La/R \sim 0$: ritardo medio di accodamento ridotto
- $La/R \rightarrow 1$: ritardo medio di accodamento elevato
- $La/R > 1$: il "lavoro" in arrivo è superiore a quello che può essere gestito - ritardo medio infinito!



$La/R \rightarrow 1$

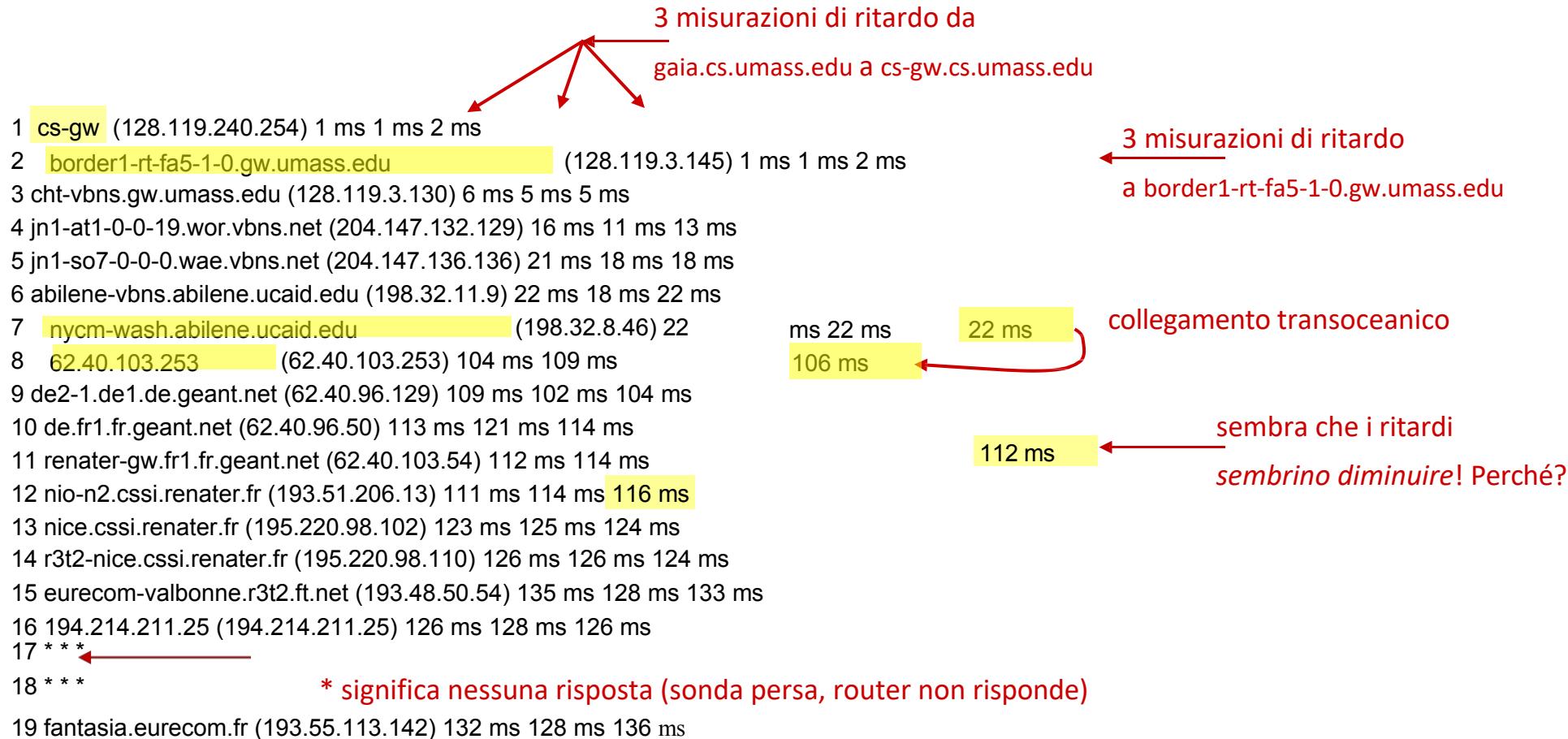
Ritardi e percorsi "reali" su Internet

- come si presentano i ritardi e le perdite "reali" su Internet?
- Programma **traceroute**: fornisce la misurazione del ritardo dalla sorgente al router lungo il percorso Internet end-to-end verso la destinazione. Per tutti *gli i*:
 - invia tre pacchetti che raggiungeranno il router *i* sul percorso verso la destinazione (con valore del campo time-to-live pari a *i*)
 - il router *i* restituirà i pacchetti al mittente
 - il mittente misura l'intervallo di tempo tra la trasmissione e la risposta



Ritardi e percorsi reali su Internet

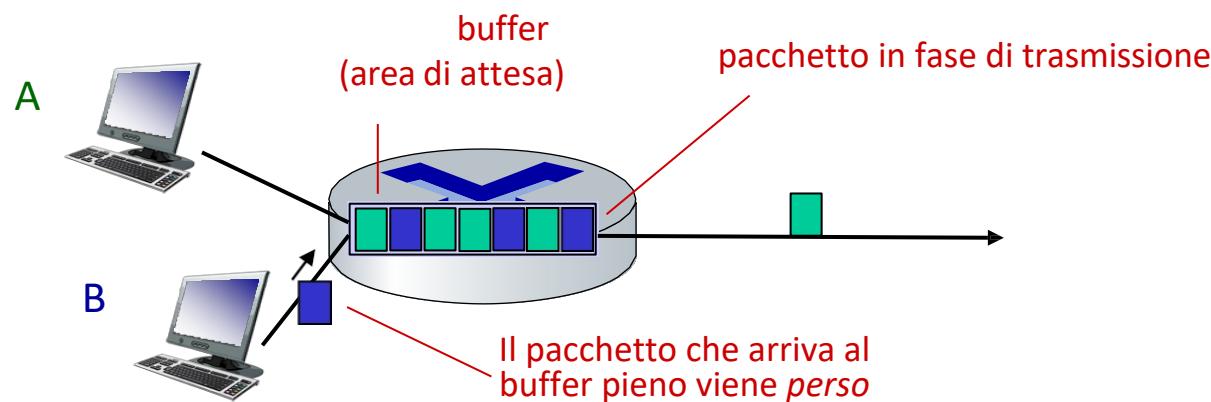
traceroute: gaia.cs.umass.edu a www.eurecom.fr



* Esegui alcuni traceroute da paesi esotici su www.traceroute.org

Perdita di pacchetti

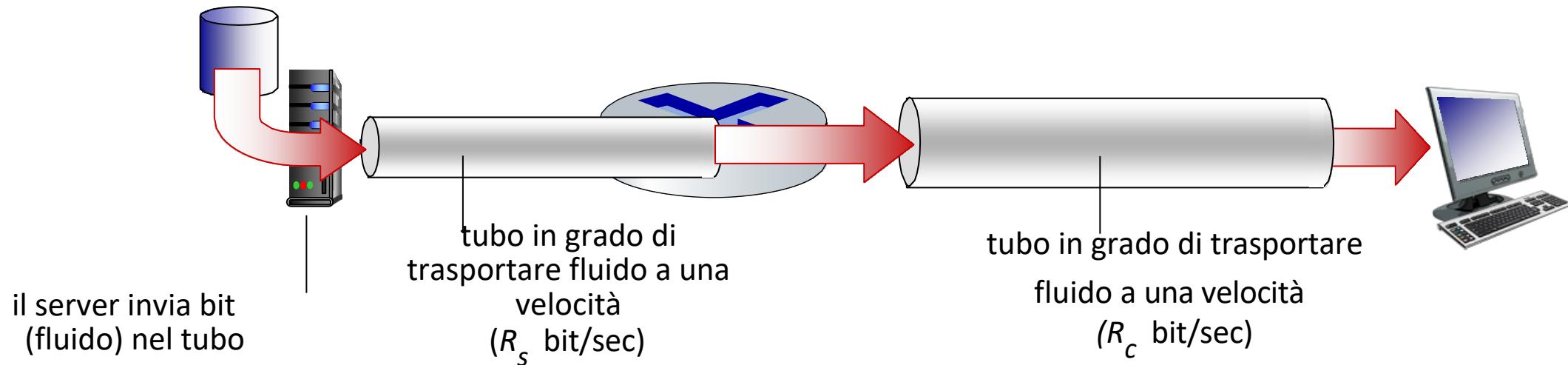
- coda (ovvero buffer) che precede il collegamento nel buffer ha una capacità limitata
- il pacchetto che arriva alla coda piena viene eliminato (ovvero perso)
- il pacchetto perso può essere ritrasmesso dal nodo precedente, dal sistema di origine o non essere ritrasmesso affatto



* Guarda l'applet Java per un'animazione interattiva (sul sito web dell'editore) della coda e della perdita

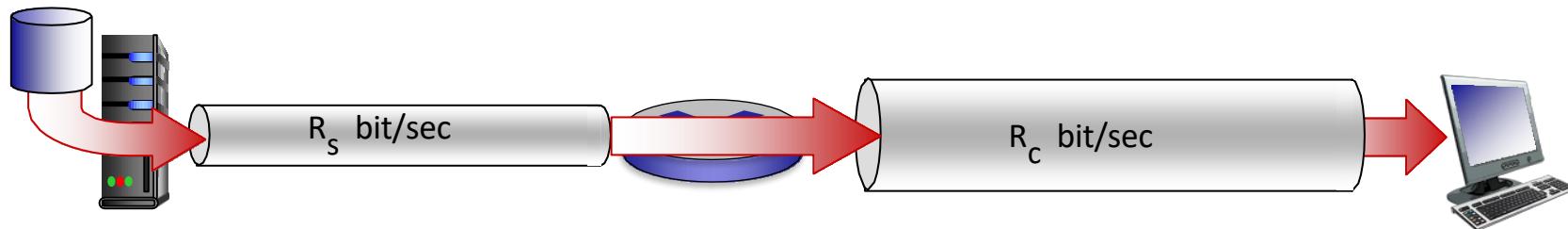
Throughput

- **throughput:** velocità (bit/unità di tempo) alla quale i bit vengono inviati dal mittente al destinatario
 - *istantaneo:* tasso in un determinato momento
 - *media:* velocità su un periodo di tempo più lungo

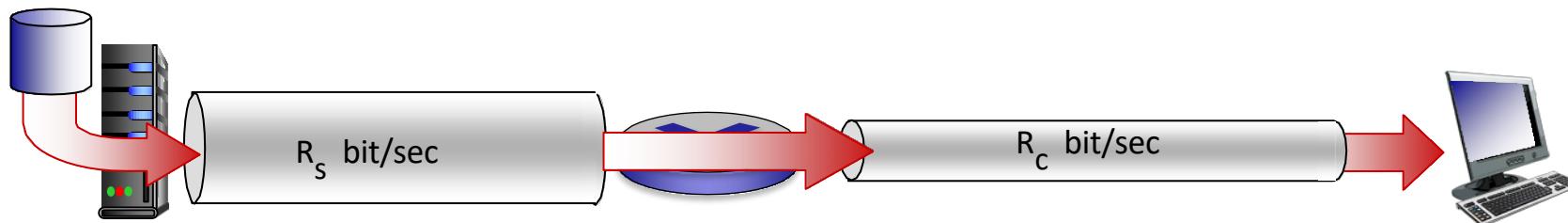


Throughput

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



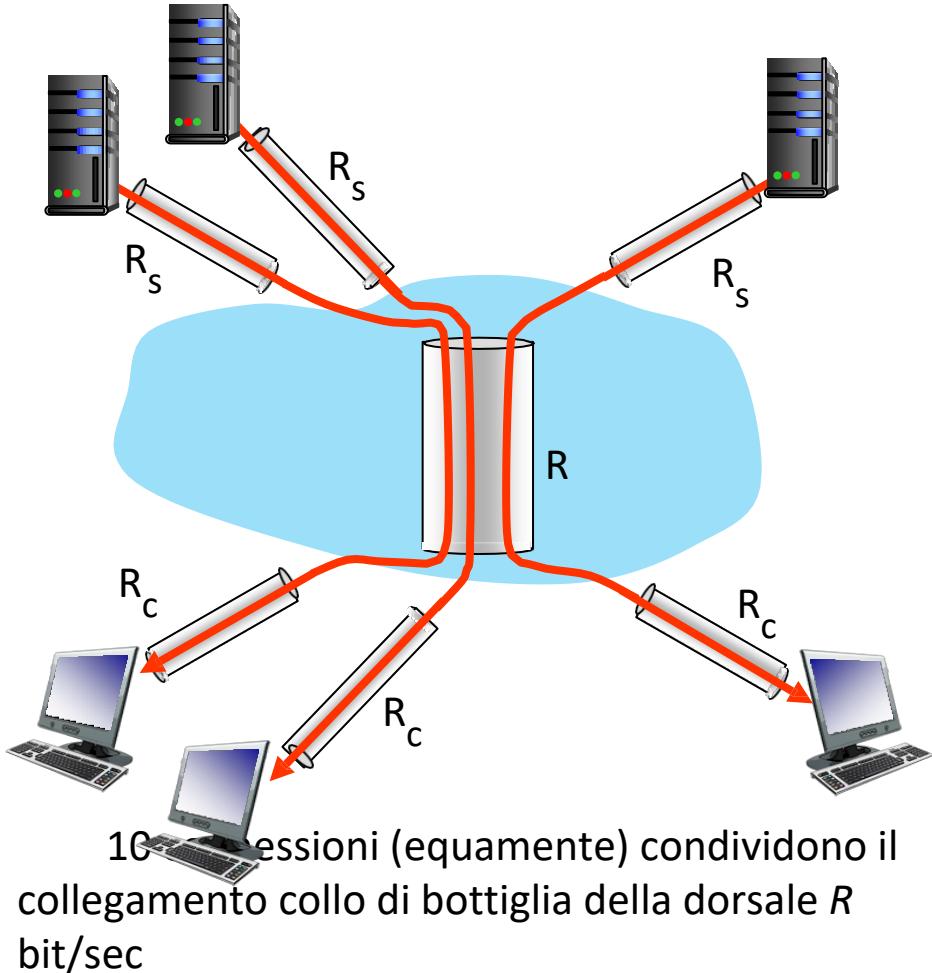
$R_s > R_c$ Qual è il throughput medio end-to-end?



collegamento collo di bottiglia

collegamento su percorso end-to-end che limita la velocità effettiva end-to-end

Throughput: scenario di rete



- throughput end-to-end per connessione: $\min(R_c, R_s, R/10)$
- in pratica: R_c o R_s è spesso un collo di bottiglia

* Per ulteriori informazioni, consulta gli esercizi interattivi online
esempi: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/

Introduzione

- Che *cos'è* Internet?
- Che *cos'è* un protocollo?
- Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici
- Nucleo della rete: commutazione di pacchetti/circuiti, struttura di Internet
- Prestazioni: perdita, ritardo, velocità effettiva
- **Sicurezza**
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Storia



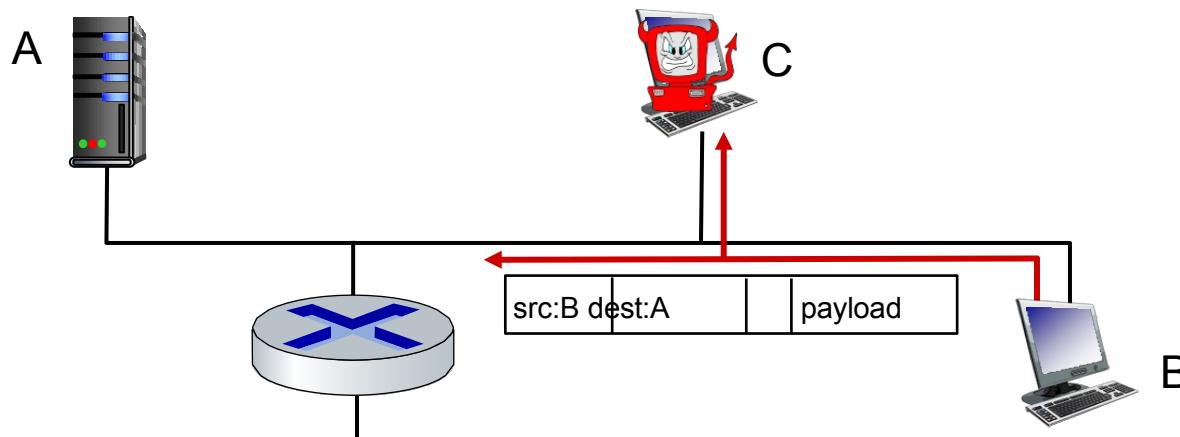
Sicurezza di rete

- Internet non è stato originariamente progettato tenendo conto (molto) della sicurezza
 - *Visione originale:* "un gruppo di utenti che si fidano l'uno dell'altro e sono collegati a una rete trasparente" ☺
 - I progettisti dei protocolli Internet che cercano di "recuperare il ritardo"
 - considerazioni di sicurezza in tutti i livelli!
- Ora dobbiamo pensare a:
 - come i malintenzionati possono attaccare le reti informatiche
 - come possiamo difendere le reti dagli attacchi
 - come progettare architetture immuni agli attacchi

Malintenzionati: intercettazione dei pacchetti

"sniffing" dei pacchetti:

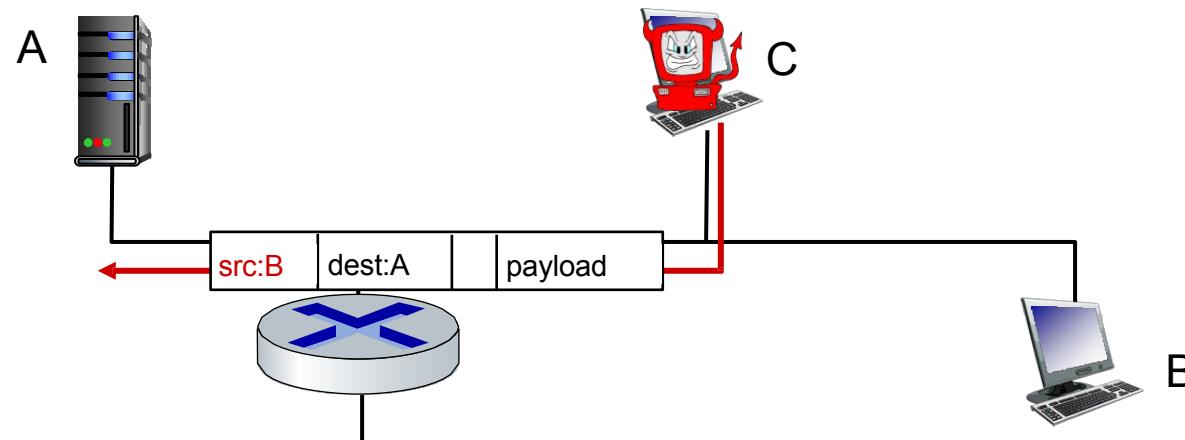
- mezzi di trasmissione (Ethernet condivisa, wireless)
- un'interfaccia di rete promiscua legge/registra tutti i pacchetti (ad esempio, comprese le password!) che passano



Il software Wireshark utilizzato per i nostri laboratori di fine capitolo è uno sniffer di pacchetti (gratuito).

Cattivi: identità falsa

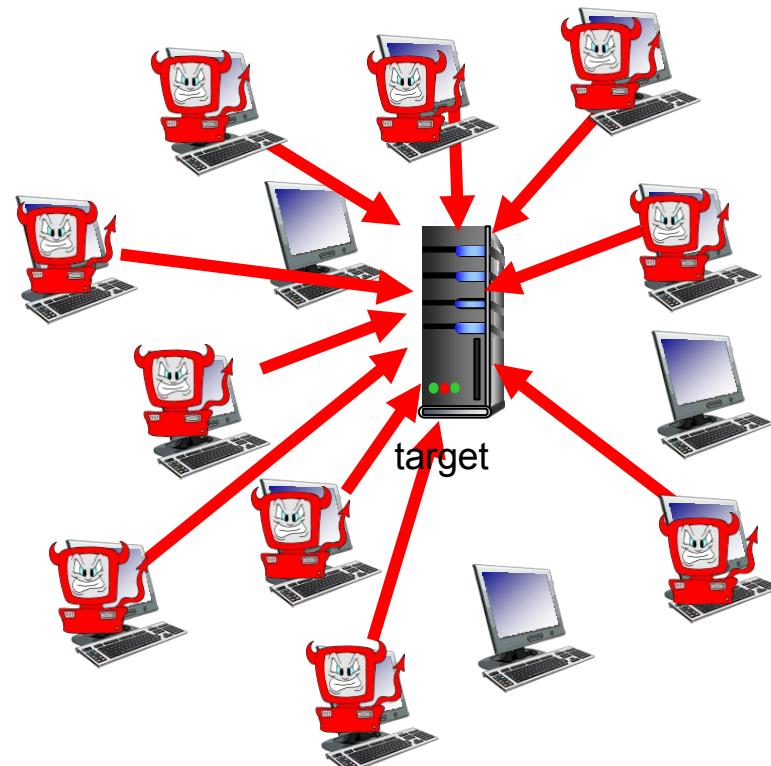
Spoofing IP: iniezione di pacchetti con indirizzo di origine falso



Criminali informatici: denial of service

Denial of Service (DoS): gli aggressori rendono le risorse (server, larghezza di banda) non disponibili al traffico legittimo sovraccaricandole con traffico fasullo

1. seleziona target
2. intromettersi negli host della rete (vedi botnet)
3. inviare pacchetti al bersaglio dagli host compromessi



Linee di difesa:

- **autenticazione:** dimostrare di essere chi si dice di essere
 - Le reti cellulari forniscono l'identità hardware tramite la scheda SIM; nessun supporto hardware di questo tipo è presente nella tradizionale
- **riservatezza:** tramite crittografia
- **controlli di integrità:** le firme digitali prevengono/rilevano le manomissioni
- **restrizioni di accesso:** VPN protette da password
- **firewall:** "middlebox" specializzati nelle reti di accesso e centrali
 - :
 - off-by-default: filtrano i pacchetti in entrata per limitare mittenti, destinatari, applicazioni
 - rilevamento/reazione agli attacchi DOS

Introduzione

- Che *cos'è* Internet?
- Che *cos'è* un protocollo?
- Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici
- Nucleo della rete: commutazione di pacchetti/circuiti, struttura di Internet
- Prestazioni: perdita, ritardo, velocità effettiva
- Sicurezza
- **Livelli di protocollo, modelli di servizio**
- Storia



Livelli di protocollo e modelli di riferimento

Le reti sono complesse,
con molti "elementi":

- host
- router
- collegamenti di vari media
- applicazioni
- protocolli
- hardware, software

Domanda: c'è qualche speranza di organizzare la struttura della rete?

- e/o *la nostra discussione*
delle reti?

Esempio: organizzazione del trasporto aereo



trasferimento end-to-end di persone e bagagli

biglietto (acquisto)

bagagli (check-in) gate

(imbarco) pista decollo

rotta aerea

biglietto (reclamo)

bagagli (ritiro) gate

(scarico) pista di

atterraggio rotta

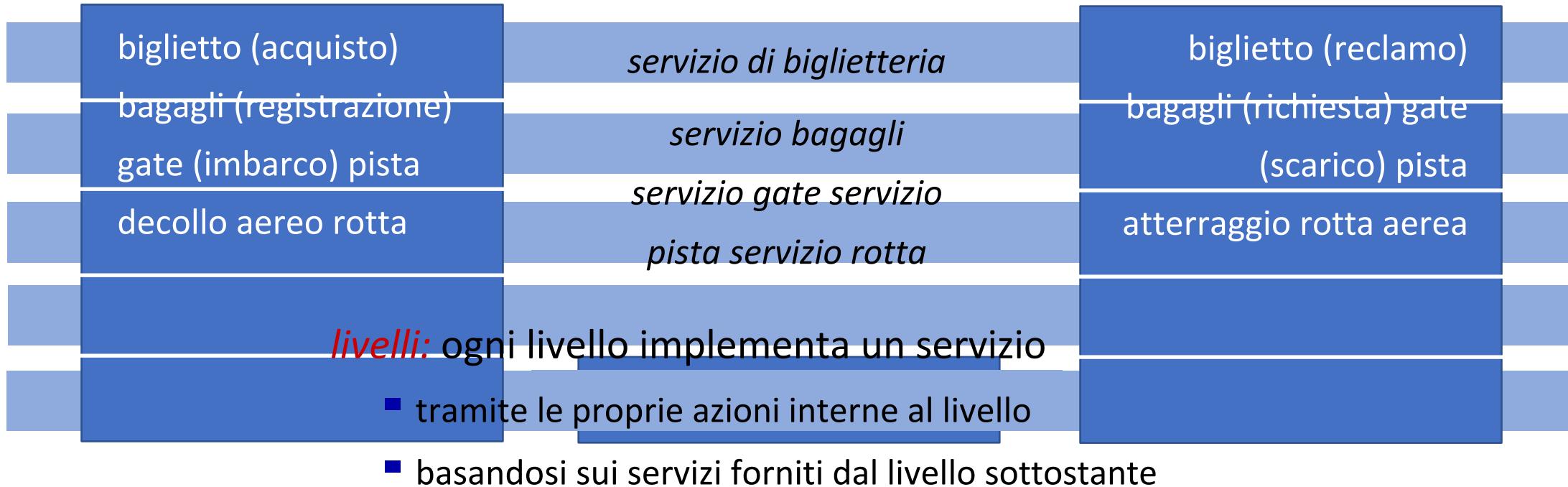
dell'aereo

percorso dell'aereo

Come *definiresti/discuteresti* il *sistema* dei viaggi aerei?

- una serie di passaggi che coinvolgono molti servizi

Esempio: organizzazione di un viaggio aereo



Perché la stratificazione?

Approccio alla progettazione/discussione di sistemi complessi:

- una struttura esplicita consente l'identificazione, relazione tra le parti del sistema
 - *modello di riferimento* a livelli per la discussione
- la modularizzazione facilita la manutenzione e l'aggiornamento del sistema
 - modifica *nell'implementazione* del servizio del livello: trasparente per il resto del sistema
 - ad esempio, la modifica della procedura di gate non influisce sul resto del sistema

Stack di protocolli Internet a livelli

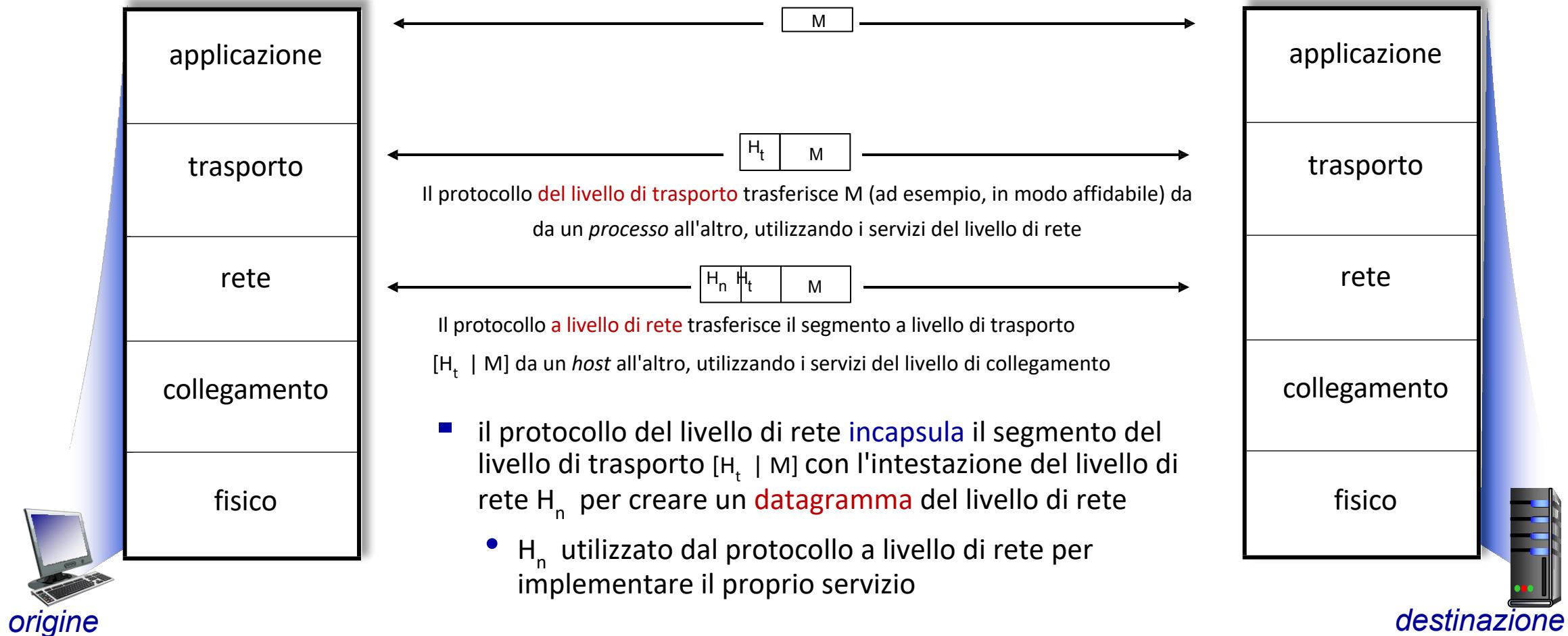
- ***applicazione***: supporto alle applicazioni di rete
 - HTTP, IMAP, SMTP, DNS
- ***trasporto***: trasferimento dati processo-processo
 - TCP, UDP
- ***rete***: instradamento dei datagrammi dalla sorgente alla destinazione
 - IP, protocolli di instradamento
- ***collegamento***: trasferimento di dati tra elementi di rete vicini
 - Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- ***fisico***: bit "sul cavo"



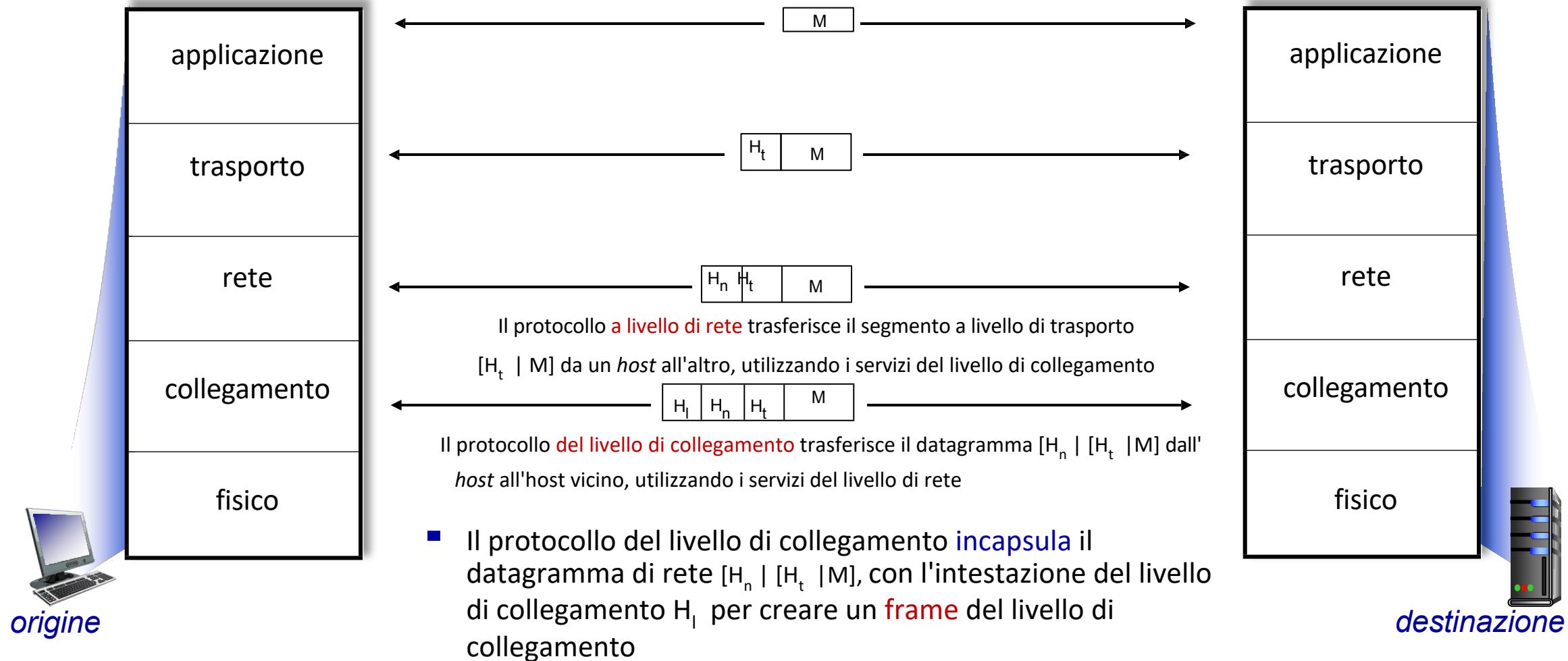
Servizi, stratificazione e incapsulamento



Servizi, stratificazione e incapsulamento

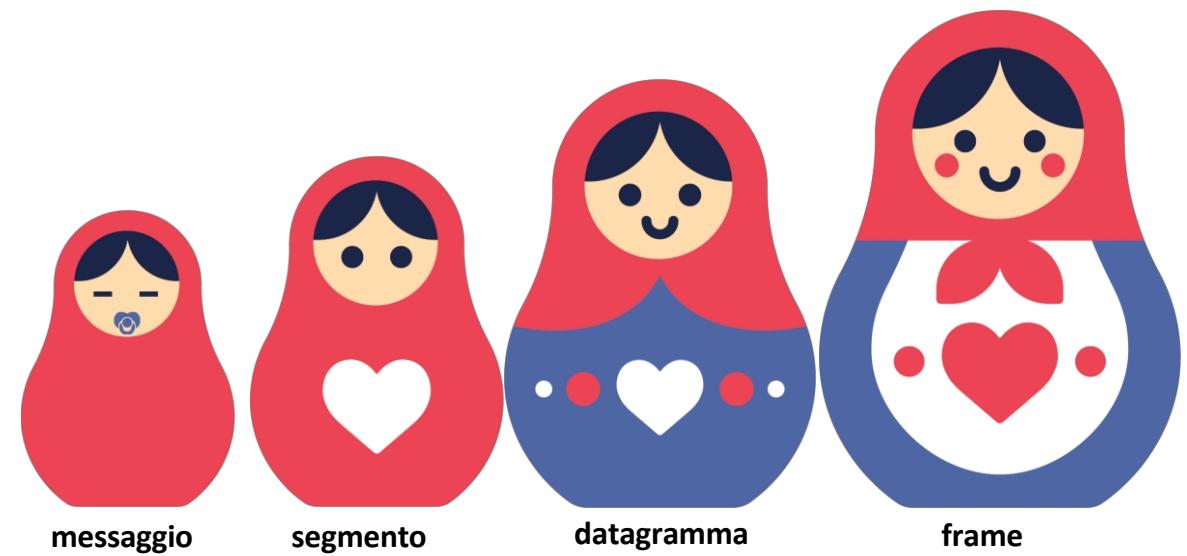


Servizi, stratificazione e incapsulamento

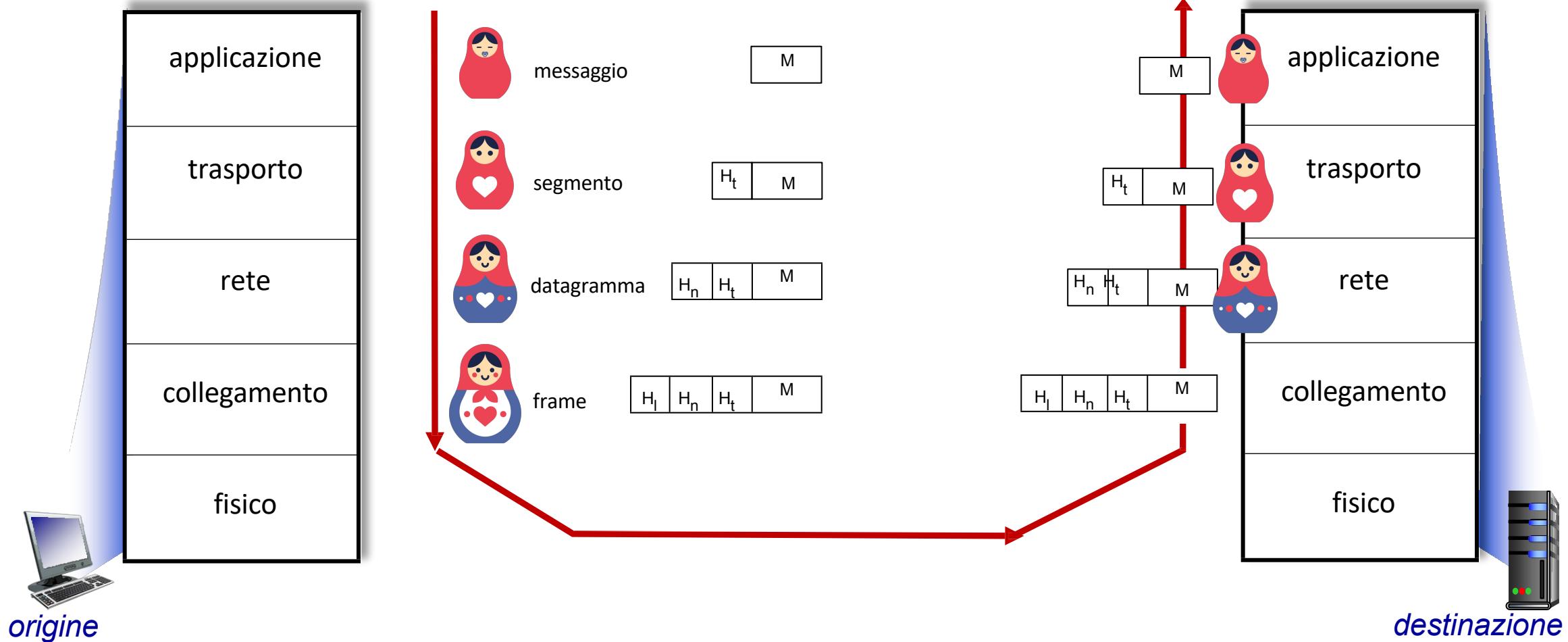


Incapsulamento

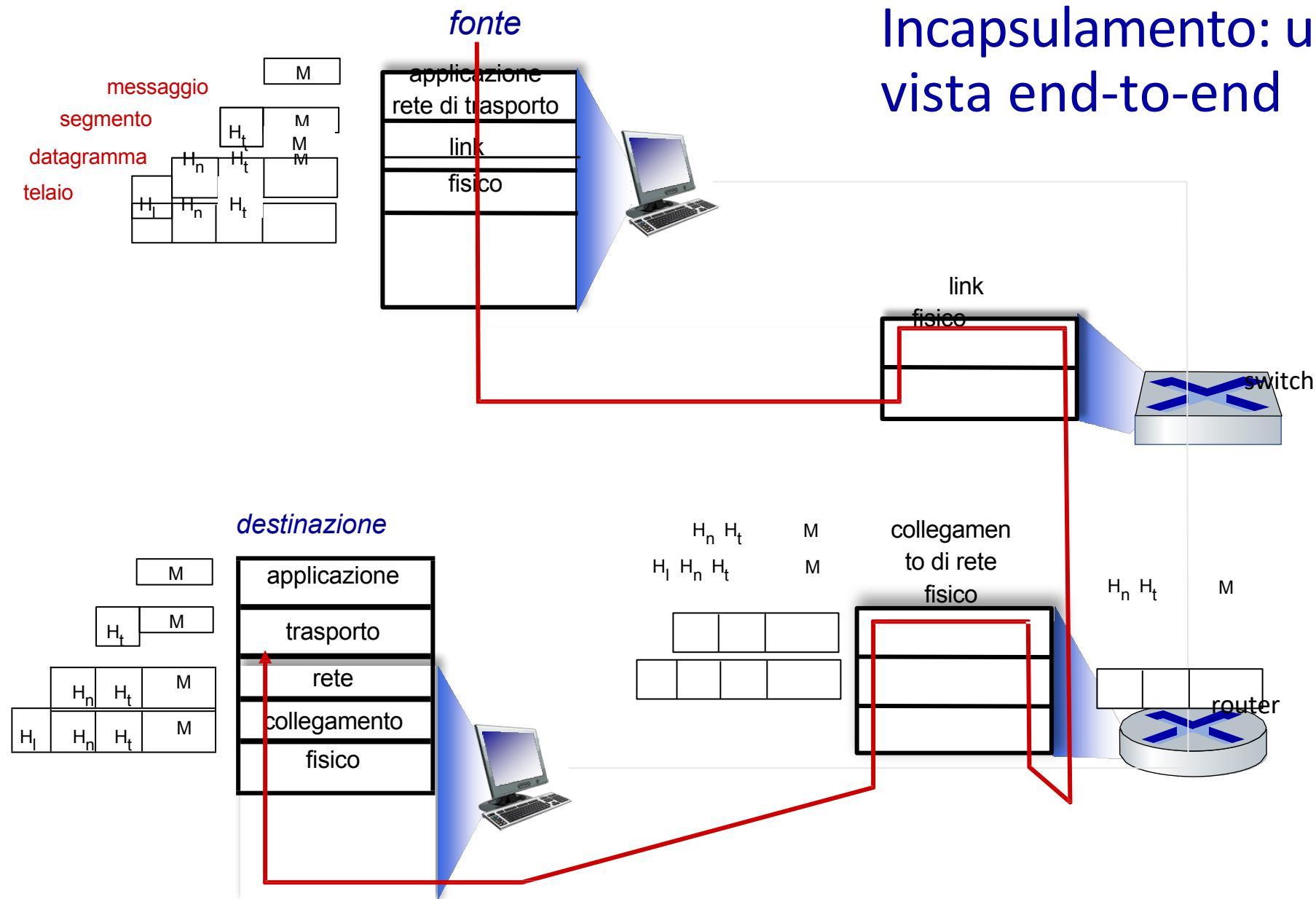
Bambole Matrioska (bambole impilabili)



Servizi, stratificazione e incapsulamento



Incapsulamento: una vista end-to-end



Introduzione

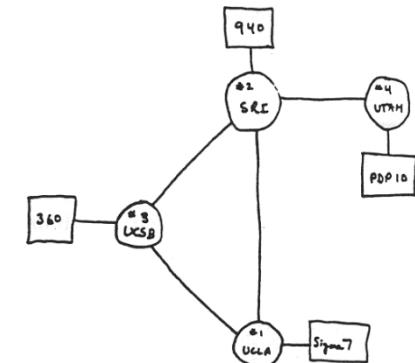
- Che cos'è Internet?
- Che cos'è un protocollo?
- Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici
- Nucleo della rete: commutazione di pacchetti/circuiti, struttura di Internet
- Prestazioni: perdita, ritardo, velocità effettiva
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Storia



Storia di Internet

1961-1972: primi principi di commutazione di pacchetto

- 1961: Kleinrock - la teoria delle code dimostra l'efficacia del packet switching
- 1964: Baran - commutazione di pacchetto nelle reti militari
- 1967: ARPAnet ideato dall'Agenzia per i progetti di ricerca avanzata
- 1969: primo nodo ARPAnet operativo
- 1972:
 - dimostrazione pubblica di ARPAnet
 - NCP (Network Control Protocol), primo protocollo host-host
 - primo programma di posta elettronica
 - ARPAnet ha 15 nodi



THE ARPANET

Storia di Internet

1972-1980: Interconnessione di reti, reti nuove e proprietarie

- 1970: rete satellitare ALOHAnet alle Hawaii
- 1974: Cerf e Kahn - architettura per l'interconnessione delle reti
- 1976: Ethernet presso Xerox PARC
- Fine anni '70: architetture proprietarie: DECnet, SNA, XNA
- 1979: ARPAnet ha 200 nodi

Principi di interconnessione di Cerf e Kahn:

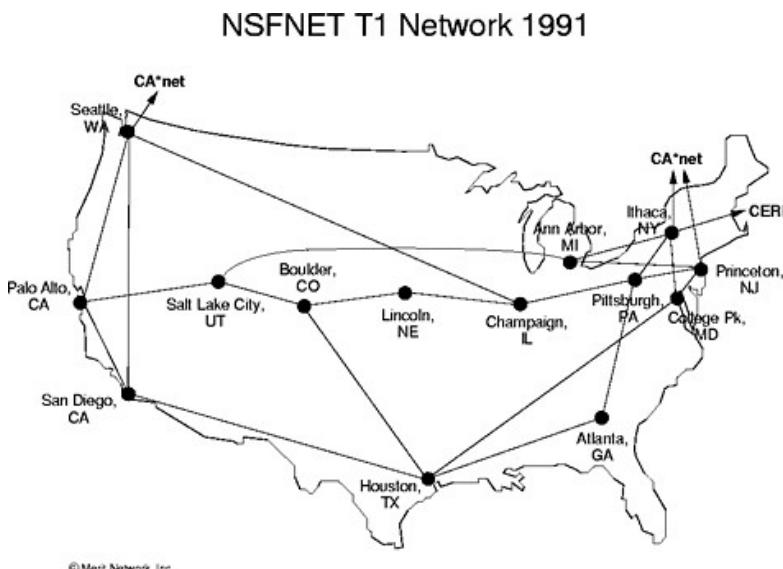
- minimalismo, autonomia - nessuna modifica interna richiesta per interconnettere le reti
- modello di servizio best-effort
- routing stateless
- controllo decentralizzato

definiscono l'architettura Internet odierna

Storia di Internet

1980-1990: nuovi protocolli, proliferazione delle reti

- 1983: implementazione del TCP/IP
- 1982: definizione del protocollo di posta elettronica smtp
- 1983: definizione del DNS per la conversione dei nomi in indirizzi IP
- 1985: definizione del protocollo ftp
- 1988: controllo della congestione TCP
- nuove reti nazionali: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 host collegati alla confederazione di reti



Storia di Internet

1990, anni 2000: commercializzazione, il Web, nuove applicazioni

- primi anni '90: ARPAnet dismessa
- 1991: la NSF revoca le restrizioni sull'uso commerciale di NSFnet (messa fuori servizio nel 1995)
- primi anni '90: Web
 - ipertesto [Bush 1945, Nelson anni '60]
 - HTML, HTTP: Berners-Lee
 - 1994: Mosaic, successivamente Netscape
 - fine anni '90: commercializzazione del Web
- fine anni '90 - anni 2000:
 - altre applicazioni di grande successo: messaggistica istantanea, condivisione di file P2P
 - la sicurezza della rete in primo piano
 - circa 50 milioni di host, oltre 100 milioni di utenti
 - collegamenti backbone a velocità Gbps

Storia di Internet

Dal 2005 ad oggi: scalabilità, SDN, mobilità, cloud

- diffusione aggressiva dell'accesso domestico a banda larga (10-100 Mbps)
- 2008: reti definite dal software (SDN)
- crescente diffusione dell'accesso wireless ad alta velocità: 4G/5G, WiFi
- I fornitori di servizi (Google, FB, Microsoft) creano le proprie reti
 - aggirano Internet commerciale per connettersi "da vicino" all'utente finale, fornendo accesso "istantaneo" ai social media, alla ricerca, ai contenuti video, ...
- le aziende gestiscono i propri servizi nel "cloud" (ad esempio, Amazon Web Services, Microsoft Azure)
- ascesa degli smartphone: più dispositivi mobili che fissi su Internet (2017)
- ~15 miliardi di dispositivi collegati a Internet (2023, statista.com)