

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"  
Laurea in Informatica

Sistemi Operativi e Reti  
(modulo Reti)  
a.a. 2024/2025

# Introduzione

dr. Manuel Fiorelli

[manuel.fiorelli@uniroma2.it](mailto:manuel.fiorelli@uniroma2.it)

<https://art.uniroma2.it/fiorelli>

# Materiale didattico

- Libro di testo:

Kurose, J. F., Ross, K. W., Capone, A., & Gaito, A. (2022). *Reti di calcolatori e Internet: Un approccio top-down* (VIII ed.) Pearson.

<https://he.pearson.it/catalogo/1008>



- Risorse online sul sito degli autori:

[https://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/index.php](https://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/index.php)

The screenshot shows the homepage of the 'Computer Networking' website. At the top is a red navigation bar with 'HOME', 'ABOUT', 'RESOURCES (FOR EVERYONE) ▾', and 'INSTRUCTORS'. Below the navigation bar is a book cover for 'Computer Networking: A Top-Down Approach' 8th edition by Jim Kurose and Keith Ross. To the right of the book cover is the title 'Computer Networking' and '8th edition'. Below that is the text 'Jim Kurose, Keith Ross' and 'Authors' website'. On the right side of the page, there is a sidebar with a list of resources: 'Online Lectures', 'Powerpoint', 'Wireshark Labs', 'Knowledge Checks', 'Interactive End-of-Chapter Problems', and 'Interactive Animations'.

# Materiale didattico

- Slide mostrate a lezione:
  - basate su quelle fornite dagli autori
  - allineate al libro di testo (da usare per approfondimenti e chiarimenti)
  - materiale aggiuntivo non presente nel libro
- Codice e altro materiale usato durante le lezioni e le esercitazioni

*Questo materiale sarà distribuito attraverso il canale dedicato alle lezioni nel team del corso*

# Capitolo 1: Introduzione

## *Obiettivi:*

- Introdurre la terminologia e i concetti di base
  - gli approfondimenti verranno nelle lezioni successive
- Approccio:
  - usare Internet come esempio



## *Panoramica/tabella di marcia:*

- Cos'è *Internet*?
- Cos'è un *protocollo*?
- **Ai confini della rete:** host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- **Il nucleo della rete:** commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- **Prestazioni:** perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Un po' di storia

# Internet: descrizione degli “ingranaggi”



Miliardi di *dispositivi* di calcolo connessi:

- *host* = sistema periferico (*end system*)
- Eseguono le applicazioni di rete ai confini di Internet (“edge”)

*Commutatori di pacchetto (packet switches):* inoltrano i pacchetti (pezzi di dati)

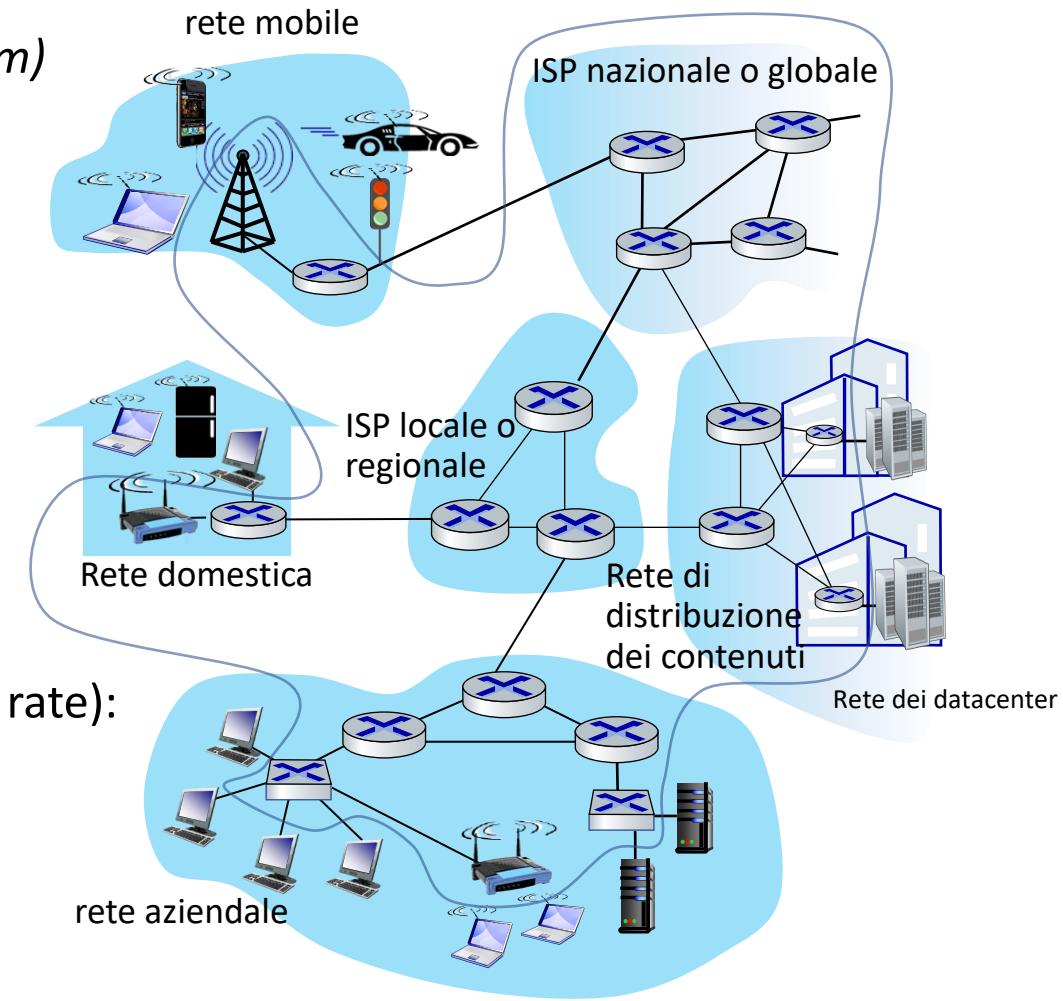
- *router, switch*

*Reti di collegamenti (communication link)*

- fibra ottica, rame, radio, satellite
- tasso di trasmissione (*transmission rate*): *ampiezza di banda (bandwidth)*

*Reti*

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



# Dispositivi connessi a Internet “divertenti”



Amazon Echo



Frigorifero smart



Telecamera di sicurezza



Telefonia Internet



Cornice IP



Slingbox: visione e controllo remote della TV via cavo



Dispositivo di gioco



Materasso sensorizzato



Fitbit



pannolini



Pacemaker & Monitor



Tostapane Web + previsioni del tempo



Tweet-a-watt:  
Monitoraggio dei consumi energetici



biciclette



automobili



monopattini

Altri?

# Note sui sistemi periferici

## ■ Sistemi periferici in Internet:

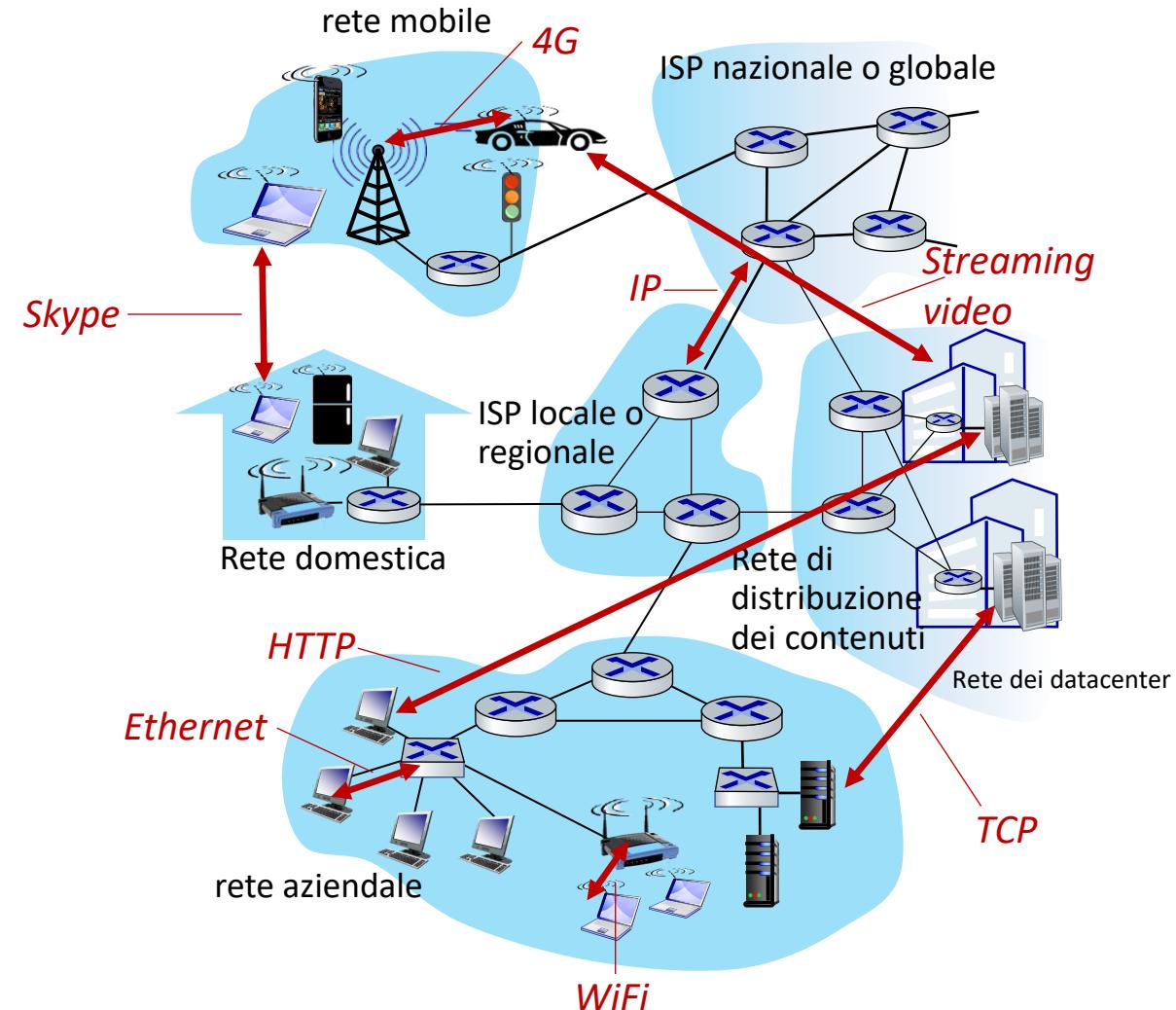
- PC desktop
- server (spesso raggruppati in cluster all'interno di data center)
- dispositivi mobili (es. computer portatili, smartphone e tablet)
- altri tipi di "cose" (*things*) che in passato non erano connesse (es. termostato!) -> il termine "rete di calcolatori" sta diventando obsoleto

The Internet of Things (IoT) refers to a network of physical devices, vehicles, appliances, and other physical objects that are embedded with sensors, software, and network connectivity, allowing them to collect and share data.

Fonte: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>

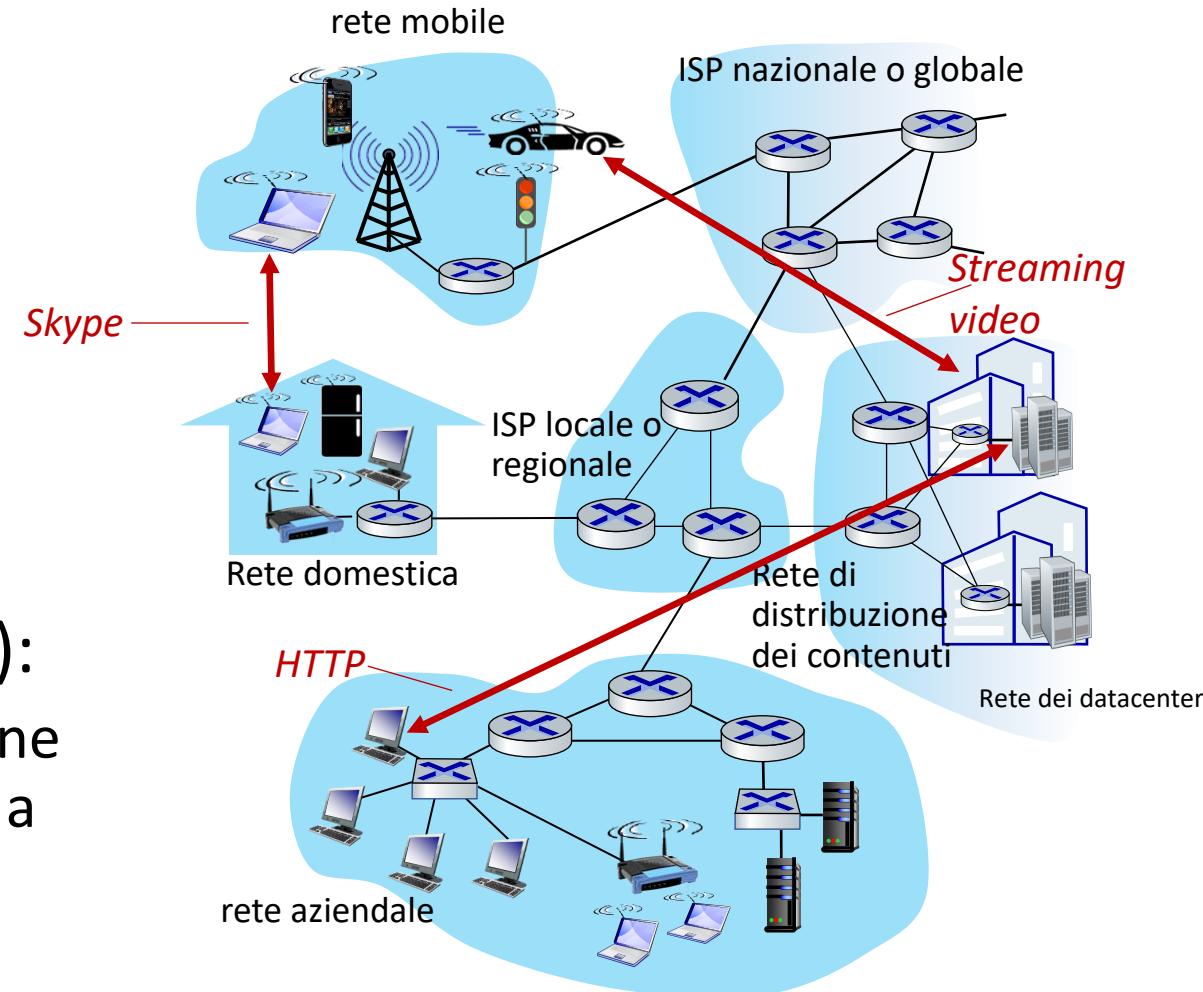
# Internet: descrizione degli “ingranaggi”

- *Internet: “rete di reti”*
  - ISP interconnessi
- *I protocolli sono ovunque*
  - Controllano l'invio e la ricezione dei messaggi
  - es., HTTP (Web), streaming video, Skype, TCP, IP, WiFi, 4/5G, Ethernet
- *Standard di Internet*
  - RFC: Request for Comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force
- *Altri enti di standardizzazione:* ad esempio, IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee (LMS), per Ethernet, wireless Wi-Fi e altro



# Internet: descrizione dei “servizi”

- Un'*infrastruttura* che fornisce servizi alle applicazioni:
  - Web, streaming di musica e video, sistemi di videoconferenza, email, giochi, e-commerce, social media, apparecchi interconnessi, ...
- Fornisce un'*interfaccia di programmazione* alle applicazioni distribuite (detta *interfaccia socket*):
  - consente a un programma in esecuzione su un host di recapitare un messaggio a un programma su un host differente
  - fornisce molte opzioni di servizio, analogamente al servizio postale



# Cos'è un protocollo

## *Protocolli umani:*

- “che ore sono?”
- “ho una domanda”
- presentazioni

Regole per:

- ... specifici messaggi inviati
- ... specifiche azioni da intraprendere alla ricezione di un messaggio o altri eventi (es. mancata ricezione di risposta in un tempo ragionevole)

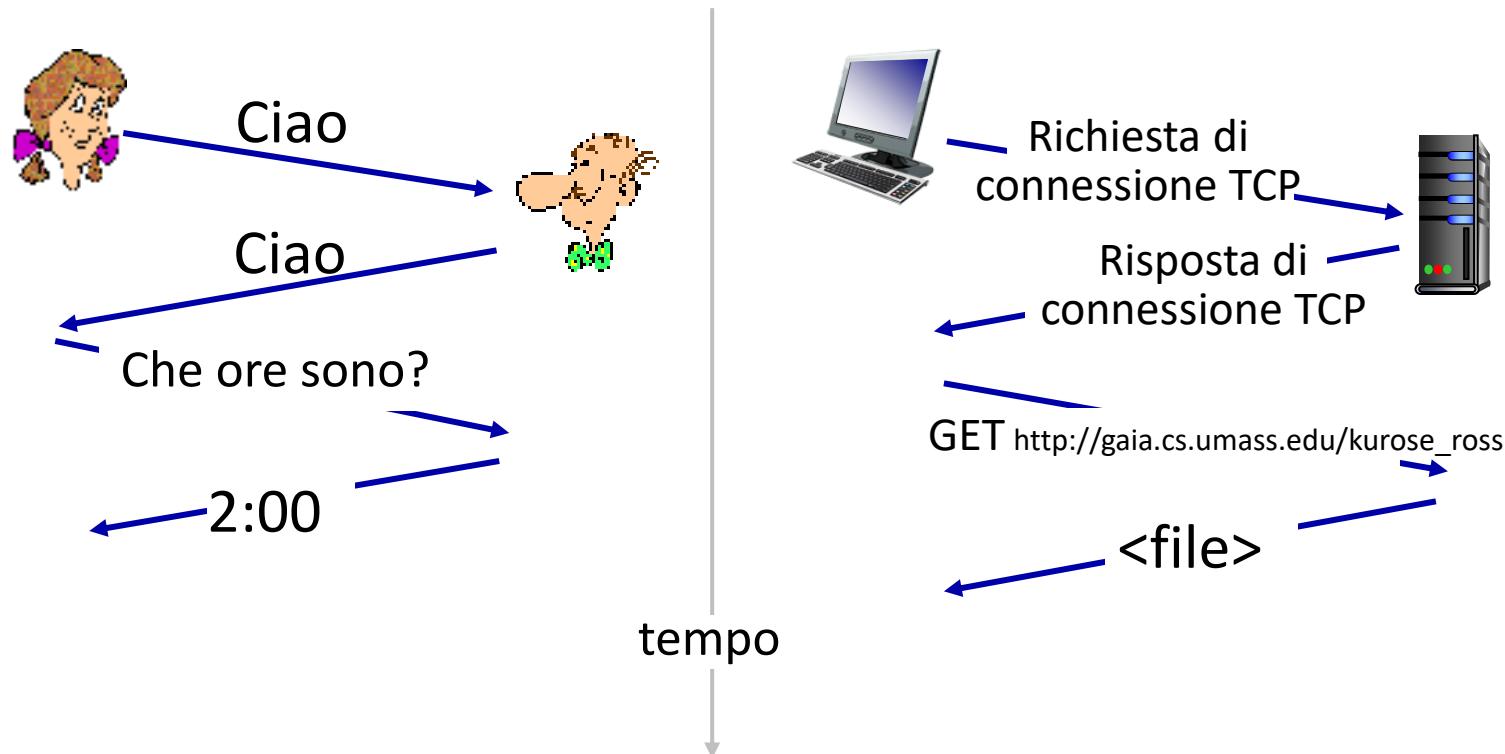
## *Protocolli di rete:*

- computer (dispositivi) al posto degli essere umani
- tutta l'attività di comunicazione in Internet è governata da protocolli

Un *protocollo* definisce il *formato* e *l'ordine dei messaggi scambiati* tra due o più entità in comunicazione, così come le *azioni intraprese* in fase di trasmissione e/o di ricezione di un messaggio o di un altro evento.

# Cos'è un protocollo

Un protocollo umano e un protocollo di rete



*D:* Conoscete altri protocolli umani?

# Capitolo 1: tabella di marcia

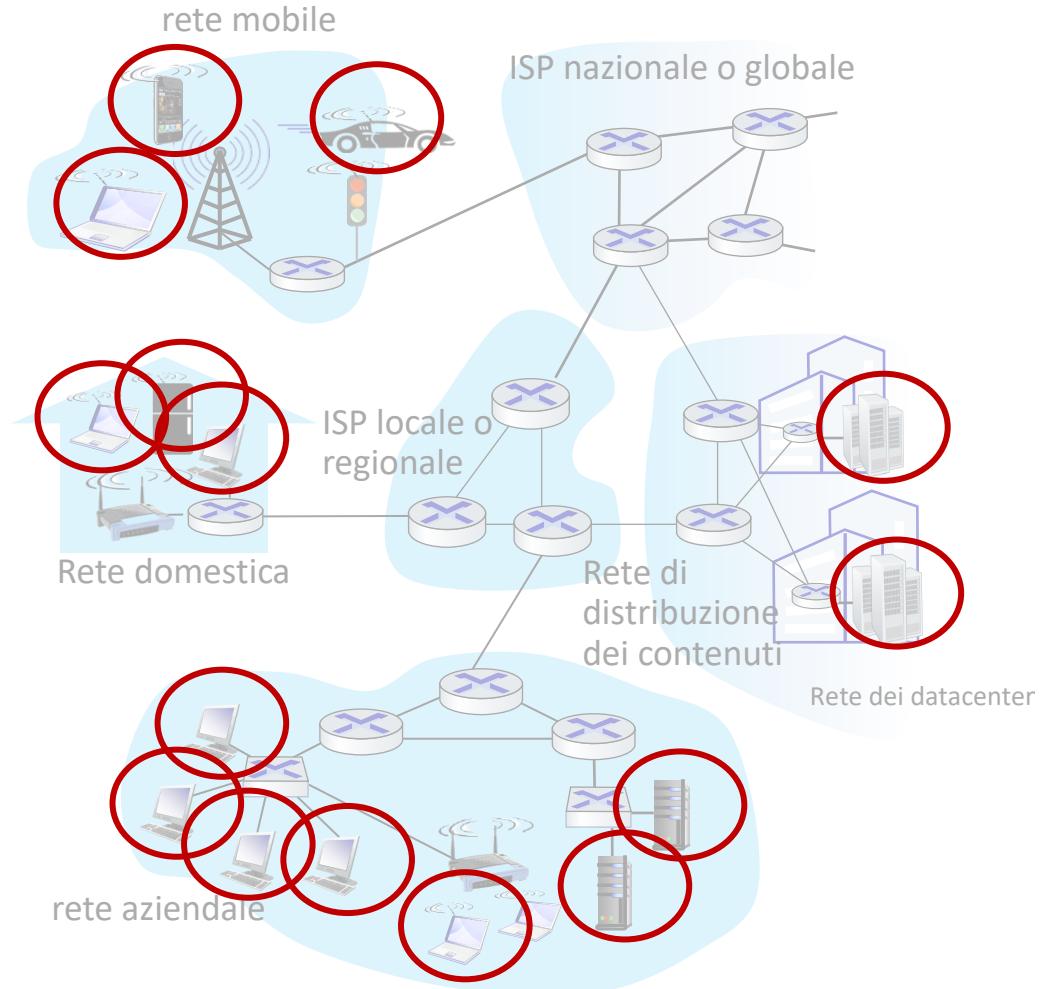
- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- **Ai confini della rete:** host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Un po' di storia



# Uno sguardo da vicino alla struttura di Internet

## Ai confini della rete:

- host: client (richiedono servizi) e server (erogano servizi)
- server spesso nei data center



# Intermezzo: cloud computing

"Il **cloud computing** consiste nella *distribuzione on-demand delle risorse IT tramite Internet*, con una *tariffazione basata sul consumo*. Piuttosto che acquistare, possedere e mantenere i data center e i server fisici, è possibile accedere a servizi tecnologici, quali *capacità di calcolo, archiviazione e database*, sulla base delle proprie necessità affidandosi a un fornitore cloud quale Amazon Web Services (AWS)."

fonte: <https://aws.amazon.com/it/what-is-cloud-computing/>

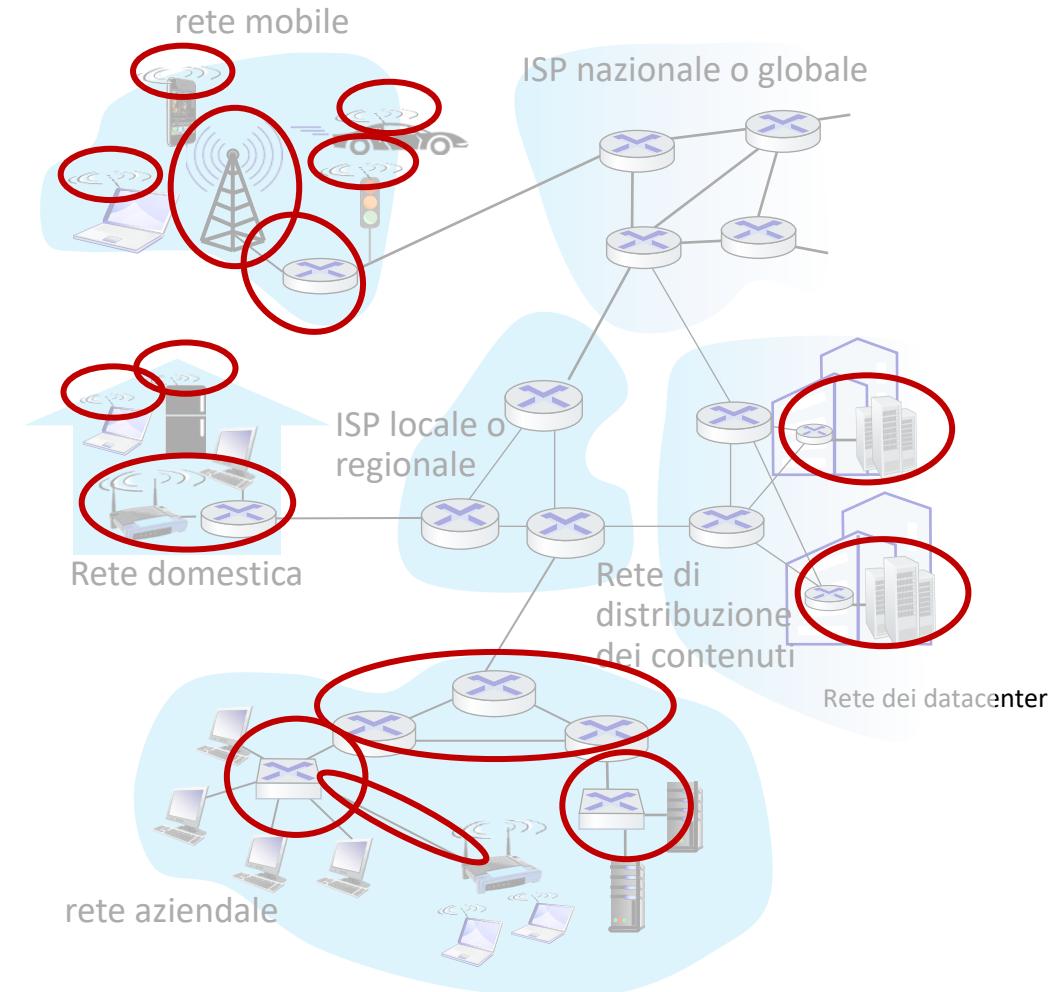
# Uno sguardo da vicino alla struttura di Internet

## Ai confini della rete:

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

## Reti di accesso, mezzi trasmissivi:

- collegamenti cablati e wireless



# Uno sguardo da vicino alla struttura di Internet

## Ai confini della rete:

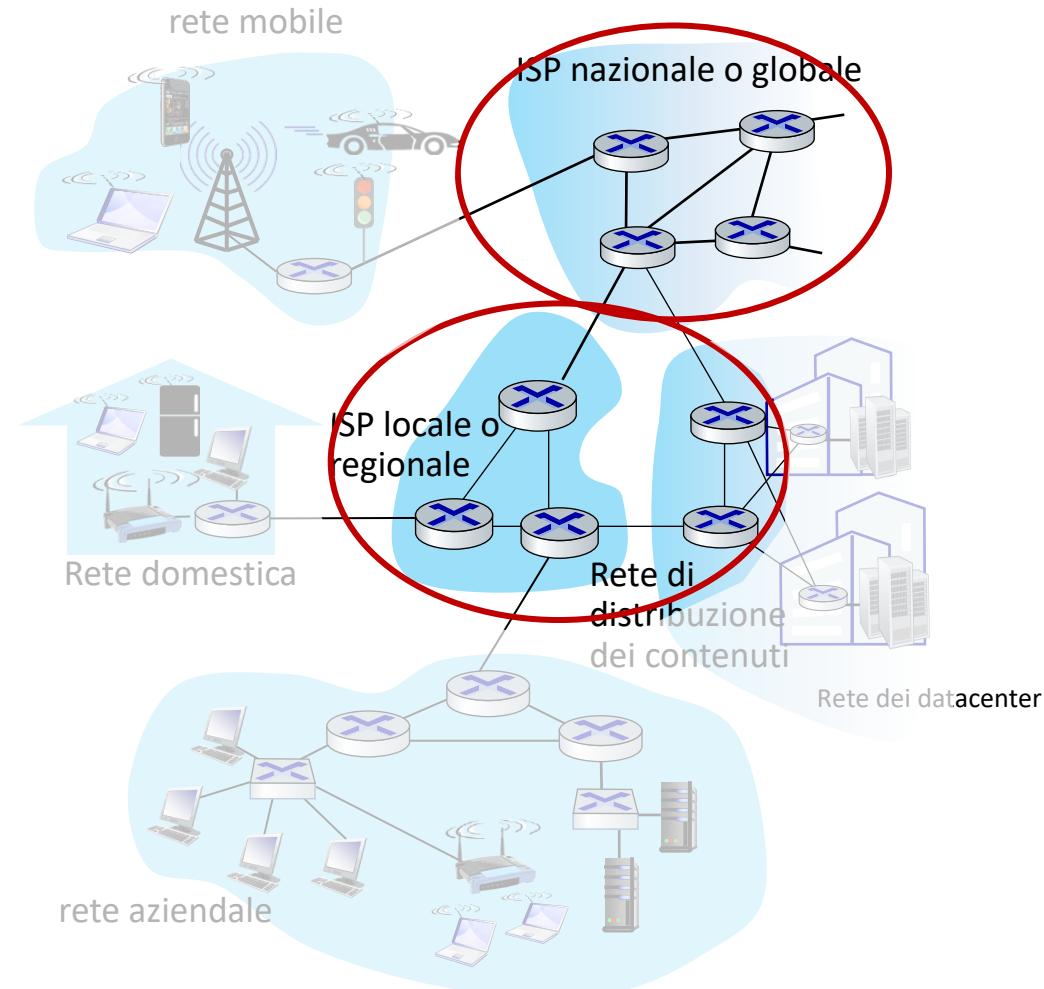
- host: client e server
- server spesso nei data center

## Reti di accesso, mezzi trasmissivi:

- collegamenti cablati e wireless

## Nucleo della rete:

- router interconnessi
- rete di reti



# Reti di accesso e mezzi trasmissivi

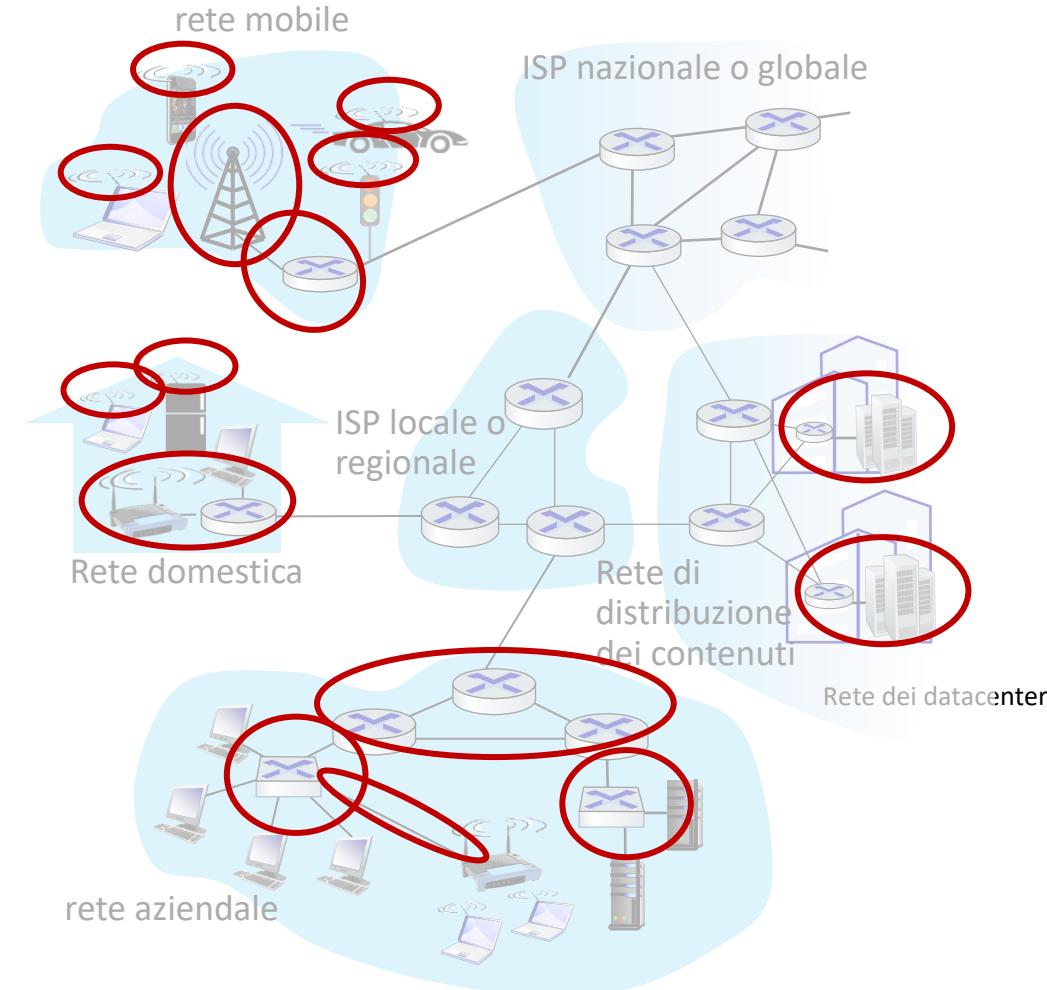
*D: Come collegare sistemi periferici e edge router (router di bordo)?*

- reti di accesso residenziali
- reti di accesso aziendale (scuole, aziende)
- reti di accesso mobile (WiFi, 4G/5G)

*edge router:* primo router sul percorso dal sistema d'origine a un qualsiasi altro sistema di destinazione collocato al di fuori della stessa rete di accesso.

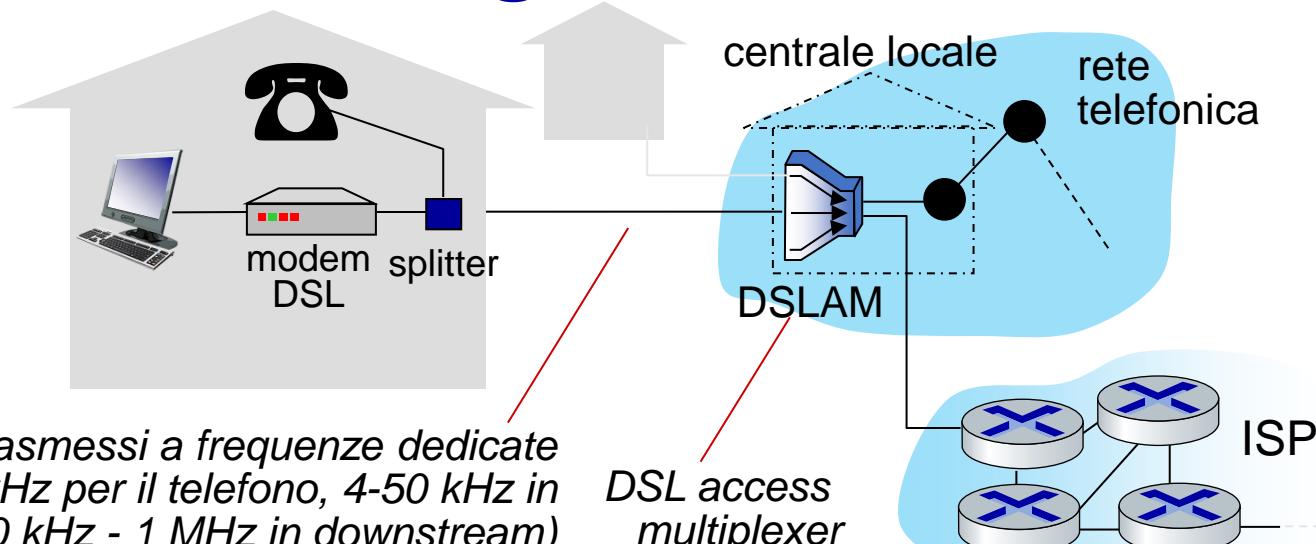
*Cosa guardare:*

- tasso o velocità di trasmissione (bit al secondo) della rete di accesso?
- accesso dedicato e condiviso tra gli utenti?



# Reti di accesso: digital subscriber line (DSL)

multiplexing a divisione di frequenza (FDM)



- utilizza la linea telefonica **esistente** (doppino di rame intrecciato) verso il DSLAM nella centrale locale
  - i dati data sulla linea telefonica DSL vanno su Internet
  - la voice sulla linea telefonica DSL vanno sulla rete telefonica
- asimmetrico (velocità effettive inferiori per limitazioni del provider, distanza, qualità materiale e interferenze):
  - 24-52 Mbps come tasso di trasmissione in downstream dedicato
  - 3.5-16 Mbps come tasso di trasmissione in upstream dedicato
  - l'ultimo standard fornisce un tasso aggregato in downstream e upstream di 1 Gbps

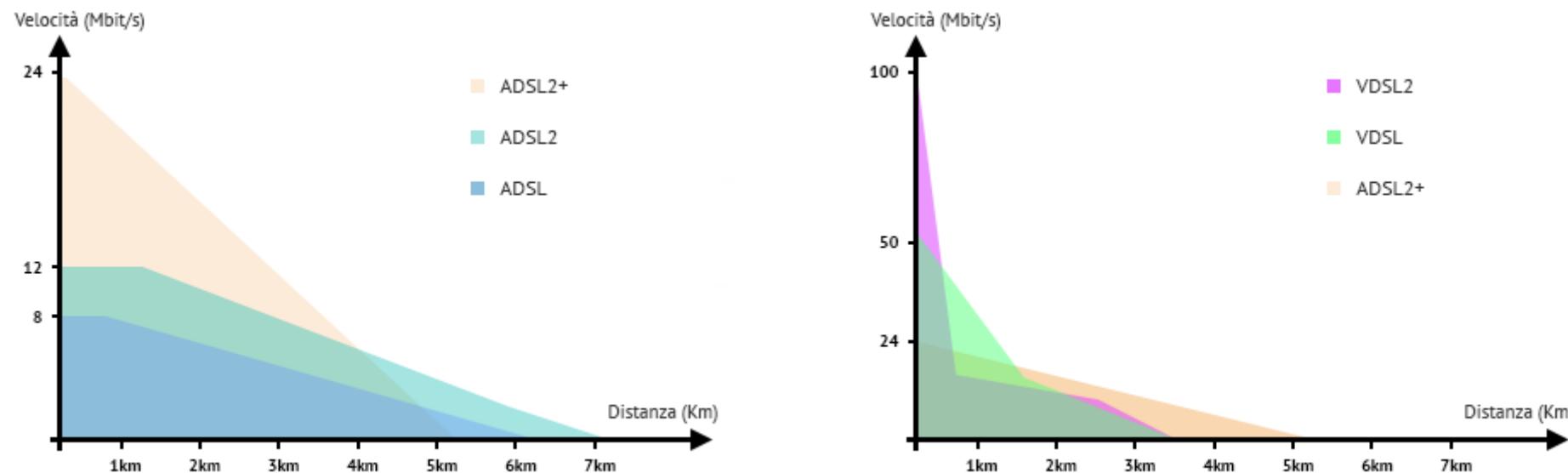
## Osservazione chiave:

Il doppino di rame intrecciato può trasmettere (su brevi distanze) segnali a frequenze molto più alte di quelle associate al segnale telefonico analogico (legato alle frequenze della voce umana) e che possono quindi essere usate per i dati

# Reti di accesso: digital subscriber line (DSL)

La tecnologia DSL si è concretizzata in diversi standard, quali le varie ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) e VDSL (Very High-Speed Digital Subscriber Line), caratterizzati da velocità (in download) crescenti a fronte di una maggiore sensibilità alla distanza.

Perciò, la VDSL trova spesso impiego nell'ultimo tratto di soluzioni "fibra mista rame" (vedi dopo).

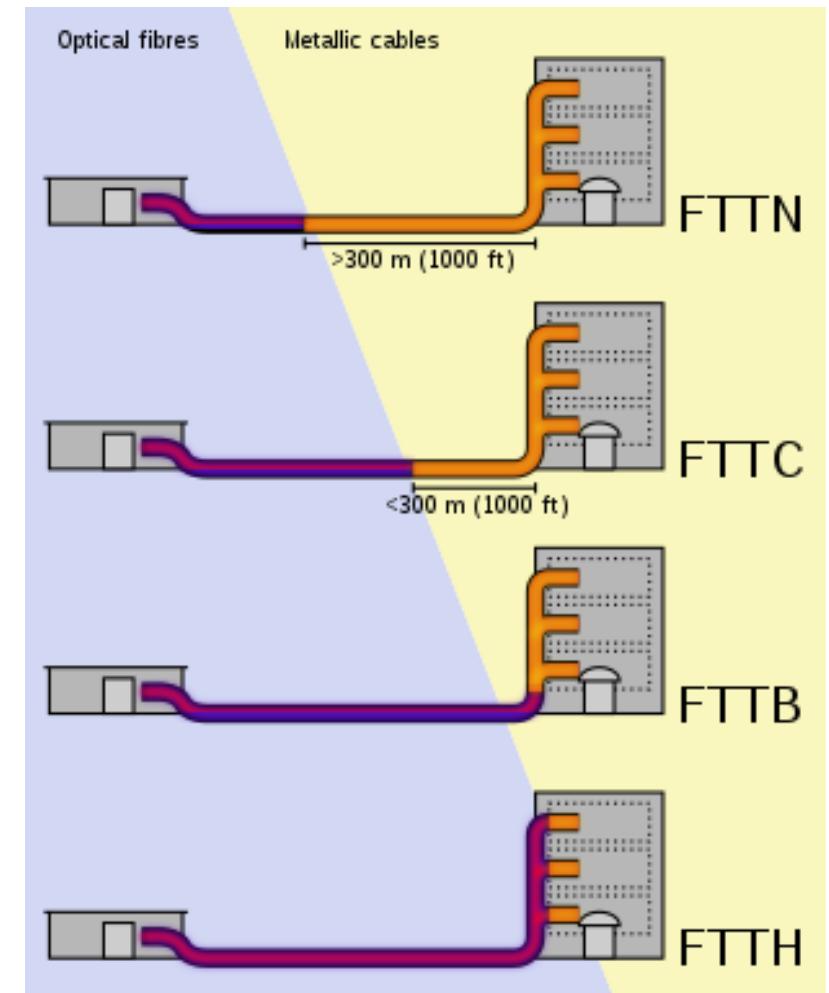


velocità massime teoriche in download delle diverse tecnologie DSL in funzione della distanza (lunghezza del cavo in rame). Fonte: <https://www.fastweb.it/adsl-fibra-ottica/rete-adsl/>

# Reti di accesso: FTTx

- FTTH - *Fiber-to-the-home* (1 Gbps in downlink)
- FTTB - *Fiber-to-the-building* o *Fiber-to-the-basement*
- FTTC o FTTS - *Fiber-to-the-cabinet* o *Fiber-to-the-street* (100/200 Mbps in downlink)
- FTTN - *Fiber-to-the-node*
- FTTR o FTTR - *Fiber-to-the wireless* o *Fiber-to-the-radio* (letteralmente "fibra fino alla base radio"):

Quanto più il collegamento ottico arriva vicino alla destinazione, tanto maggiore sarà la velocità raggiunta nell'ultimo tratto (es. attraverso le diverse tecnologie DSL)



fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/FTTx>

# Reti di accesso: FFTH

- Fibra diretta:

una singola fibra collega una centrale locale a un'abitazione

- Alternativa più comune:

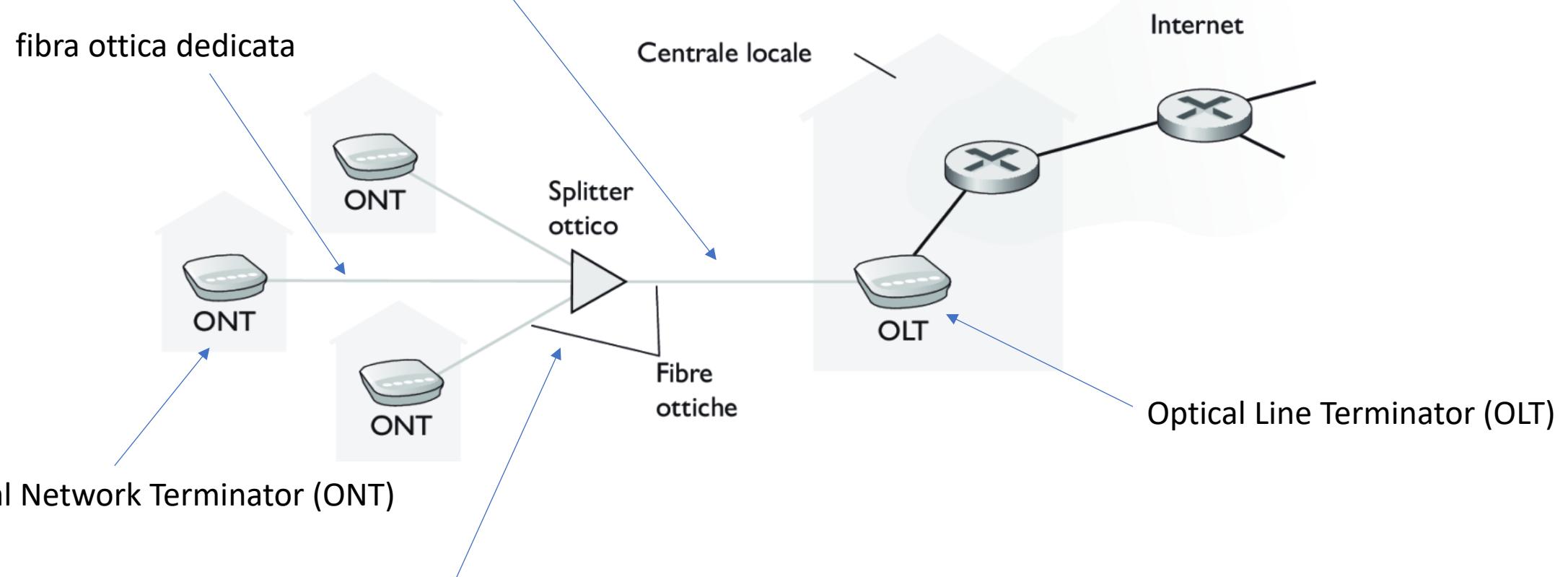
ciascuna fibra uscente dalla centrale locale è in effetti condivisa da più utenti e solo in prossimità di questi ultimi viene suddivisa in più fibre, una per ogni utente.

Due architetture:

- *Active Optical Network (AON)*: sono delle Ethernet commutate, con commutatori in grado di ricevere/trasmettere segnali ottici
- *Passive Optical Network (PON)*: usano splitter ottici non alimentati che trasmettono in broadcast verso gli utenti.

# Reti di accesso: FTTH di tipo PON

fibra ottica condivisa (2.5 Gbps downstream e 1.25 Gbps upstream nello standard GPON [gigabit-capable passive optical network])

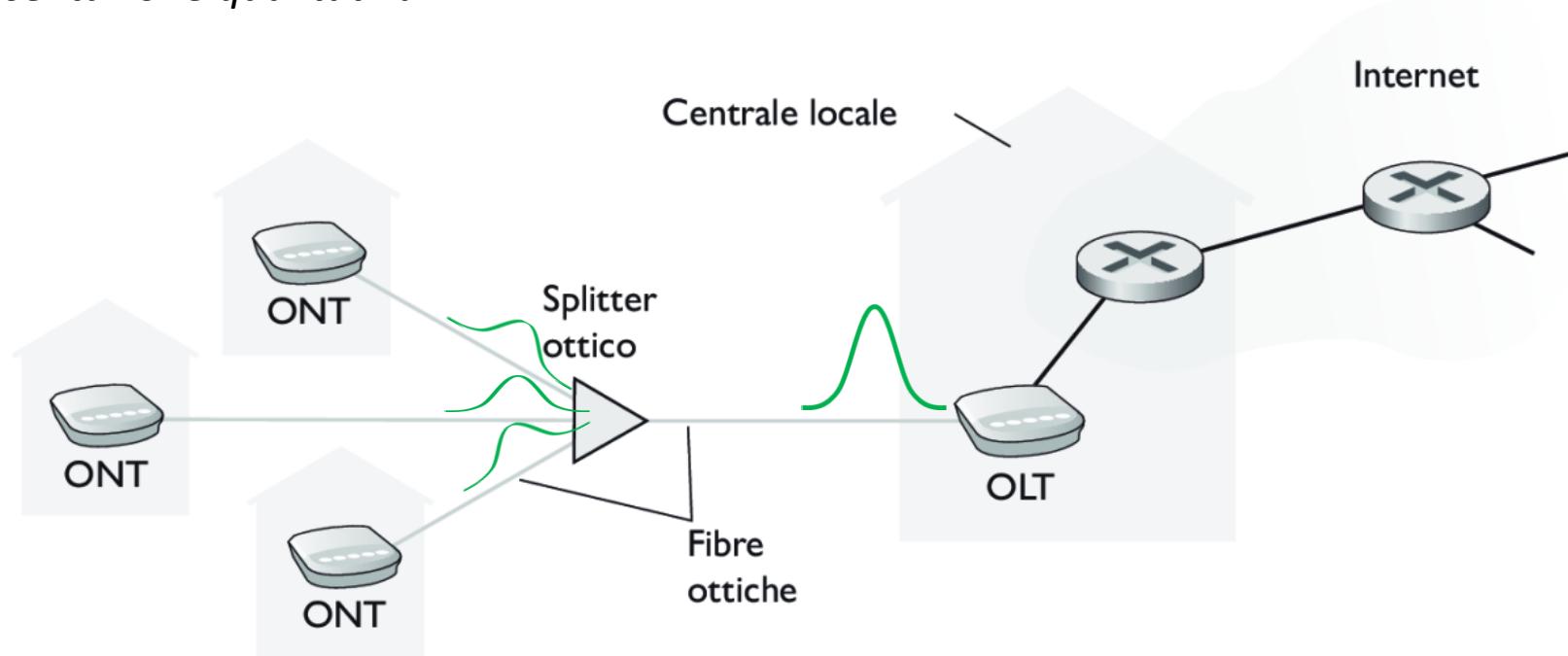


combina più abitazioni,  
generalmente meno di 100

- Il segnale proveniente dall'OLT è trasmesso in broadcast a tutti gli ONT
- I segnali provenienti dagli ONT sono combinati e inviati all'OLT

# Reti di accesso: FFTH di tipo PON

⚠ rappresentazione qualitativa

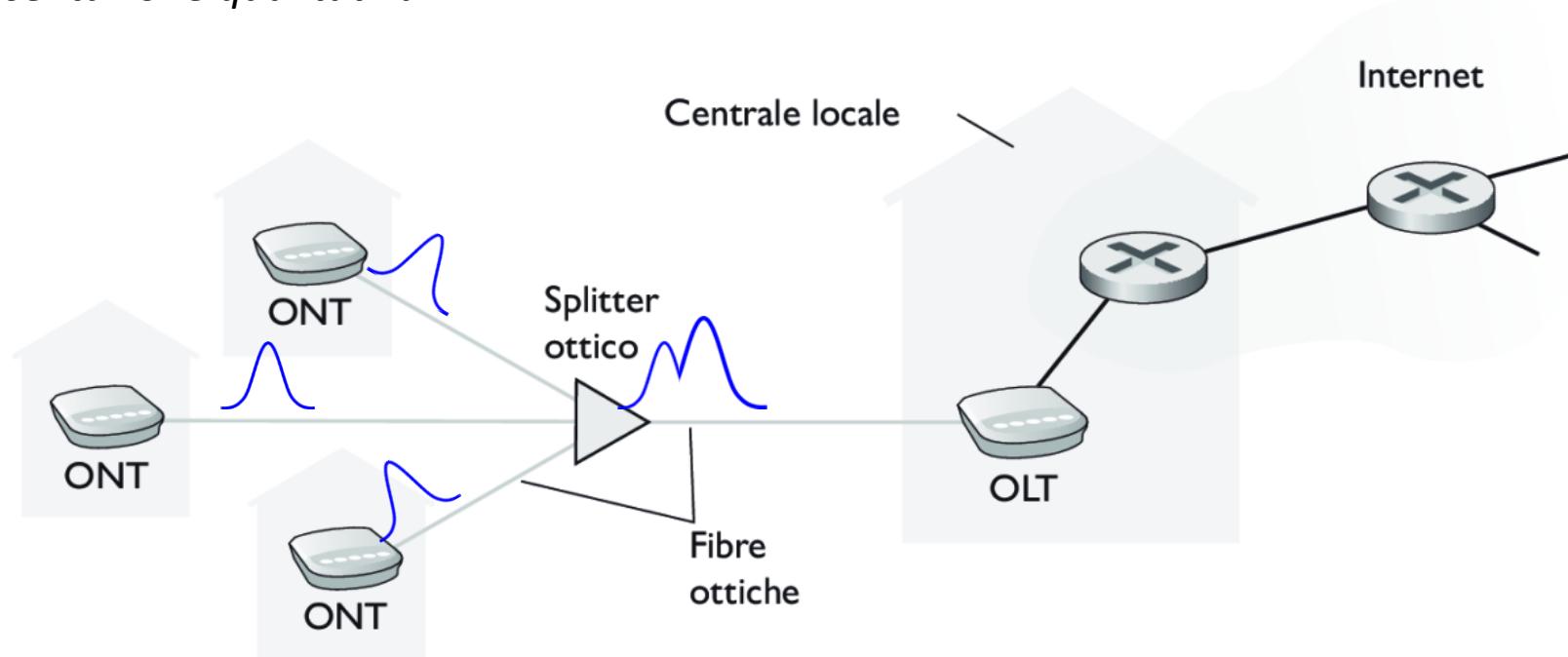


Lo splitter divide il segnale ottico proveniente dall'OLT distribuendone la potenza tra le varie uscite:

- l'OLT deve trasmettere con una potenza sufficiente, affinché la frazione ricevuta da ciascun ONT possa essere rilevata
- è necessario che il traffico sia cifrato per garantire la riservatezza delle comunicazioni (perché il segnale arriva a tutti gli ONT)

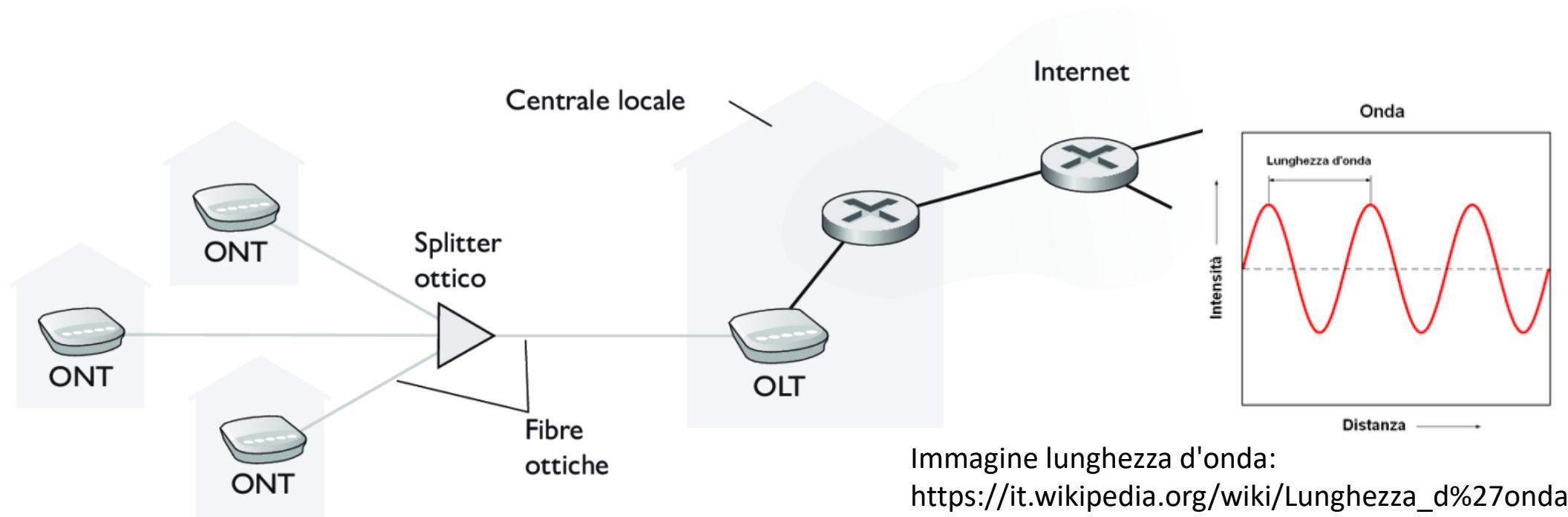
# Reti di accesso: FFTH di tipo PON

⚠ rappresentazione qualitativa



- I segnali ottici provenienti dagli ONT sono combinati dallo splitter ottico e possono *collidere*
- Occorre un protocollo di accesso multiplo: es. TDMA (time-division multiple access)

# Reti di accesso: FFTH di tipo PON

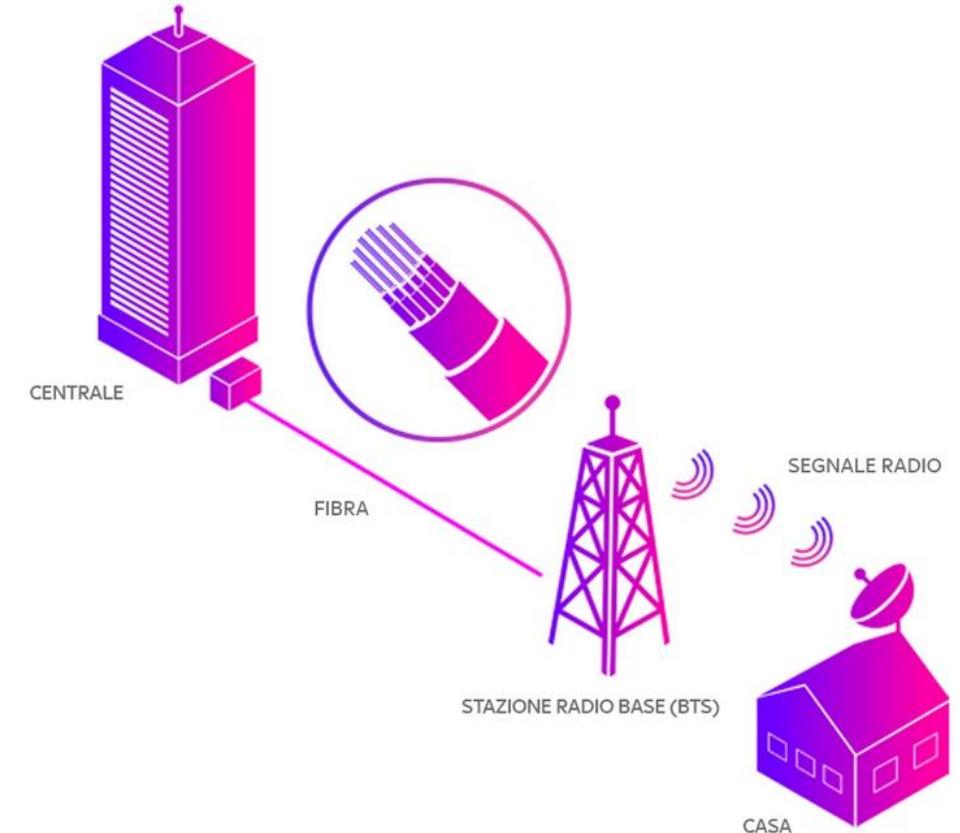


- gli impulsi di luce (generalmente non visibile) nelle direzioni upstream e downstream possono viaggiare contemporaneamente attraverso la fibra ottica perché usano frequenze (colori) differenti.
- la frequenza  $f$  di un'onda è legata alla sua lunghezza d'onda (*wavelength*)  $\lambda$ :  $\lambda = \frac{v}{f}$  dove  $v$  è la velocità di propagazione dell'onda (in un determinato mezzo)
- nell'ambito delle comunicazioni ottiche si preferisce parlare di wavelength-division multiplexing

# Reti di accesso: Fixed Wireless Access (FWA)

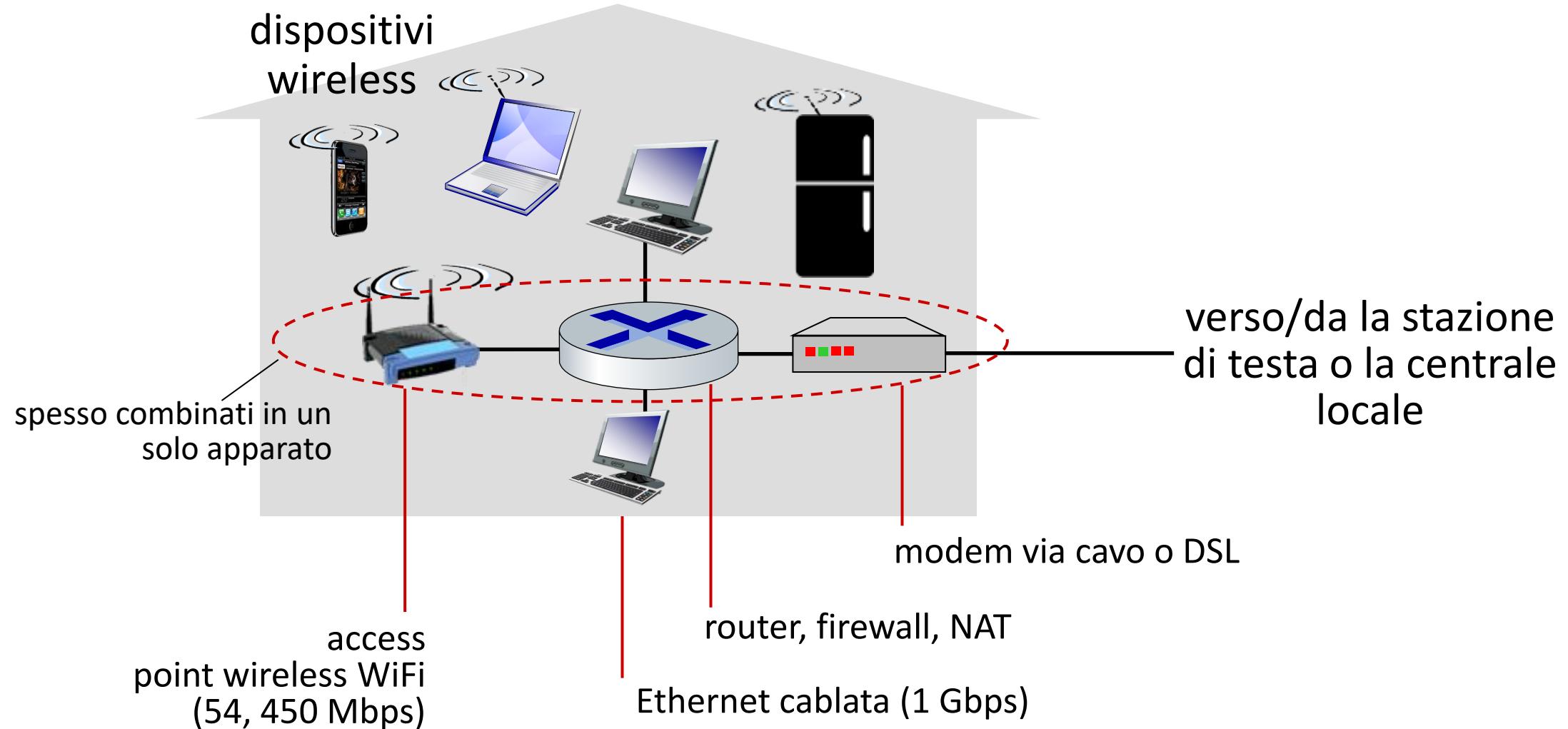
- Rete mista: fibra, radio
- Raggiungere i clienti con:
  - una rete a banda larga, ossia con velocità fino a 30 Mbps
  - una rete a banda ultralarga, ossia con velocità fino a 100 Mbps

Può impiegare varie tecnologie radio, incluso il 5G



fonte: <https://www.sky.it/sky-wifi-fibra/tipologie-connessioni/fwa>

# Reti di accesso: reti domestiche



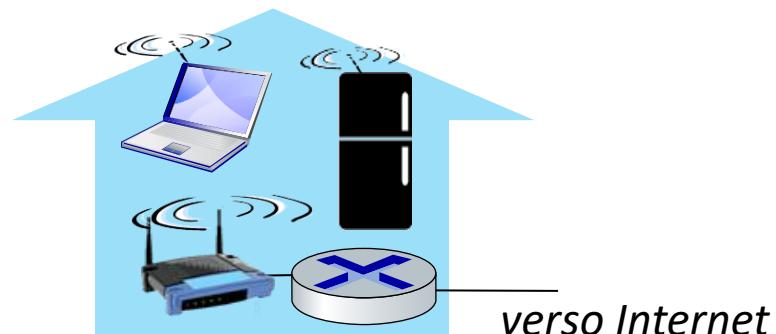
# Reti di accesso wireless

Una rete condivisa d'accesso *wireless* collega i sistemi periferici al router

- attraverso la base station (stazione base) anche conosciuta come “access point” (punto d'accesso)

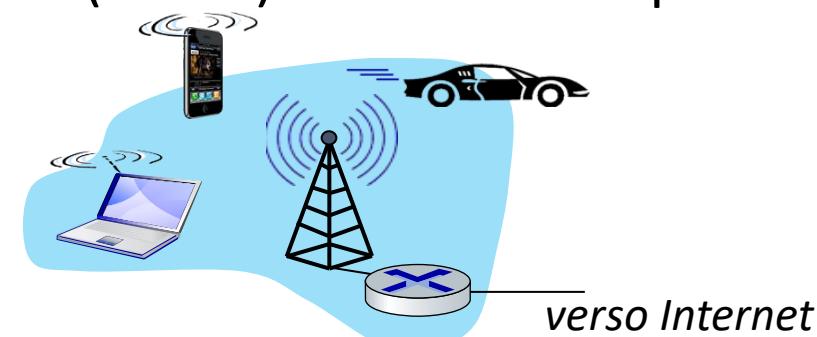
## Reti Locali Wireless (Wireless local area networks (WLANS))

- Tipicamente all'interno o intorno di edifici (~100 metri)
- 802.11b/g/n (WiFi): tasso di trasmissione a 11, 54, 450 Mbps

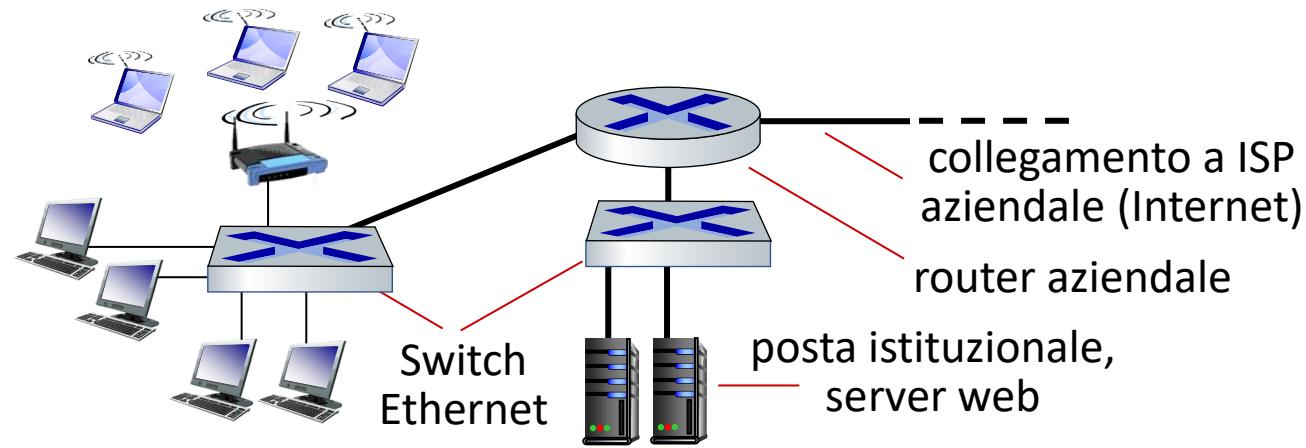


## Accesso wireless su scala geografica

- fornito dagli operatori di reti mobili (decine di km)
- decine di Mbps
- reti cellulari 4G (5G in arrivo): 4G Plus (o 4G+) fino a 300 Mbps



# Reti di accesso: accesso aziendale



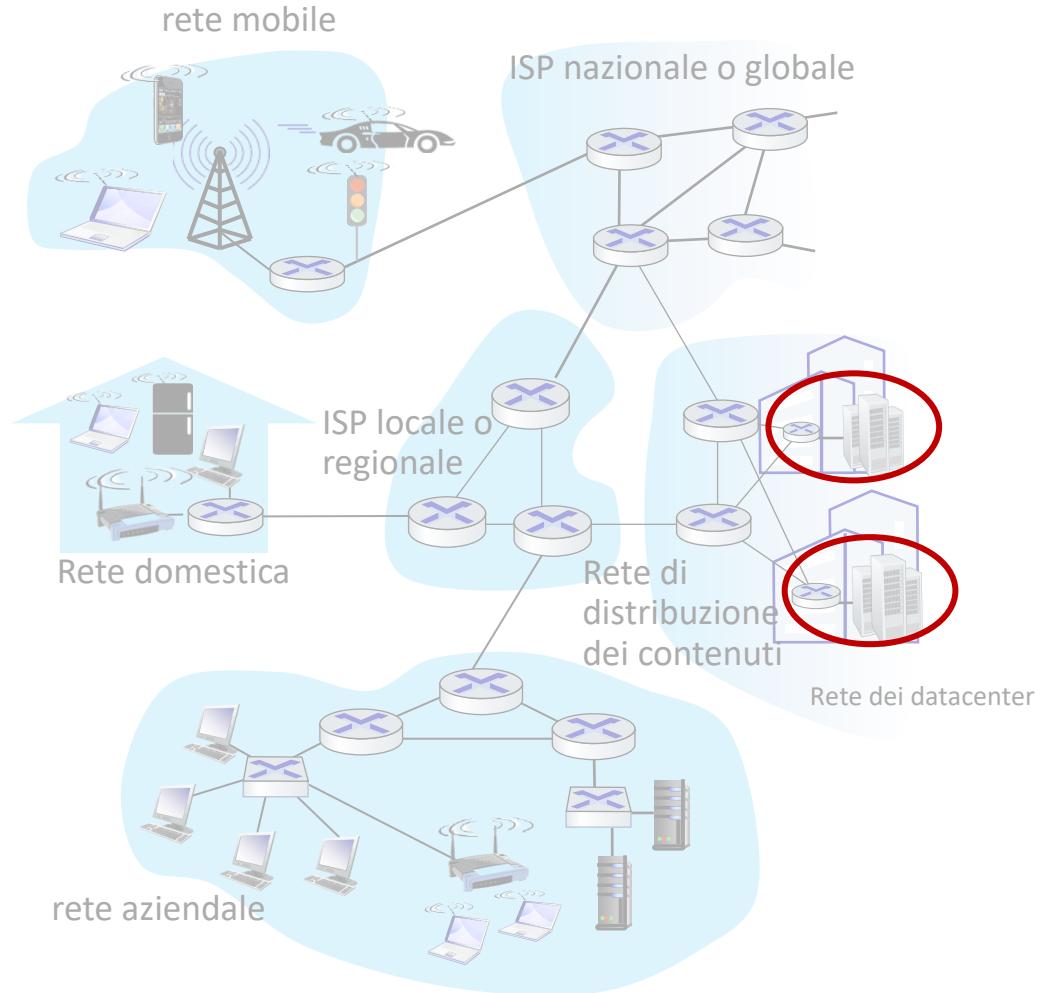
- aziende, università, ecc.
- misto di tecnologie di collegamento cablato e wireless, che collegano un mix di switch e router (discuteremo le differenze a breve)
  - Ethernet: accesso cablato a 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
  - WiFi: accesso wireless a 11, 54, 450 Mbps

# Reti di accesso: reti dei data center

- I collegamenti ad alta larghezza di banda (da decine a centinaia di Gbps) collegano centinaia o migliaia di server tra loro e a Internet.



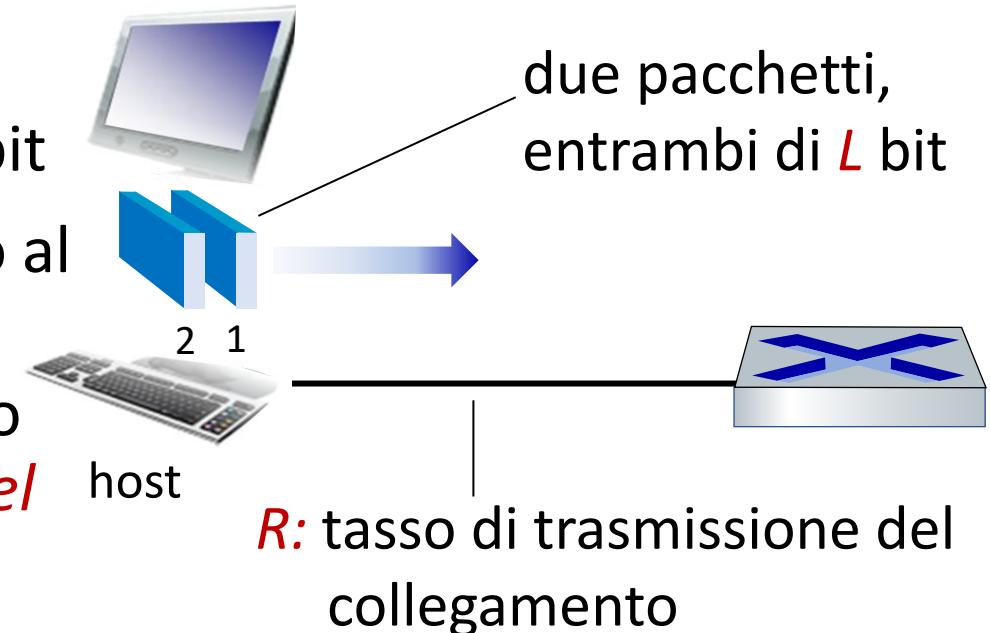
*Per gentile concessione: Massachusetts Green High Performance Computing Center (mghpcc.org)*



# Host: invio dei *pacchetti* di dati

funzione di invio dell'host:

- prende il messaggio dell'applicazione
- lo suddivide in frammenti più piccoli, conosciuti come *pacchetti*, di lunghezza  $L$  bit
- Trasmette il pacchetto nella rete di accesso al *tasso di trasmissione R*
  - tasso di trasmissione del collegamento, o *capacità* del link, *o ampiezza di banda del collegamento*



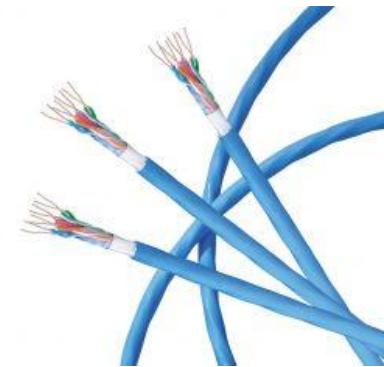
$$\text{ritardo di trasmissione del pacchetto} = \frac{\text{tempo necessario per trasmettere pacchetti di } L \text{ bit nel collegamento}}{R \text{ (bit/s)}}$$

# Collegamenti: mezzi trasmissivi

- **bit**: si propaga tra coppie trasmettitore/ricevitore
- **mezzo fisico**: cosa c'è tra trasmettitore e ricevitore
- **mezzo vincolato (guided media)**:
  - i segnali si propagano in un mezzo solido: rame, fibra ottica, cavo coassiale
- **mezzo non vincolato (unguided media)**:
  - i segnali si propagano liberamente, es., radio

## Doppino di rame intrecciato (Twisted pair (TP))

- Due fili di rame isolati
  - Categoria 5: 100 Mbps, 1 Gbps Ethernet
  - Categoria 6: 10Gbps Ethernet (distanze inferiori a un centinaio di metri)



# Collegamenti: mezzi trasmissivi

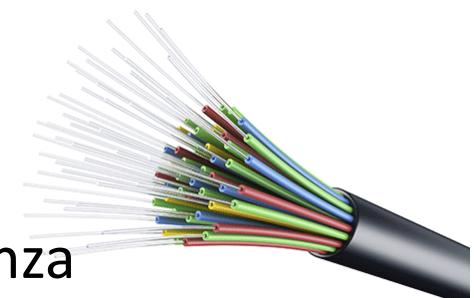
## Cavo coassiale:

- due conduttori di rame concentrici
- bidirezionale
- banda larga:
  - canali di frequenza multipli sul cavo
  - centinaia di Mbps per canale



## Cavo in fibra ottica:

- mezzo sottile e flessibile che conduce impulsi di luce, ciascuno dei quali rappresenta un bit
- elevata velocità trasmissiva:
  - trasmissione punto-punto ad alta velocità (fino a decine e centinaia di Gbps)
- attenuazione di segnale molto bassa nel raggio di 100 chilometri
- basso tasso di errore:
  - ripetitori distanziati
  - immune all'interferenza elettromagnetica



# Collegamenti: mezzi trasmissivi

## Canali radio

- trasportano segnali nello spettro elettromagnetico
- non richiedono l'installazione fisica di cavi
- broadcast, “half-duplex”
- effetti dell'ambiente di propagazione:
  - riflessione
  - ostruzione da parte di ostacoli
  - interferenza

## Tipi di canali radio:

- **Wireless LAN (WiFi)**
  - decine/centinaia di Mbps; decine di metri
- **wide-area** (es., 4G/5G)
  - decine di Mbps (4G) su ~10 Km
  - 4G Plus (o 4G+) fino a 300 Mbps
- **Bluetooth:** sostituzione dei cavi
  - distanze brevi, velocità limitate
- **microonde terrestri**
  - punto-punto; canali fino a 45 Mbps
- **satellitari**
  - fino a ~100 Mbps (Starlink) in downlink
  - ritardo da ~20 ms (orbita bassa) a 270 ms (geostazionari)

# Satelliti per le telecomunicazioni

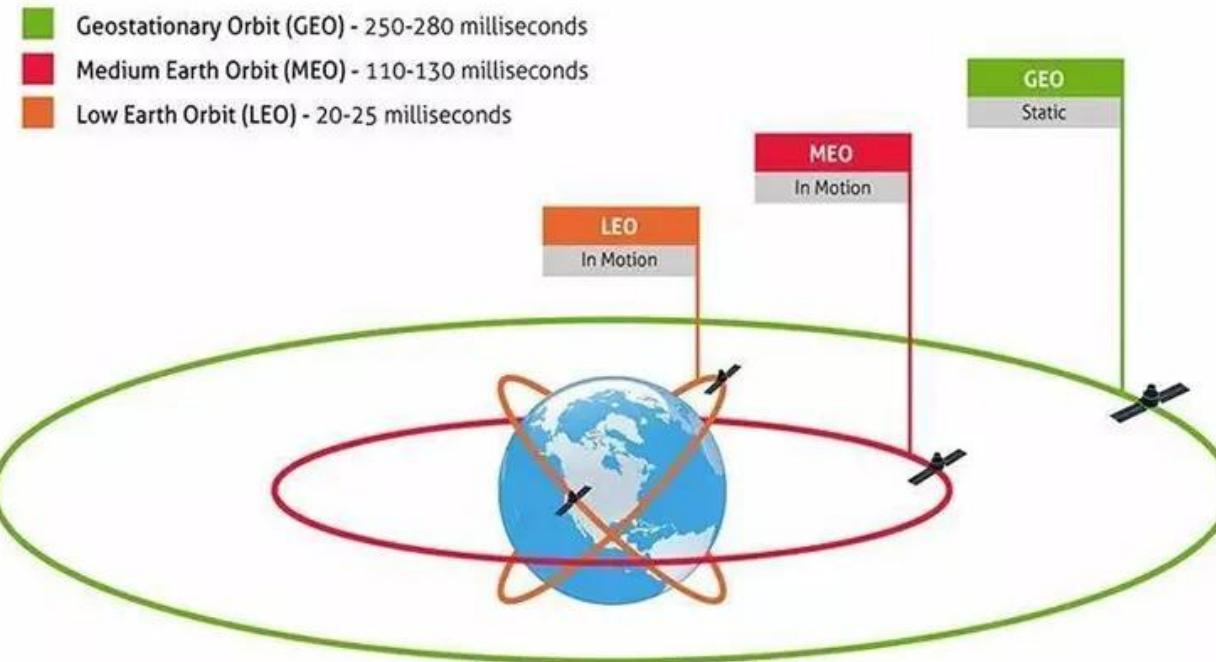


Immagine: <https://www.diteltech.com/info-detail/differences-between-leo-and-geo-satellites>

Un satellite funge da ripetitore tra due o più trasmettitori terrestri a microonde, noti come stazioni a terra (*ground station*). Nota: i satelliti a bassa quota possono anche comunicare tra loro.

per approfondire: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Types\\_of\\_orbits](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits)

## Satellite in orbita GEO:

- sincronizzato con la rotazione terrestre: immobile nel cielo
- solo orbita equatoriale
- ampia copertura: sono sufficienti 3 satelliti equidistanti per una copertura quasi globale
- elevata latenza

## Satellite in orbita LEO:

- non deve seguire un'orbita equatoriale
- si sposta velocemente nel cielo: necessità di operare in una costellazione per avere copertura continuativa di una certa area

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"  
Laurea in Informatica

Sistemi Operativi e Reti  
(modulo Reti)  
a.a. 2024/2025

# Introduzione (parte2)

dr. Manuel Fiorelli

[manuel.fiorelli@uniroma2.it](mailto:manuel.fiorelli@uniroma2.it)

<https://art.uniroma2.it/fiorelli>

Basate sulle slide del libro di testo:

[https://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/ppt.php](https://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/ppt.php)

Introduction: 1-38

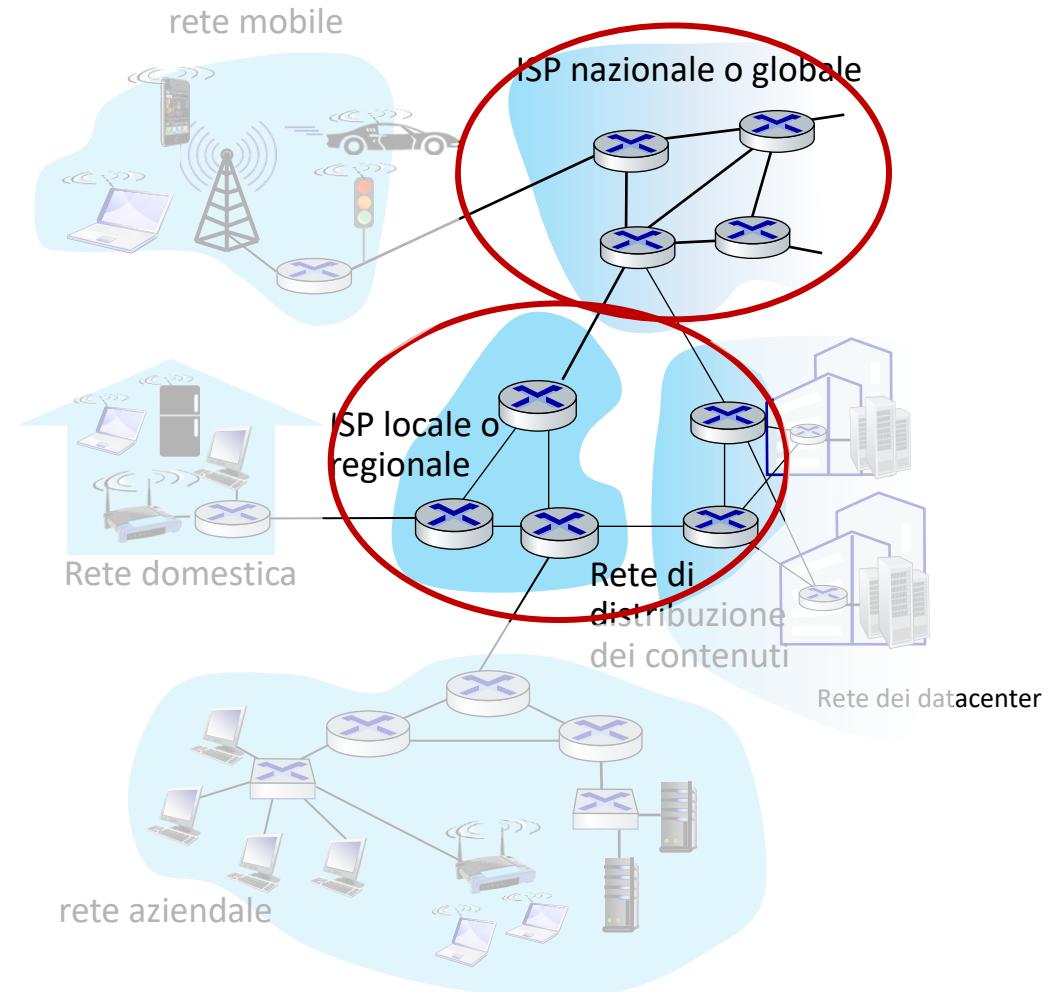
# Capitolo 1: tabella di marcia

- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- Ai confini della rete: host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- **Il nucleo della rete:** commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Un po' di storia



# Il nucleo della rete

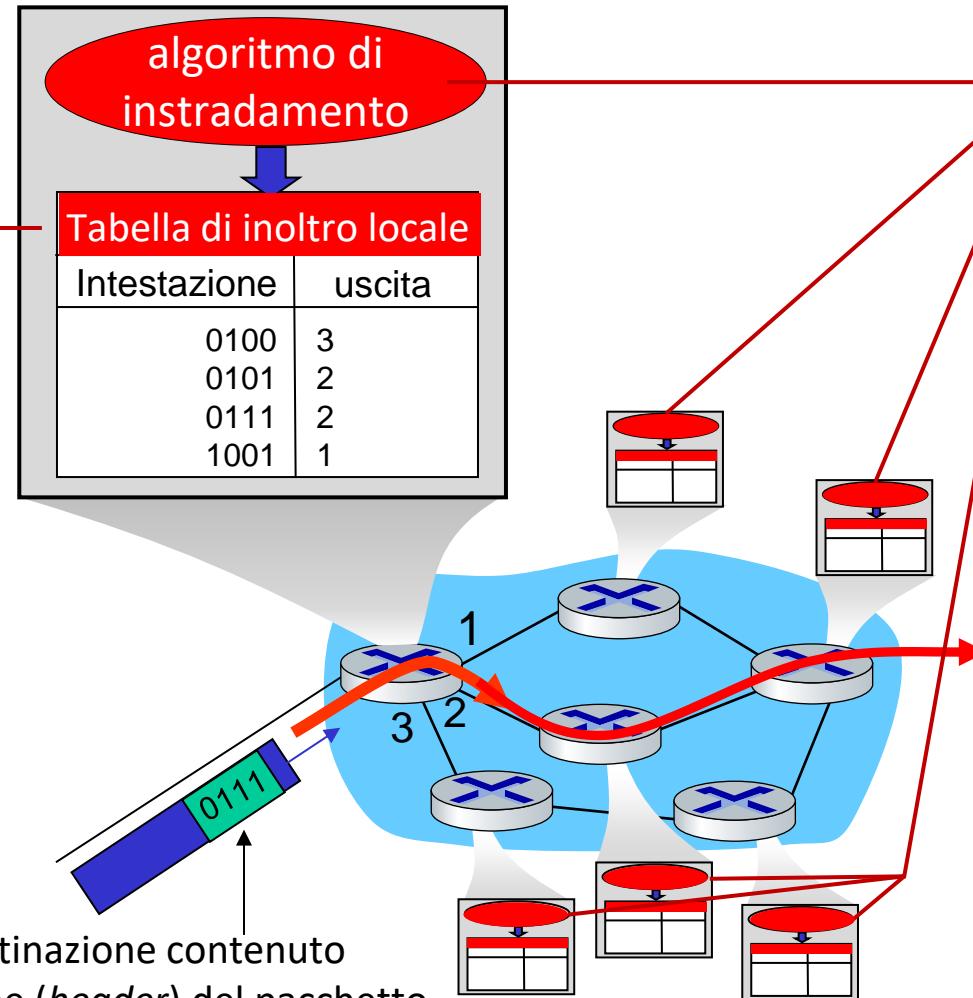
- una maglia (mesh) di commutatori di pacchetto e collegamenti che interconnettono i sistemi periferici di Internet
- **commutazione di pacchetto (packet-switching)**: i sistemi periferici suddividono i messaggi di livello applicativo in **pacchetti (packet)** (*comprensivi di un'intestazione*)
  - la rete **inoltra (forward)** i pacchetti da un router al successivo attraverso i collegamenti (*link*), lungo un **percorso (path o route)** dalla sorgente alla destinazione
  - I pacchetti sono inoltrati *indipendentemente, senza prenotazione delle risorse*



# Due funzioni chiave del nucleo della rete

*Inoltro (forwarding):*

- o “switching”
- *azione locale*: sposta i pacchetti in arrivo al collegamento di ingresso del router al collegamento di uscita appropriato

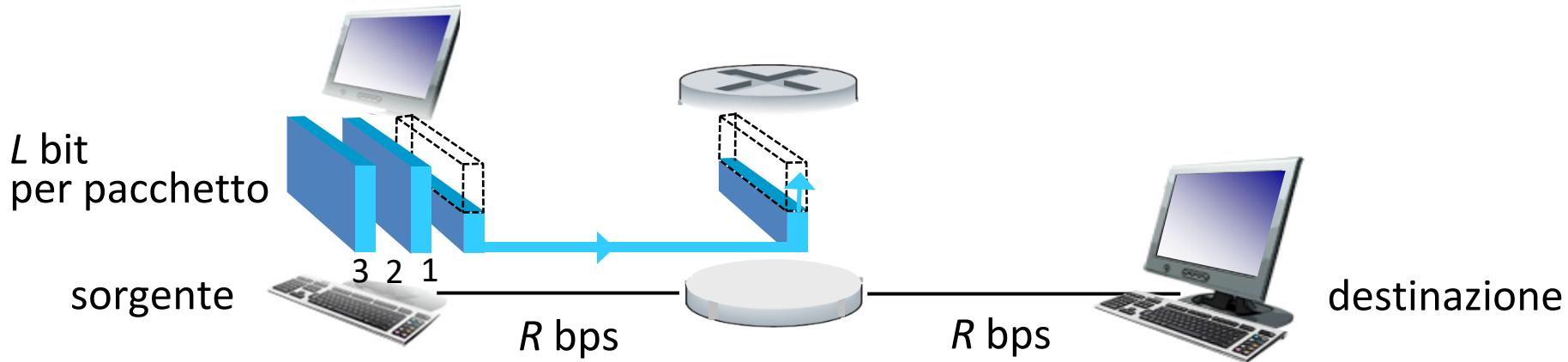


indirizzo di destinazione contenuto  
nell'intestazione (*header*) del pacchetto  
in arrivo

*Instradamento (routing):*

- azione *globale*: determina i percorsi presi dai pacchetti dalla sorgente alla destinazione
- algoritmi di instradamento

# Commutazione di pacchetto: store-and-forward



- **ritardo (delay) di trasmissione:** servono  $L/R$  secondi per trasmettere (transmit) pacchetti di  $L$  bit attraverso un collegamento a  $R$  bps
- ***store and forward*:** il router deve aver ricevuto l'*intero* pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita

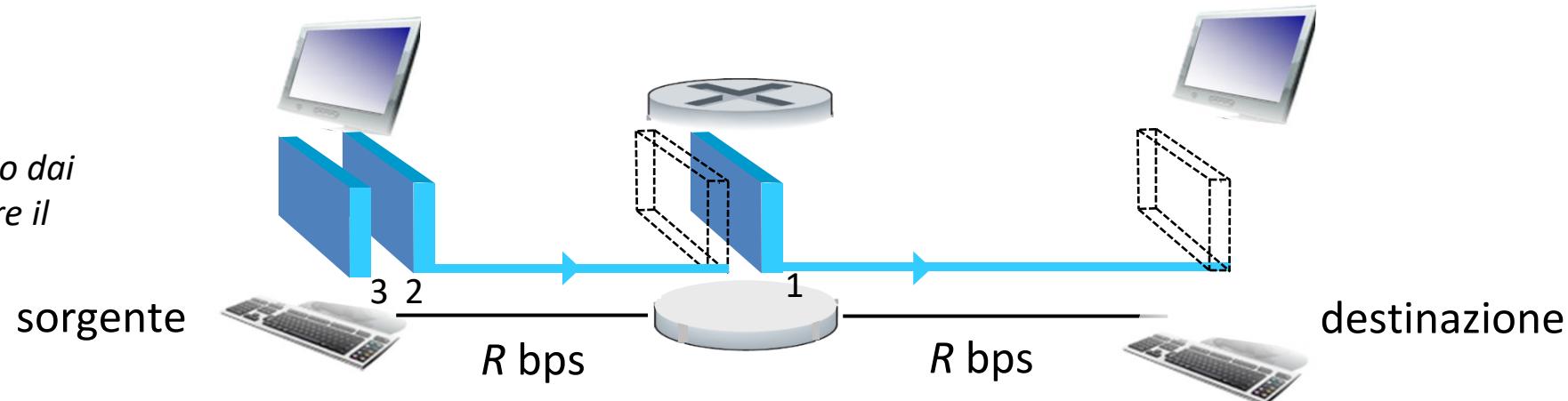
*Esempio numerico "one-hop":*

- $L = 10 \text{ kbit}$
- $R = 100 \text{ Mbps}$
- Ritardo di trasmissione "one-hop"  
$$= \frac{10 \text{ kbit}}{100 \text{ Mbps}} = \frac{10 \cdot 10^3 \text{ bit}}{100 \cdot 10^6 \frac{\text{bit}}{\text{s}}} = 0.1 * 10^{-3} \text{ s} = 0.1 \text{ ms}$$

# Commutazione di pacchetto: store-and-forward (cont.)

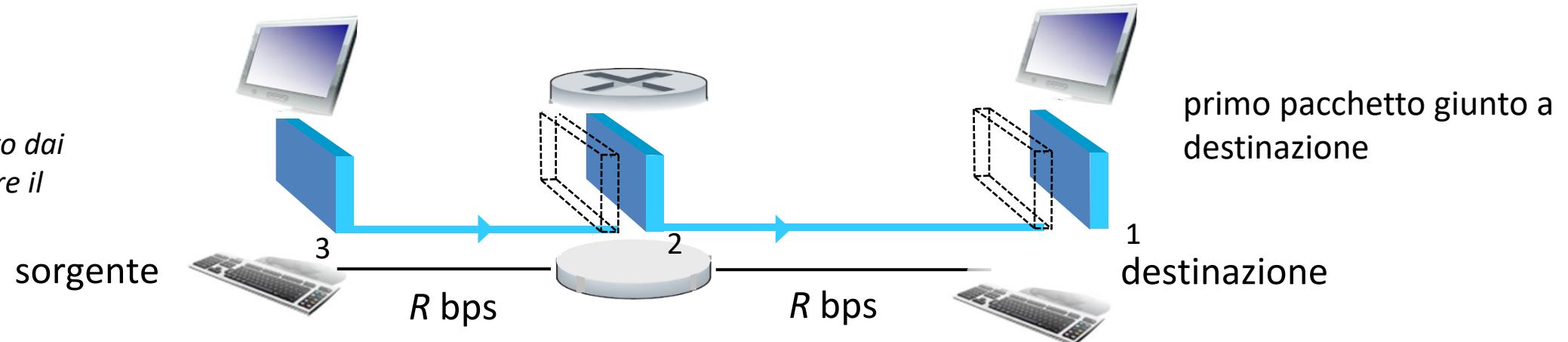
$$T = L/R$$

*Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento*



$$T = 2L/R$$

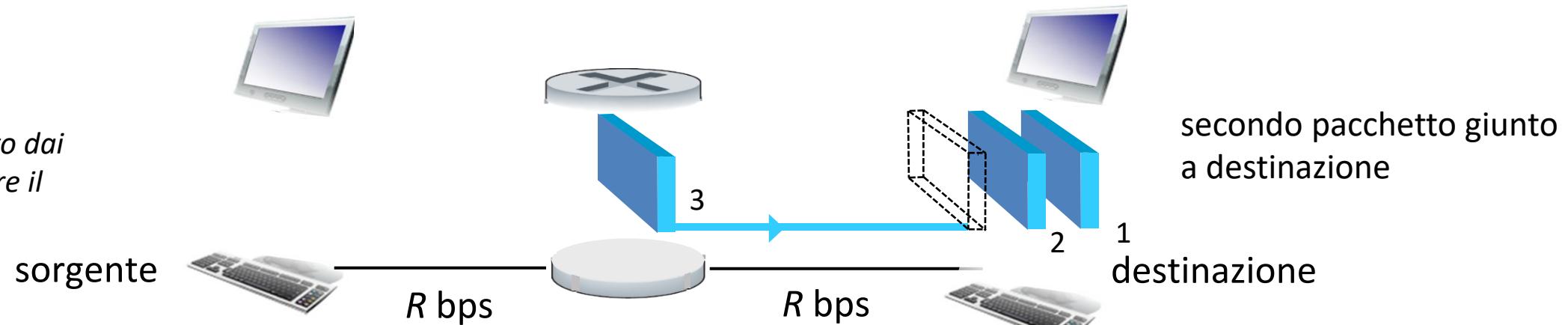
*Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento*



# Commutazione di pacchetto: store-and-forward (cont.)

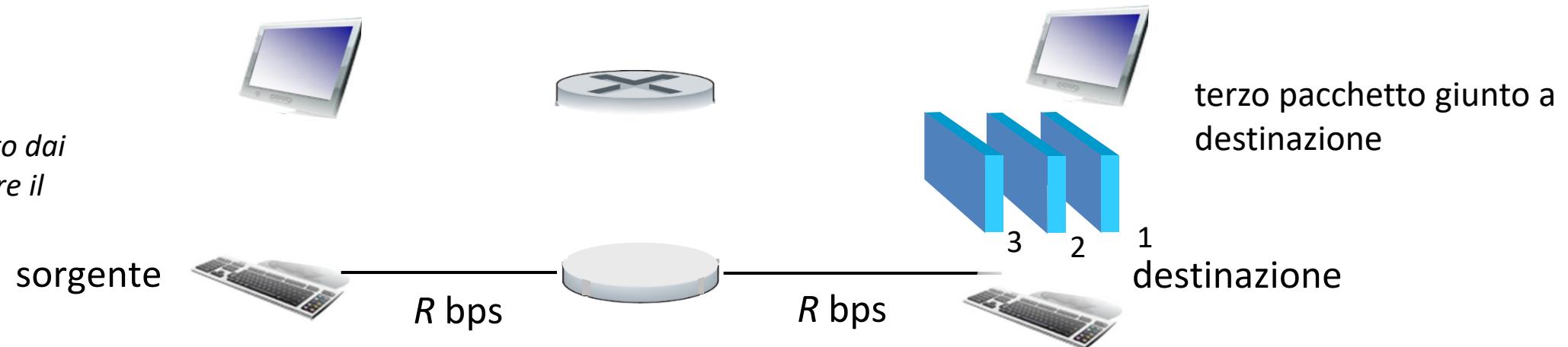
$$T = 3L/R$$

*Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento*



$$T = 4L/R$$

*Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento*



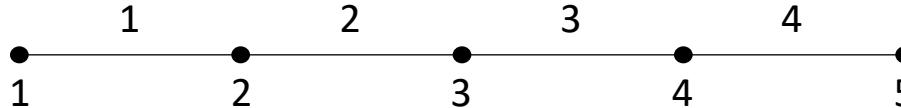
# Commutazione di pacchetto: store-and-forward (cont.)

Ritardo da un capo all'altro (end-to-end) per la trasmissione di 1 pacchetto su un percorso di N collegamenti di pari velocità R:

$$d_{end-to-end} = N \frac{L}{R}$$

**Trascurando il ritardo di propagazione e altre forme di ritardo.**

Non confondete il numero di collegamenti N con il numero di nodi: questi ultimi sono N + 1



# Commutazione di pacchetto: store-and-forward (cont.)

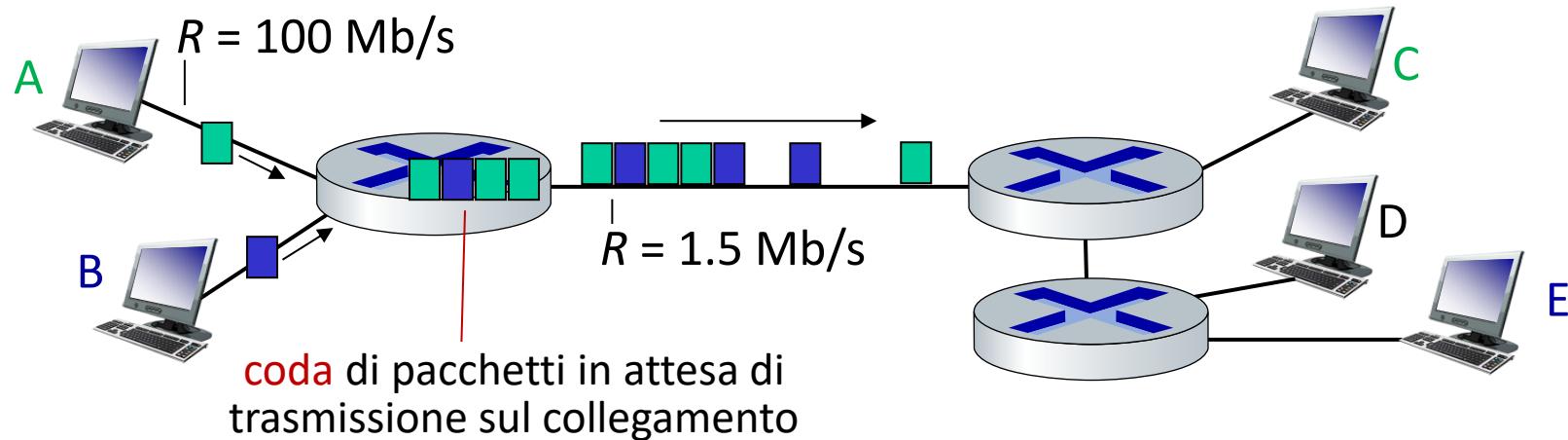
Ritardo da un capo all'altro (end-to-end) per la trasmissione di P pacchetto su un percorso di N collegamenti di pari velocità R:

$$d_{end-to-end} = (N + P - 1) \frac{L}{R}$$

**Trascurando il ritardo di propagazione e altre forme di ritardo.**

In questo scenario semplificato, i pacchetti arrivano a destinazione uno dopo l'altro: dopo  $N \frac{L}{R}$  il primo pacchetto è arrivato a destinazione, ma devono trascorrere ulteriori  $P - 1$  intervalli di  $\frac{L}{R}$  affinché arrivino tutti i pacchetti restanti.

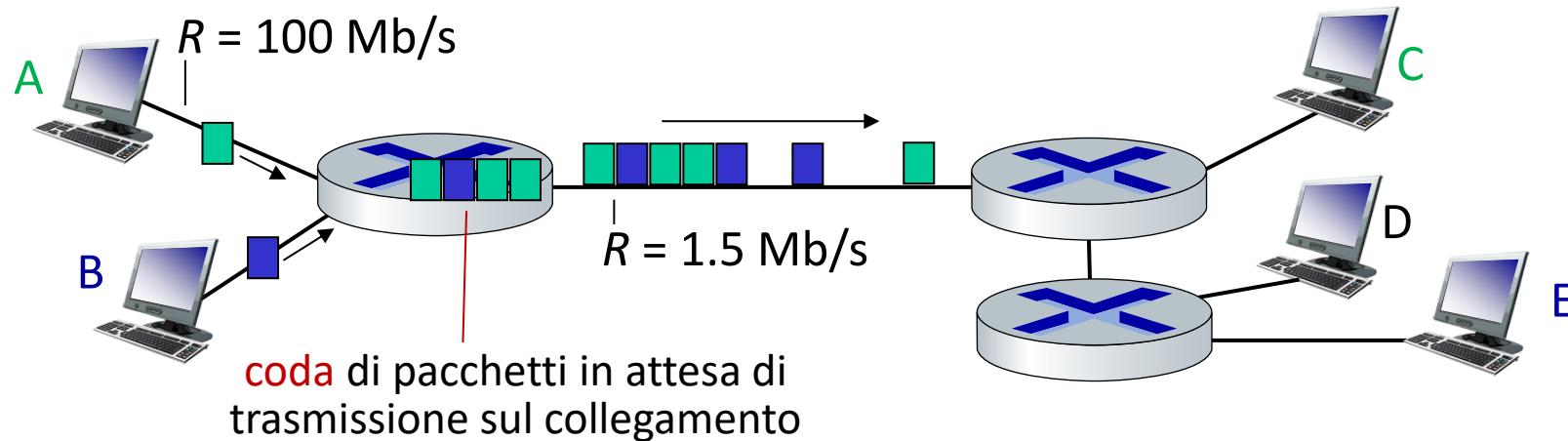
# Commutazione di pacchetto: accodamento



L'accodamento (*queuing*) si verifica quando il lavoro arriva più velocemente di quanto possa essere servito:



# Commutazione di pacchetto: accodamento



*Accodamento dei pacchetti e perdite:* se il tasso di arrivo (arrival rate) (in bps) al collegamento eccede il tasso di trasmissione (bps) del collegamento per un certo periodo di tempo:

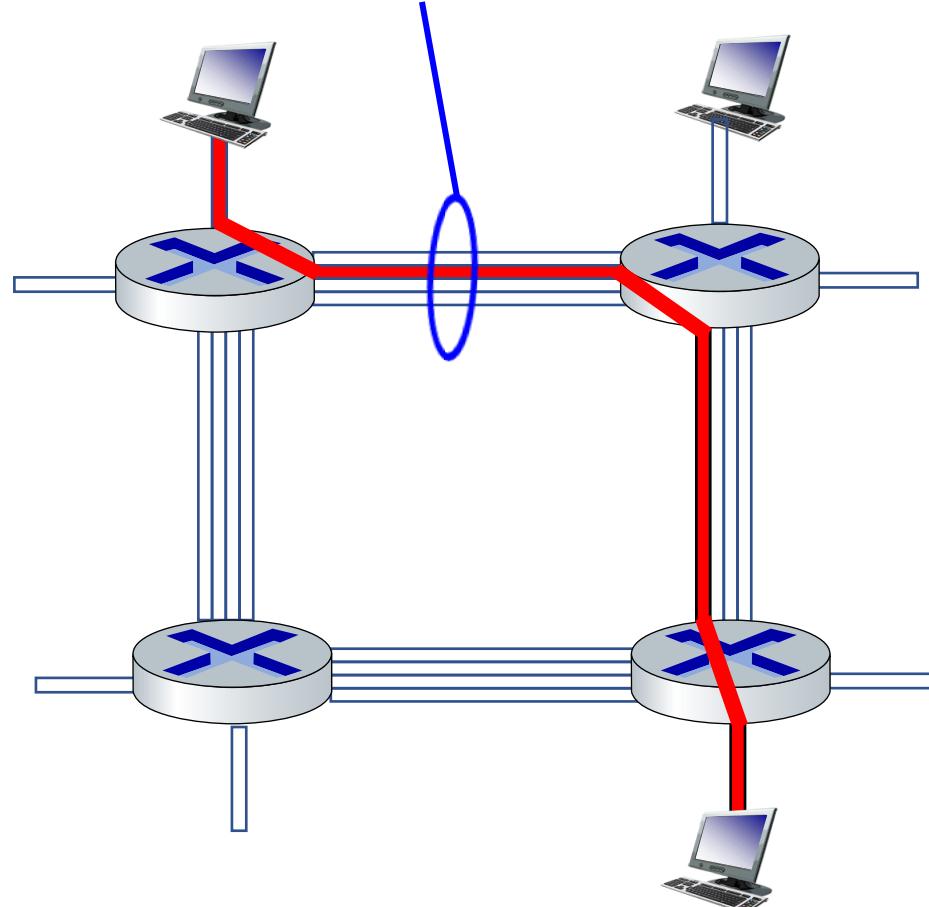
- i pacchetti si accodano in attesa di essere trasmessi sul collegamento in uscita
- i pacchetti possono essere scartati (persi) se la memoria (buffer) si riempie

# Alternativa alla commutazione di pacchetto: commutazione di circuito

le risorse richieste lungo un percorso (buffer e velocità di trasmissione sui collegamenti) per consentire la comunicazione tra sistemi periferici sono riservate per l'intera durata della sessione di comunicazione

- La rete stabilisce una connessione punto a punto, detta *circuito*
- risorse dedicate: nessuna condivisione
  - trasferimento dati a velocità costante e *garantita*
- i segmenti del circuito restano inattivi se non utilizzati (*nessuna condivisione*)

Tecniche di multiplexing (a banda costante) per suddividere un singolo collegamento fisico tra più circuiti



- usato comunemente nella rete telefonica tradizionale

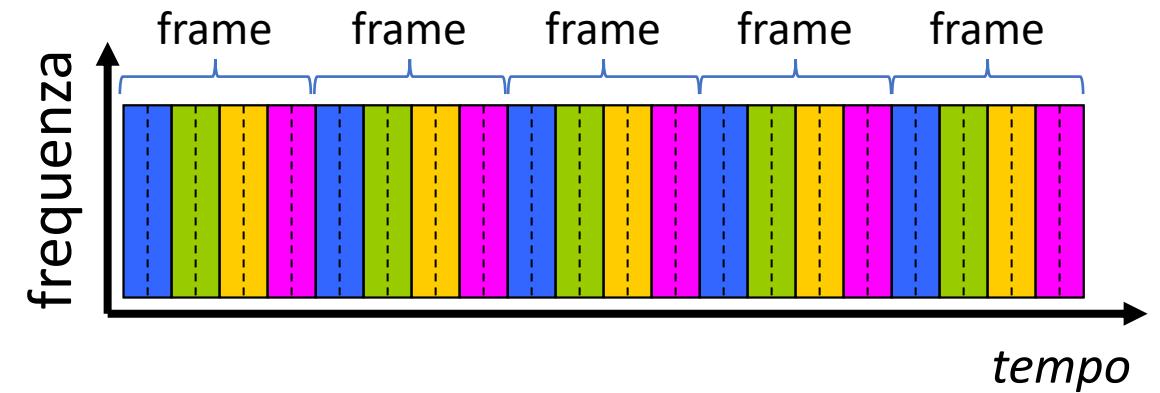
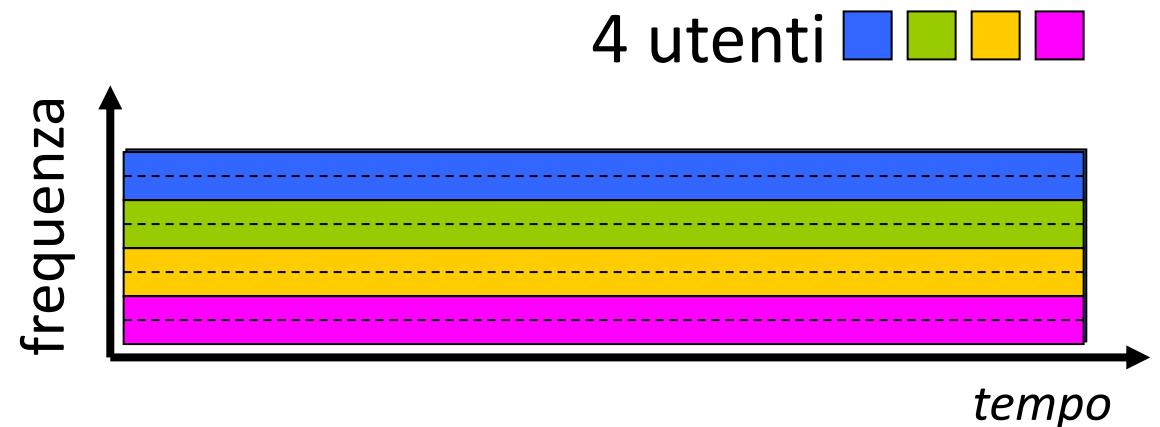
# Commutazione di circuito: FDM e TDM

## Multiplexing a Divisione di Frequenza (Frequency Division Multiplexing (FDM))

- spettro di frequenza di un collegamento suddiviso in bande (*band*): bande adiacenti sono separate da piccoli intervalli di guardia (*guard*) non usati
- ogni circuito ha una propria banda, può trasmettere alla velocità massima di quella *banda ristretta*.

## Multiplexing a Divisione di Tempo (Time Division Multiplexing (TDM))

- tempo suddiviso *frame* di durata fissa, ripartiti in un numero fisso di *slot*
- ciascun circuito riceve slot periodici, può trasmettere alla massima velocità della banda di frequenza (più ampia) solo nei propri slot temporali



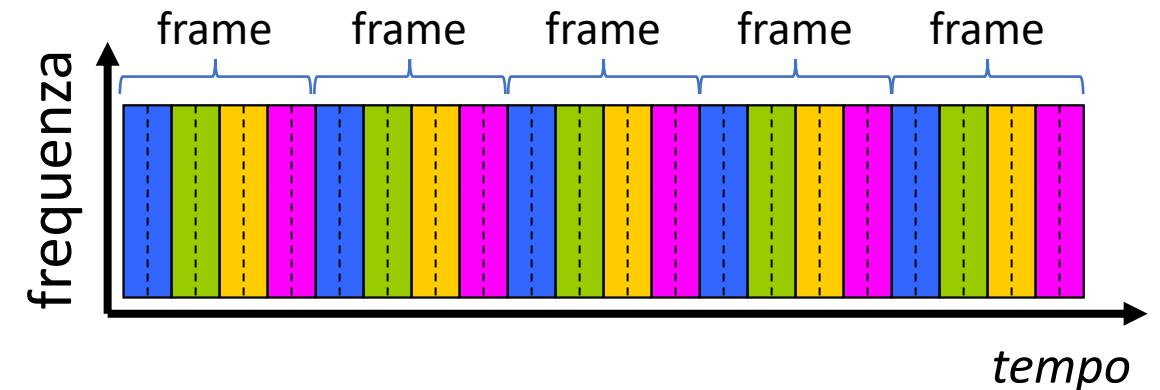
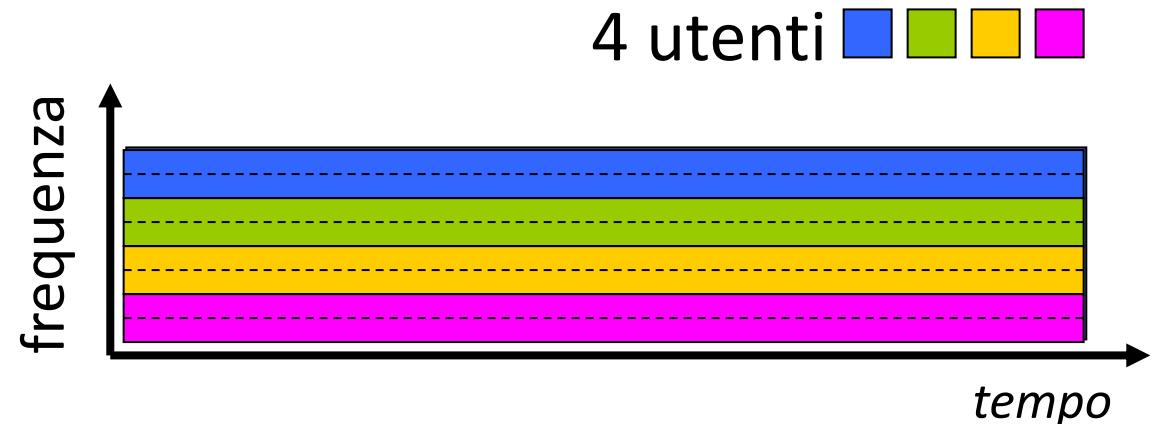
# Commutazione di circuito: FDM e TDM (cont)

## Multiplexing a Divisione di Frequenza (Frequency Division Multiplexing (FDM))

- la porzione ristretta di banda assegnata a ciascun circuito limita la velocità di trasmissione, che risulta inferiore rispetto a quella ottenibile sfruttando l'intero spettro di frequenza
- le trasmissioni su diverse bande di frequenza possono svolgersi in contemporanea

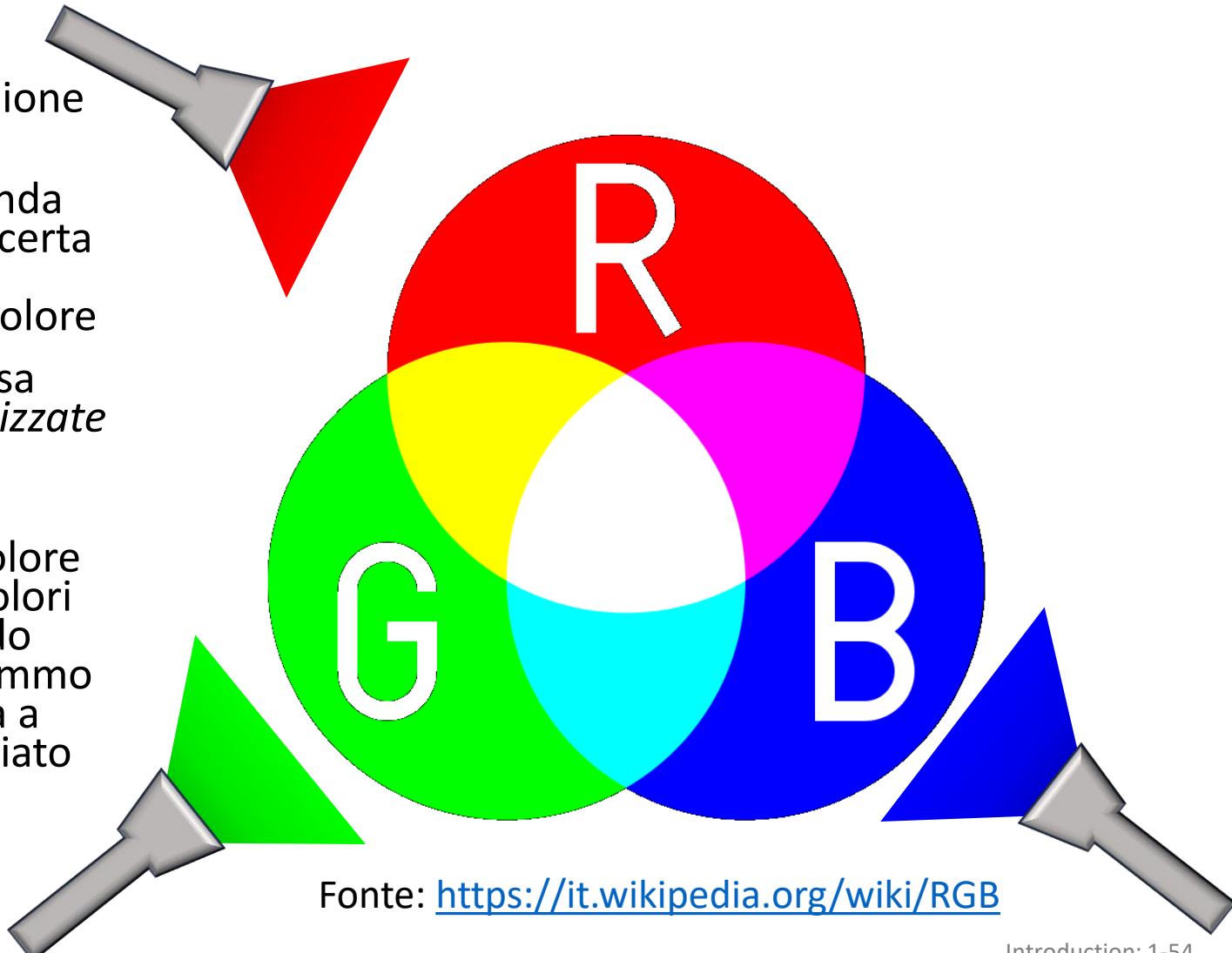
## Multiplexing a Divisione di Tempo (Time Division Multiplexing (TDM))

- sia  $R$  la velocità di trasmissione del collegamento e  $N$  il numero di slot per frame. Se un circuito riceve un solo slot per frame, la sua velocità media di trasmissione sarà  $R/N$ ; tuttavia, durante la trasmissione, il circuito opera alla massima velocità supportata dal collegamento



# FDM: intuizione

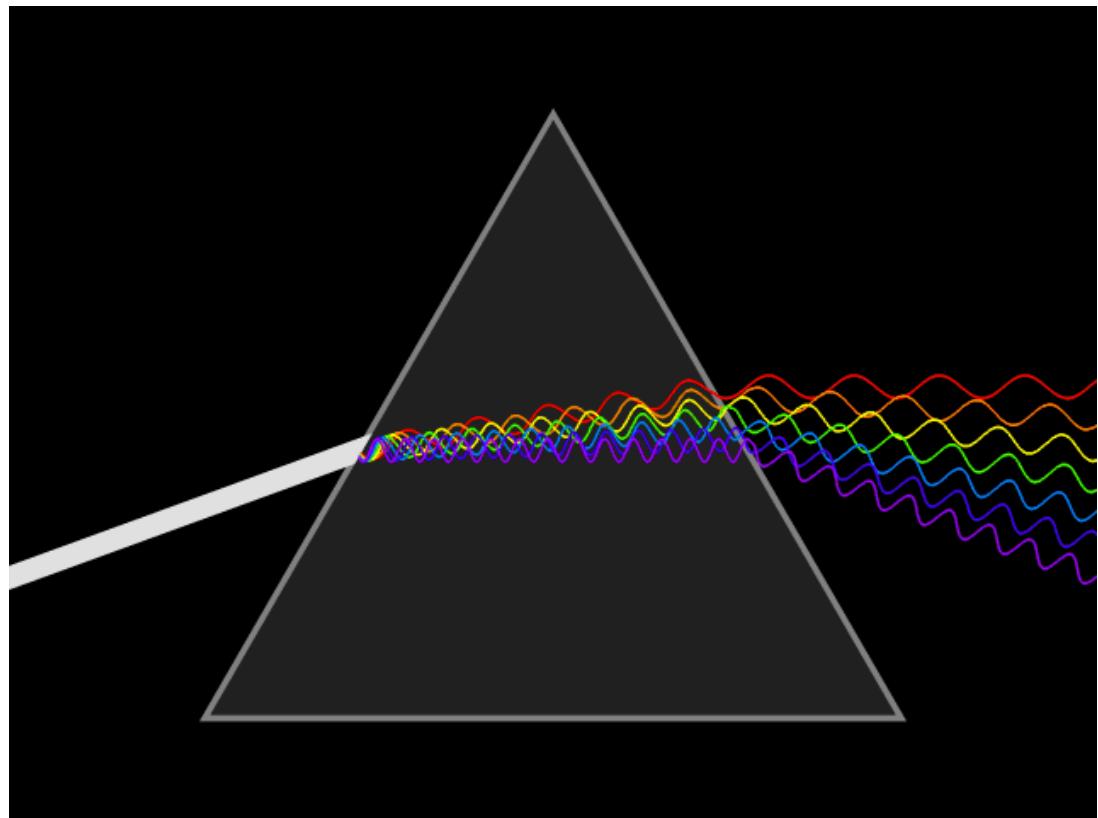
- La luce (visibile) corrisponde a una porzione dello spettro elettromagnetico
- Luce monocromatica: descritta da un'onda elettromagnetica caratterizzata da una certa lunghezza d'onda (equivalentemente, *frequenza*) – viene percepita come un colore
- Supponiamo di trasmettere su una stessa fibra ottica impulsi con sorgenti *sincronizzate* a luce blu, rossa e verde.
- Il *segnale combinato* osservato all'altra estremità della fibra ci apparirà di un colore determinato dalla sintesi additiva dei colori degli impulsi trasmessi. Tuttavia, facendo riferimento allo schema a destra, potremmo sempre risalire in maniera non ambigua a quali sorgenti hanno effettivamente inviato un impulso.



# FDM: intuizione (cont.)

Newton dimostrò che un prisma può scomporre la luce bianca in uno spettro di colori, mentre una lente convergente e un secondo prisma possono ricomporre lo spettro in luce bianca.

Questo suggerisce un modo per combinare sorgenti luminose a frequenze diverse in un unico segnale, che può poi essere suddiviso nuovamente nelle sue componenti originali.

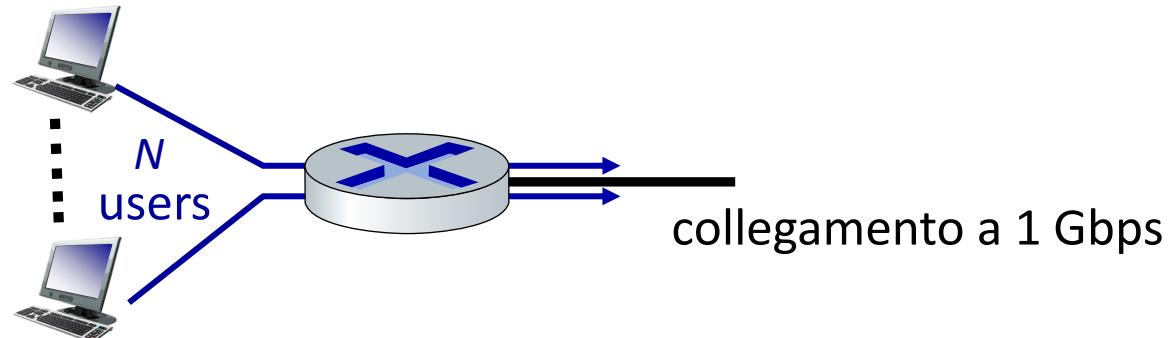


Fonte: [https://it.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://it.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)

# Commutazione di pacchetto vs commutazione di circuito

Esempio:

- collegamento a 1 Gb/s
- ogni utente:
  - 100 Mb/s quando “attivo”
  - attivo per il 10% del tempo



D: quanti utenti possono usare questa rete sotto la commutazione di circuito e sotto la commutazione di pacchetto?

- **Commutazione di circuito:** 10 utenti

D: come abbiamo ottenuto 0.0004?

$$R: P(\text{utenti attivi} > 10) = 1 - P(\text{utenti attivi} \leq 10)$$

- **Commutazione di pacchetto:** con 35 utenti, probabilità  $> 10$  attivi allo stesso tempo è meno di .0004 \*

Ovvero, in Excel:

=1 - DISTRIB.BINOM.N(10;35;0.1;VERO)

$$\begin{aligned} &= 1 - \sum_{i=0}^{10} P(\text{utenti attivi} = i) = 1 - \sum_{i=0}^{10} \binom{35}{i} 0.1^i (1-0.1)^{35-i} = \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{10} \frac{35!}{i!(35-i)!} 0.1^i (1-0.1)^{35-i} \leq 0.0004 \end{aligned}$$

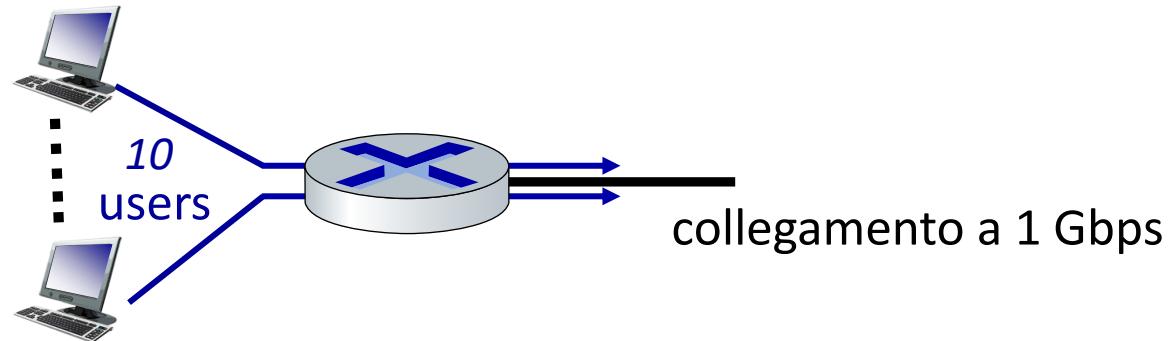
fonte: [https://it.wikipedia.org/wiki/Distribuzione\\_binomiale](https://it.wikipedia.org/wiki/Distribuzione_binomiale)

\* Check out the online interactive exercises for more examples: [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/interactive](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive)

# Commutazione di pacchetto vs commutazione di circuito

Esempio:

- collegamento a 1 Gb/s



D: che succede se soltanto uno degli utenti è attivo?

- **Commutazione di circuito:** l'utente attivo può trasmettere a una velocità (media) di 100 Mbps, inferiore alla capacità del collegamento di 1 Gbps, parte della quale è stata preallocata agli altri utenti e rimarrà inutilizzata
- **Commutazione di pacchetto:** l'unico utente attivo può trasmettere continuamente pacchetti alla massima velocità del collegamento (1Gbps)

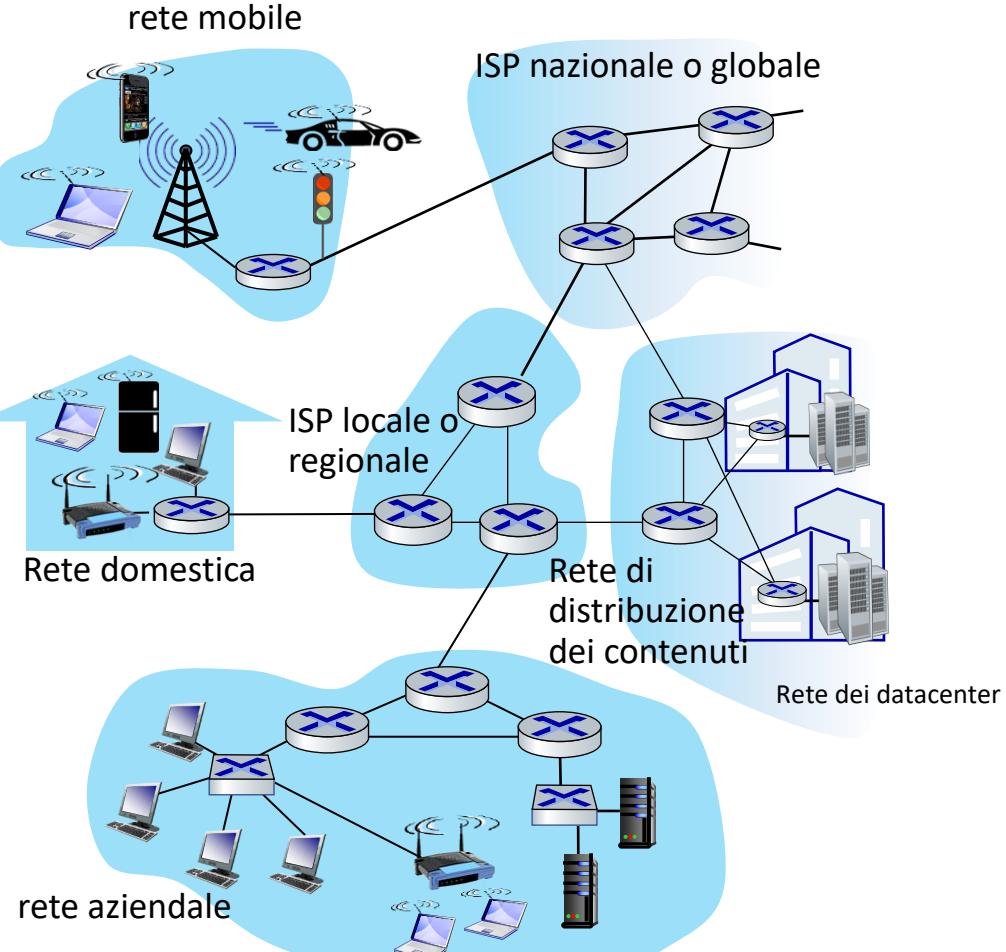
# Commutazione di pacchetto vs commutazione di circuito

La commutazione di pacchetto è una "vincitrice assoluta"?

- ottimo per i dati a "raffica" - a volte ha dati da inviare, ma altre volte no (condivisione delle risorse, assegnazione delle risorse su richiesta)
  - più semplice, non necessita l'impostazione della chiamata (né di mantenere le informazioni sui circuiti su tutti i router — *stateless*).
- **eccessiva congestione:** ritardo e perdita di pacchetti in caso di buffer overflow
  - sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione
- **ritardi end-to-end variabili e imprevedibili:** a causa della variabilità e imprevedibilità dei ritardi di accodamento
  - servizi in tempo reale (come la telefonia e la videoconferenza)

# Struttura di Internet: una “rete di reti”

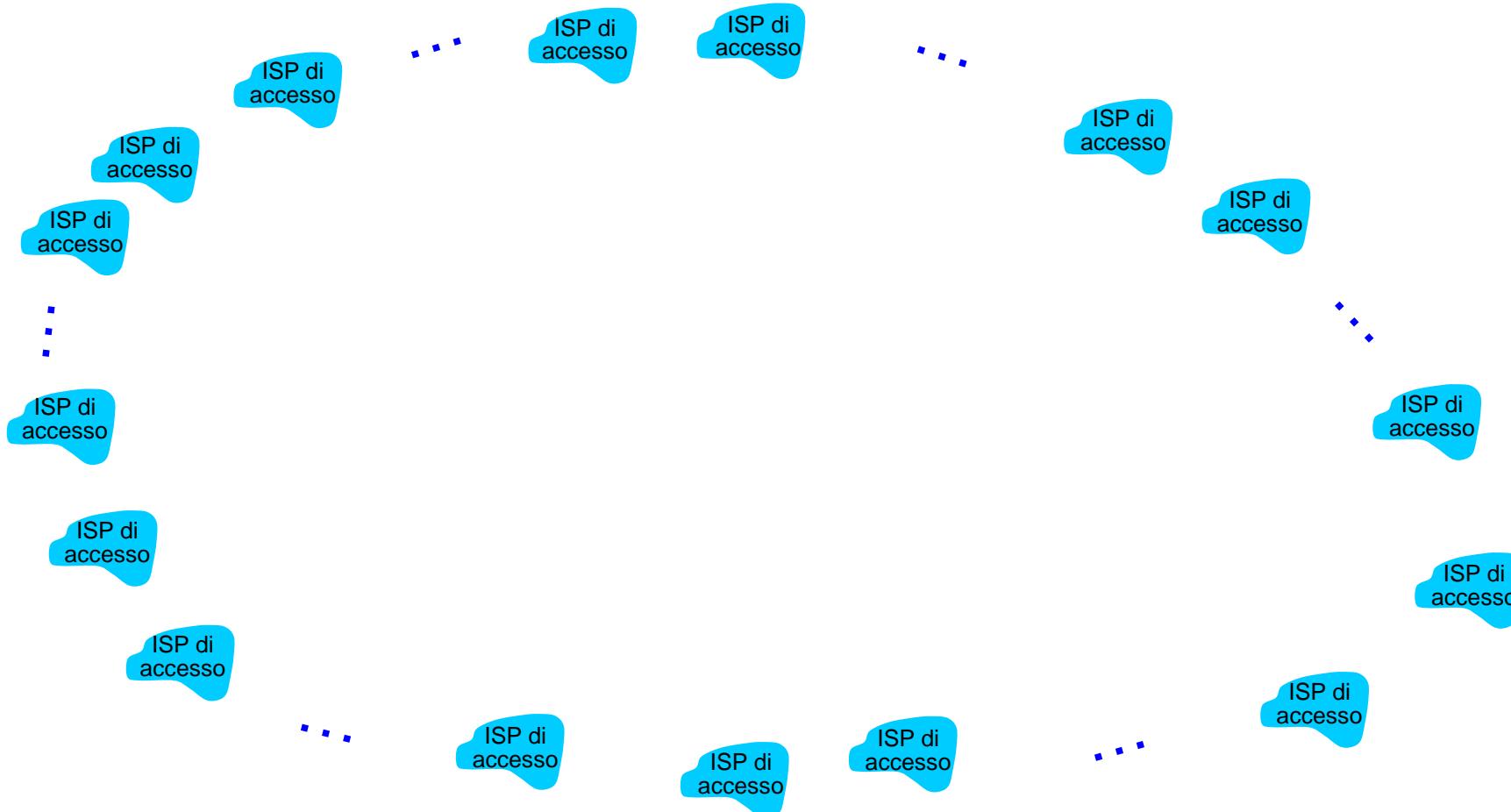
- i sistemi periferici accedono a Internet tramite i cosiddetti Internet Service Provider (ISP) di **accesso**
- gli ISP di accesso devono essere interconnessi a loro volta
  - in modo che due host qualsiasi (ovunque!) possano inviare pacchetti l'uno all'altro
- la rete di reti risultante è molto complessa
  - evoluzione guidata da **economia, politiche nazionali**



*Seguiamo un approccio graduale per descrivere l'attuale struttura di Internet*

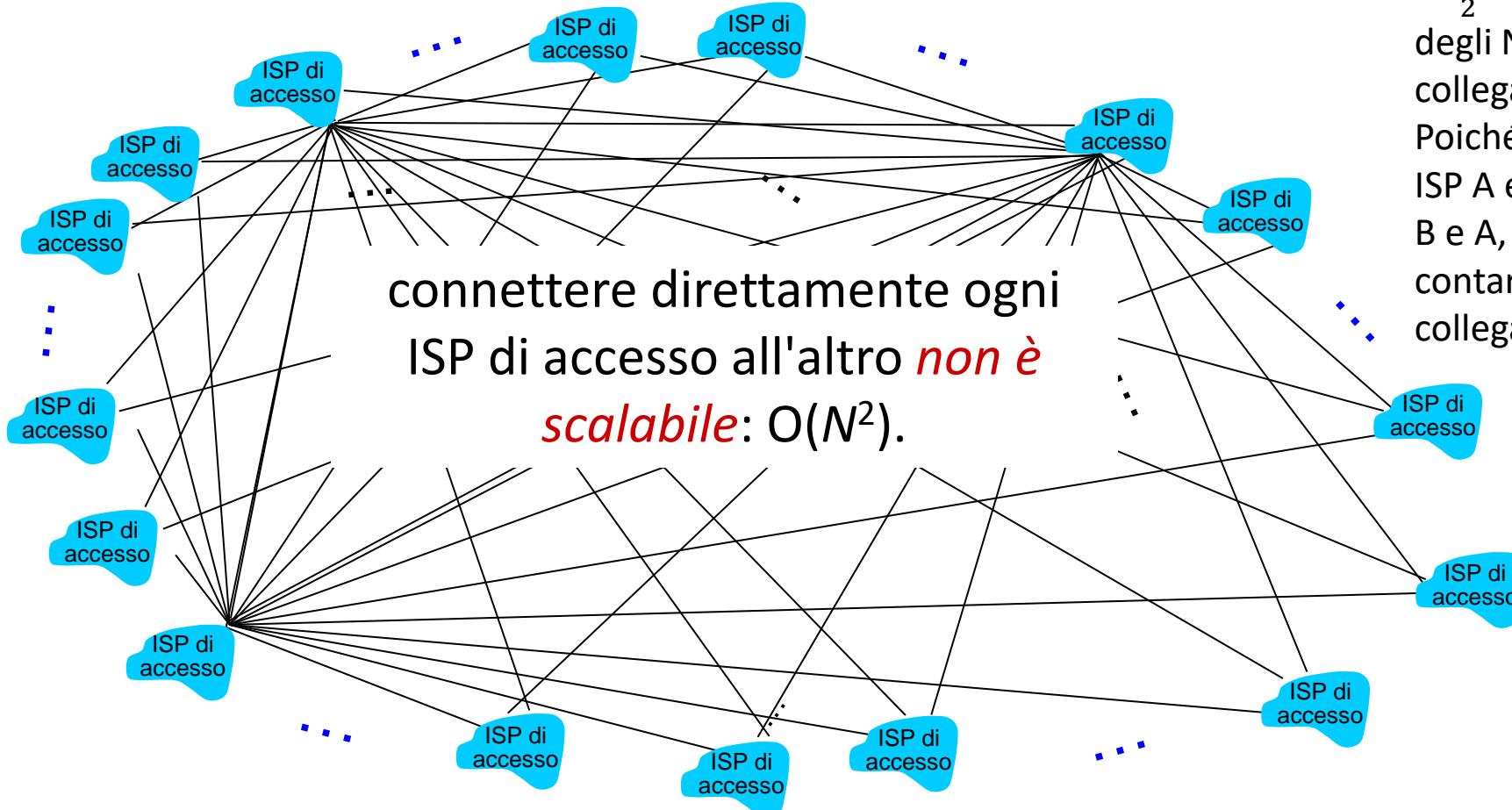
# Struttura di Internet: una “rete di reti”

*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?

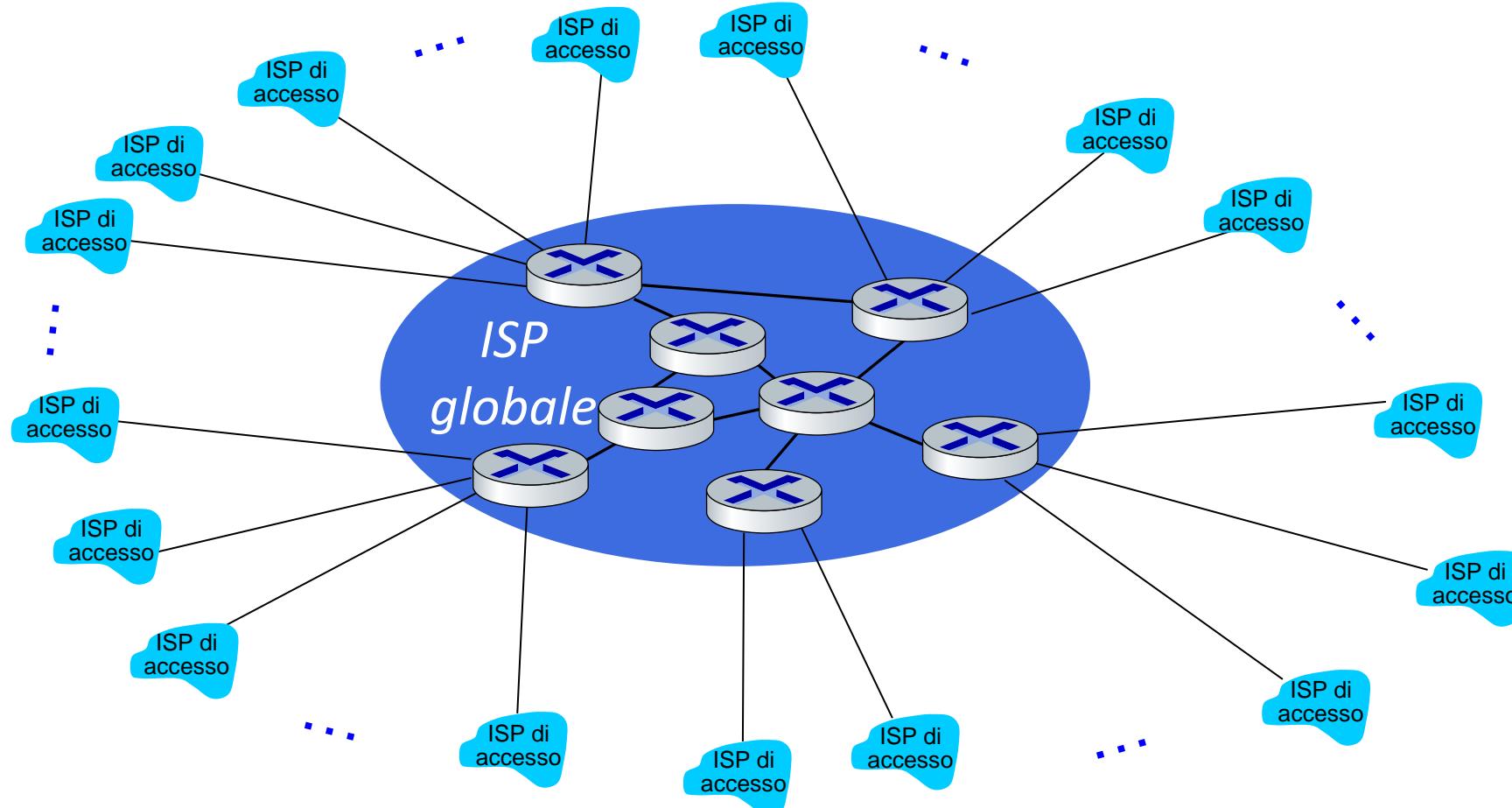


$\frac{N(N-1)}{2}$  collegamenti Ognuno  
degli N ISP deve essere  
collegato ai restanti  $N - 1$ .  
Poiché il collegamento tra  
ISP A e B è lo stesso che tra  
B e A, si divide per 2 per non  
contare due volte lo stesso  
collegamento.

# Struttura di Internet: una “rete di reti”

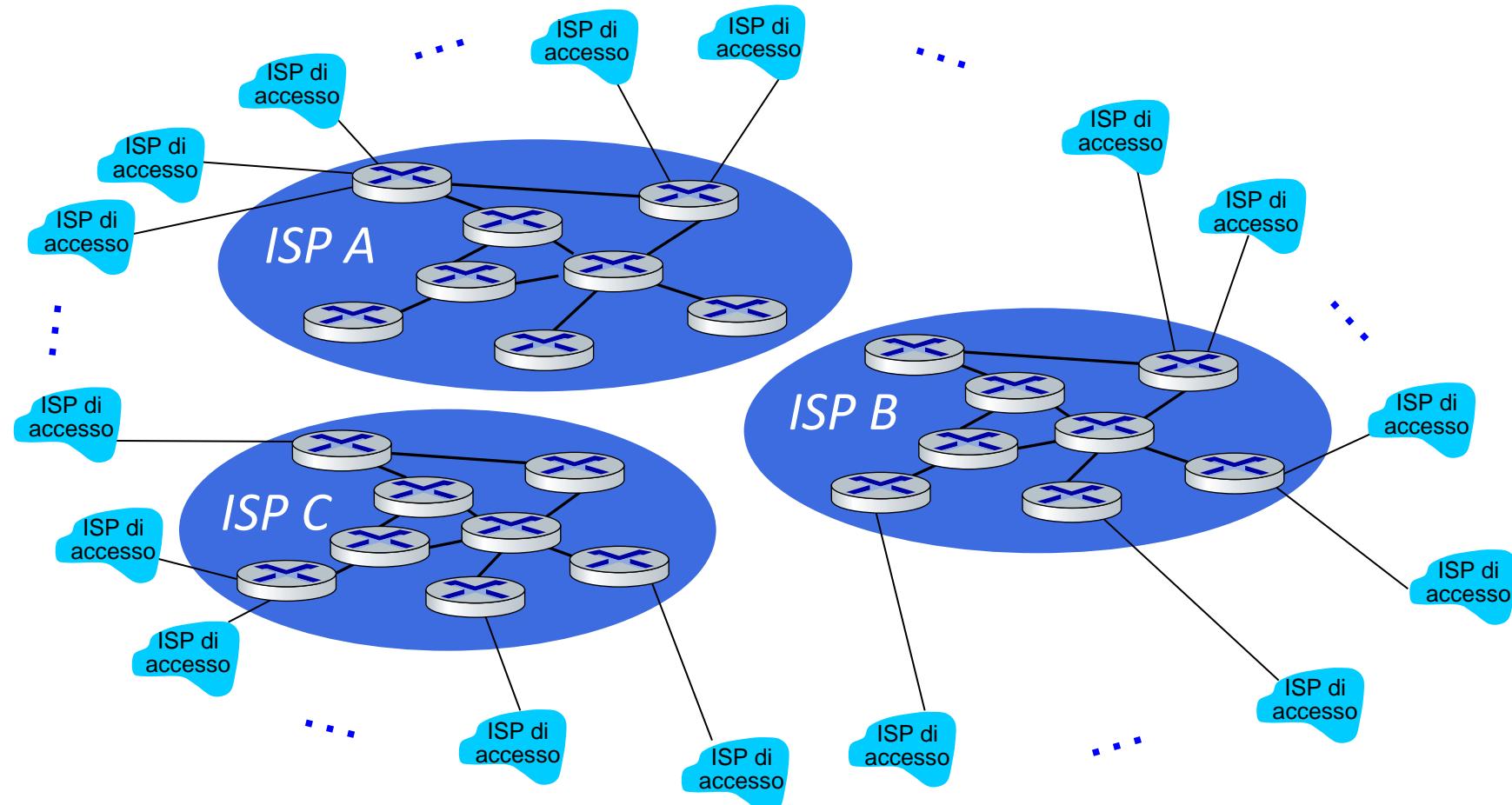
*Opzione: collegare ogni ISP di accesso a un ISP globale di transito?*

*ISP cliente (customer) e ISP fornitore (provider) hanno un accordo economico*



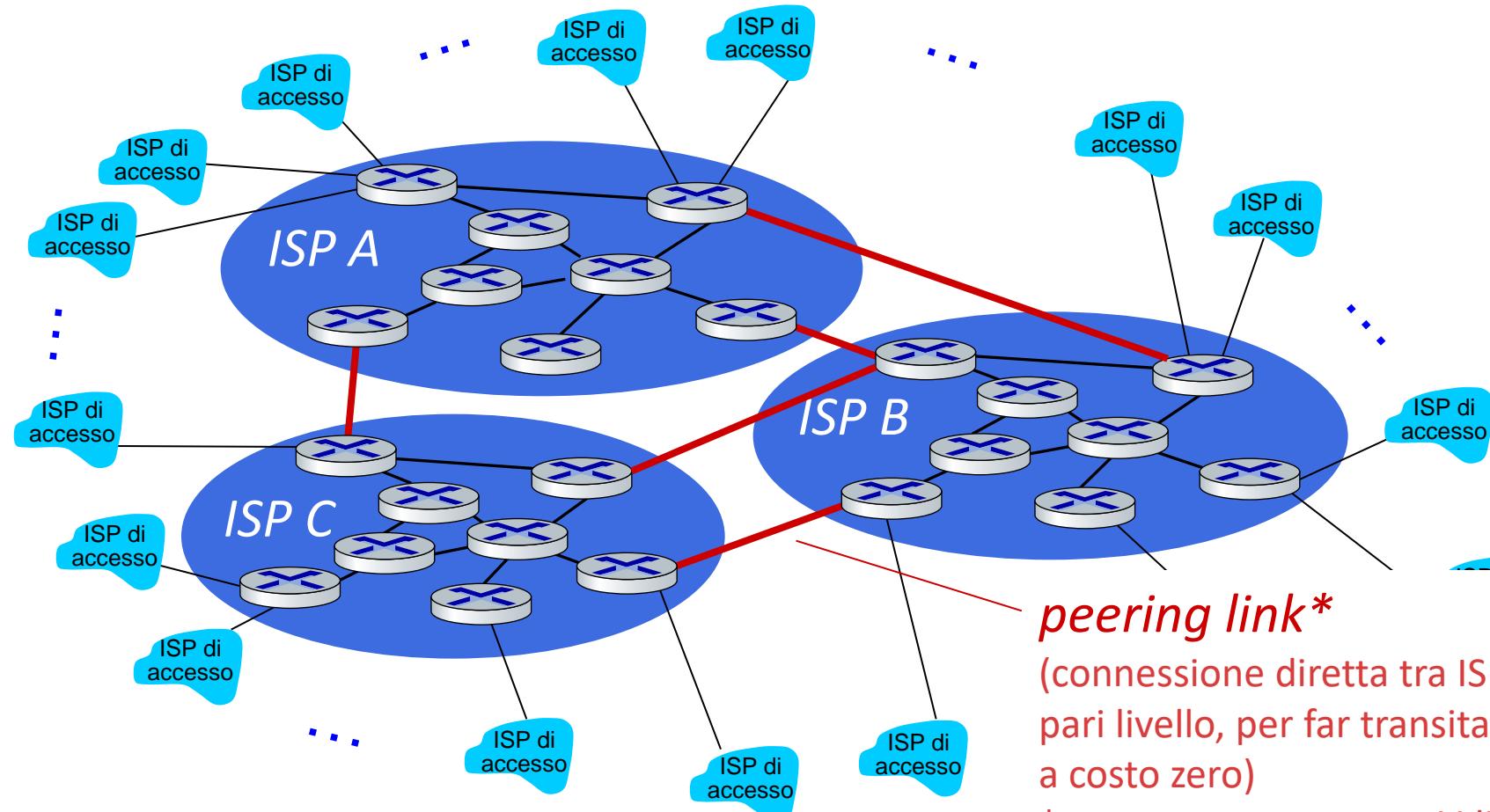
# Struttura di Internet: una “rete di reti”

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



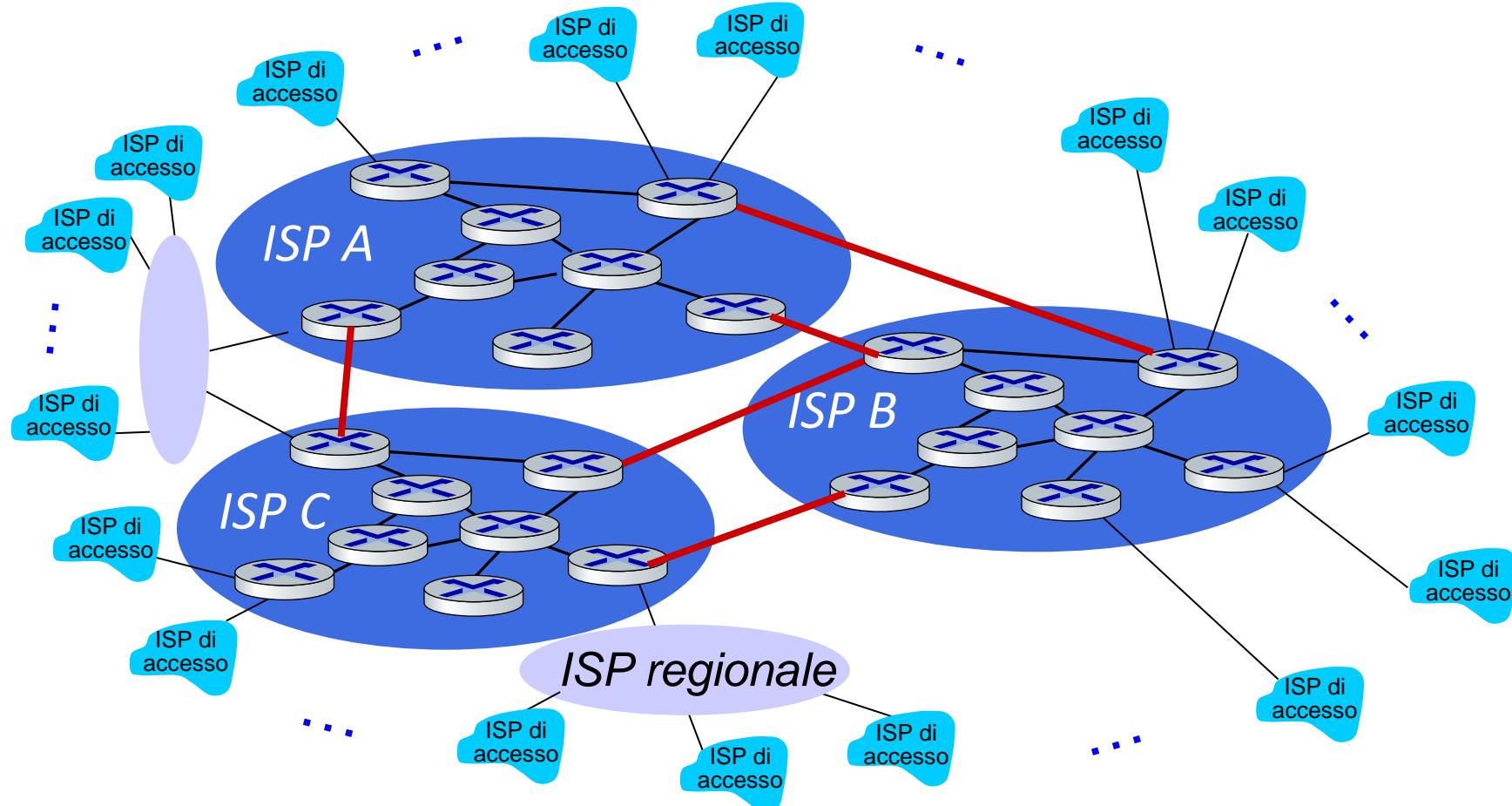
# Struttura di Internet: una “rete di reti”

Ma se un ISP globale è un'attività vantaggiosa, ci saranno concorrenti ....  
...che devono essere interconnessi



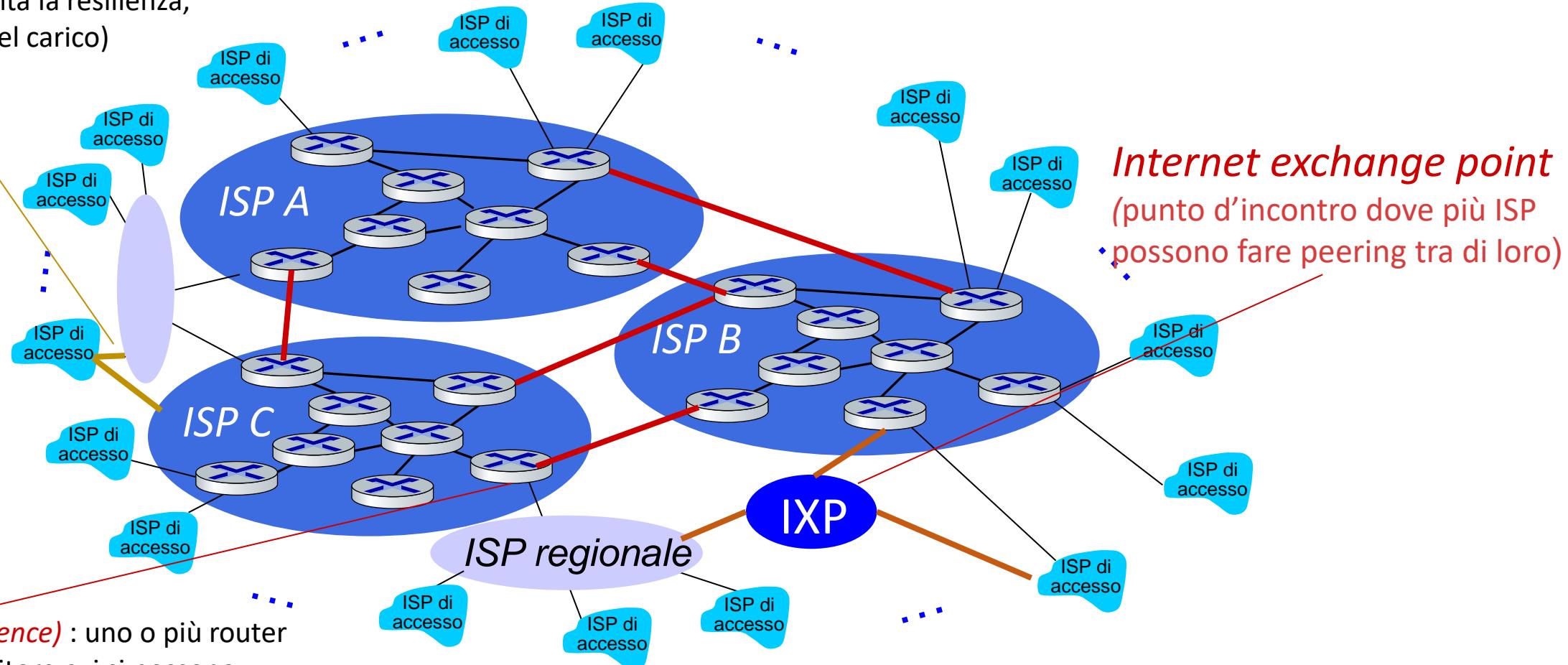
# Struttura di Internet: una “rete di reti”

... e ISP regionali possono sorgere per collegare gli ISP di accesso agli ISP di primo livello (che non possono avere router "vicini" a ogni ISP di livello inferiore)



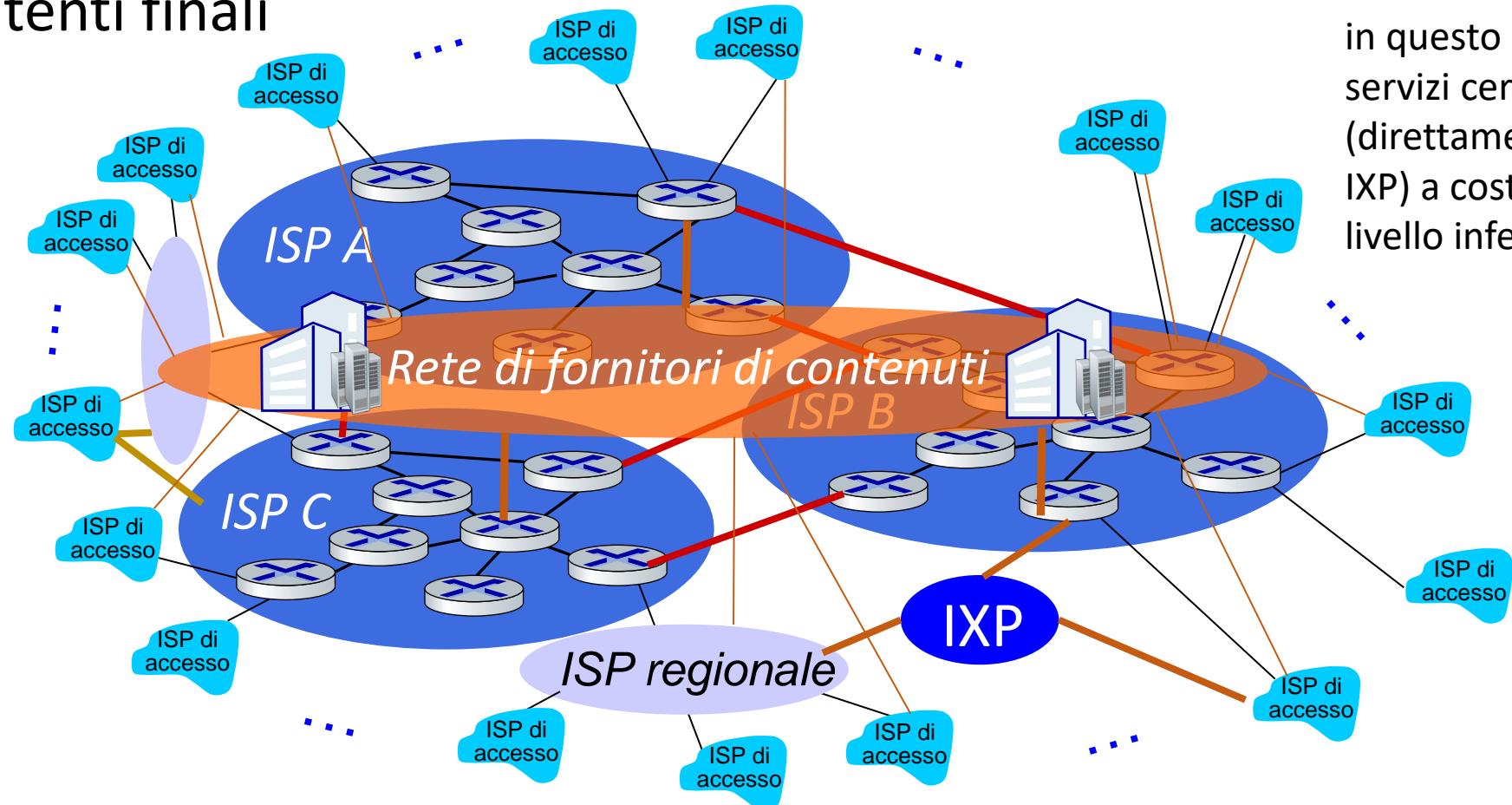
# Struttura di Internet: una “rete di reti”

*multi-homing*: connettersi a due o più ISP forniti (incrementa la resilienza, bilanciamento del carico)



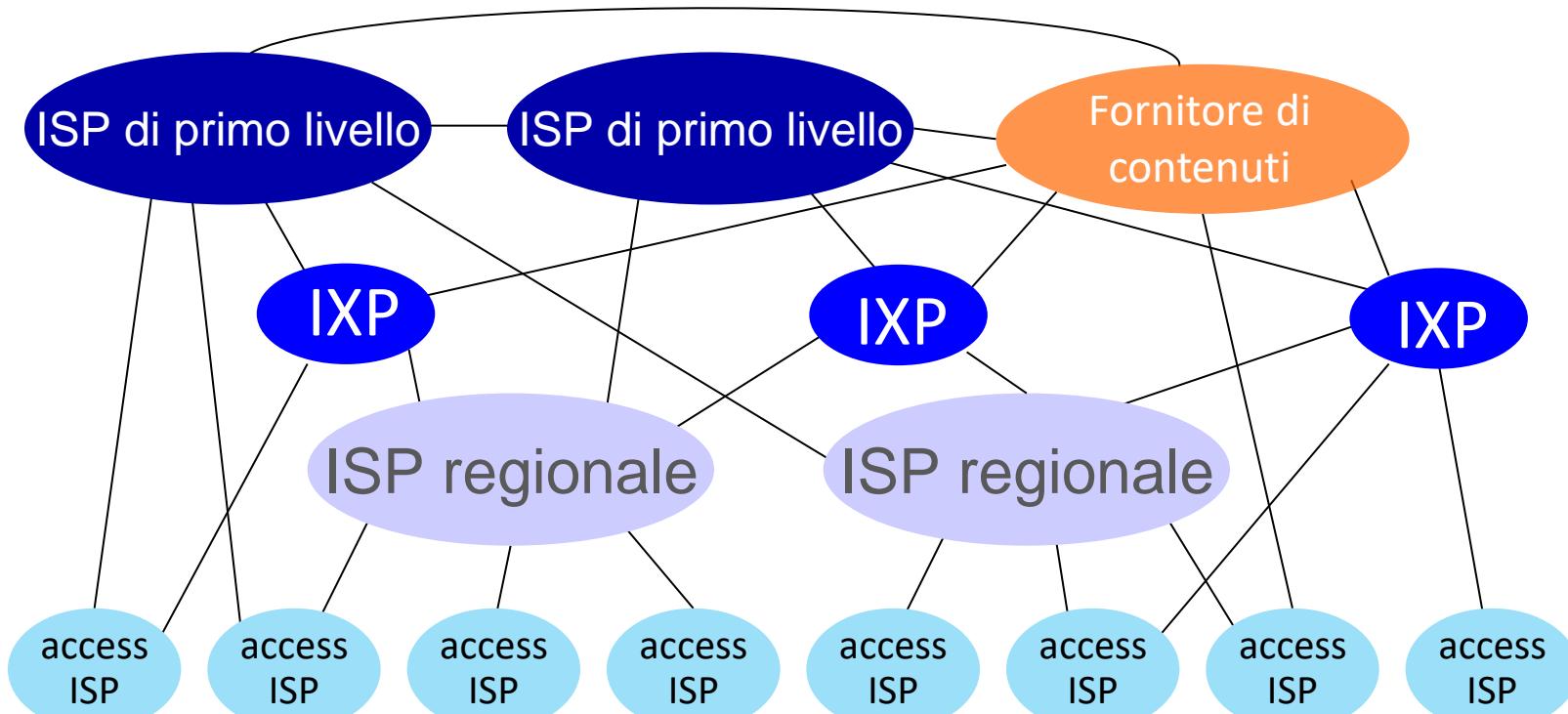
# Struttura di Internet: una “rete di reti”

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



in questo modo i fornitori di servizi cercano di fare peering (direttamente o tramite gli IXP) a costo zero con gli ISP di livello inferiore

# Struttura di Internet: una “rete di reti”



Al “centro”: un piccolo numero di grandi reti ben connesse

- **ISP di primo livello (ISP “tier-1”)** (es., Level 3, Sprint, AT&T, NTT): possiede una rete globale e può raggiungere ogni altra rete su Internet esclusivamente tramite accordi di peering "settlement-free" (cioè senza scambi di denaro per il traffico)
- **Rete di fornitori di contenuti** (es., Google, Facebook): reti private che connettono i suoi data center a Internet, spesso aggirando ISP tier-1 e regionali

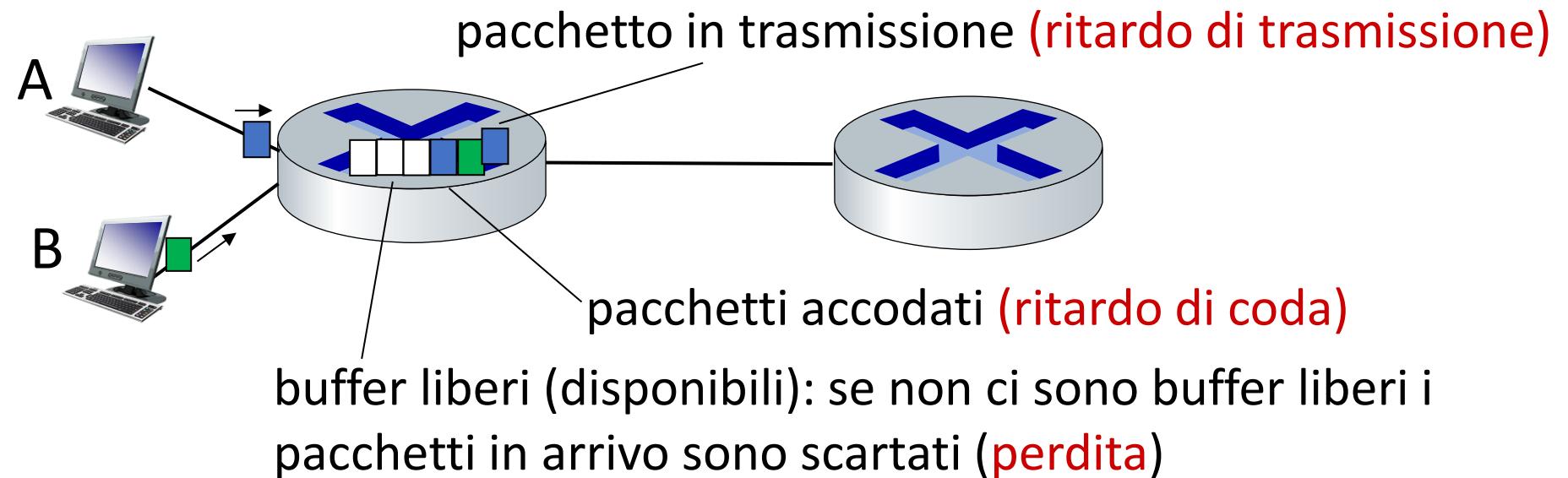
# Capitolo 1: tabella di marcia

- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- Ai confini della rete: host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- **Prestazioni:** perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Un po' di storia

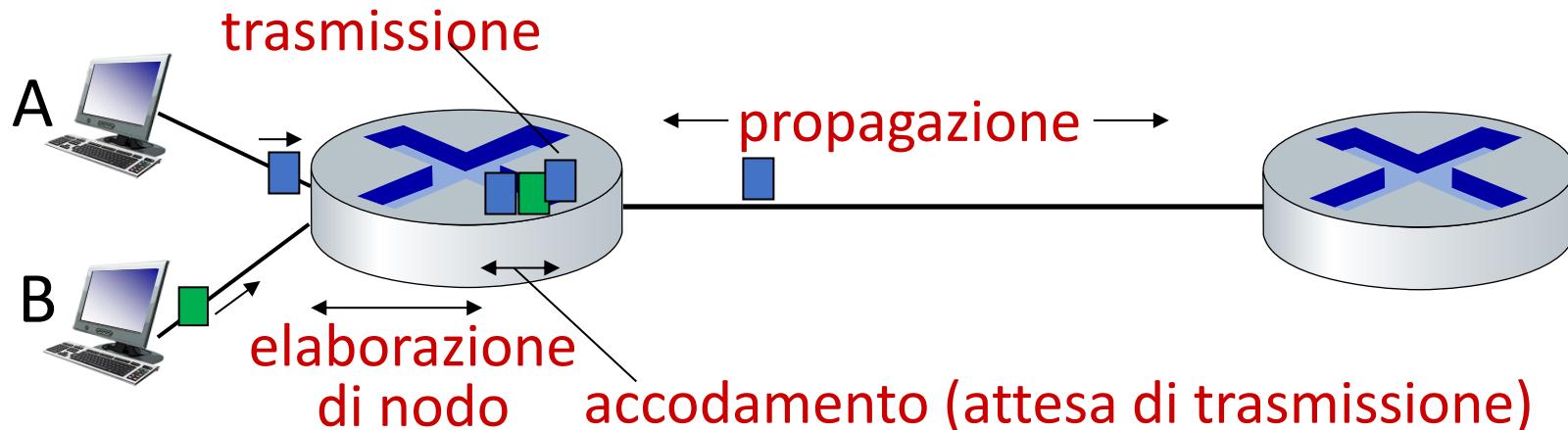


# Come si verificano ritardi e perdite?

- i pacchetti *si accodano* nei buffer del router, aspettando il proprio turno per la trasmissione
  - la lunghezza della coda cresce quando il tasso di arrivo dei pacchetti sul collegamento eccede (temporaneamente) la capacità del collegamento di evaderli
- la *perdita* di pacchetti si verifica quando la memoria che contiene la coda dei pacchetti si riempie



# Ritardo per i pacchetti: quattro cause



$$d_{\text{nodo}} = d_{\text{elab}} + d_{\text{acc}} + d_{\text{trasm}} + d_{\text{prop}}$$

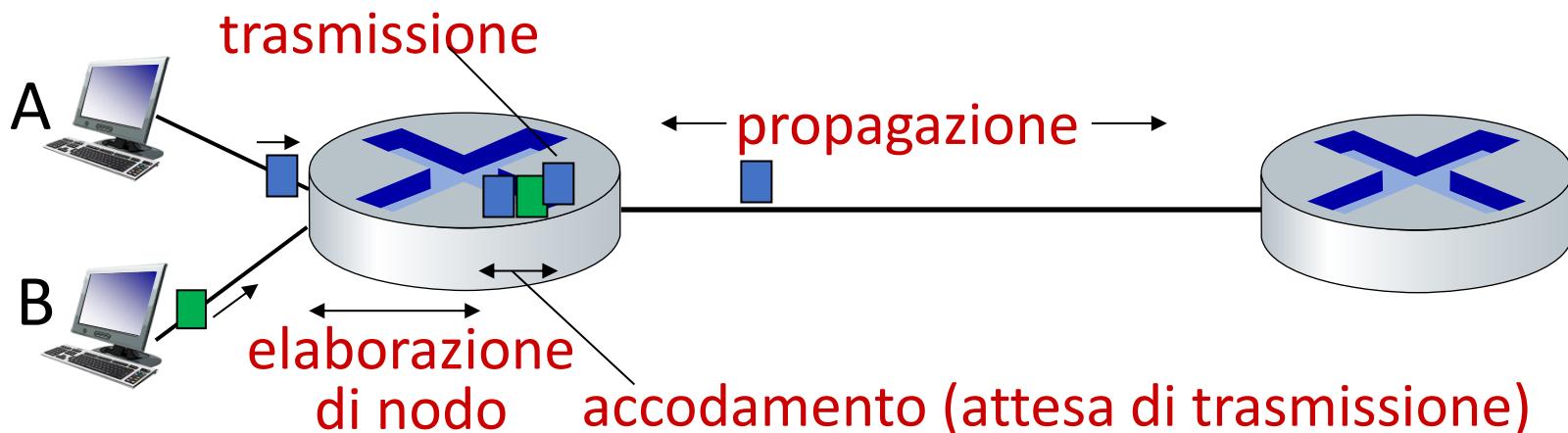
$d_{\text{elab}}$ : elaborazione di nodo

- controllo errori sui bit
- determinazione del canale di uscita
- tipicamente < microsecondi

$d_{\text{acc}}$ : ritardo di accodamento

- attesa di trasmissione
- dipende dal livello di congestione del router

# Ritardo per i pacchetti: quattro cause



$$d_{\text{nodo}} = d_{\text{elab}} + d_{\text{acc}} + d_{\text{trasm}} + d_{\text{prop}}$$

$d_{\text{trasm}}$ : ritardo di trasmissione:

- $L$ : lunghezza del pacchetto (in bit)
- $R$ : tasso di trasmissione del collegamento (in bps)

$$\boxed{d_{\text{trasm}} = L/R}$$

Non dipende dalla lunghezza del collegamento né dalla velocità di propagazione del segnale!

$d_{\text{prop}}$ : ritardo di propagazione:

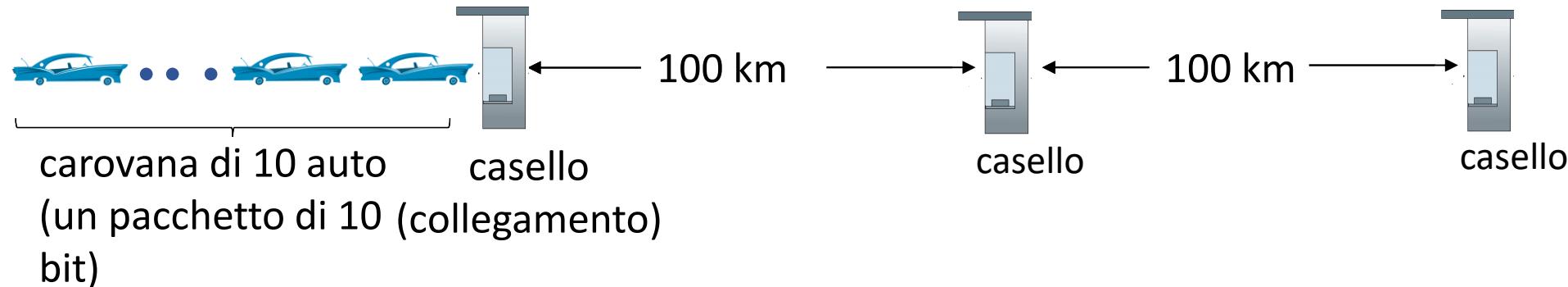
- $d$ : lunghezza del collegamento fisico
- $v$ : velocità di propagazione ( $\sim 2 \times 10^8$  m/sec)

$$\boxed{d_{\text{prop}} = d/v}$$

$d_{\text{trasm}}$  e  $d_{\text{prop}}$   
molto diversi

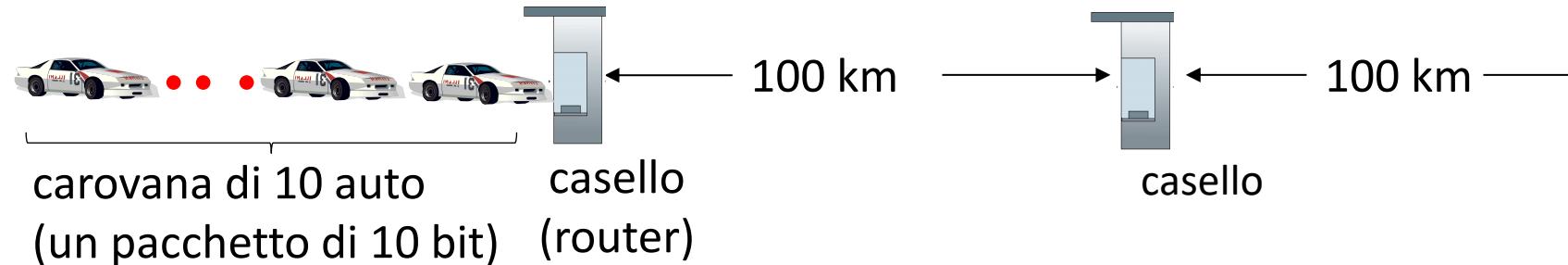
Non dipende dalla lunghezza del pacchetto né dalla velocità di trasmissione!

# L'analogia della carovana



- auto ~ bit; carovana ~ pacchetto; casello ~ collegamento
- Al casello occorrono 12 s per servire ciascuna auto (trasmettere un bit)
- si “propagano” a 100 km/h
- **D:** Tra quanto tempo la carovana sarà in fila davanti al secondo casello?
- tempo per "spingere" l'intera carovana attraverso il casello sull'autostrada =  $12 * 10 = 120$  secondi.
- tempo di propagazione dell'ultimo veicolo dal 1° al 2° pedaggio:  $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1$  ora
- **R:** 62 minuti

# L'analogia della carovana



- supponiamo che le auto ora "si propaghino" a 1000 km/h
- e supponiamo che i casellanti ora impieghino un minuto per servire un'autovettura
- **D: Le auto arriveranno al secondo casello prima di tutte le auto servite dal primo casello?**

**R: Sì!** dopo 7 minuti, la prima auto arriva al secondo casello; tre auto sono ancora al primo casello

Animazione interattiva:

[https://media.pearsoncmg.com/ph/esm/ecs\\_kurose\\_compnetwork\\_8/cw/content/interactiveanimations/transmission-vs-propogation-delay/transmission-propagation-delay-ch1/index.html](https://media.pearsoncmg.com/ph/esm/ecs_kurose_compnetwork_8/cw/content/interactiveanimations/transmission-vs-propogation-delay/transmission-propagation-delay-ch1/index.html)

# Ritardo: altre cause nei sistemi periferici

- un sistema periferico ritarda l'invio di un pacchetto su un *mezzo condiviso* con altri sistemi periferici come parte di un protocollo di accesso al mezzo
- ritardo di pacchettizzazione nelle applicazioni multimediali in tempo reale
- Etc..

# Commutazione di pacchetto: ritardo end-to-end (o punto-punto)

I ritardi totali di nodo cui è incorso un pacchetto lungo il suo percorso dalla sorgente alla destinazione si accumulano, determinando un ritardo end-to-end (o punto-punto) pari a:

$$d_{end-to-end} = \sum_i (d_{elab_i} + d_{acc_i} + d_{trasm_i} + d_{prop_i})$$

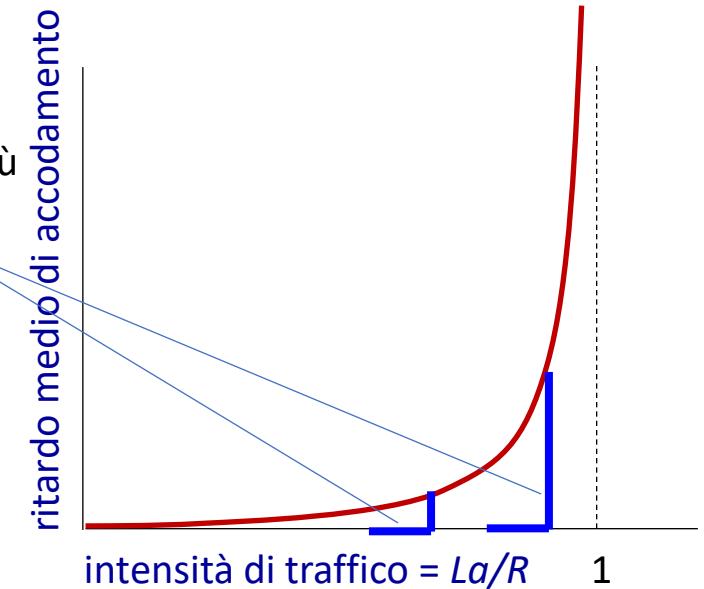
# Ritardo di accodamento dei pacchetti (con buffer infinito)

- $a$ : velocità media di arrivo dei pacchetti
- $L$ : lunghezza del pacchetto (in bit)
- $R$ : velocità di trasmissione (in bit/s)

$$\frac{L \cdot a}{R} : \frac{\text{velocità di arrivo dei bit}}{\text{velocità di servizio dei bit}}$$

Non lineare: piccolo aumento di int. traffico ha effetto più significativo per valori elevati

*"intensità di traffico"*



- $La/R \sim 0$ : ritardo medio di accodamento piccolo
- $La/R \rightarrow 1$ : ritardo medio di accodamento sempre più grande (con tempi di interarrivo casuali)
- $La/R > 1$ : più "lavoro" in arrivo di quanto possa essere servito - ritardo tende all'infinito!

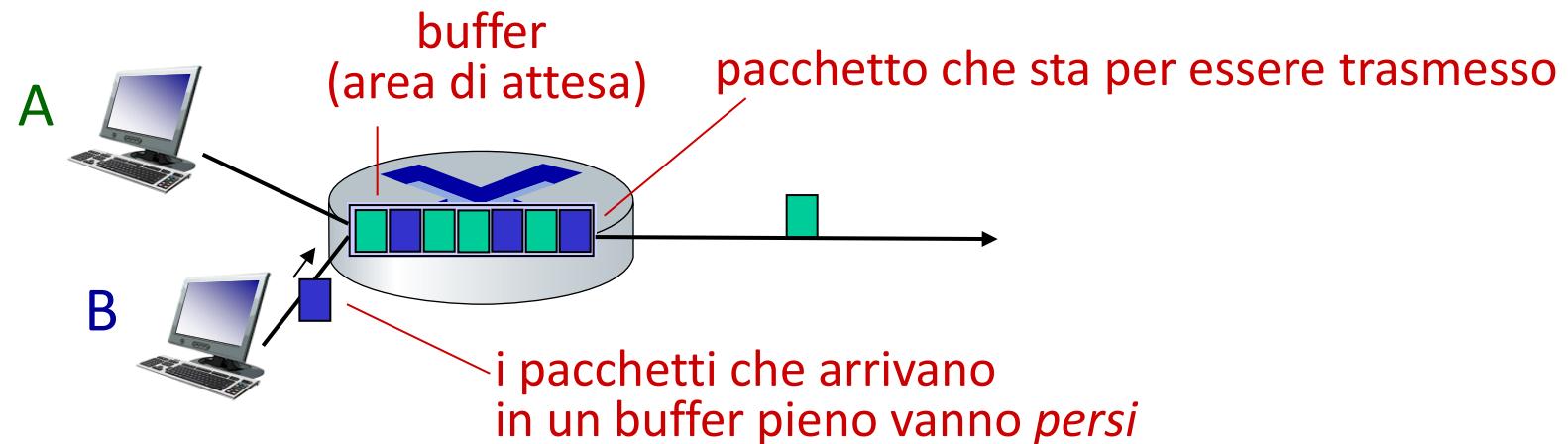


$La/R \sim 0$

$La/R \rightarrow 1$

# Perdita di pacchetti (con buffer finito)

- la coda (anche detta buffer) che precede un collegamento è 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

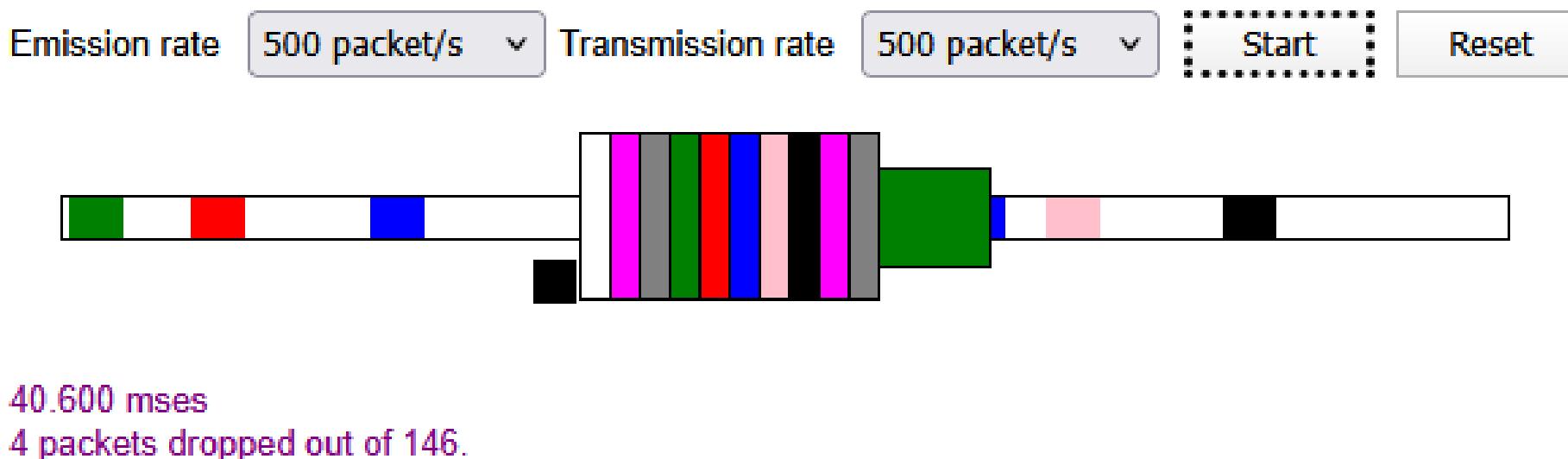


\* Check out the Java applet for an interactive animation (on publisher's website) of queuing and loss

# Ritardo di accodamento dei pacchetti (rivisitato)

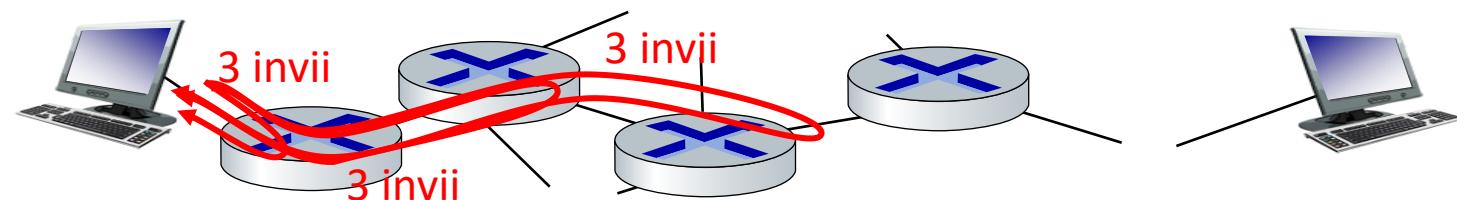
Animazione interattiva:

[https://media.pearsoncmg.com/ph/esm/ecs\\_kurose\\_compnetwork\\_8/cw/content/interactiveanimations/queuing-loss-applet/index.html](https://media.pearsoncmg.com/ph/esm/ecs_kurose_compnetwork_8/cw/content/interactiveanimations/queuing-loss-applet/index.html)



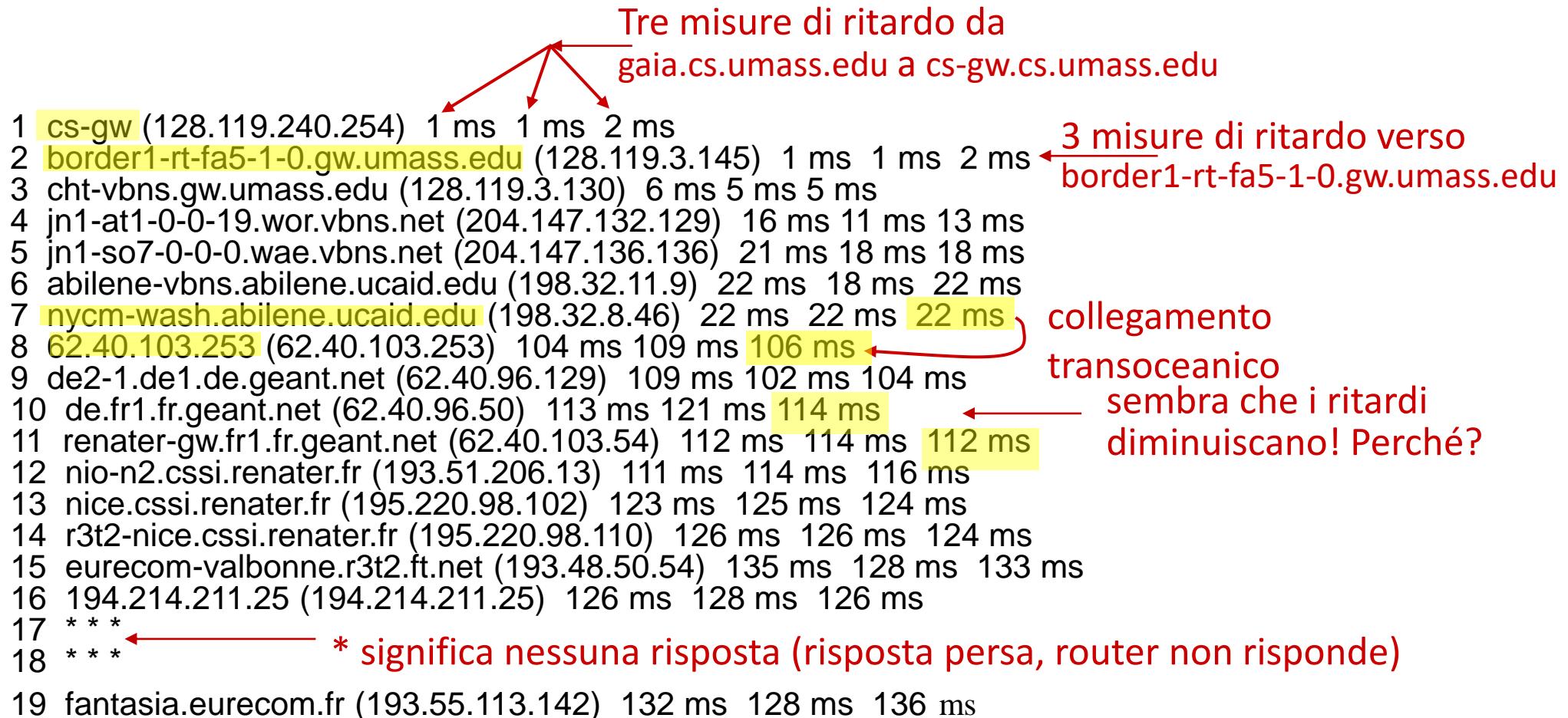
# Ritardi e percorsi in Internet

- 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. For all  $i$ :
  - invia tre pacchetti che raggiungeranno il router  $i$  sul percorso verso la destinazione (con il campo time-to-live uguale a  $i$ )
  - il router  $i$  restituirà i pacchetti al mittente
  - il mittente calcola l’intervallo tra trasmissione e risposta



# Ritardi e percorsi in Internet

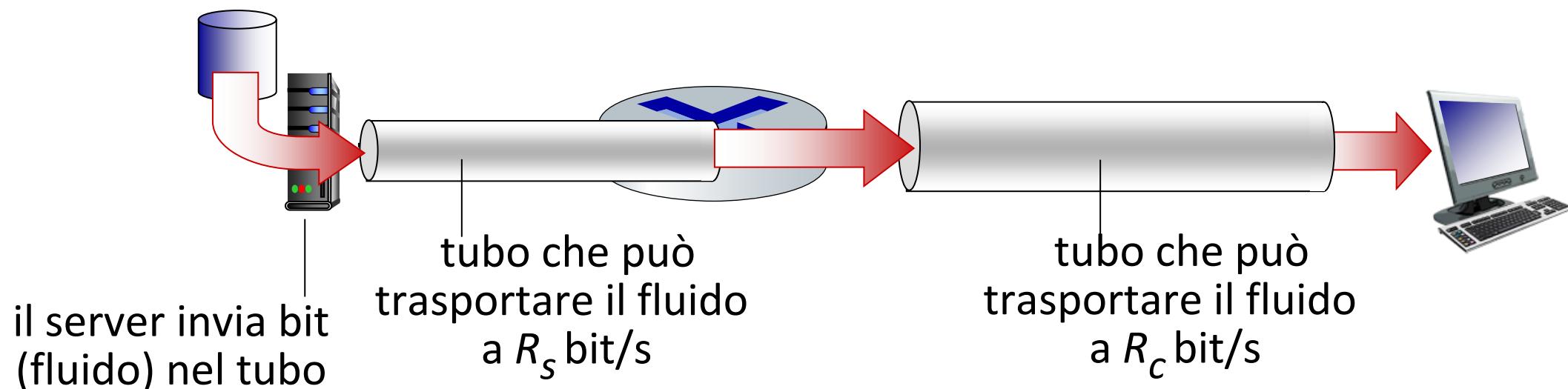
traceroute: da gaia.cs.umass.edu a www.eurecom.fr



\* Do some traceroutes from exotic countries at [www.traceroute.org](http://www.traceroute.org)

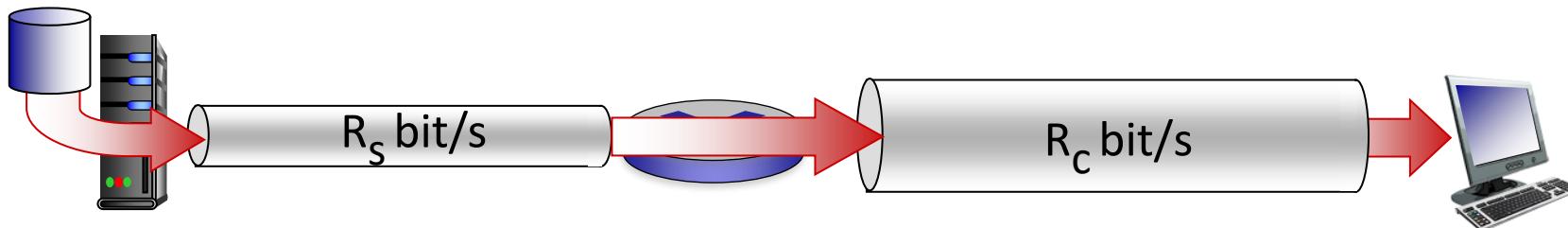
# Throughput

- **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 (es. il throughput medio del trasferimento di un file di  $F$  bit in  $T$  secondi è  $F/T$  bps)

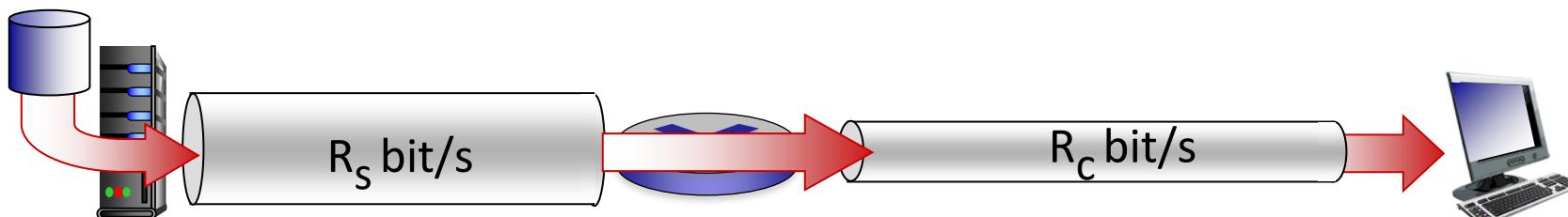


# Throughput

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



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

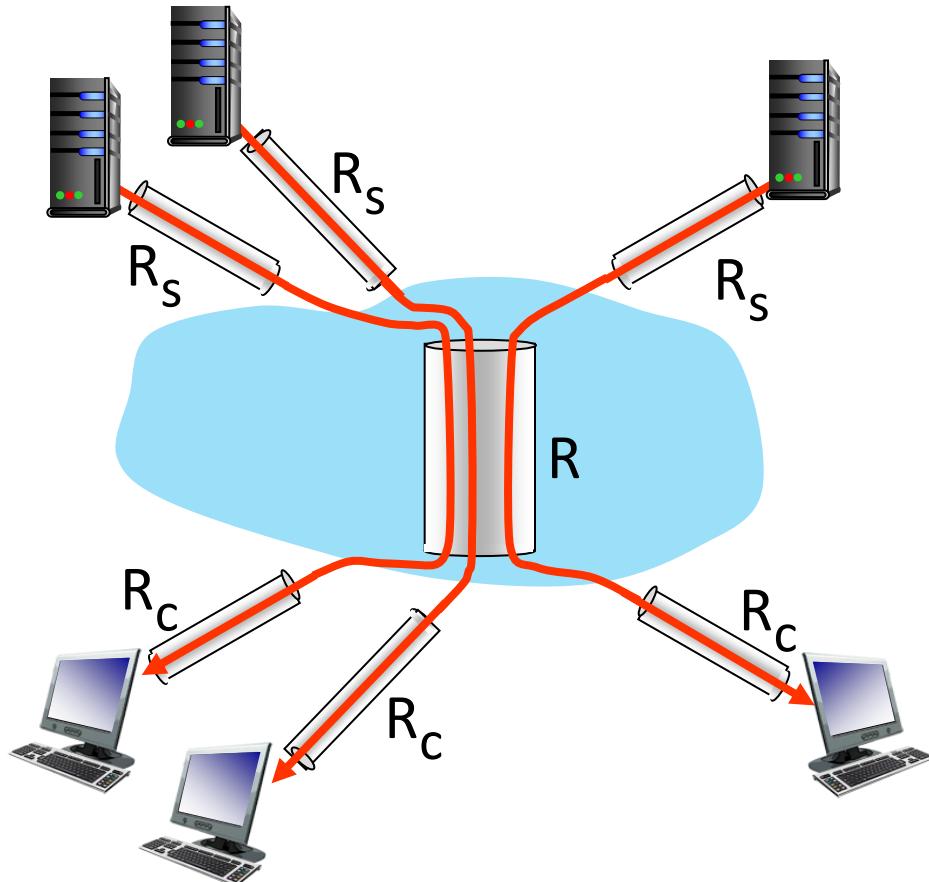


In entrambi i casi, abbiamo assunto che i soli bit inviati sulla rete siano quelli tra client e server

**Collo di bottiglia**

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

# Throughput: scenario Internet



10 connessioni (equamente)  
condividono il link del collo di  
bottiglia della dorsale  $R$  bits/sec

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

\* Check out the online interactive exercises for more examples: [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/)

# Throughput: osservazioni

- Il throughput end-to-end dipende *in primo luogo* dalla velocità di trasmissione dei collegamenti attraversati dal flusso di dati
  - se il percorso non è interessato da altro traffico:  
 $\text{throughput} \approx \min\{R_i\}$  dove  $R_i$  è la velocità di trasmissione dell'i-esimo collegamento
  - altrimenti, la presenza di *altro traffico può limitare* il throughput: nella slide sullo "scenario Internet", abbiamo stimato il throughput assumendo di suddividere la velocità di trasmissione di un collegamento tra i vari flussi che lo attraversano
- Il throughput effettivo può essere inferiore a causa di altri fattori (es. protocolli)

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"  
Laurea in Informatica

Sistemi Operativi e Reti  
(modulo Reti)  
a.a. 2023/2024

# Introduzione (parte3)

dr. Manuel Fiorelli

[manuel.fiorelli@uniroma2.it](mailto:manuel.fiorelli@uniroma2.it)

<https://art.uniroma2.it/fiorelli>

Basate sulle slide del libro di testo:

[https://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/ppt.php](https://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/ppt.php)

Introduction: 1-86

# Capitolo 1: tabella di marcia

- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- Ai confini della rete: host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- **Sicurezza**
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Un po' di storia



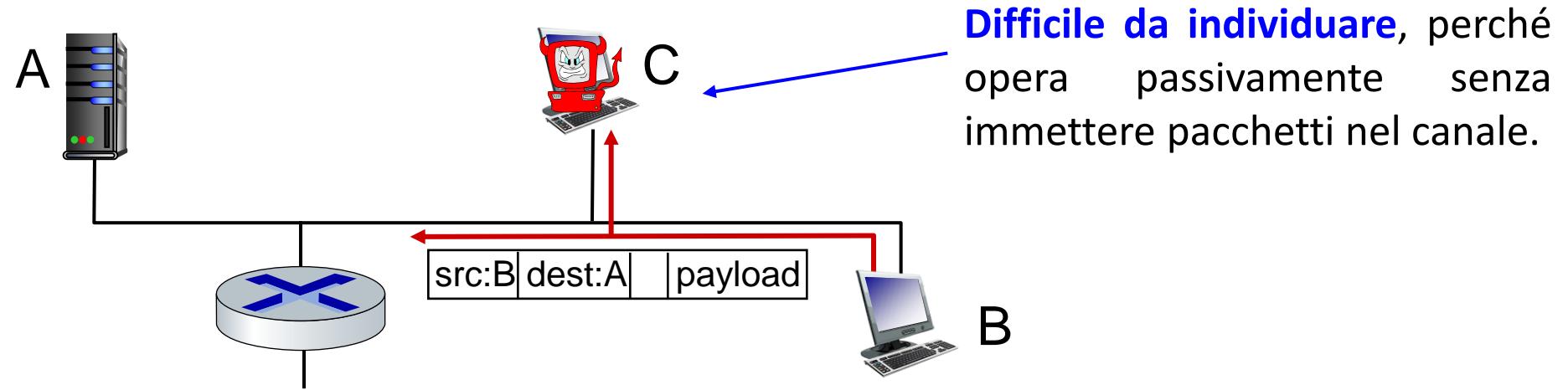
# Sicurezza di rete

- Internet non è stata originariamente progettata pensando (molto) alla sicurezza
  - *visione originale*: “gruppo di utenti mutuamente fidati collegati a una rete trasparente” [Blumenthal 2001]
- 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

*Analisi dei pacchetti (packet sniffing):*

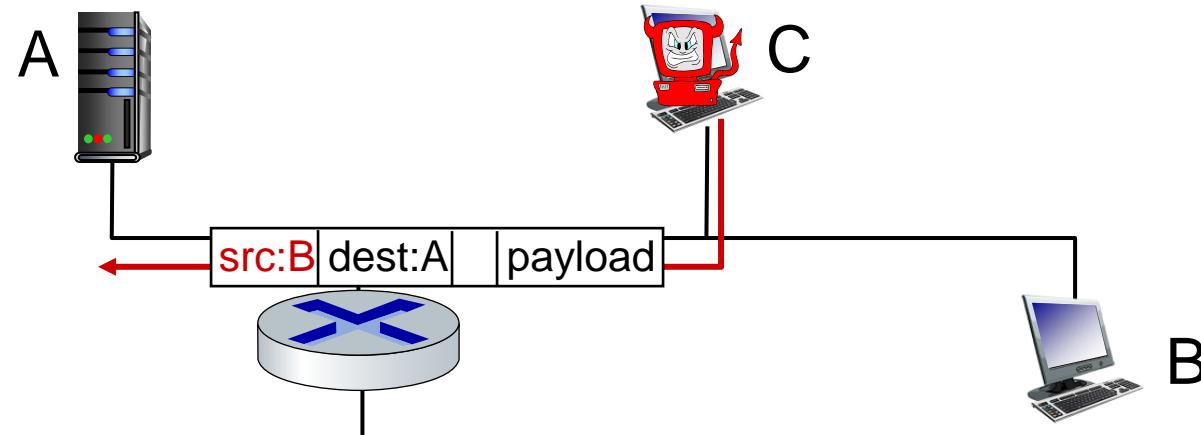
- media broadcast (Ethernet condivisa, wireless)
- un'interfaccia di rete promiscua legge/registra tutti i pacchetti (ad esempio, anche le password!) che l'attraversa



Il software Wireshark è un packet sniffer (gratuito)

# Malintenzionati: identità falsa

*IP spoofing: iniezione di pacchetti con indirizzo sorgente falso*



*Usi:*

- ostacolare identificazione/blocco di una sorgente di attacco (vedi DoS dopo, sebbene meno rilevante nel caso di DDoS)
- sfruttare relazione di fiducia tra host (es. accesso senza autenticazione da host nella medesima rete locale)
- indirizzare messaggi di risposta verso B, montando un attacco di negazione di servizio contro B (vedi dopo), basato sull'amplificazione del traffico generato da C (vedi DNS Amplification Attack, in cui una richiesta a un DNS produce una risposta più grande indirizzata verso la vittima)

# Malintenzionati : negazione del servizio (denial-of-service, DoS)

*Negazione del servizio (Denial of Service (DoS)):* gli aggressori rendono una rete, un host o altro elemento infrastrutturale non disponibili per gli utenti legittimi.

*3 categorie di attacchi DoS:*

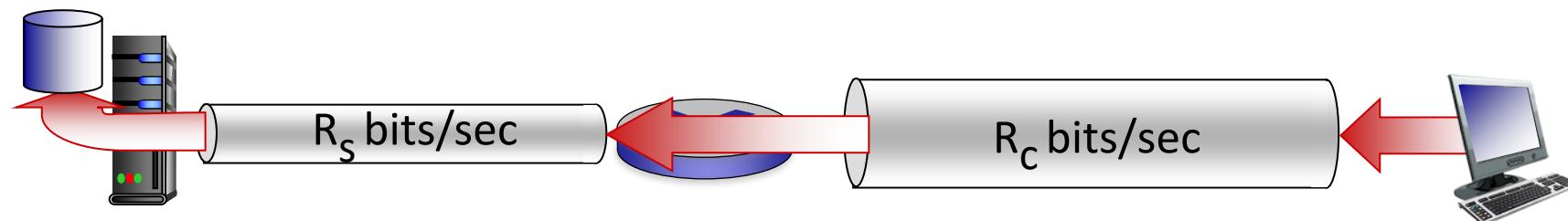
- *attacchi alla vulnerabilità dei sistemi*: invio di (pochi) pacchetti costruiti ad arte per causare il blocco di un servizio o lo spegnimento di un host, sfruttando vulnerabilità delle applicazioni o dei sistemi operativi.
- *bandwidth flooding* (inondazione di banda): invio massivo di pacchetti all'host obiettivo impedendo al traffico legittimo di raggiungerlo.
- *connection flooding* (inondazione di connessioni): stabilire un gran numero di connessioni TCP con l'host obiettivo, impedendogli di accettare le connessioni legittime.

# Malintenzionati : negazione del servizio (denial-of-service, DoS)

*Negazione del servizio (Denial of Service (DoS)):* gli aggressori rendono una rete, un host o altro elemento infrastrutturale non disponibili per gli utenti legittimi.

*bandwidth flooding:*

L'attaccante invia traffico a una velocità prossima a  $R_s$  (velocità di accesso del server)



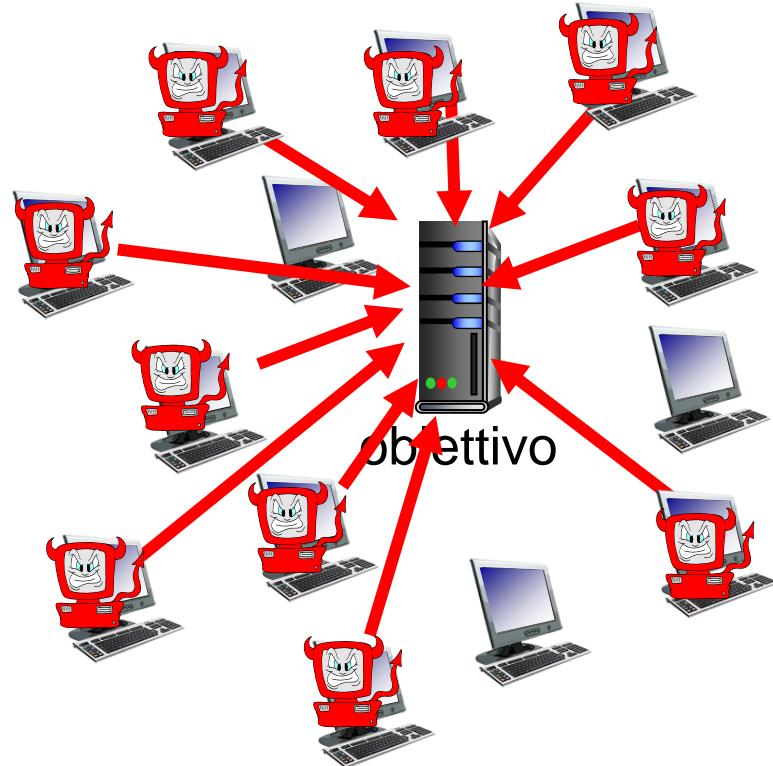
Una singola sorgente di attacco potrebbe avere una velocità di accesso insufficiente (tipicamente  $R_c \ll R_s$ ) e sarebbe comunque facile da identificare e bloccare.

# Malintenzionati : negazione del servizio (denial-of-service, DoS)

*Negazione del servizio (Denial of Service (DoS)):* gli aggressori rendono una rete, un host o altro elemento infrastrutturale non disponibili per gli utenti legittimi.

## Distributed denial-of-service (DDoS)

1. selezionare l'obiettivo
2. irrompere negli host attraverso la rete (vedi botnet)
3. inviare pacchetti verso l'obiettivo da host compromessi



# Linee di difesa

- **autenticazione:** dimostrare che siete chi dite di essere
  - Le reti cellulari forniscono un'identità hardware attraverso la carta SIM; in Internet tradizionale non esiste un'assistenza hardware di questo tipo.
- **riservatezza:** attraverso la cifratura
- **integrità:** le firme digitali prevengono/rilevano le manomissioni
- **restrizioni di accesso:** VPN (Virtual Private Network) protette da password
- **firewalls:** "middlebox" specializzate nelle reti di accesso e di base:
  - off-by-default: filtrare i pacchetti in entrata per limitare i mittenti, i destinatari e le applicazioni
  - rilevare/reagire agli attacchi DOS

Firewall implementato spesso anche negli host in software (es. nel sistema operativo)

*... e molto altro si potrebbe dire ancora*

- 
- protezione da IP spoofing (es. impedire l'ingresso in una LAN di pacchetti provenienti da altre reti ma il cui mittente dichiarato appartiene alla LAN)
  - impedire connessioni a applicazioni
  - etc.

# Capitolo 1: tabella di marcia

- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- Ai confini della rete: host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- **Livelli di protocollo, modelli di servizio**
- Un po' di storia



# Livelli di protocollo e modelli di riferimento

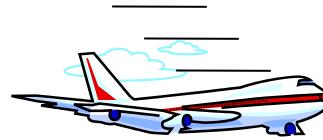
Le reti sono complesse,  
con molti “pezzi”:

- host
- router
- svariate tipologie di mezzi trasmissivi
- applicazioni
- protocolli
- hardware, software

*Domanda:* c'è qualche speranza di organizzare l'architettura delle reti?

- e/o la nostra trattazione sulle reti?

# Esempio: organizzazione di un viaggio aereo



*trasferimento end-to-end di persona e bagaglio*

biglietto (acquisto)

bagaglio (imbarco)

gate (entrata)

pista di decollo

instradamento aereo

biglietto (proteste)

bagaglio (ritardo)

gates (uscita)

pista di atterraggio

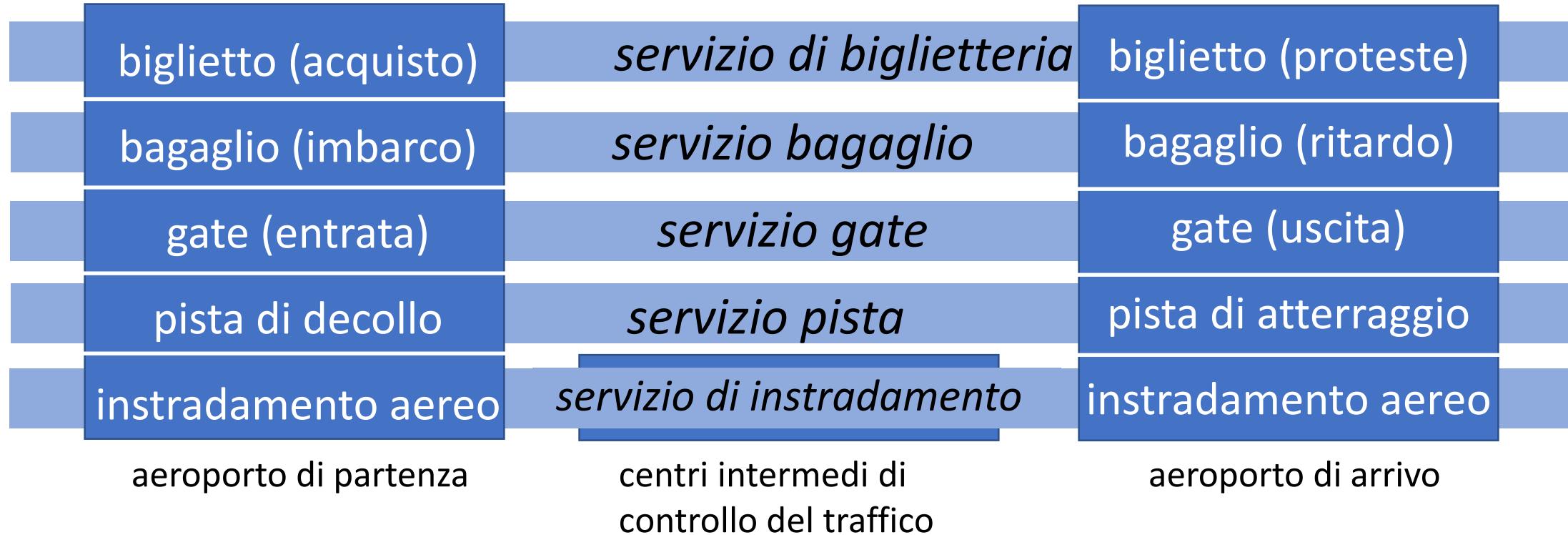
instradamento aereo

instradamento aereo

Come *definireste/discutereste* il *sistema* dei viaggi in aereo?

- una serie di passaggi che coinvolgono molti servizi

# Esempio: organizzazione di un viaggio aereo



*livelli o strati (layer):* ogni livello implementa un servizio

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

# Perché la stratificazione?

Approccio alla progettazione/discussione di sistemi complessi

- una struttura esplicita consente l'identificazione dei vari componenti di un sistema complesso e delle loro interrelazioni
  - analisi del *modello di riferimento a strati*
- la modularizzazione facilita la manutenzione e l'aggiornamento di un sistema
  - modifica dell'implementazione del servizio del livello: trasparente al resto del sistema
  - es. le modifiche alla procedura di gate non influiscono sul resto del sistema.

# Potenziali svantaggi

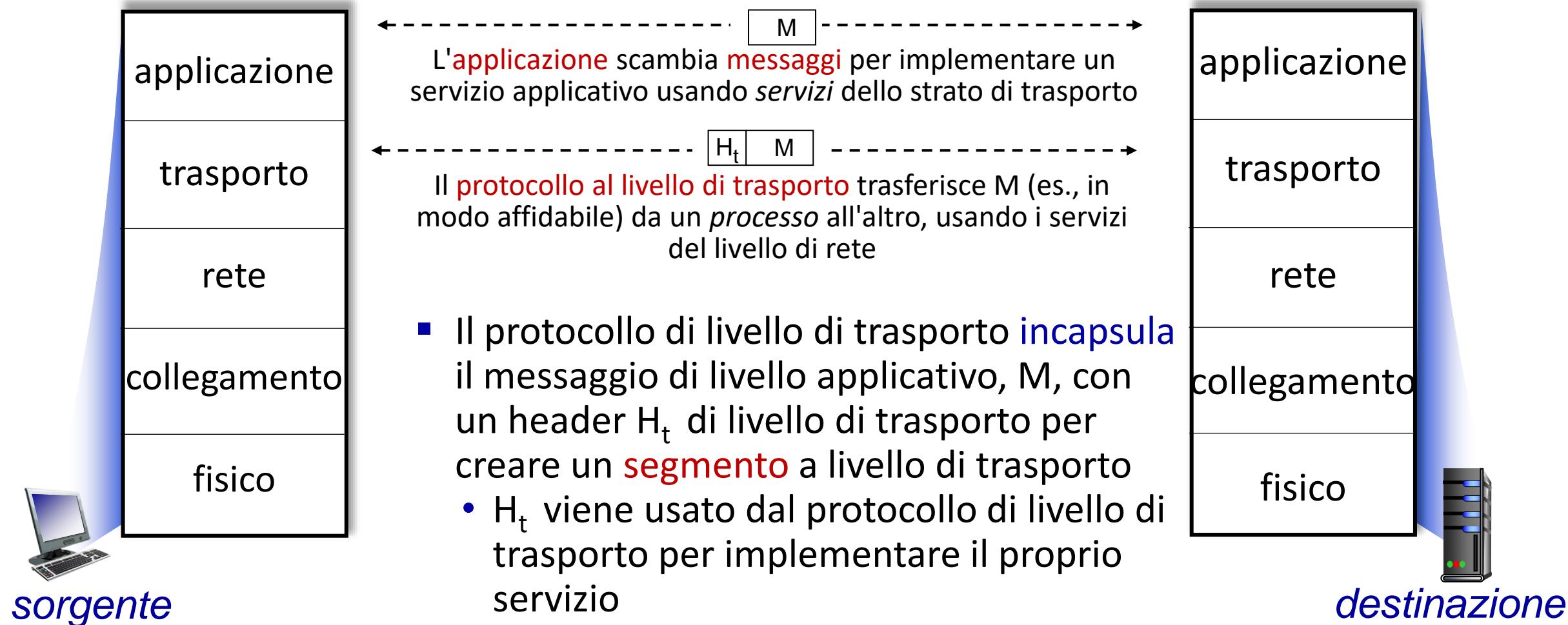
- un livello può duplicare funzionalità del livello inferiore (es. correzione degli errori implementata spesso sia a livello di trasporto sia a livello di collegamento)
- necessità di violare la separazione tra livelli, perché un livello ha bisogno di una informazione (es. un valore di natura temporale) disponibile solo all'interno di un livello inferiore

# Pila di protocolli (protocol stack) di Internet

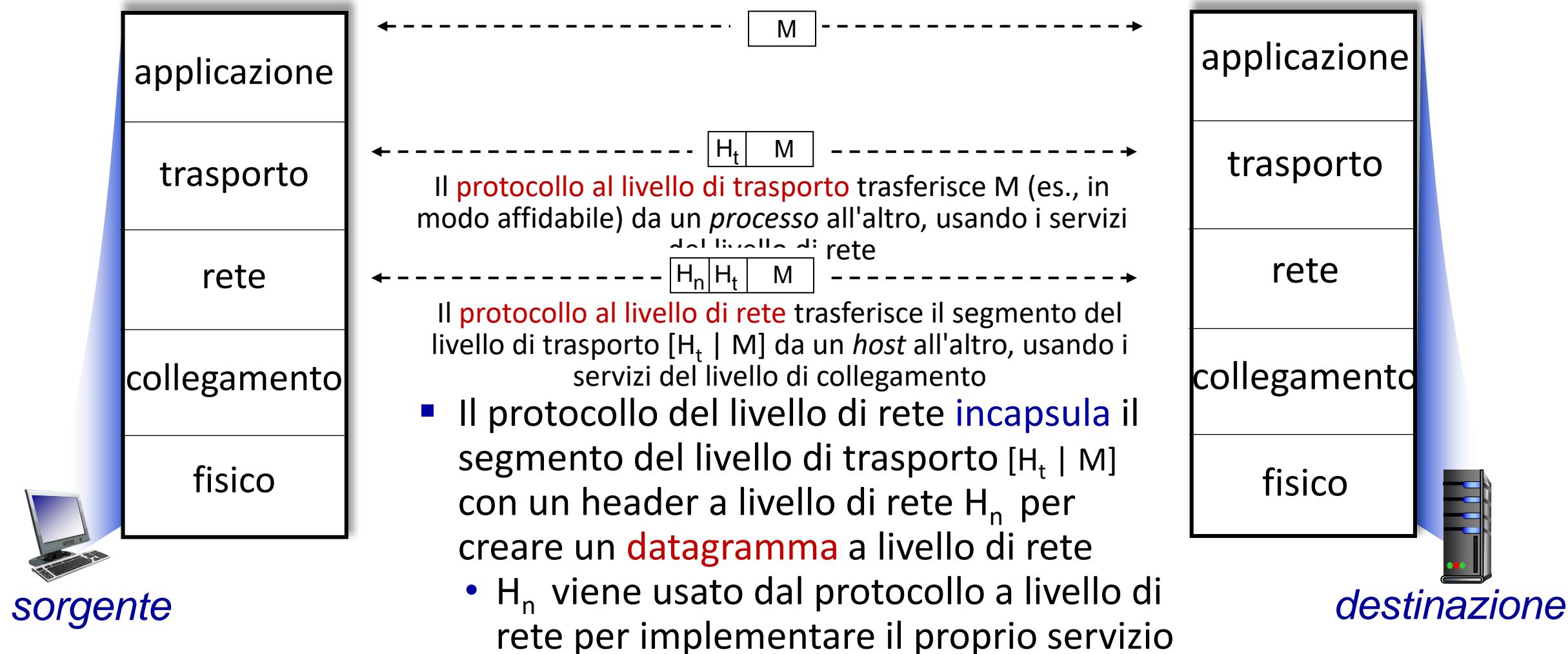
- **applicazione (application layer):** supporto alle applicazioni di rete
  - HTTP, IMAP, SMTP, DNS, *funzionalità critica ma implementata a livello applicativo negli host*
- **trasporto (transport layer):** trasferimento di dati tra processi (in esecuzione su host differenti)
  - TCP, UDP
- **rete (network layer):** trasferimento di pacchetti di rete, detti datagrammi, da un host all'altro
  - IP, protocolli di instradamento
- **collegamento (link layer):** trasferimento di dati tra elementi di rete vicini
  - Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- **fisico (physical layer):** bit “sul filo”



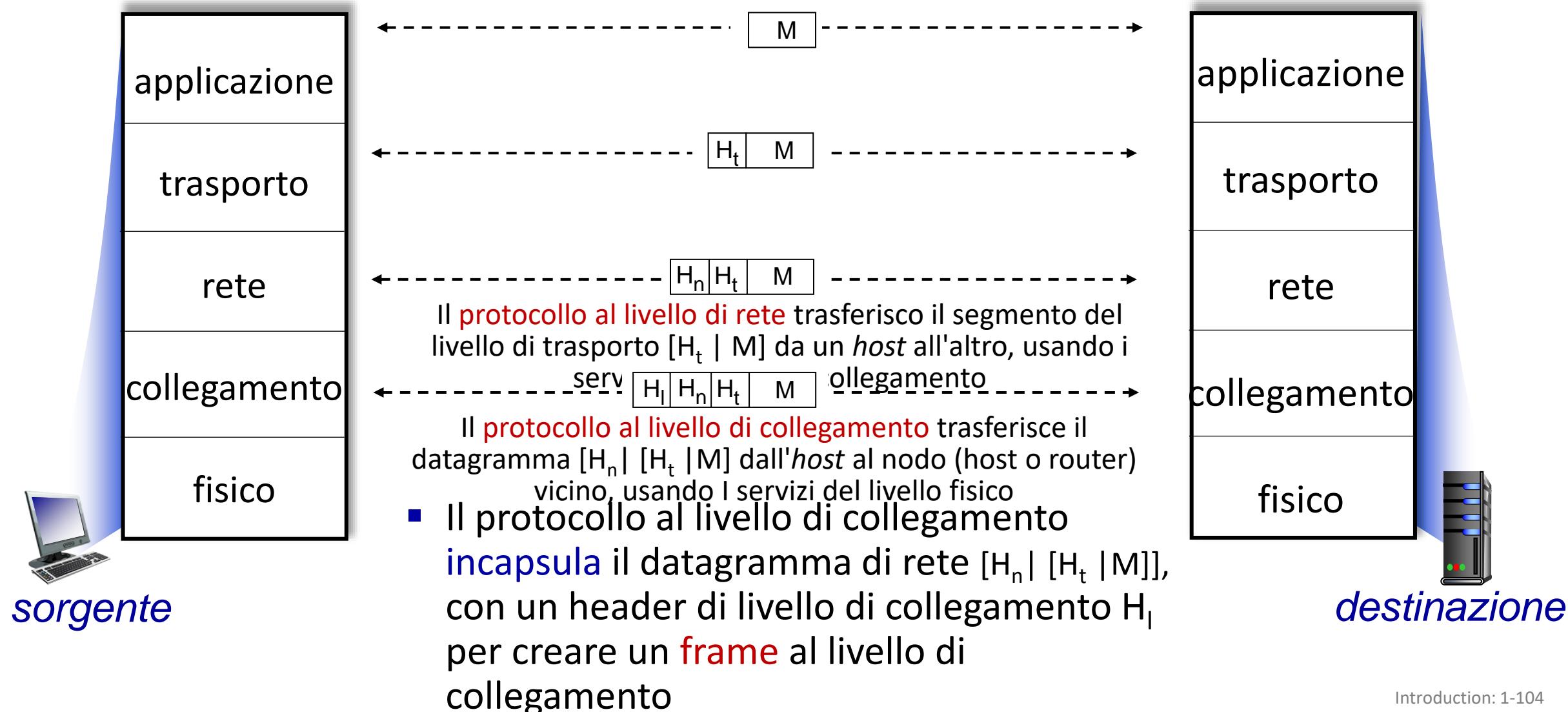
# Servizi, Stratificazione e Incapsulamento



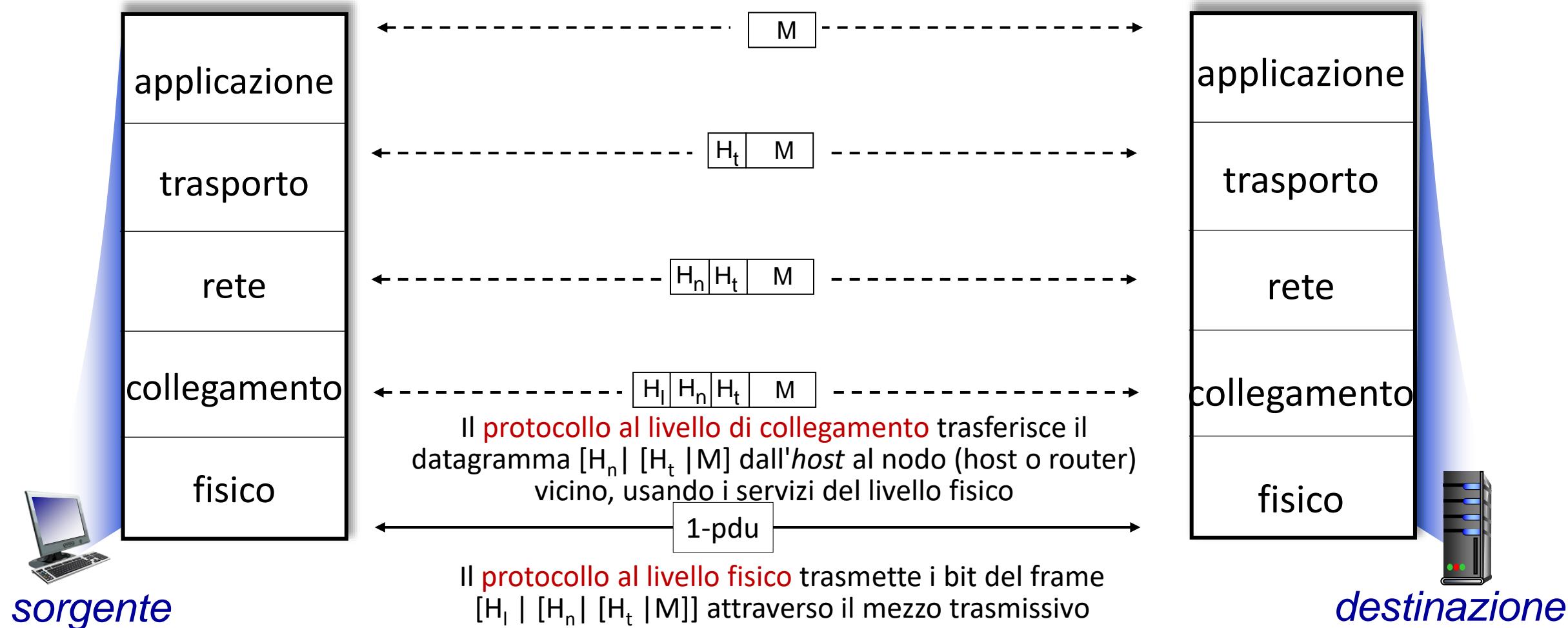
# Servizi, Stratificazione e Incapsulamento



# Servizi, Stratificazione e Incapsulamento



# Servizi, Stratificazione e Incapsulamento

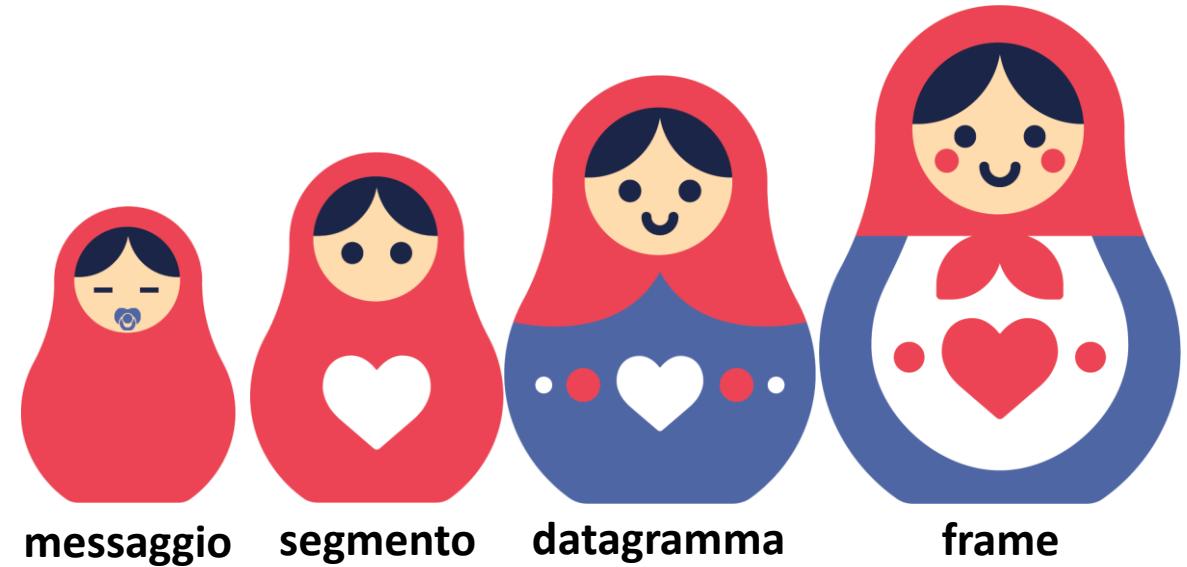


# Modello di servizio (*service model*)

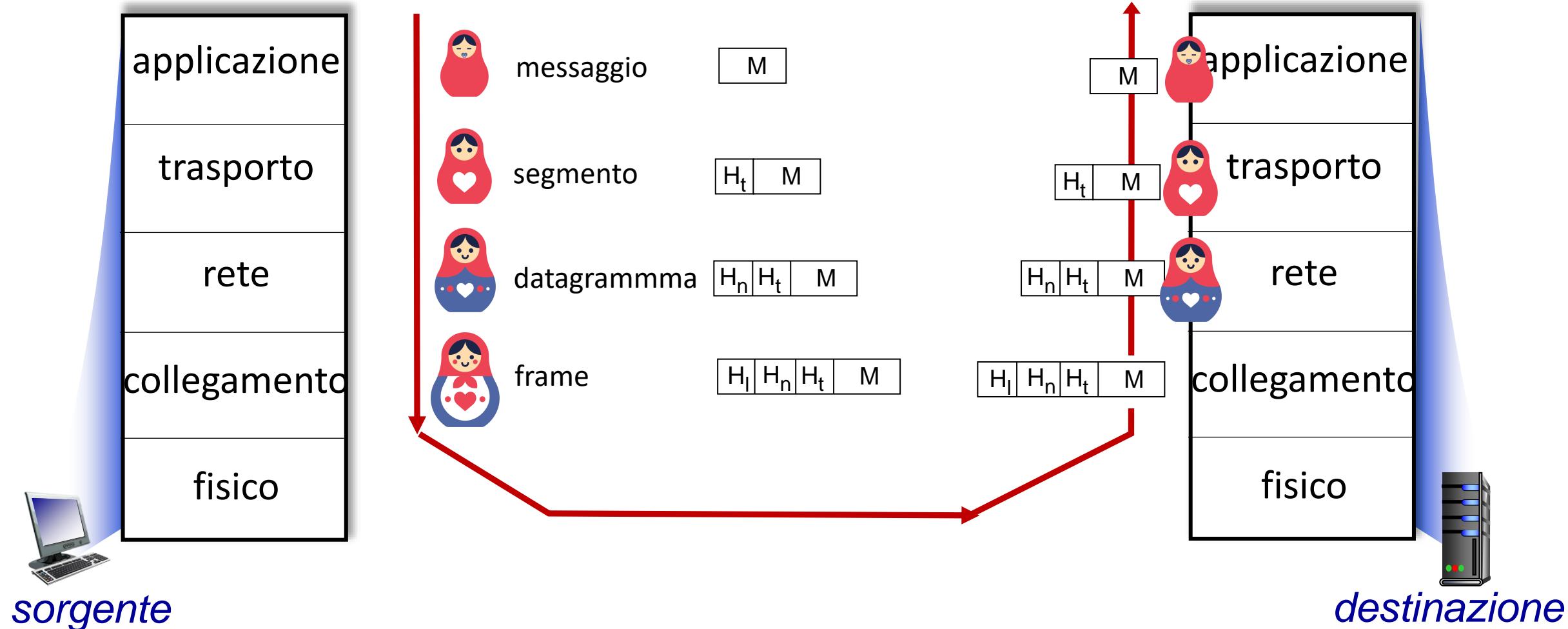
- Insieme dei servizi offerti da un livello a quello superiore
- I diversi servizi possono essere implementati da protocolli diversi
- Il livello di collegamento può offrire al servizio di rete servizi diversi lungo ciascun collegamento nel percorso dalla sorgente alla destinazione in base al protocollo impiegato su ciascun collegamento (es. Ethernet, Wi-Fi, PPP).
- Inoltre, un protocollo a livello di collegamento può prevedere diversi protocolli a livello fisico dipendentemente dalla tecnologia di trasmissione e dal mezzo trasmissivo del link. Ethernet, ad esempio, ha molti protocolli dello strato fisico: es. uno per doppino intrecciato, uno per la fibra ottica, uno per il cavo coassiale.

# Incapsulamento

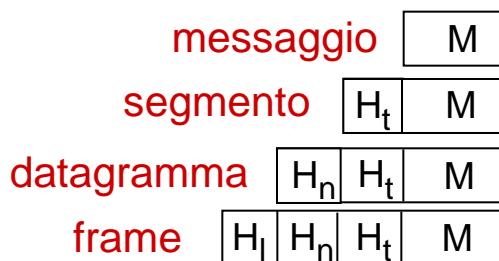
*Bambole matrioska (bambole impilabili)*



# Servizi, Stratificazione e Incapsulamento

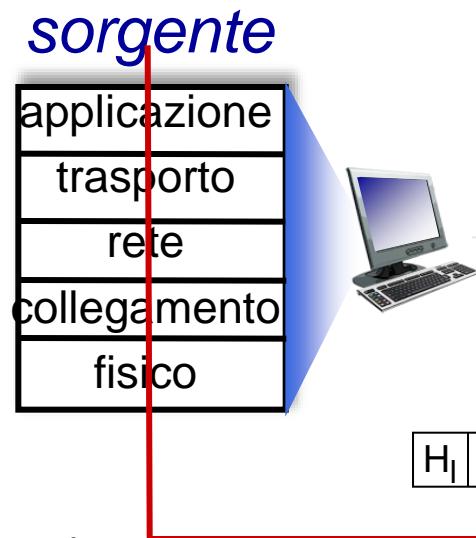


# Incapsulamento: una visione end-to-end



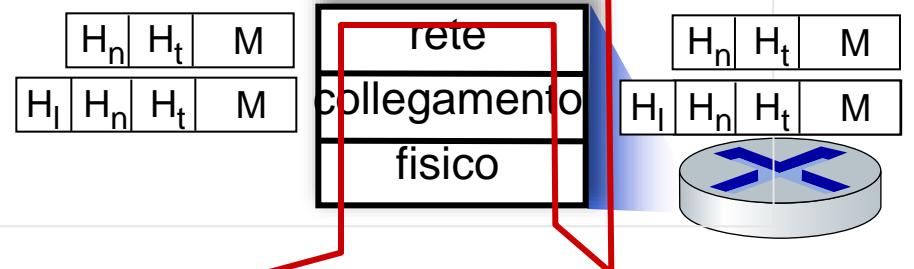
Un protocollo di livello n può essere **distribuito** tra sistemi periferici, commutatori di pacchetto e altri elementi di rete.

Si noti che host, router e switch implementano ciascuno solo i livelli adeguati alle loro funzionalità.



switch

A seguito dell'inoltro, l'intestazione  $H_n$  può cambiare (es. decremento *Time to live*)



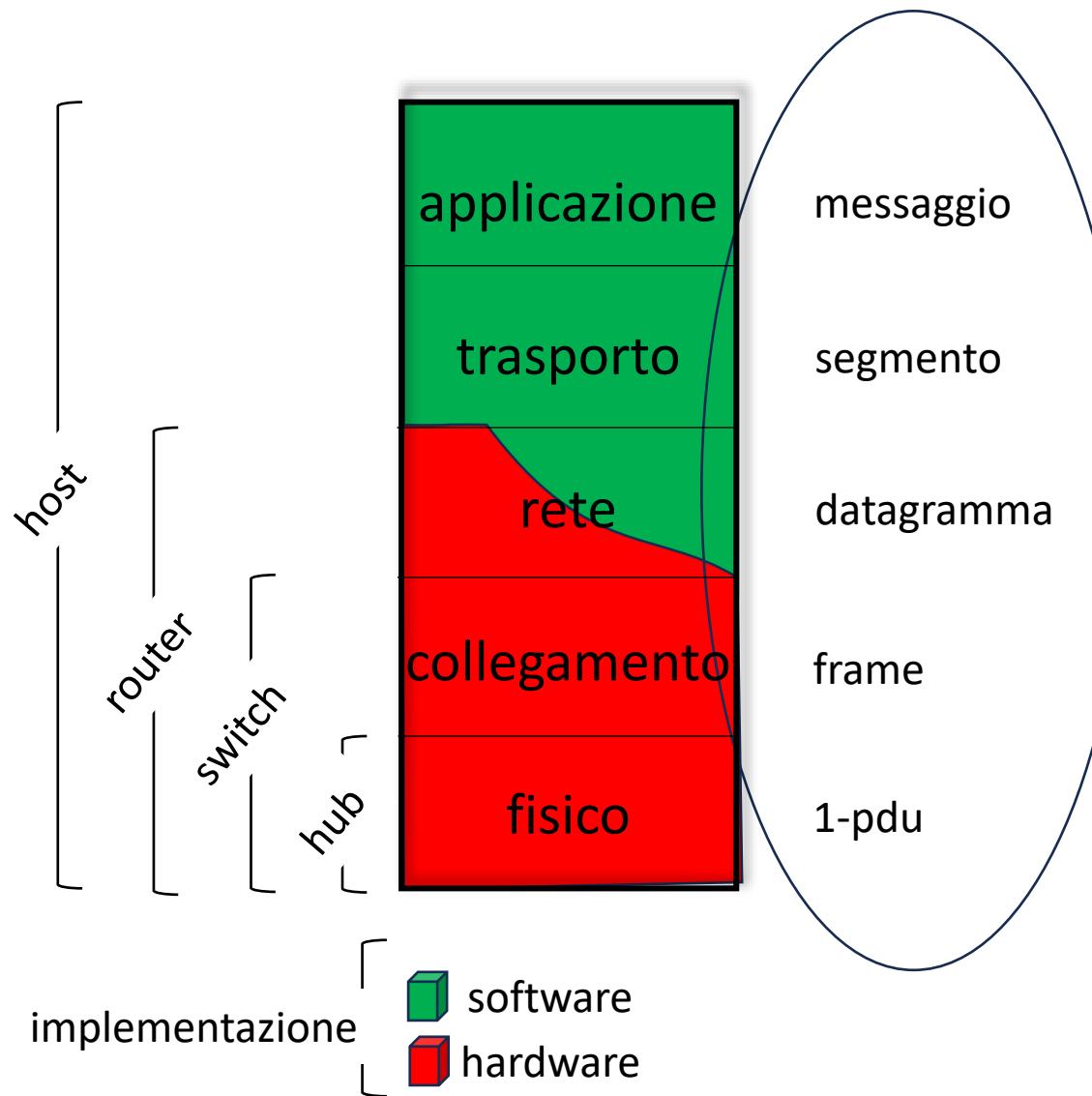
router

Il livello di rete può ricevere un servizio diverso dai protocolli del livello di collegamento, man mano che un datagramma attraversa collegamenti di tipo diverso.

# Incapsulamento: una visione end-to-end

- L'intestazione del datagramma contiene gli indirizzi a livello di rete (indirizzi IP) dell'host sorgente e dell'host destinazione. Questi indirizzi non cambiano mentre il pacchetto attraversa la rete a meno di alcuni casi che vedremo durante il corso.
- Ad ogni salto (hop) lungo il percorso, l'intestazione del frame di livello 2 viene aggiornata con gli indirizzi a livello di collegamento (MAC) del dispositivo sorgente (ad esempio, la scheda di rete dell'host o del router che sta inviando il frame) e del dispositivo destinazione immediatamente adiacente (il router successivo o l'host di destinazione finale, se è nella stessa rete).
- Gli switch sono trasparenti (non vengono mai indirizzati esplicitamente)
- Dal punto di vista del livello di rete, due nodi sono adiacenti se possono comunicare direttamente tra loro tramite il livello di collegamento, *senza dover passare per un router*.

# n-PDU, implementazione dei livelli



**n-PDU** (*protocol data unit*): è la singola unità di informazione scambiata tra pari attraverso un protocollo di livello n.

- specifiche informazioni di controllo per il protocollo
- carico utile (payload): in genere una  $(n+1)$ -PDU

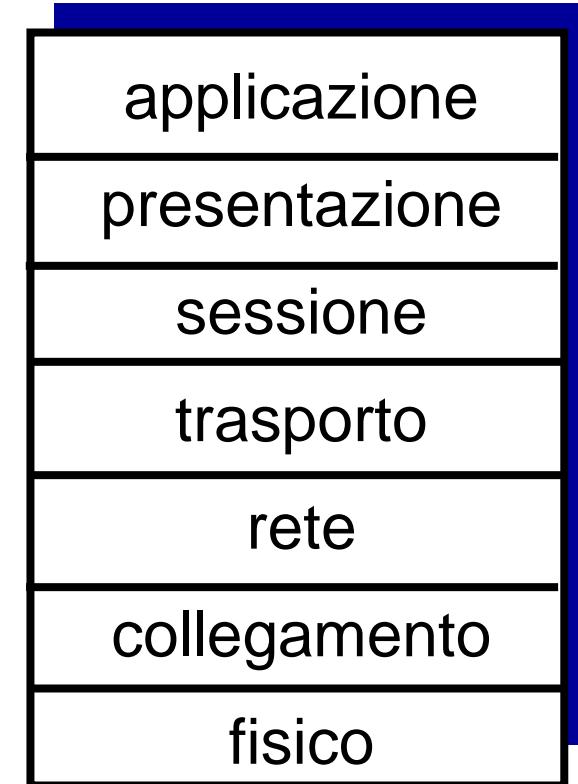
Gli host implementano tutti e 5 livelli: maggiore complessità nella periferia della rete!

I dispositivi che non implementano un livello non ne interpretano/elaborano la PDU.

# Modello di riferimento ISO/OSI

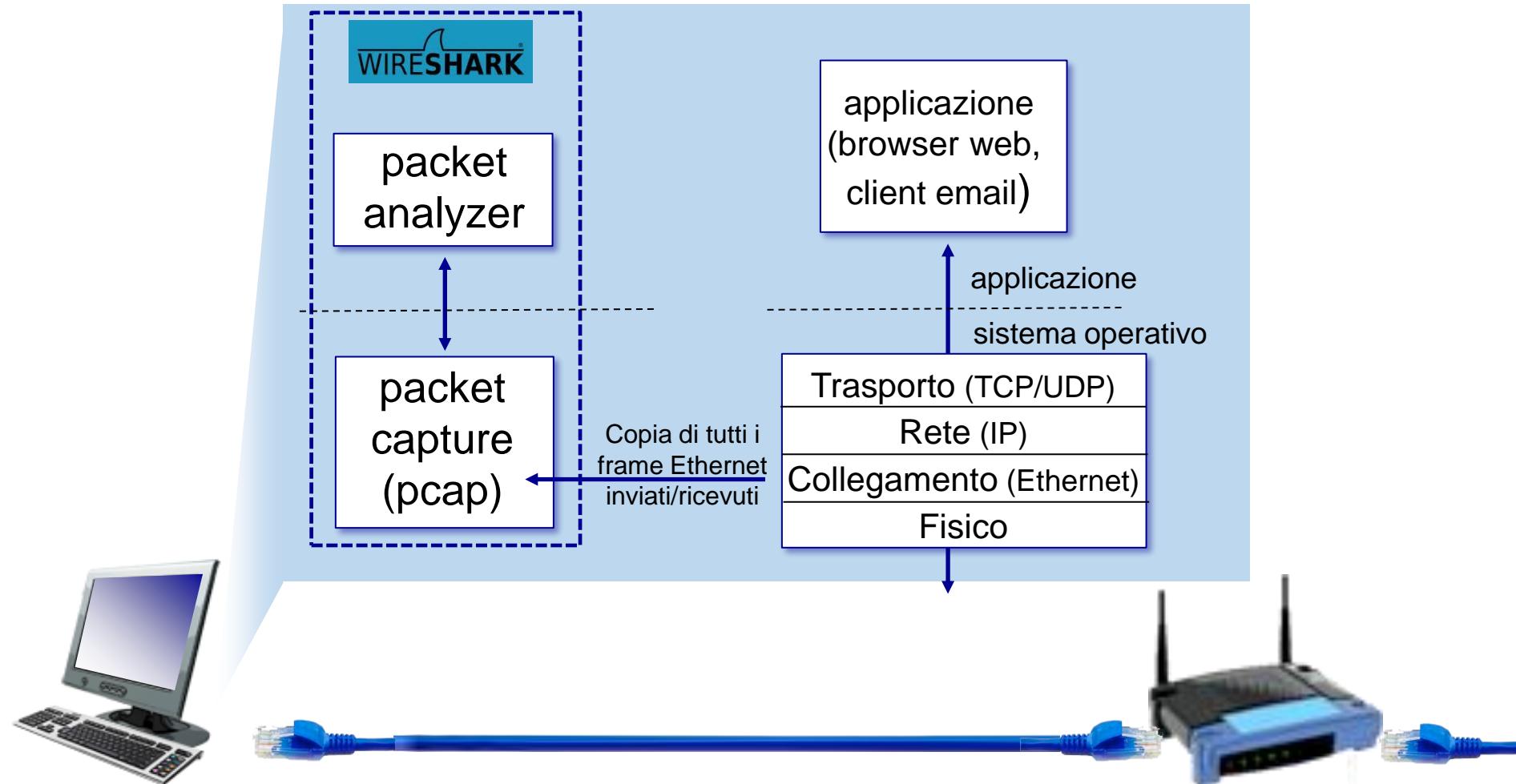
Due strati non presenti nella pila di protocolli di Internet!

- ***presentazione***: consente alle applicazioni di interpretare il significato dei dati, ad esempio, crittografia, compressione, convenzioni specifiche della macchina
- ***sessione***: sincronizzazione, checkpointing, ripristino dello scambio di dati
- La pila di Internet "manca" di questi strati!
  - questi servizi, *se necessari*, devono essere implementati nelle applicazioni
  - necessari?



Il modello di riferimento ISO/OSI a 7 strati

# Wireshark



# Capitolo 1: tabella di marcia

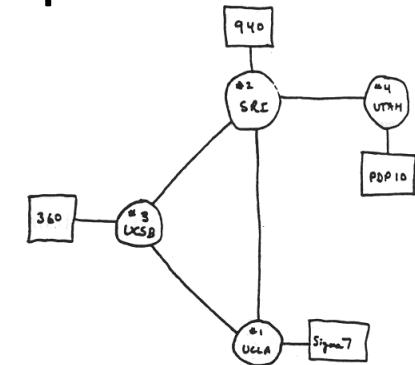
- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- Ai confini della rete: host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Un po' di storia



# Storia di Internet

## 1961-1972: Sviluppo della commutazione di pacchetto

- 1961: Kleinrock – usando la teoria delle code, dimostrò l'efficacia dell'approccio a commutazione di pacchetto per sorgenti di traffico intermittenti
  - 1964: Baran – investigò l'uso della commutazione di pacchetto nelle reti militari
  - 1967: il progetto ARPAnet viene concepito dall'Advanced Research Projects Agency
  - 1969: primo nodo operativo ARPAnet
- 1972:
    - dimostrazione pubblica di ARPAnet
    - NCP (Network Control Protocol) primo protocollo host a host
    - Primo programma di posta elettronica
    - ARPAnet ha 15 nodi



THE ARPA NETWORK

# Storia di Internet

## 1972-1980: *Internetworking e reti proprietarie*

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

I principi di Cerf e Kahn sull'internetworking:

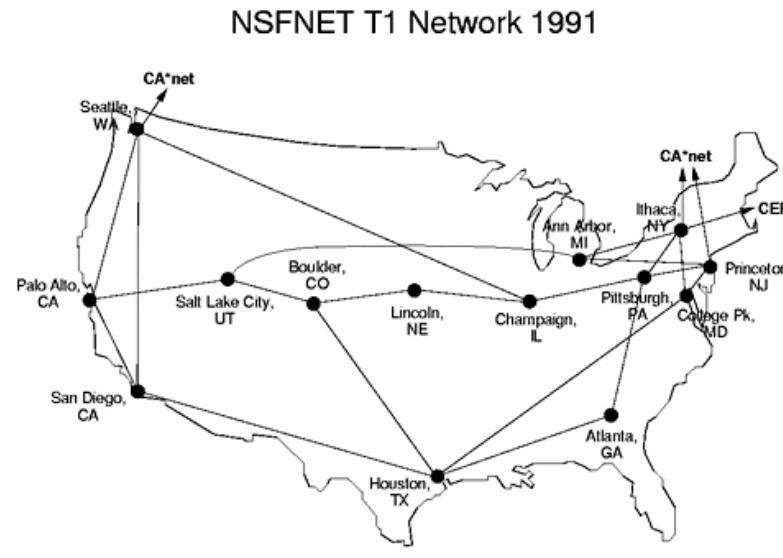
- minimalismo, autonomia – per collegare le varie reti non occorrono cambiamenti interni
- modello di servizio best effort
- router stateless
- controllo decentralizzato

definiscono l'attuale architettura di Internet

# Storia di Internet

## 1980-1990: nuovi protocolli, proliferazione delle reti

- 1983: rilascio di TCP/IP
- 1982: definizione del protocollo SMTP per la posta elettronica
- 1983: definizione del DNS per la traduzione degli 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 delle reti



# Storia di Internet

## *1990, 2000s: commercializzazione, Web, nuove applicazioni*

- primi anni '90: ARPAnet viene dismessa
- **1991**: NSF lascia decadere le restrizioni sull'uso commerciale di NSFnet (dismessa nel 1995)
- primi anni '90: Web
  - ipertestualità [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - **1994**: Mosaic, poi Netscape
  - **fine anni '90**: commercializzazione del web

- Fine anni '90 – inizi 2000:**
- arrivano le "killer application": messaggistica istantanea, condivisione di file P2P
  - sicurezza di rete in primo piano
  - stimati 50 milioni di host, 100 milioni+ di utenti
  - velocità nelle dorsali dell'ordine di Gbps

# Storia di Internet

## *2005-presente: scala, SDN, mobilità, cloud*

- diffusione aggressiva dell'accesso domestico a banda larga (10-100 Mbps)
- 2008: software-defined networking (SDN)
- la crescente ubiquità dell'accesso wireless ad alta velocità: 4G/5G, WiFi
- i fornitori di servizi (Google, FB, Microsoft) creano le proprie reti
  - scavalcare l'Internet commerciale per connettersi "vicino" all'utente finale, fornendo un accesso "istantaneo" ai social media, alla ricerca, ai contenuti video, ...
- le imprese gestiscono i loro servizi in "cloud"(es., Amazon Web Services, Microsoft Azure)
- ascesa degli smartphone: più dispositivi mobili che fissi su Internet (2017)
- ~15 miliardi di dispositivi connessi a Internet (2023, statista.com)

# Capitolo 1: riassunto

*Abbiamo coperto una "tonnellata" di materiale!*

- Internet overview
- cos'è un protocollo?
- ai confine della rete, reti di accesso, nucleo
  - commutazione di pacchetto versus commutazione di circuito
  - struttura di Internet
- prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- stratificazione, modelli di servizio
- sicurezza
- storia

*Ora avete*

- contesto, visione d'insieme, vocabolario, "sensazione" di rete
- più profondità, dettaglio e *divertimento* da seguire!