

Reti di Elaboratori

Introduzione (seconda parte)

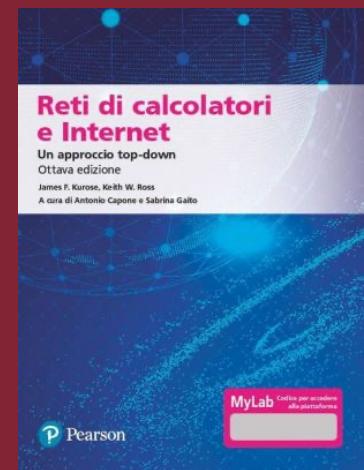


SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Alessandro Checco

alessandro.checco@uniroma1.it

Capitolo 1



Logistica e Comunicazioni

- Accesso al materiale e comunicazioni: Google Classroom

The screenshot shows the Google Classroom Stream interface. At the top, there are tabs for "Stream" (which is selected), "Classwork", and "People". On the right side of the header are icons for a calendar and a triangle.

The main content area features a large announcement card for the course "Reti di Elaboratori (a.a. 2023-24)" from "Canale A-L". The card includes an illustration of a laptop and two smartphones. Below the announcement, there are two cards: one for "Upcoming" work (with the message "Woohoo, no work due soon!") and one for "Announce" (with the message "Announce something to your class").

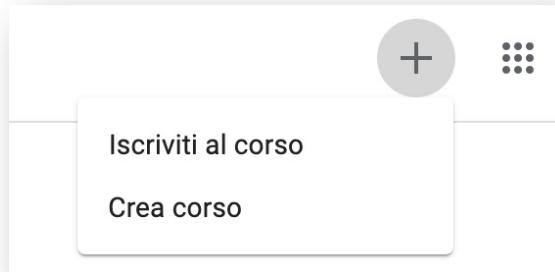
Below these cards is a post by user "Alessandro Checco" from February 26. The post reads:

Benvenuti al corso di Reti di Elaboratori, Canale 1 (A-L) 2023-24.
A differenza di quanto precedentemente indicato,
Il primo giorno di lezione sarà venerdì primo marzo alle 14, Aula 2 edificio Caglioti.

At the bottom of the screen, there is a comment input field with the placeholder "Add class comment..." and a send button.

Google Classroom

1



Codice corso
Chiedi il codice del corso all'insegnante e inseriscilo qui.

Codice corso

Per accedere con un codice di corso

- Utilizza un account autorizzato
- Utilizza un codice corso con 5-7 lettere o numeri, senza spazi né simboli

Se hai problemi a iscriverti al corso, consulta l'[articolo del Centro assistenza](#)

A screenshot of the 'Codice corso' (Class code) input field in Google Classroom. The input field is empty. Below it, instructions say to ask the teacher for the code and provide guidelines for entering it. A large yellow box with the word 'codice' is overlaid on the input field area.

2

Il codice (o link di registrazione) è anche in bacheca del docente

le6ydfg

Calendario delle lezioni

- Controllare il calendario per potenziali cambi di programma. Se siete iscritti a Google Classroom del corso riceverete una notifica.

The screenshot shows the Google Classroom interface for a course titled "Calendario delle lezioni". The "Classwork" tab is selected. A post from "Calendario delle lezioni" is displayed, containing a link to "Google Calendar". The calendar view shows the week from Monday, March 4, to Sunday, March 10, 2024. Three events are listed on the calendar:

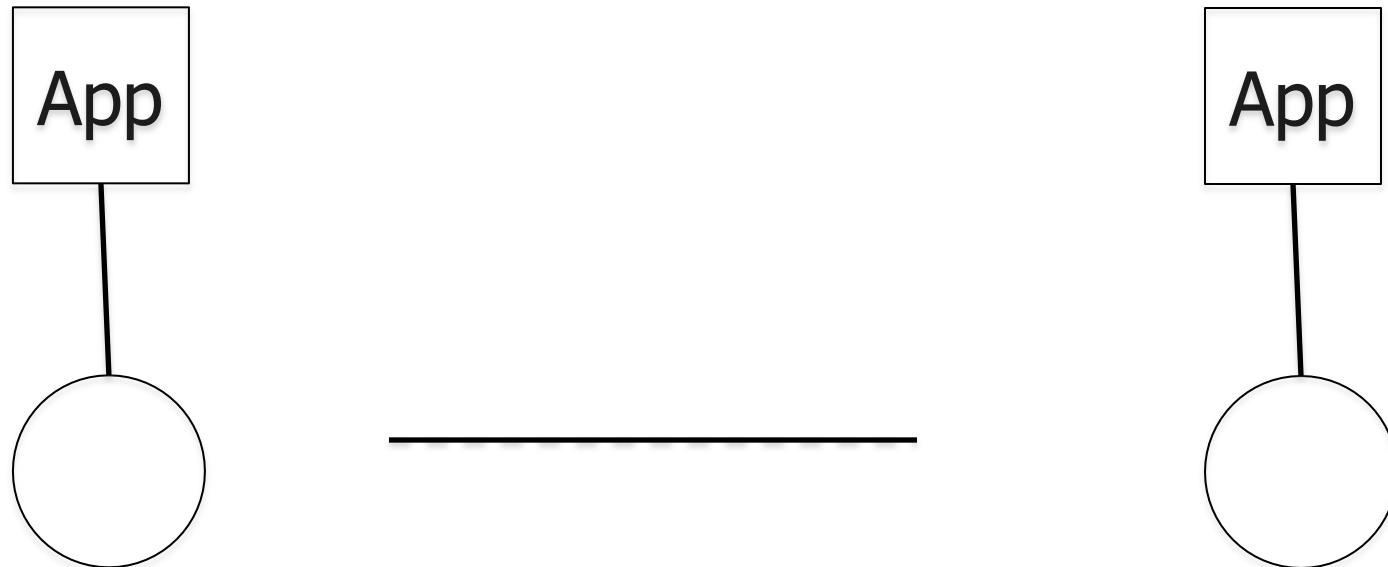
- Monday, March 4: [Teaching] [RE] Reti degli Elaboratori 2 - 5pm Aula II edificio Caglioti
- Tuesday, March 5: [Teaching] [RE] Reti degli Elaboratori 2 - 4pm Aula II edificio Caglioti
- Wednesday, March 6: [Teaching] [RE] Reti degli Elaboratori 2 - 4pm Aula II edificio Caglioti

The Sapienza University of Rome logo is visible in the top right corner of the calendar interface.

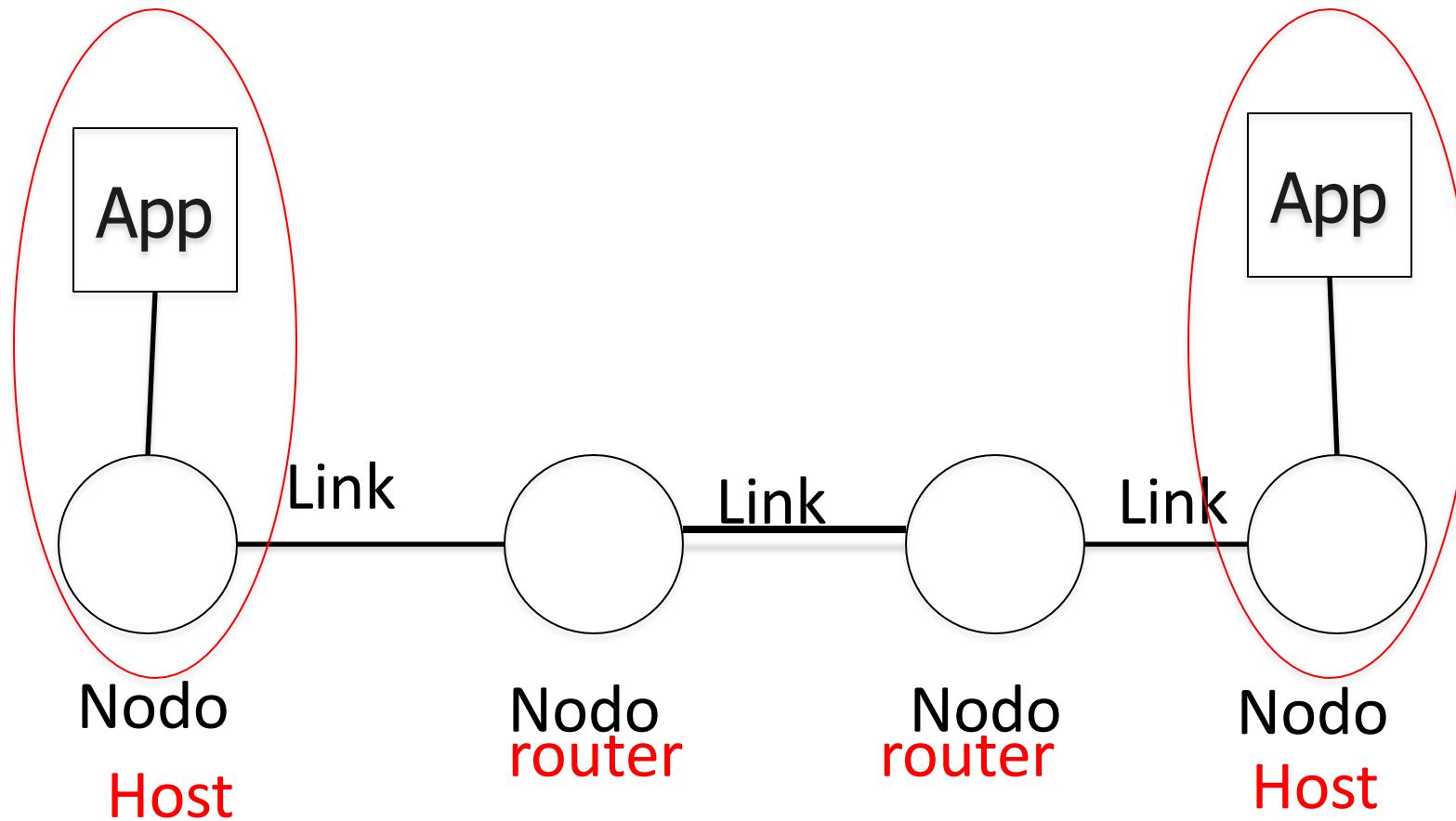
Capitolo 1: sommario

- Cos'è *Internet* ?
- Cos'è un protocollo?
- **Periferia della rete:** host, rete di accesso, supporti fisici
- Nucleo di rete: commutazione pacchetto/circuito, struttura internet
- Prestazioni: loss, delay, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Storia

Rete



Rete



Le reti: dispositivi terminali

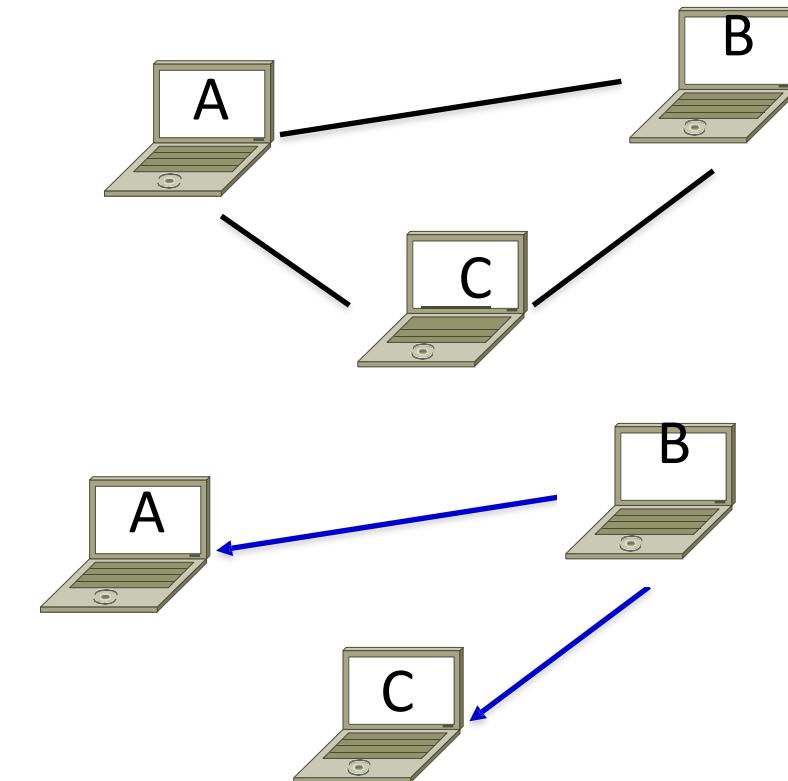
- Una rete è composta di dispositivi in grado di **scambiarsi informazioni**, quali sistemi terminali (end system), e dispositivi di interconnessione
- I sistemi terminali possono essere di due tipi
 - Host: macchina in genere di proprietà degli utenti e dedicata ad eseguire applicazioni
 - Computer desktop
 - Portatile
 - Cellulare
 - Tablet
 - Server: è tipicamente un computer con elevate prestazioni destinato a eseguire programmi che forniscono servizio a diverse applicazioni utente come, per esempio, la posta elettronica o il Web
 - gestiti da amministratori di sistema
 - includono stampanti

Le reti: dispositivi di interconnessione

- I dispositivi di interconnessione rigenerano/modificano il segnale che ricevono e si distinguono in
 - Router dispositivi che collegano una rete ad altre reti
 - Switch (commutatori) collegano più sistemi terminali a livello locale
 - Modem trasformano la codifica dei dati

Le reti: collegamenti

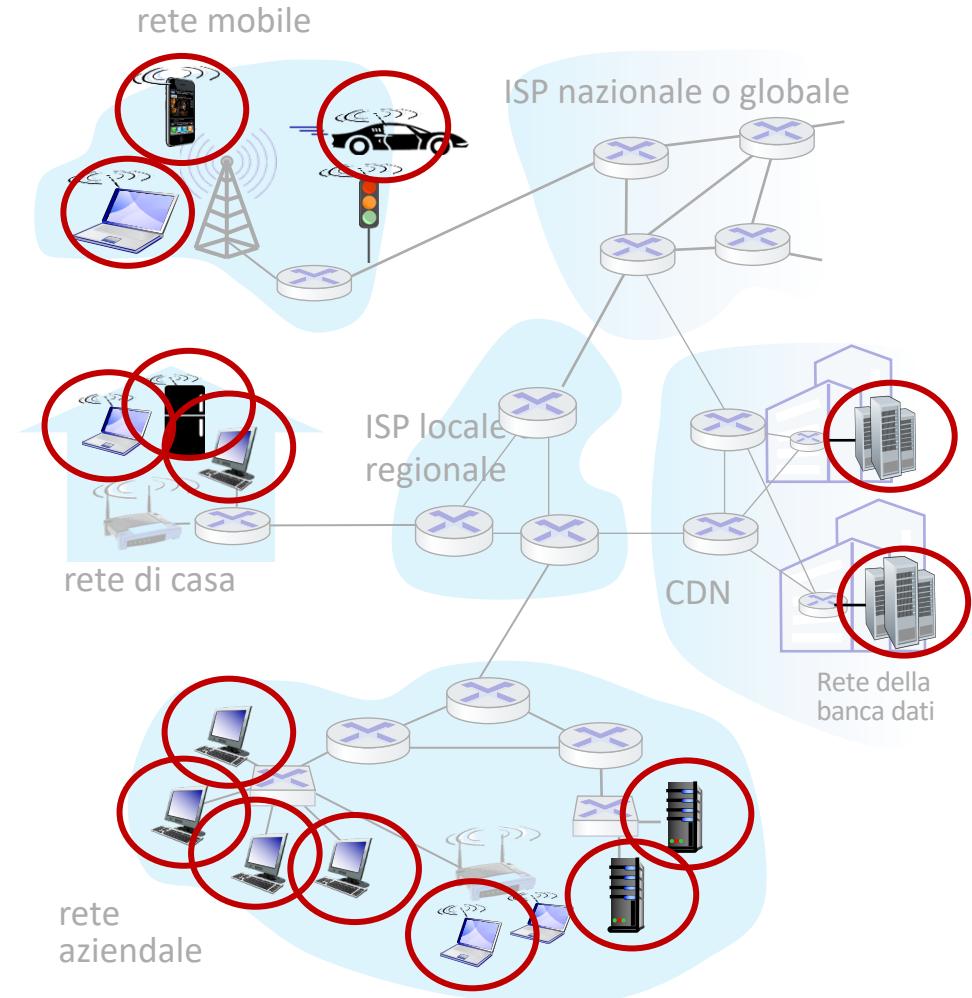
- I dispositivi di rete vengono collegati utilizzando mezzi trasmissivi cablati o wireless genericamente chiamati **link (collegamenti)**
- Collegamenti cablati (o guidati)
 - rame
 - fibra ottica
- Collegamenti wireless
 - onde elettromagnetiche
 - satellite



Uno sguardo più da vicino alla struttura di Internet

Periferia (edge) della rete:

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



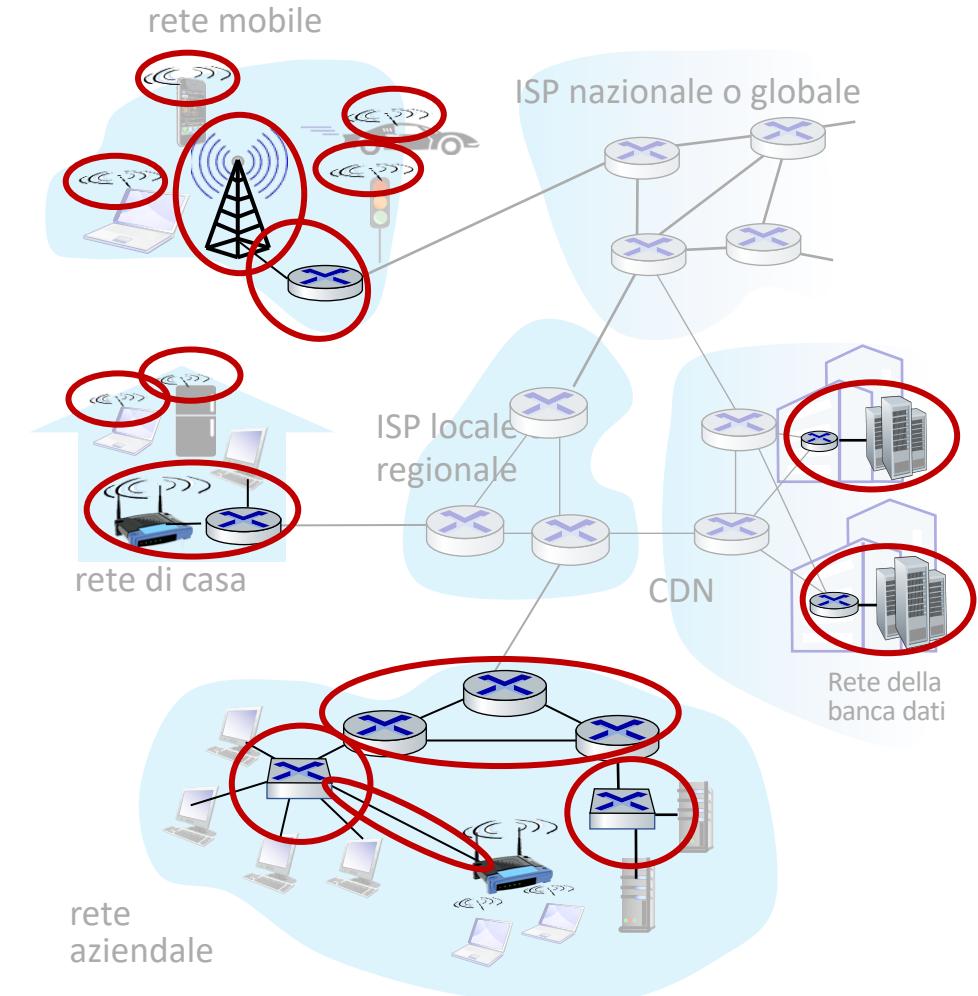
Uno sguardo più da vicino alla struttura di Internet

Periferia (edge) 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 (edge) della rete:

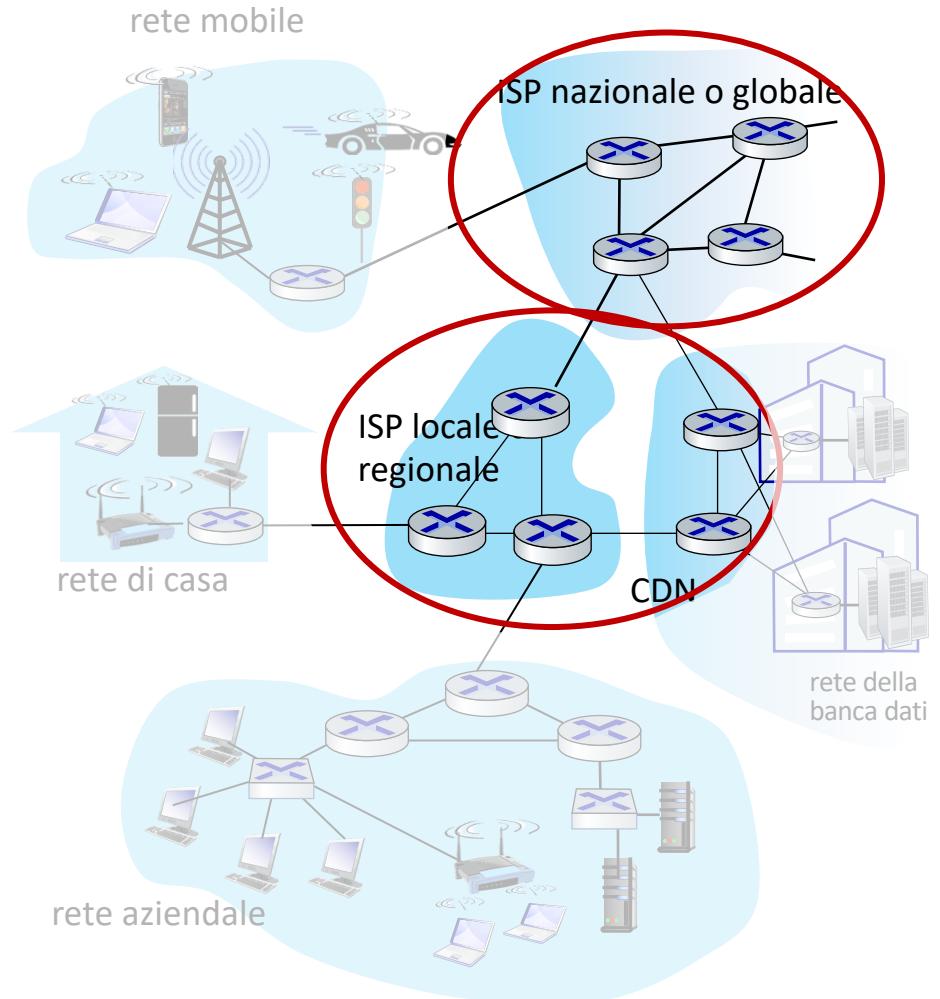
- host: client e server
- server spesso nei data center

Reti di accesso, supporti fisici:

- collegamenti di comunicazione cablati e wireless

Nucleo di rete (core or backbone):

- router interconnessi
- rete di reti

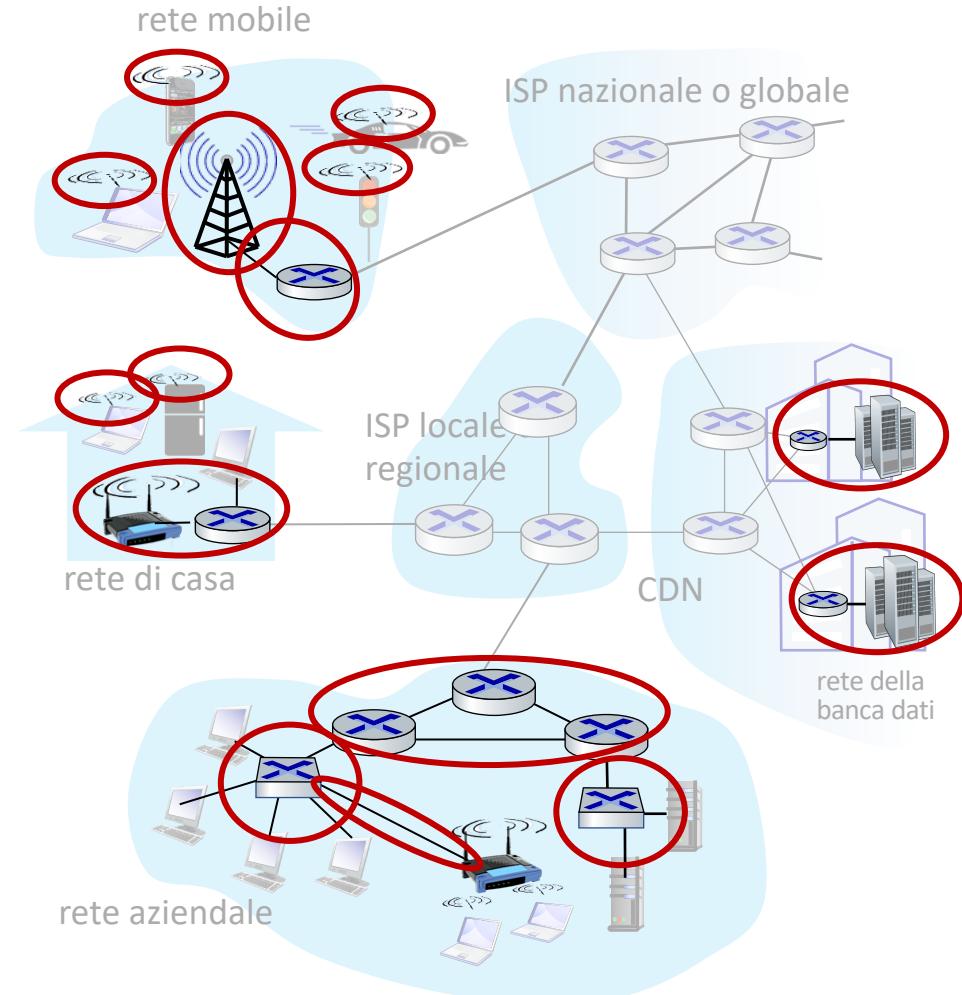


Reti di accesso e supporti fisici

Access Network

Collegamenti fisici che connettono un sistema al primo edge router

- Collegamento al primo router sul percorso dal sistema di origine a un qualsiasi sistema destinazione



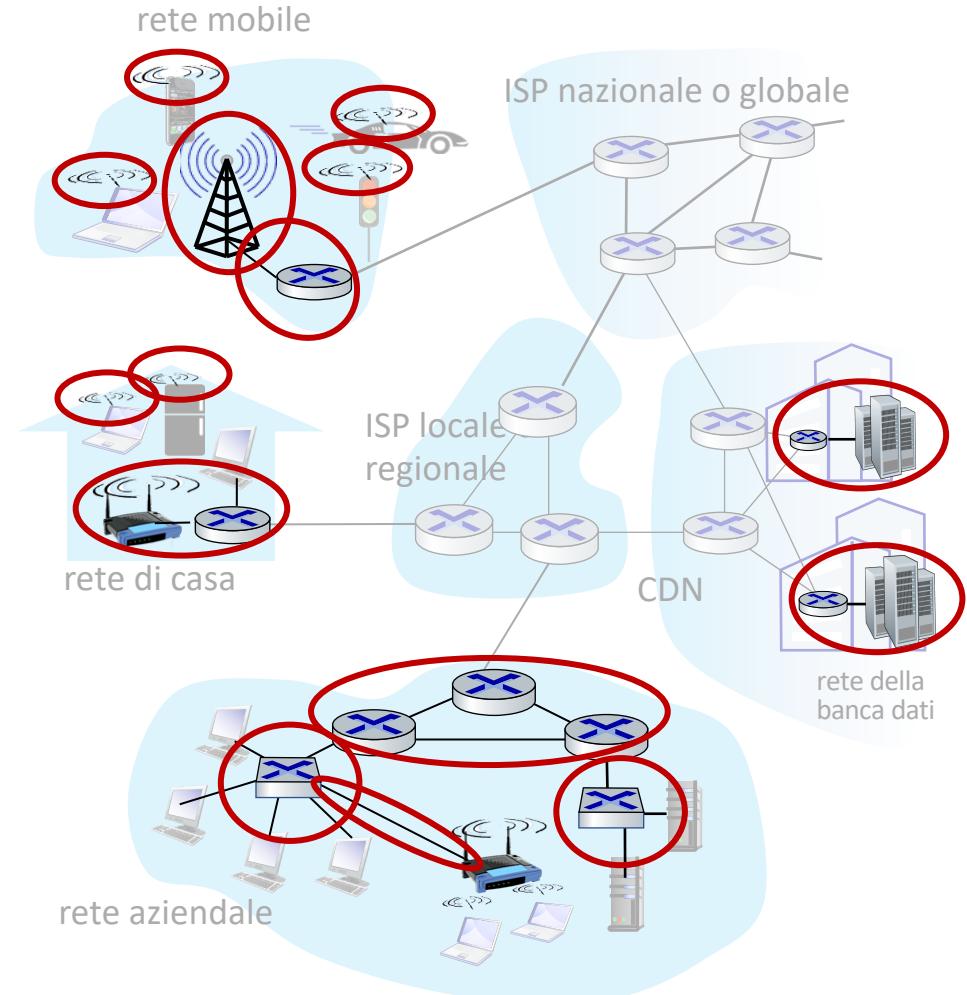
Reti di accesso e supporti fisici

D: Come collegare i sistemi periferici al edge router?

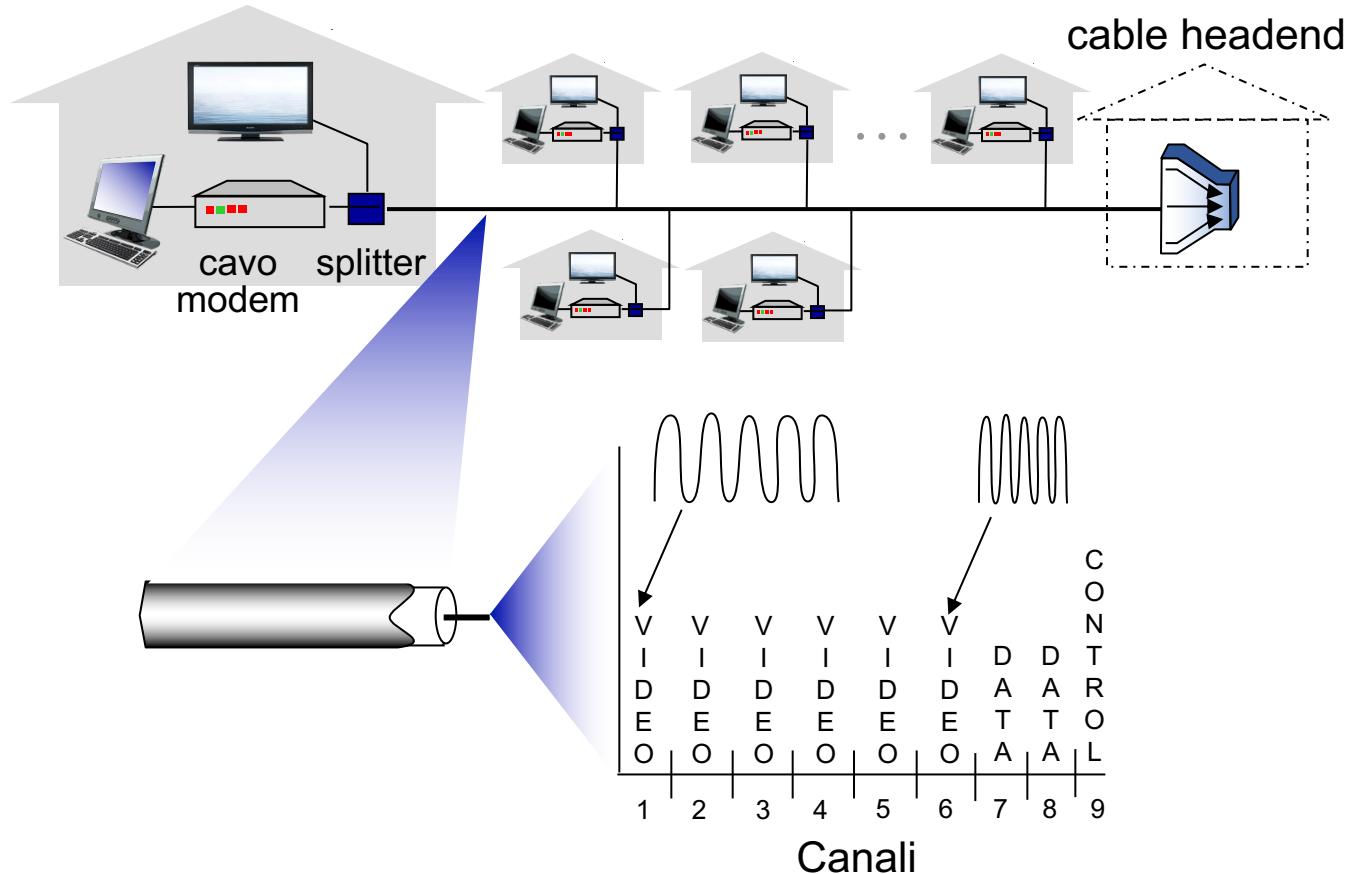
- reti di accesso residenziali
- reti di accesso istituzionali (scuola, azienda)
- reti di accesso mobile (WiFi , 4G/5G)

Importanti caratteristiche

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

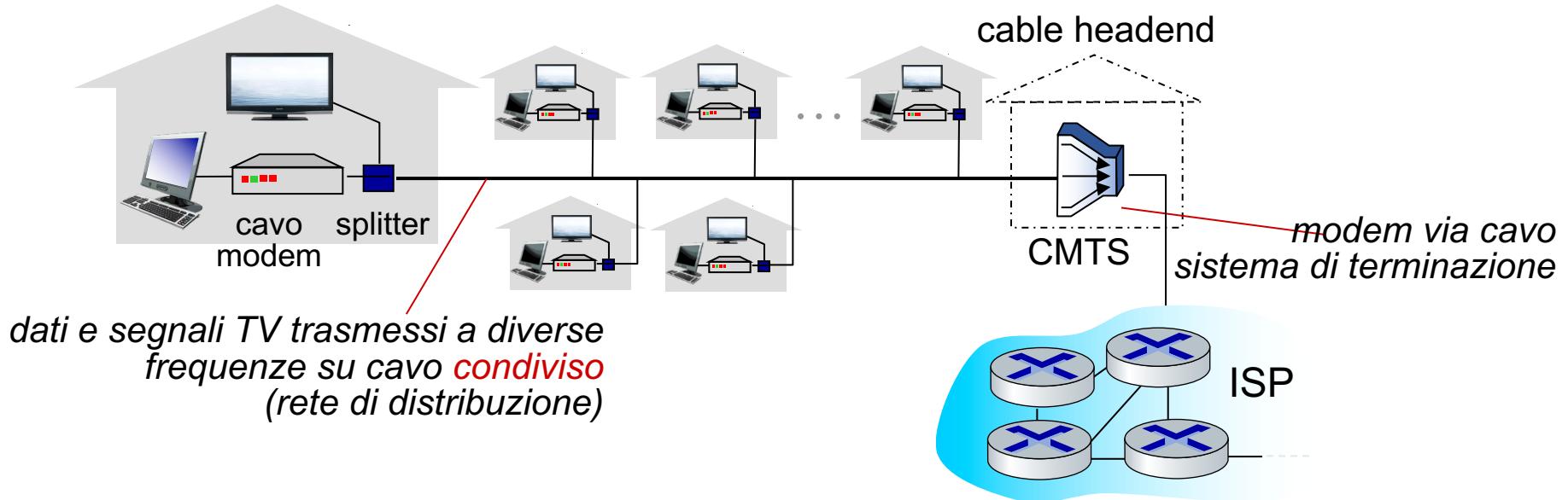


Reti di accesso: accesso via cavo



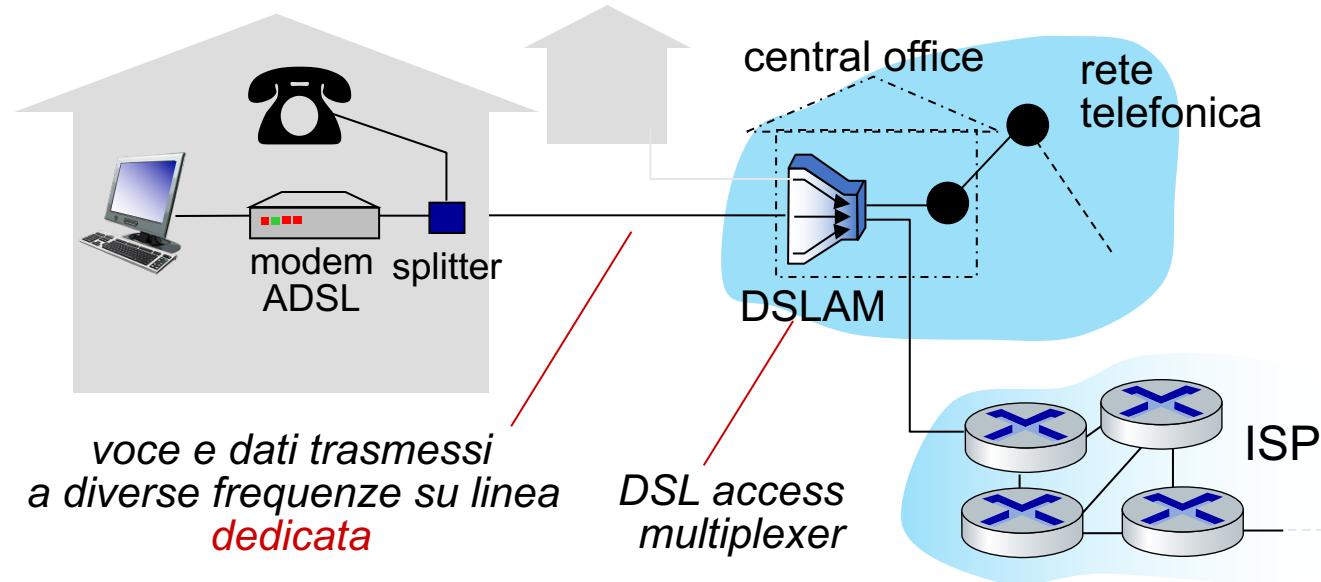
multiplexing a divisione di frequenza (FDM): diversi canali trasmessi in diverse bande di frequenza

Reti di accesso: accesso via cavo



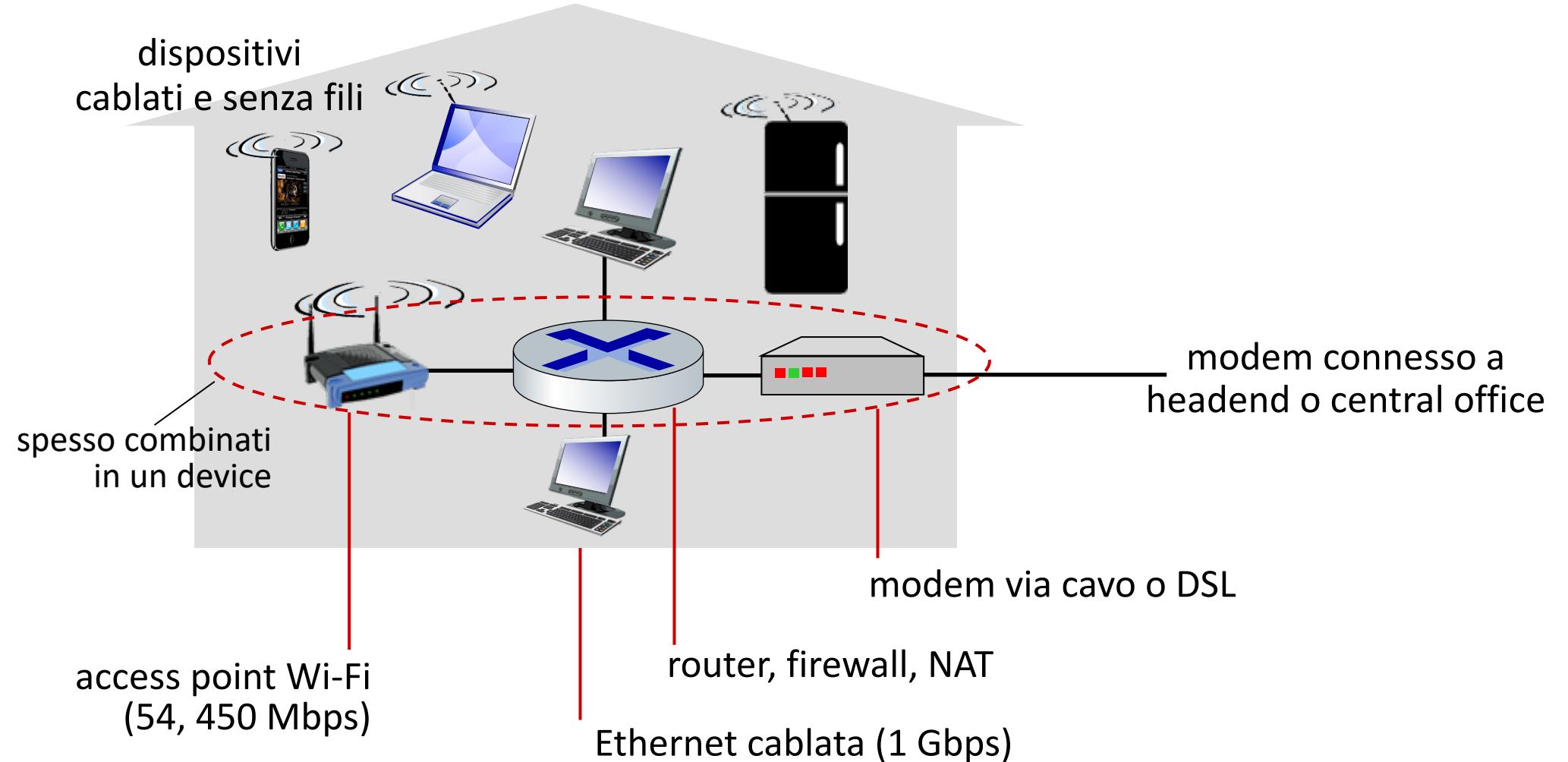
- HFC: ibrido fibra-coassiale
 - asimmetrico: fino a 40- 1,2 Gbs Mbps downstream e 30-100 Mbps upstream
- rete di distribuzione che collega le case al router dell'ISP
 - case **condividono la rete di accesso** al cable headend

Reti di accesso: Digital Subscriber Line (DSL)



- usa la linea telefonica *esistente per collegarsi alla DSLAM*
 - i dati sulla linea telefonica DSL vanno su Internet
 - il segnale voce su DSL va sulla rete telefonica
- Velocità di trasmissione downstream dedicata 24-52 Mbps
- Velocità di trasmissione upstream dedicata 3,5-16 Mbps

Reti di accesso: reti domestiche



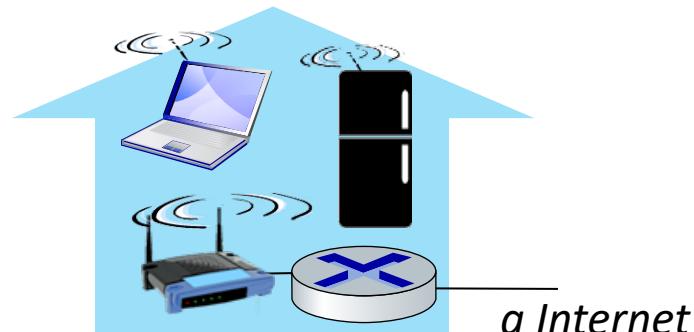
Reti di accesso wireless

Connessione *wireless* condivisa collega il sistema terminale al router

- tramite la stazione base detta anche "access point"

Reti locali senza fili (WLANS)

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

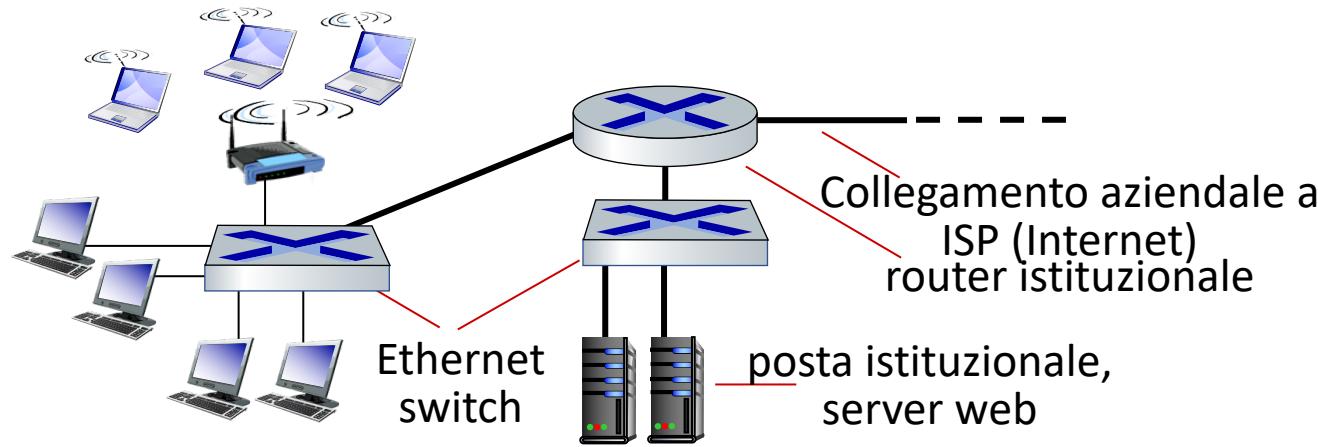


Reti di accesso cellulare wide-area

- fornito da un operatore di rete cellulare (decine di km)
- decine di Mbps
- Reti cellulari 4G (5G in arrivo)



Reti di accesso: reti aziendali

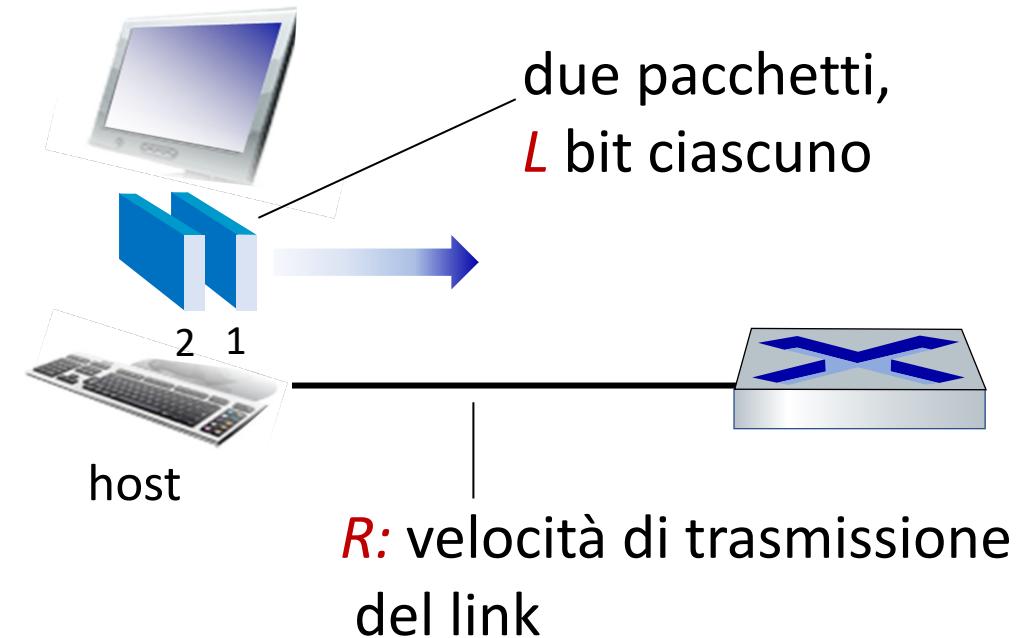


- aziende, università, ecc.
- mix di tecnologie di collegamento cablate e wireless, tramite un mix di switch e router (tratteremo a breve le differenze)
 - Ethernet: accesso cablato a 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps
 - WiFi: punti di accesso wireless a 11, 54, 450 Mbps

Host: invia *pacchetti* di dati

funzione di invio dell'host:

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



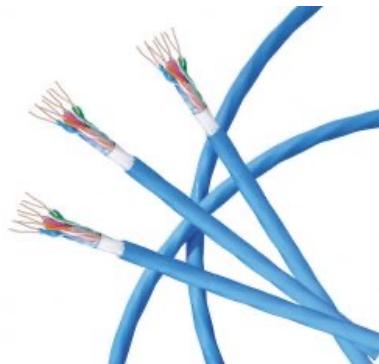
$$\text{ritardo di trasmissione del pacchetto} = \frac{\text{tempo necessario per trasmettere } L\text{-bit nel link}}{R \text{ (bit/s)}}$$

Collegamenti: supporti fisici

- **bit:** si propaga tra trasmettitore e ricevitore
- **collegamento fisico:** cosa connette trasmettitore e ricevitore
- **supporti guidati:**
 - i segnali si propagano in mezzi solidi: rame, fibra, coassiale
- **media non guidati:**
 - i segnali si propagano liberamente, ad esempio onde elettromagnetiche (e.g. radio)

Doppino intrecciato (TP)

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



Mezzi trasmittivi cablati: cavo coassiale e fibra ottica

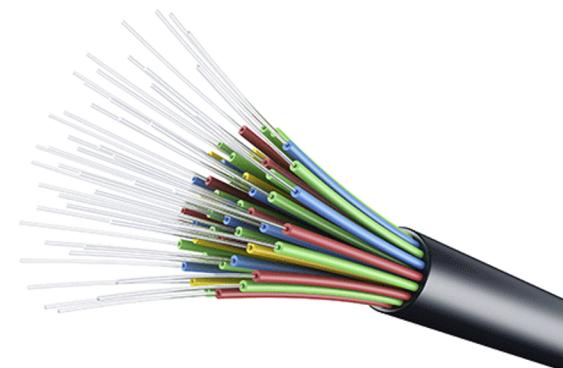
Cavo coassiale:

- due conduttori di rame concentrici
- bidirezionale
- banda larga:
 - più canali (frequenze)
 - 100 Mbps per canale
- molto resistente alle interferenze
- soppiantato dalla fibra ottica



Cavo in fibra ottica:

- fibra di vetro che trasporta impulsi luminosi, ciascun impulso rappresenta un bit
- funzionamento ad alta velocità:
 - trasmissione punto-punto ad alta velocità (decine-centinaia di Gbps)
- basso tasso di errore
 - ripetitori molto distanziati
 - immune all'interferenza elettromagnetica
- il più usato nelle dorsali internet



Collegamenti: supporti fisici

Wireless (radio)

- segnale trasportato nello spettro elettromagnetico
- non c'è supporto guidato
- broadcast, "half-duplex" (da mittente a destinatario)
- effetti dovuti all'ambiente di propagazione:
 - riflessione
 - ostruzione da parte di oggetti
 - interferenza

Tipi di collegamento radio:

- microonde terrestre
 - canali punto-punto fino a 45 Mbps
- LAN senza fili (Wi-Fi)
 - Fino a 100 Mbps
- vasta area (p.es., cellulare)
 - Cellulare 4G: decine Mbps su decine di Km
- satellitare
 - fino a 45 Mbps per canale
 - Ritardo end-end di 270 msec

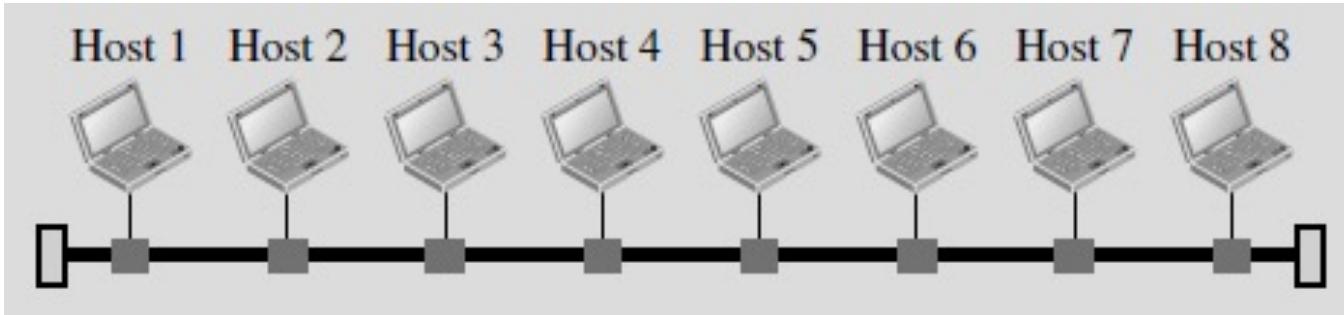
Classificazione delle reti

Scale	Type	Example
Vicinity	PAN (Personal Area Network)	Bluetooth (e.g., headset)
Building	LAN (Local Area Network)	WiFi, Ethernet
City	MAN (Metropolitan Area Network)	Cable, DSL
Country	WAN (Wide Area Network)	Large ISP
Planet	The Internet (network of all networks)	The Internet!

Le reti LAN: Local Area Network

- Solitamente una **rete privata** che collega i sistemi terminali in un singolo ufficio (**azienda, università**)
- Ogni sistema terminale nella LAN ha un indirizzo che lo identifica univocamente nella rete
- Non specifica un numero minimo o massimo di dispositivi
- Nata con lo scopo di condividere risorse tra i sistemi terminali che ne facevano parte, oggigiorno si connette ad altre LAN o WAN per consentire comunicazione su larga scala
 - LAN con cavo condiviso (mezzo broadcast)
 - LAN a commutazione (con switch)

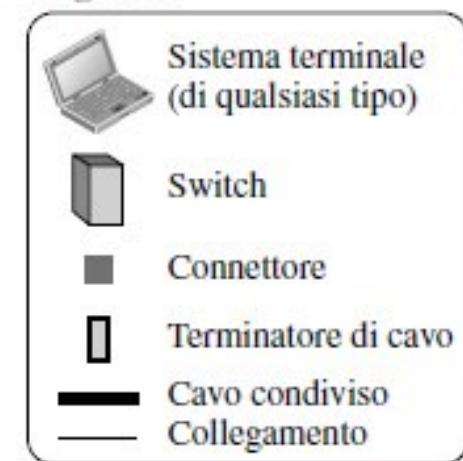
Esempio di LAN con cavo condiviso (broadcast)



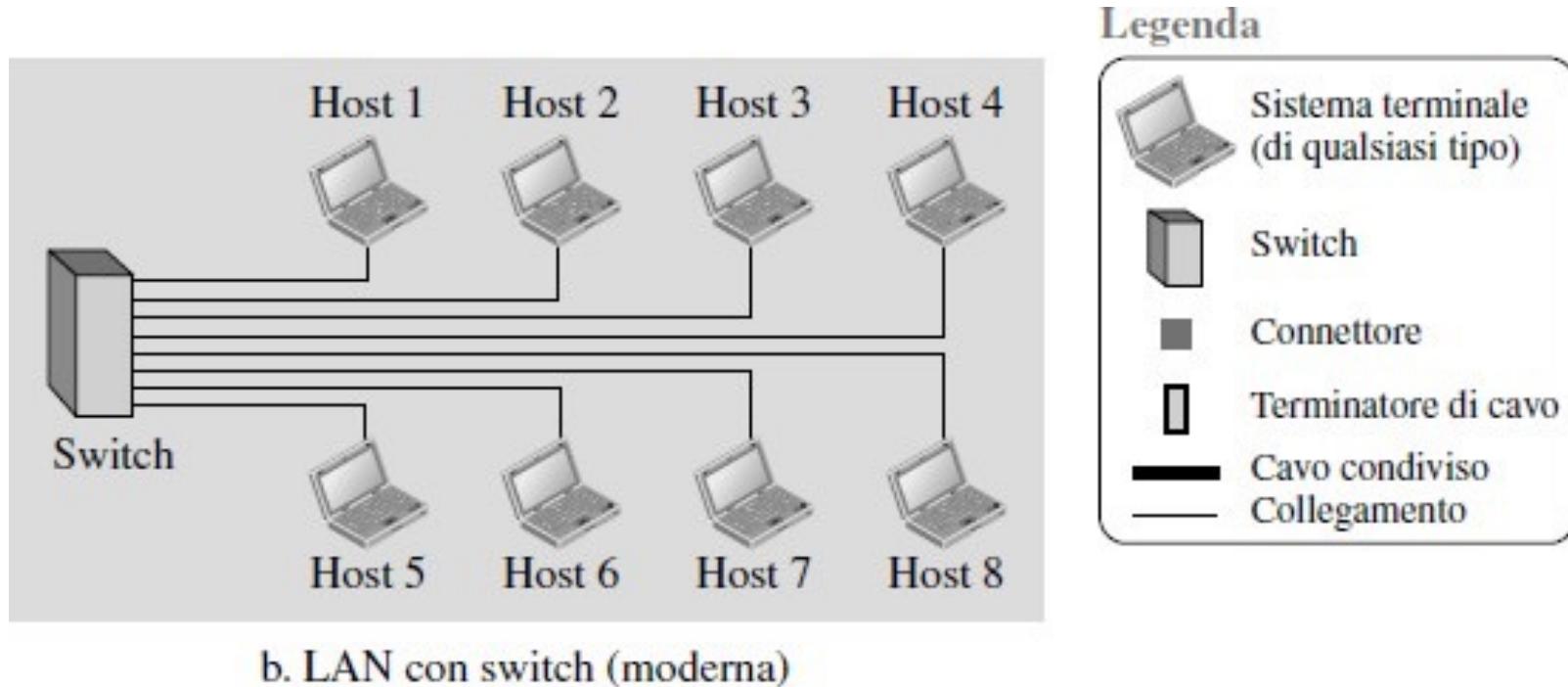
a. LAN con cavo condiviso (obsoleta)

- O Il pacchetto inviato da un dispositivo viene ricevuto da tutti gli altri
- O Solo il destinatario elabora il pacchetto, tutti gli altri lo ignorano

Legenda



Esempio di LAN con switch di interconnessione



- Ogni dispositivo in rete è direttamente collegato allo switch
- Lo switch è in grado di riconoscere l'indirizzo di destinazione e di inviare il pacchetto al solo destinatario senza inviarlo agli altri dispositivi
- Lo switch riduce il traffico nella LAN e consente a più coppie di dispositivi di comunicare contemporaneamente fra di loro (se non vi sono sorgente e destinazione in comune)

Le reti WAN: Wide Area Network

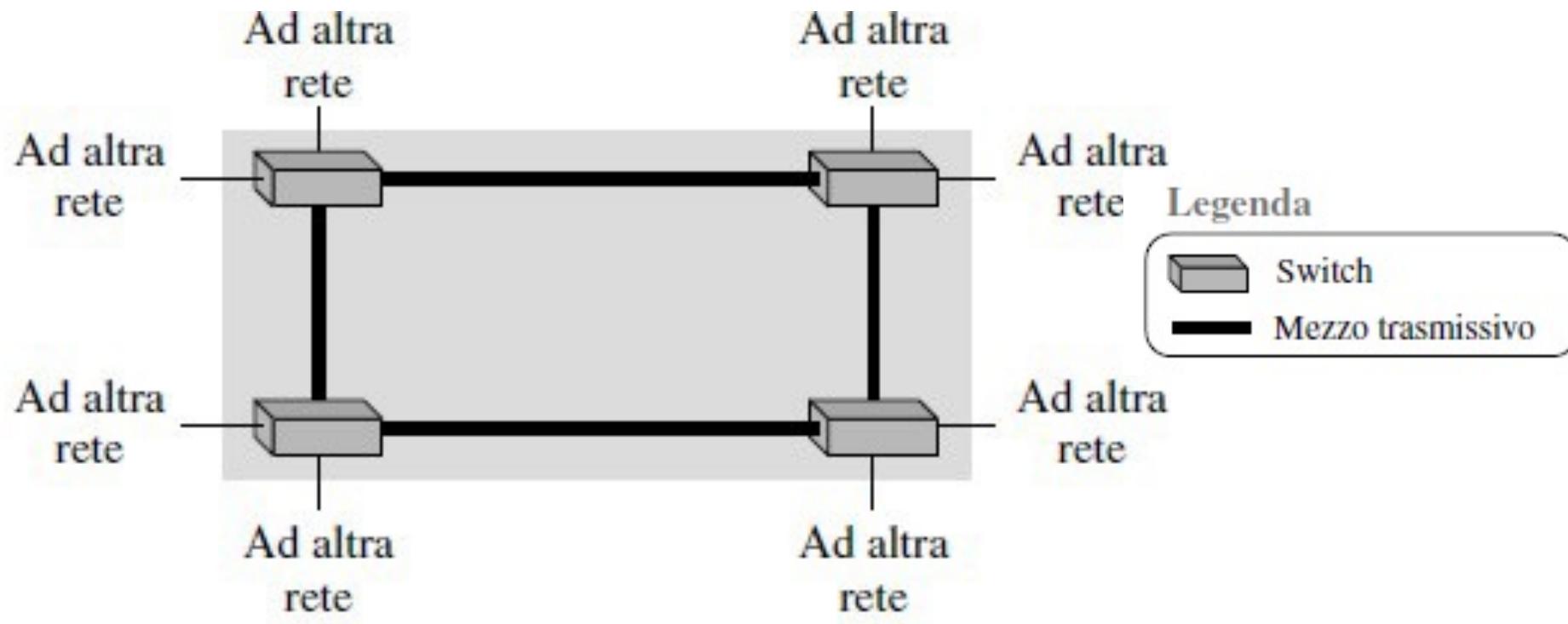
- Rete geografica – interconnessione di dispositivi in grado di comunicare, con notevoli differenze rispetto alle LAN
- Può servire una **città**, una **regione**, o una **nazione**
- Interconnette dispositivi di connessione quali, switch, router, modem
- Gestita da un **operatore di telecomunicazioni (Internet Service Provider - ISP)** che fornisce i suoi servizi alle organizzazioni che ne fanno uso
 - WAN punto-punto
 - WAN a commutazione (switched)

Esempio di WAN punto-punto



- Collega due mezzi di comunicazione tramite un mezzo trasmisivo (cavo o wireless)

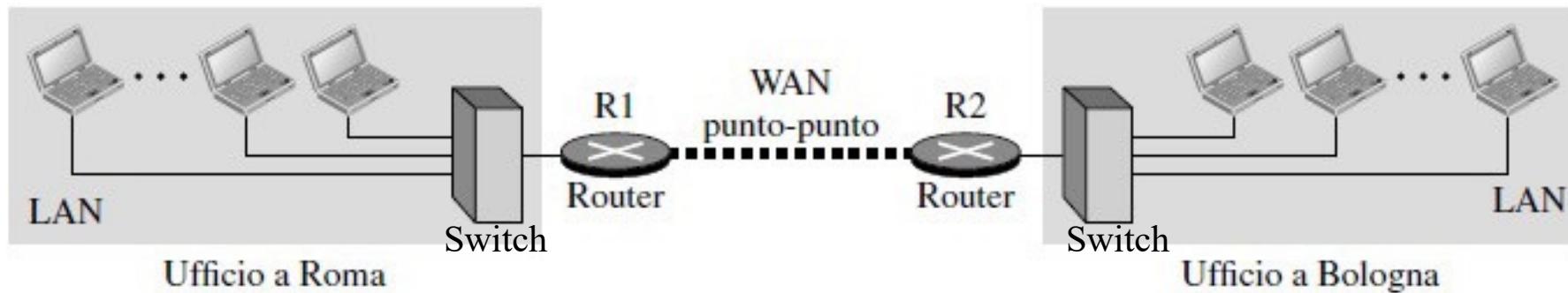
WAN a commutazione (switched)



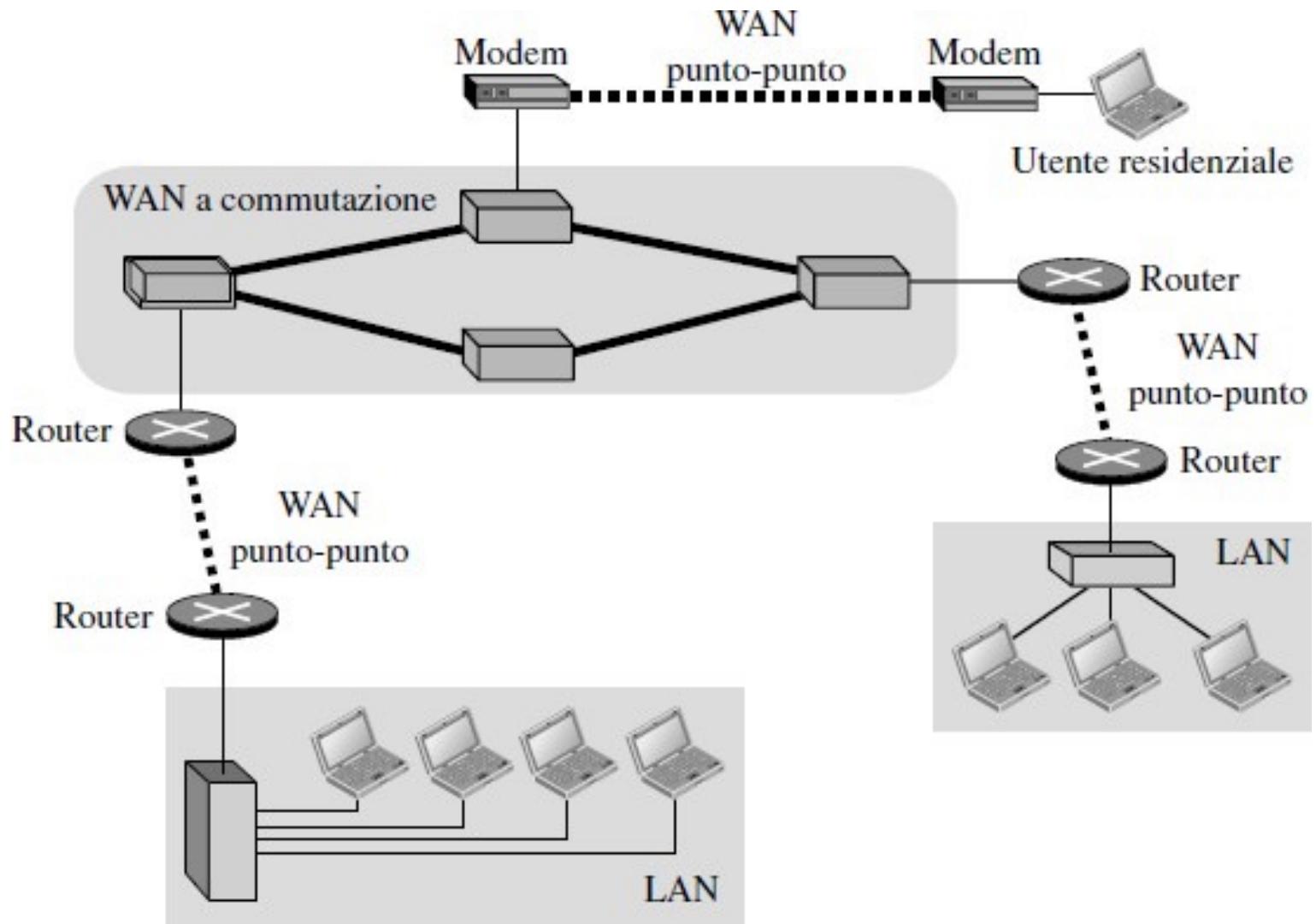
- Rete con più di due punti di terminazione
- Viene utilizzata nelle dorsali di Internet

Internetwork composta da due LAN e una WAN punto-punto

- Oggigiorno è difficile trovare LAN o WAN isolate: esse sono in genere connesse fra di loro per formare una internetwork, o internet
- Esempio: un'azienda ha due uffici in due città differenti. In ciascun ufficio esiste una LAN che consente agli impiegati di comunicare l'uno con l'altro.
- Per mettere in comunicazione le due LAN l'azienda affitta un'apposita WAN punto-punto da un ISP, realizzando una internetwork o internet privata
- I router instradano i pacchetti da una LAN all'altra



Rete eterogenea composta da quattro WAN e tre LAN

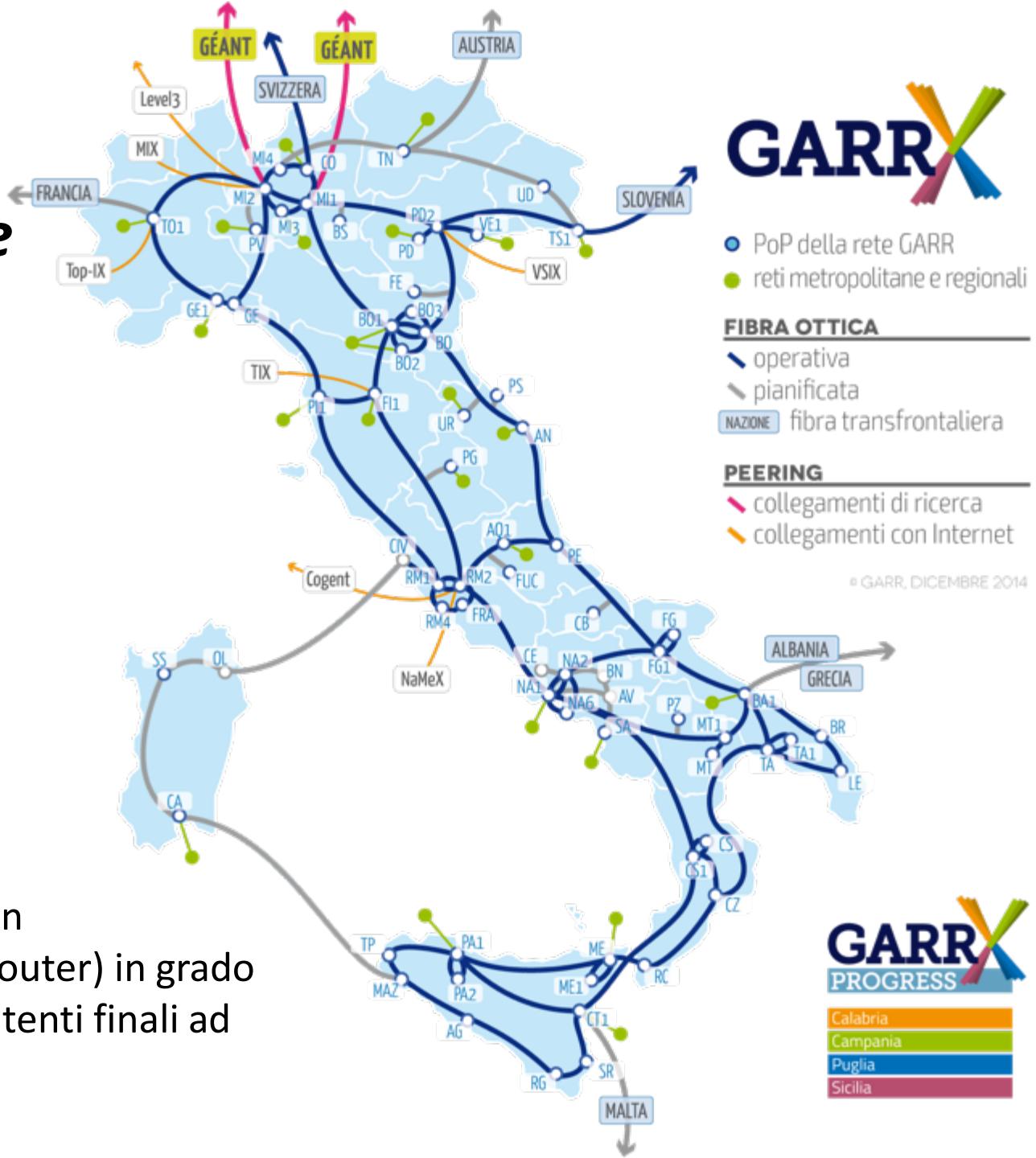


WAN: la rete GARR

- La rete GARR interconnette ad altissima capacità *università, centri di ricerca, biblioteche, musei, scuole* e altri luoghi in cui si fa istruzione, scienza, cultura e innovazione su tutto il territorio nazionale.
- È un'infrastruttura in **fibra ottica** che utilizza le più avanzate tecnologie di comunicazione e si sviluppa su circa **15.000 km** tra collegamenti di dorsale e di accesso.
- Oggi la capacità delle singole tratte della dorsale arriva a **100 Gbps**, mentre quella dei collegamenti di accesso può raggiungere i 40 Gbps in base alle necessità di banda della sede. Grazie alla grande scalabilità delle tecnologie utilizzate, queste capacità possono evolvere facilmente insieme alle necessità degli utenti. È prossimo infatti il primo collegamento utente a 100 Gbps.
- <http://www.garr.it/it/infrastrutture/rete-nazionale/infrastruttura-di-rete-nazionale>

GARR

Gruppo per l'Armonizzazione delle Reti della Ricerca



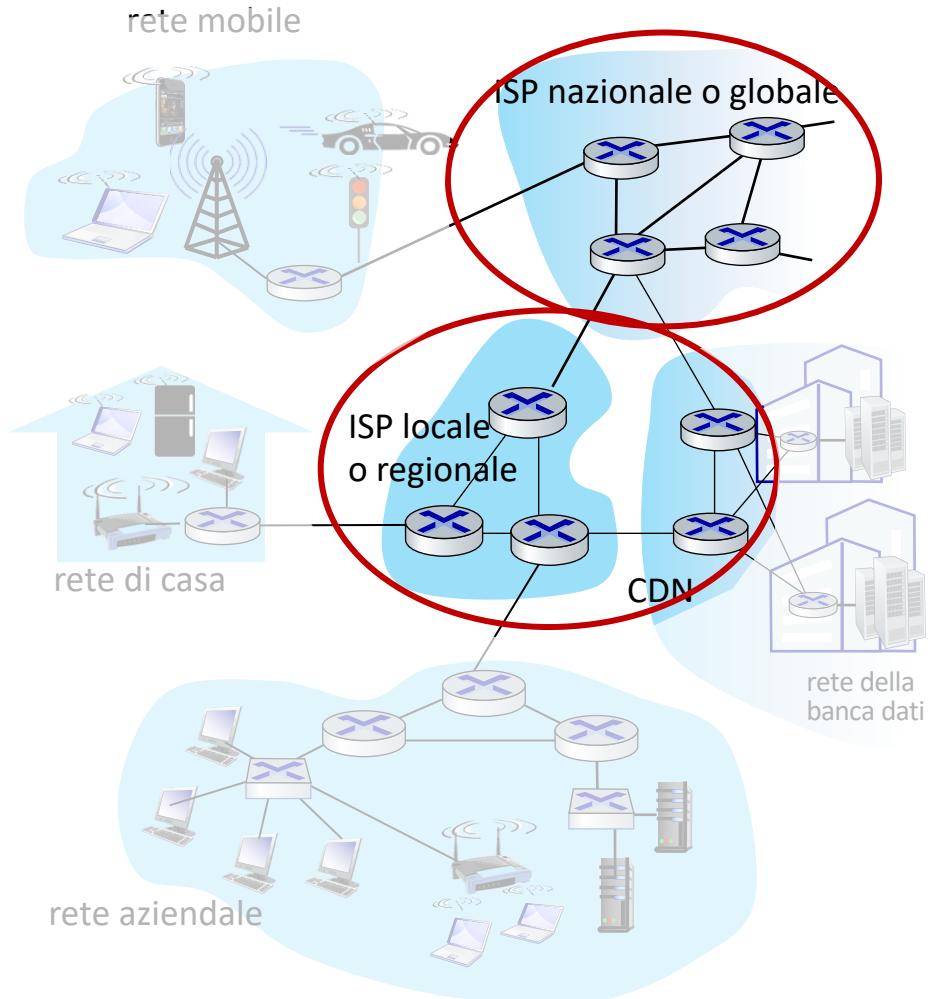
POP (Point of Presence) è un punto di accesso alla rete (router) in grado di instradare il traffico agli utenti finali ad esso connessi

Capitolo 1: sommario

- Cos'è *Internet* ?
- Cos'è un protocollo?
- Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici
- **Nucleo di rete: commutazione pacchetto/circuito, struttura internet**
- Prestazioni: loss, delay, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di servizio
- Storia

Il nucleo della rete

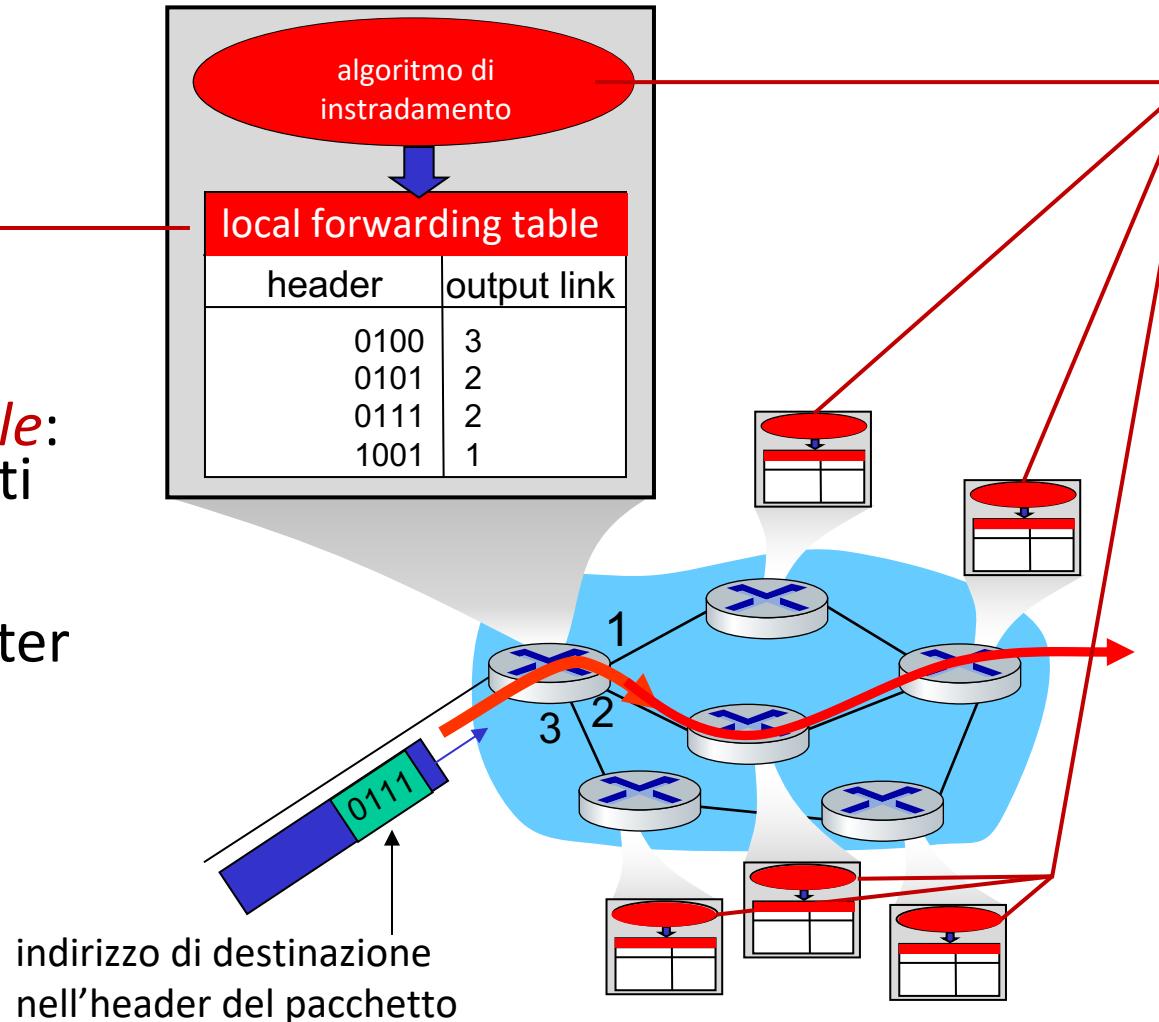
- rete di router interconnessi
- **commutazione di pacchetto:** gli host suddividono i messaggi a livello di applicazione in *pacchetti*
 - la rete **inoltra** i pacchetti da un router all'altro, attraverso i collegamenti sul **percorso** dall'origine alla destinazione



Due funzioni fondamentali della rete

Forwarding:

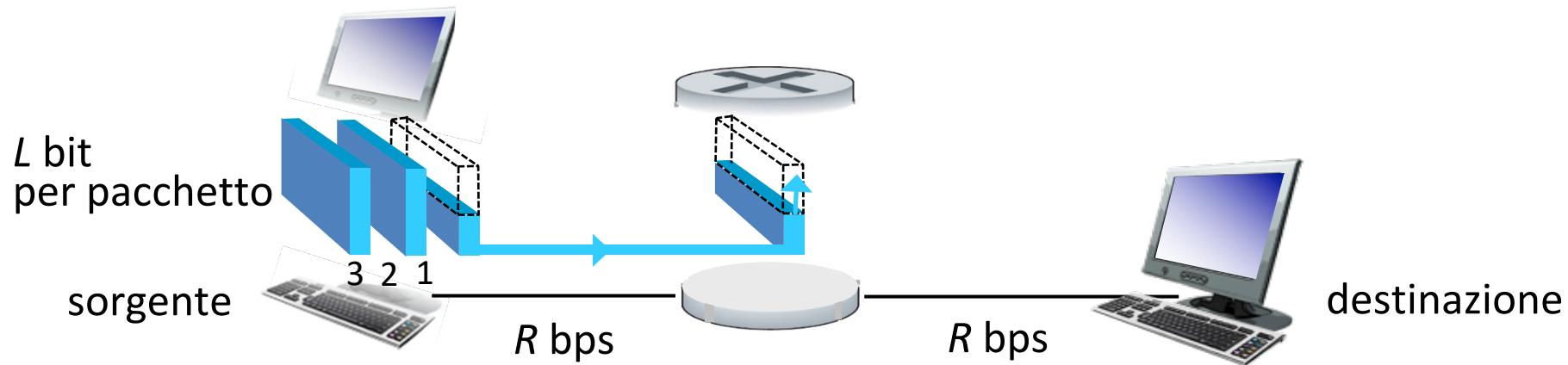
- chiamato anche *switching*
- È un'azione *locale*: sposta i pacchetti in arrivo dal collegamento di ingresso del router al collegamento appropriato di uscita



Instradamento (routing):

- È un'azione *globale*: determina i percorsi origine-destinazione seguiti dai pacchetti
- algoritmi di instradamento

Packet-switching: store-and-forward

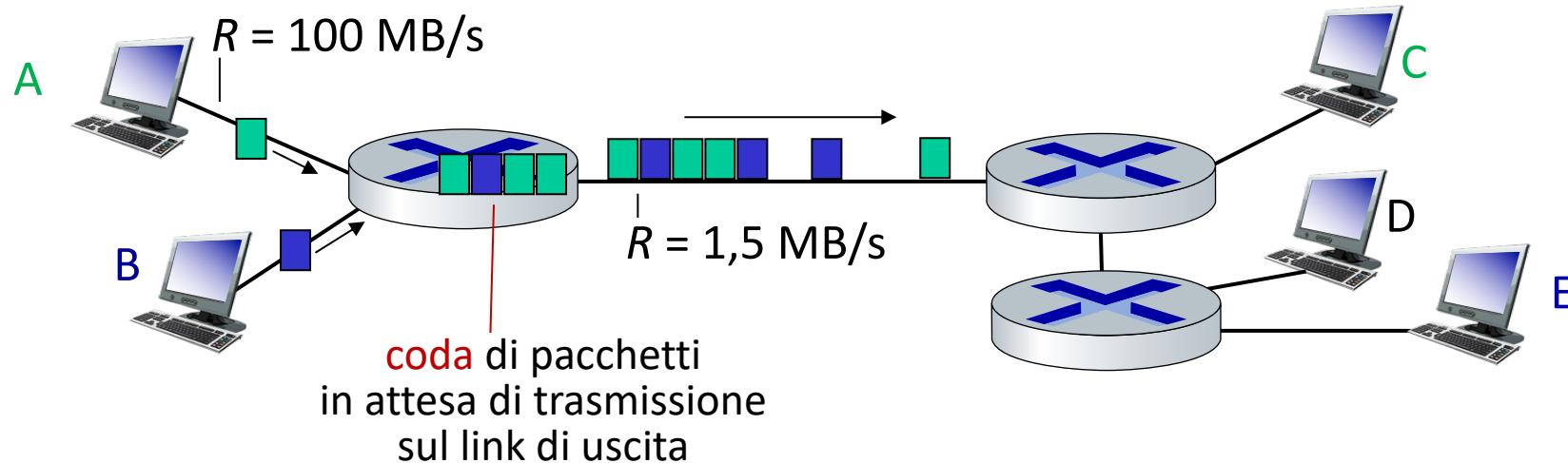


- **Ritardo di trasmissione:** ci vogliono L/R secondi per trasmettere il pacchetto di L bit nel collegamento a R bps
- **store and forward:** l'intero pacchetto deve arrivare al router prima di poter essere trasmesso nel collegamento successivo
- **Ritardo end-end:** $2 L/R$ secondi, assumendo un ritardo di propagazione pari a zero
(maggiori informazioni sul ritardo a breve)

Esempio one-hop

- $L = 10$ Kbit
- $R = 100$ Mbps
- ritardo di trasmissione one-hop = 0,1 ms

Packet-switching: ritardo di accodamento, perdita



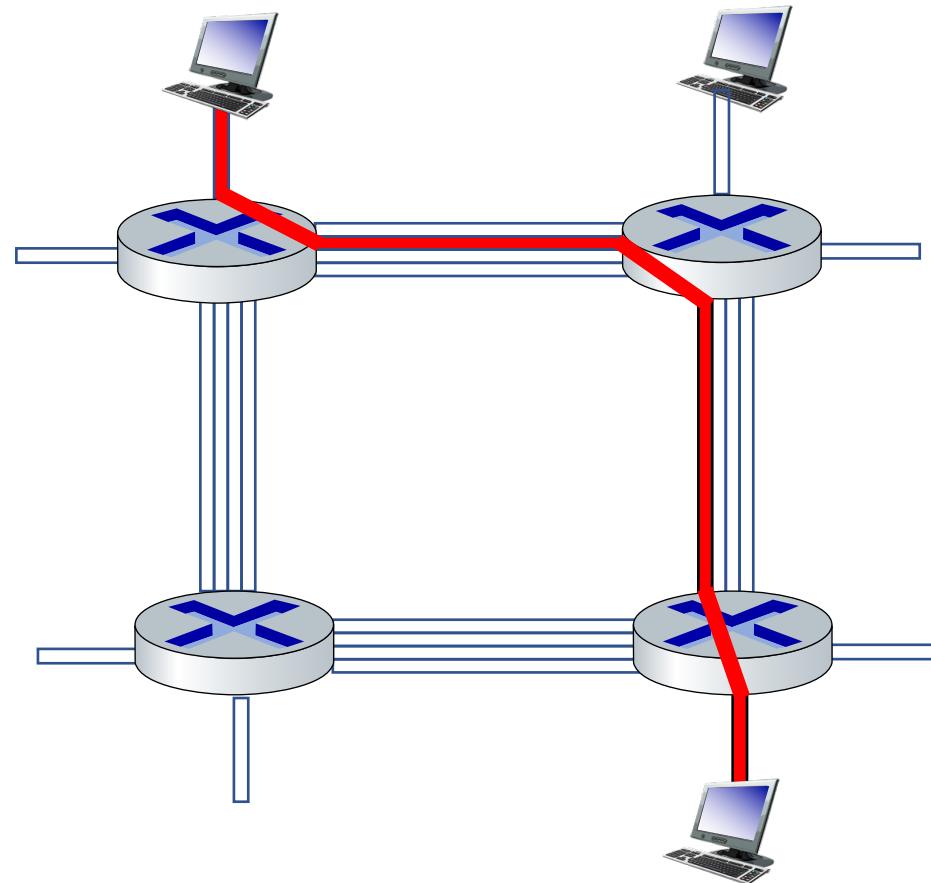
Accodamento e perdita di pacchetti: se la velocità di arrivo al link supera la velocità di trasmissione in uscita

- i pacchetti verranno accodati, in attesa di essere trasmessi sul link di uscita
- i pacchetti possono essere scartati (persi) se la memoria (buffer) nel router si riempie

Alternativa alla commutazione di pacchetto: commutazione di circuito

risorse end-end allocate (riservate)
per la “chiamata” tra sorgente 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 un circuito (garantite)
- segmento di circuito inutilizzato se non utilizzato dalla chiamata (**no sharing**)
- comunemente utilizzato nelle reti telefoniche tradizionali



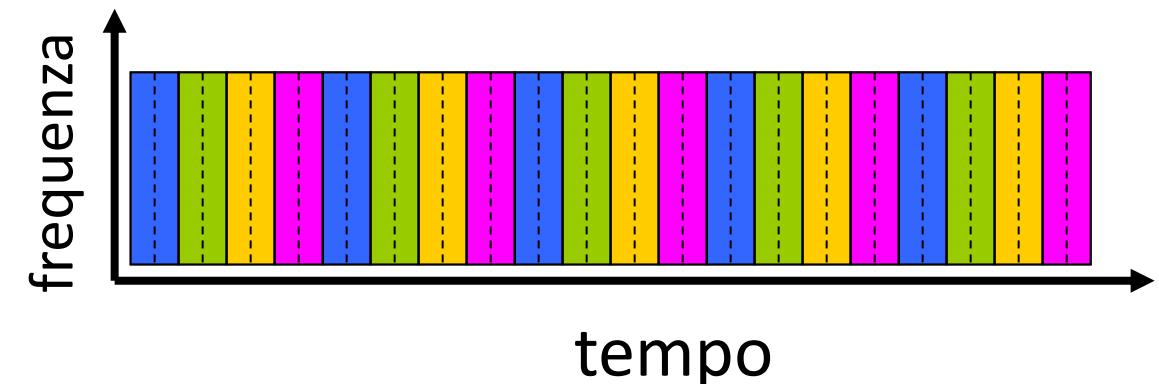
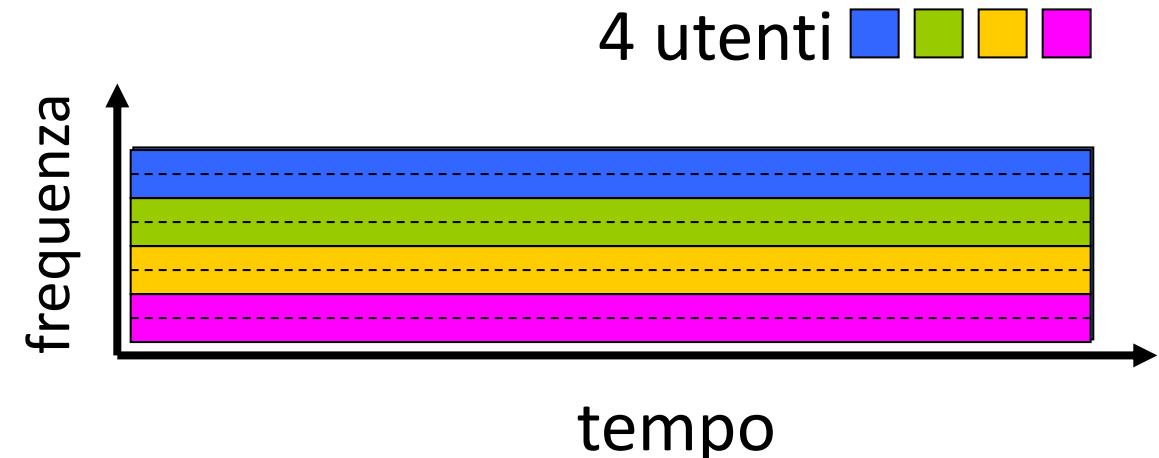
Commutazione di circuito: FDM e TDM

Frequency Division Multiplexing (FDM)

- frequenze ottiche, elettromagnetiche suddivise in bande di frequenza
- ogni chiamata può trasmettere alla velocità massima della banda assegnata (che è stretta)

Time Division Multiplexing (TDM)

- tempo suddiviso in slots
- ogni chiamata può trasmettere alla velocità massima della banda (larga) solo durante gli slot periodici assegnati a quella chiamata

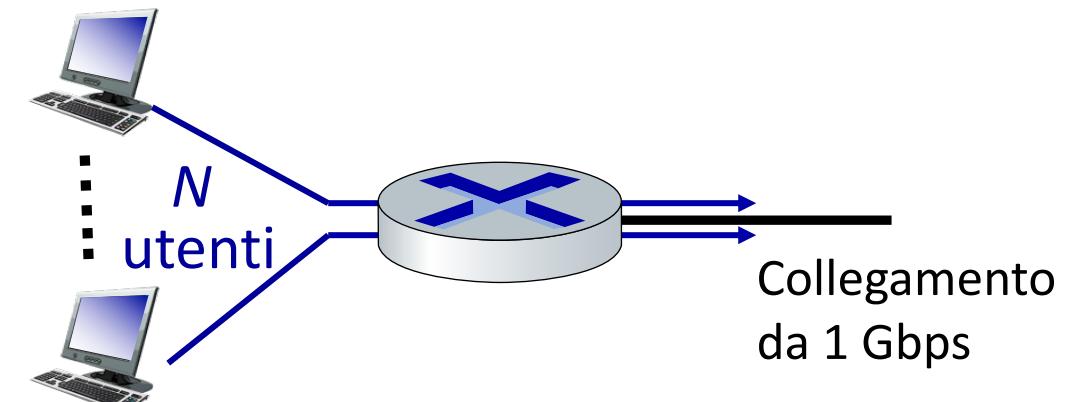


Commutazione di pacchetto vs commutazione di circuito

Flessibilità: la commutazione di pacchetto consente a più utenti di utilizzare la rete!

Esempio:

- Collegamento da 1 Gb/s
- ciascun utente:
 - 100 Mb/s quando "attivo"
 - attivo il 10% del tempo
- **commutazione di circuito:** 10 utenti al massimo!
- **commutazione di pacchetto:** con 35 utenti, probabilità che > 10 utenti sono attivi contemporaneamente è minore di .0004



D: come abbiamo ottenuto il valore 0.0004?

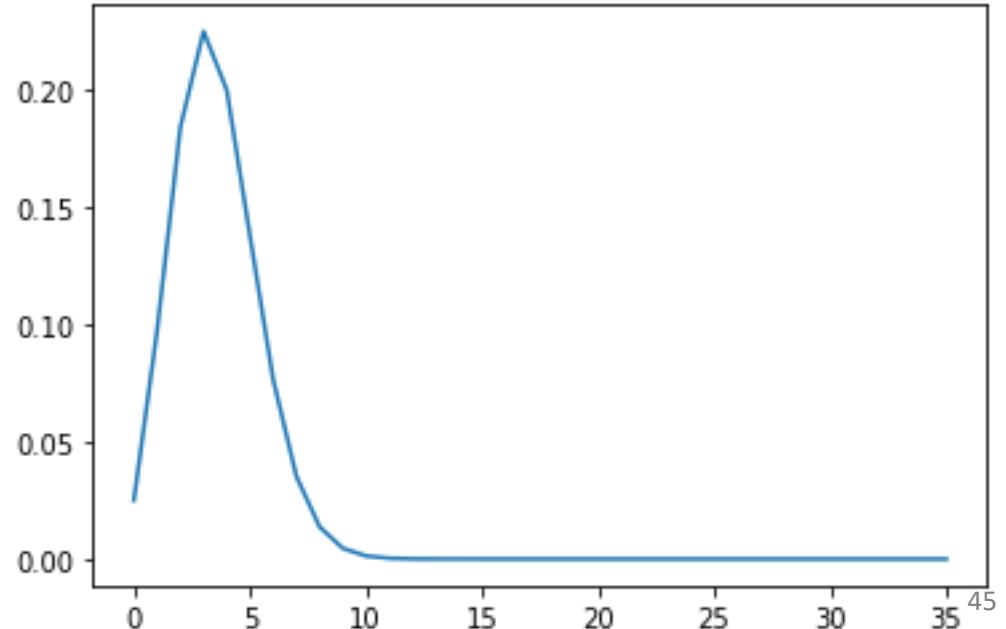
D: cosa succede se > 35 utenti?

Come calcoliamo $\Pr(X \geq 11)$ con n=35 utenti

```
import numpy as np  
import math.comb  
import seaborn as sns  
np.sum([comb(35,i)*0.1**i*0.9**(35-i) for i in range(11,36)]) ~0.0004
```

$$\Pr(X \geq k) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$$

La cumulativa della seguente distribuzione
`sns.lineplot(range(36),[comb(35,i)*0.1**i*0.9**(35-i) for i in range(36)])`



Commutazione di pacchetto vs commutazione di circuito

La commutazione di pacchetto è sempre meglio?

- ottimo per i dati "bursty": trasmissione intermittente con lunghi periodi di inattività
 - condivisione di risorse
 - più semplice, nessuna configurazione della chiamata
- possibile congestione eccessiva: ritardo e perdita di pacchetti dovuti a overflow del buffer
 - protocolli necessari per un trasferimento affidabile dei dati, controllo della congestione
- *D: Come fornire un comportamento simile a un circuito?*
 - garanzie di larghezza di banda tradizionalmente utilizzate per applicazioni audio/video

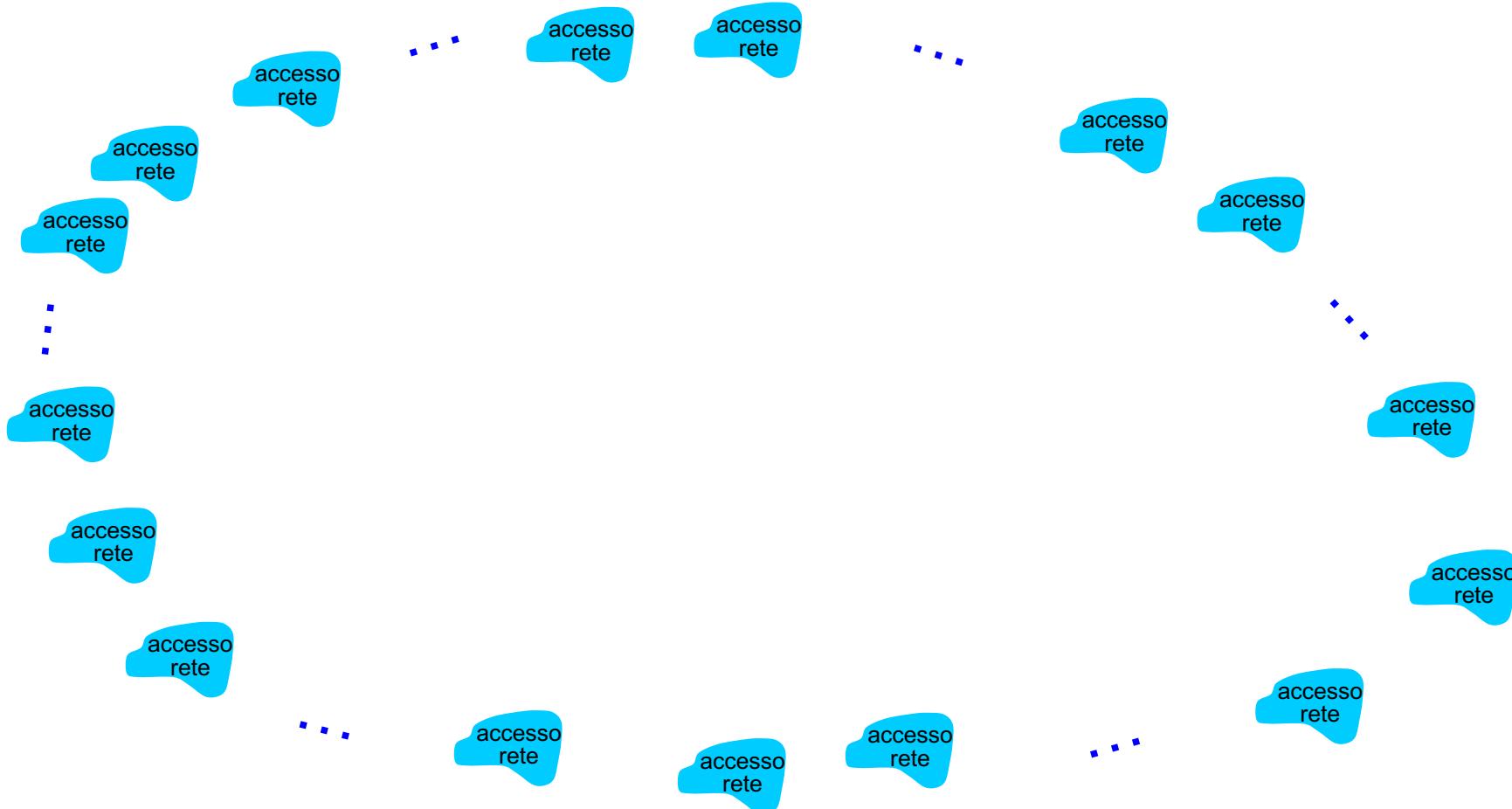
D: analogie umane tra risorse riservate (commutazione di circuito) e allocazione su richiesta (commutazione di pacchetto)?

Struttura di Internet: una “rete di reti”

- Gli host si connettono a Internet tramite l'accesso ai provider di servizi Internet (ISP)
 - ISP residenziali, aziendali (aziende, università, commerciali).
- Gli ISP di accesso a loro volta devono essere interconnessi
 - in modo che due host qualsiasi possano scambiarsi pacchetti
- La risultante rete di reti è molto complessa
 - l'evoluzione è stata guidata dall'economia e dalle politiche nazionali
- Adottiamo un approccio graduale per descrivere la struttura di Internet

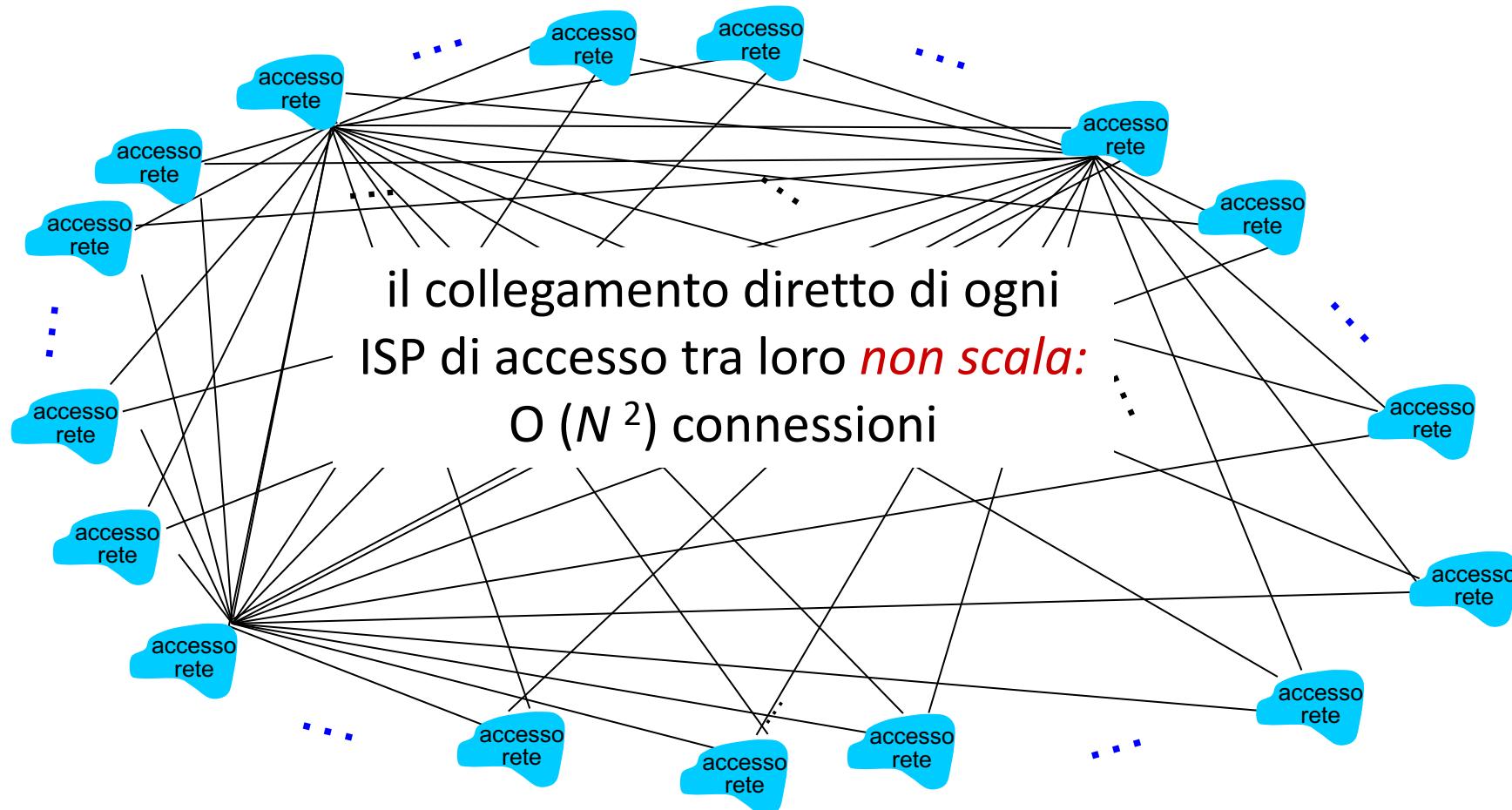
Struttura di Internet: una “rete di reti”

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



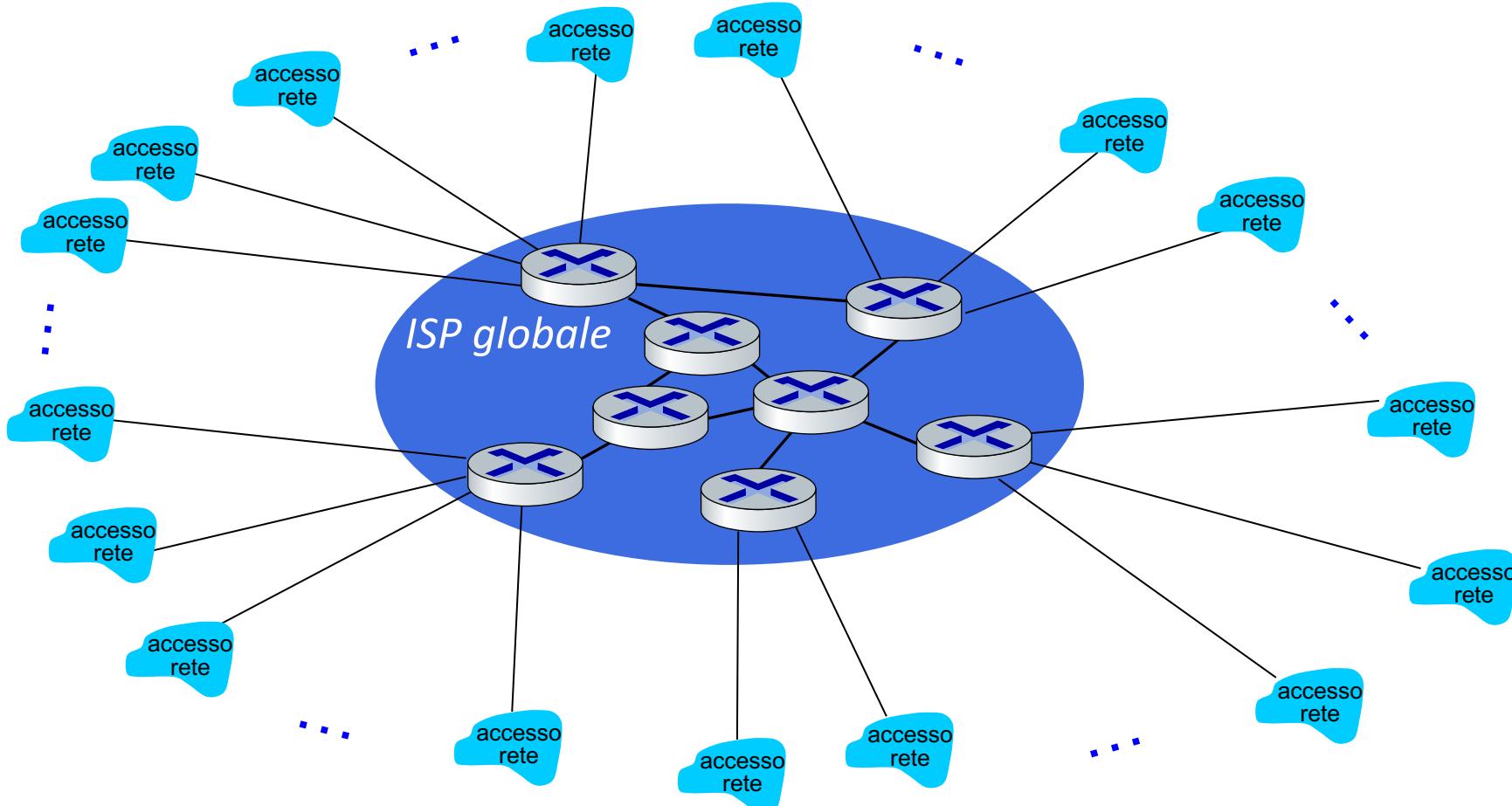
Struttura di Internet: una “rete di reti”

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



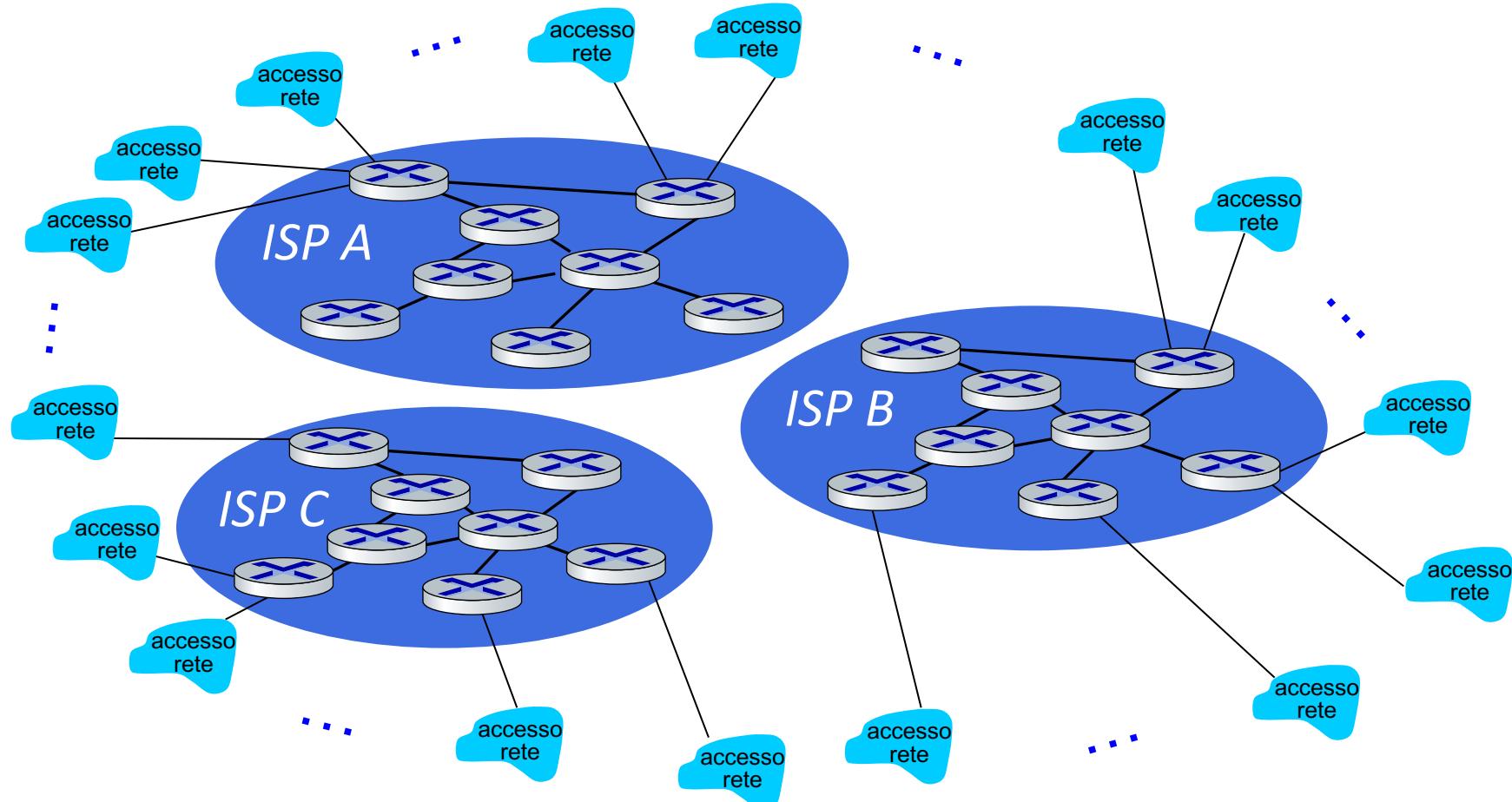
Struttura di Internet: una “rete di reti”

*Opzione: connettere ciascun ISP di accesso a un ISP di transito globale?
clienti e provider hanno un accordo economico.*



Struttura di Internet: una “rete di reti”

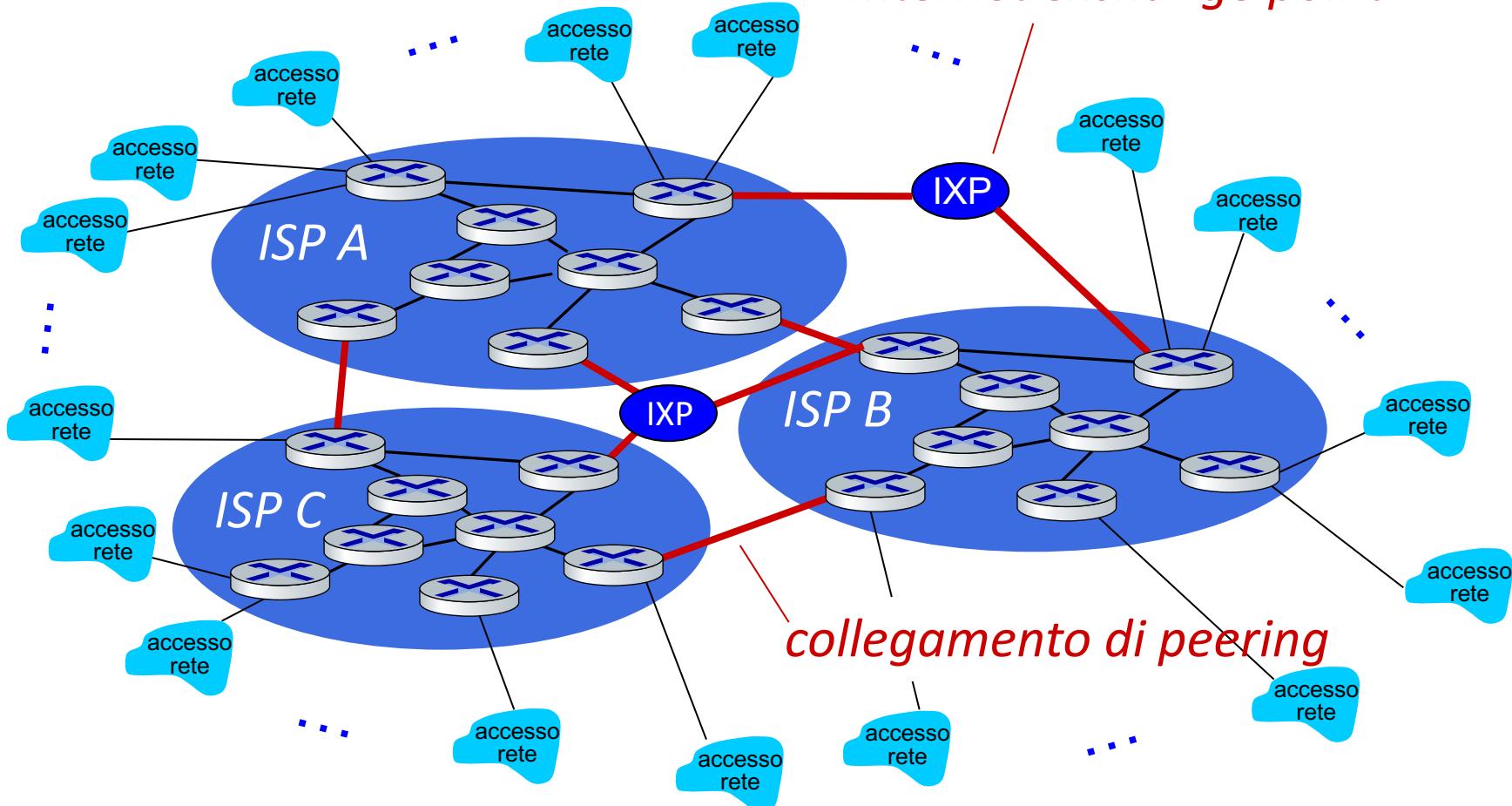
Ma se un ISP globale è un'attività redditizia, ci saranno concorrenti...



Struttura di Internet: una “rete di reti”

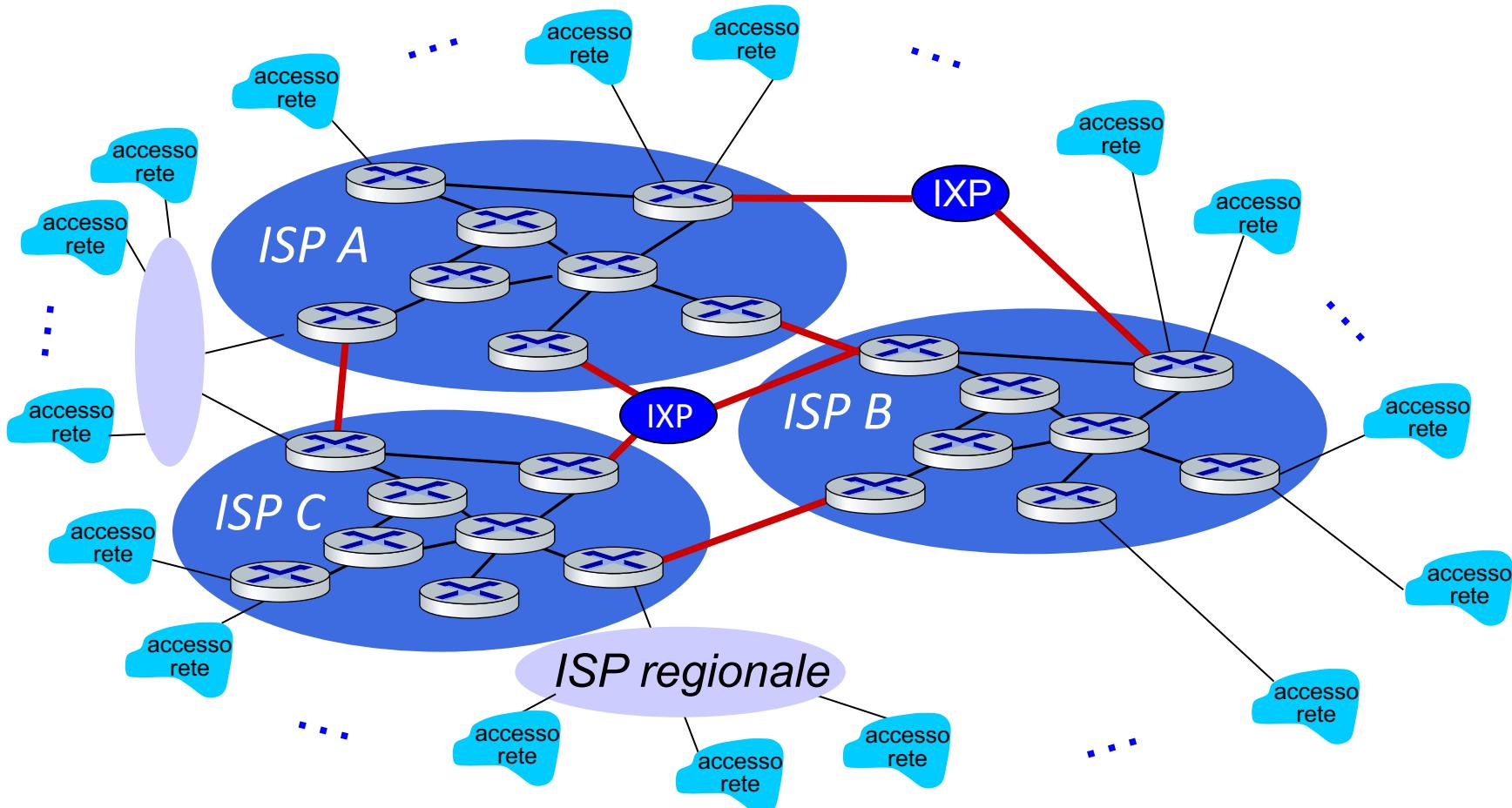
Ma se un ISP globale è un'attività redditizia, ci saranno concorrenti... che vorranno essere connessi tra loro per fornire un servizio completo

Internet exchange point



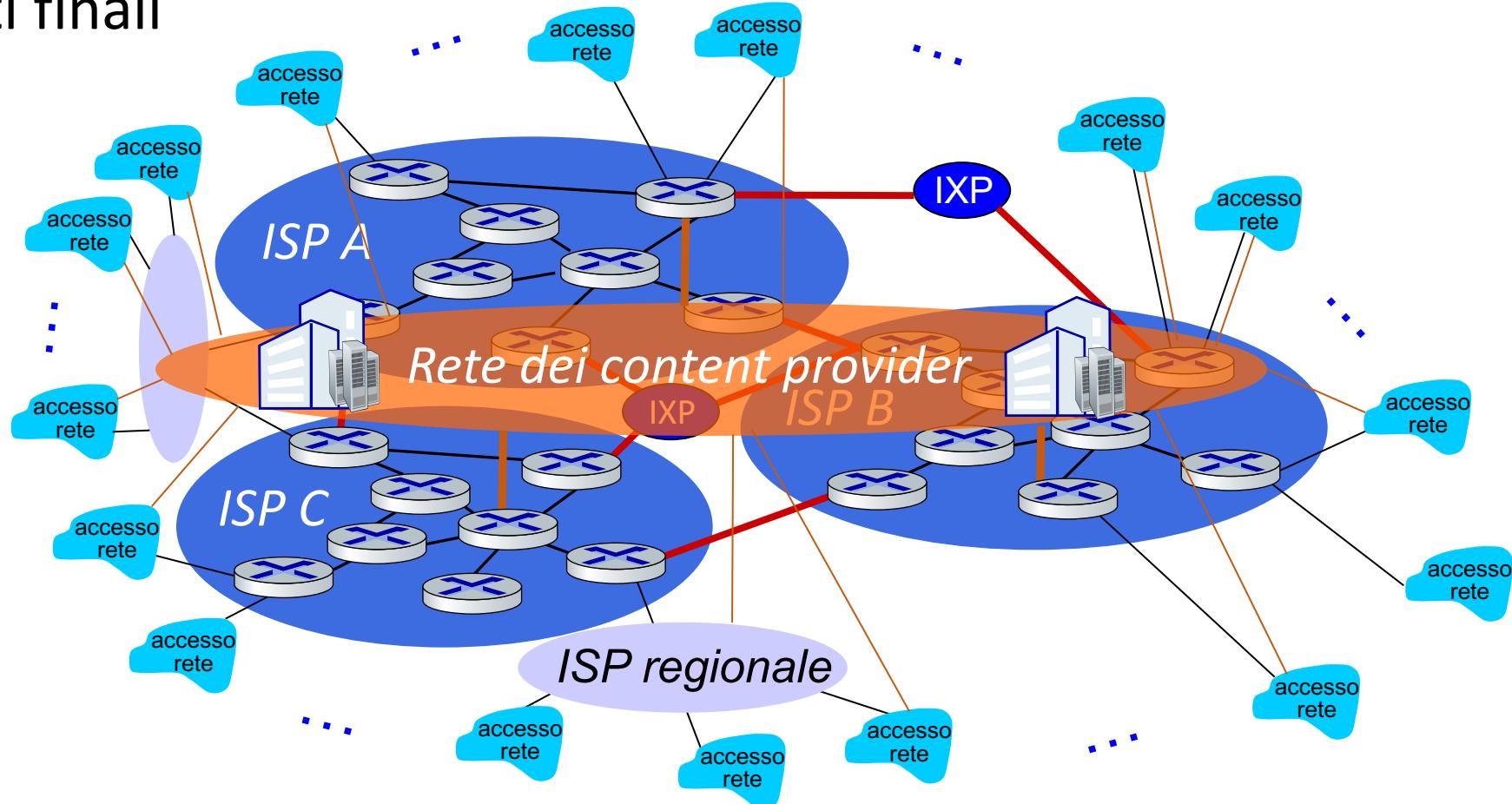
Struttura di Internet: una “rete di reti”

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

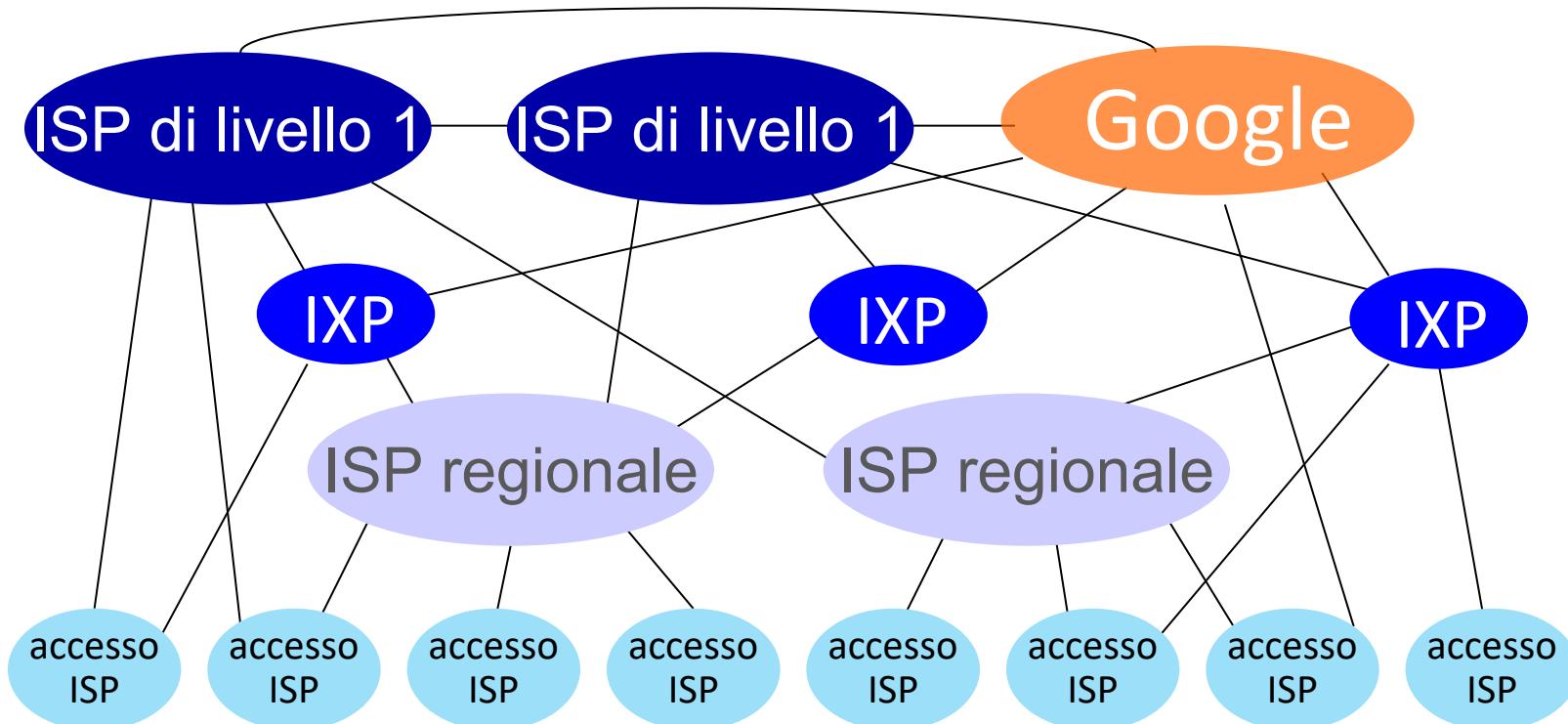


Struttura di Internet: una “rete di reti”

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



Struttura di Internet: una “rete di reti”



Al "centro": piccolo numero di grandi reti ben connesse

- **ISP commerciali di "livello 1".** (ad es. Livello 3, Sprint, AT&T, NTT), copertura nazionale e internazionale
- **reti di fornitori di contenuti** (ad es. Google, Facebook): reti private che collegano i propri data center a Internet, spesso aggirando gli ISP regionali di livello 1

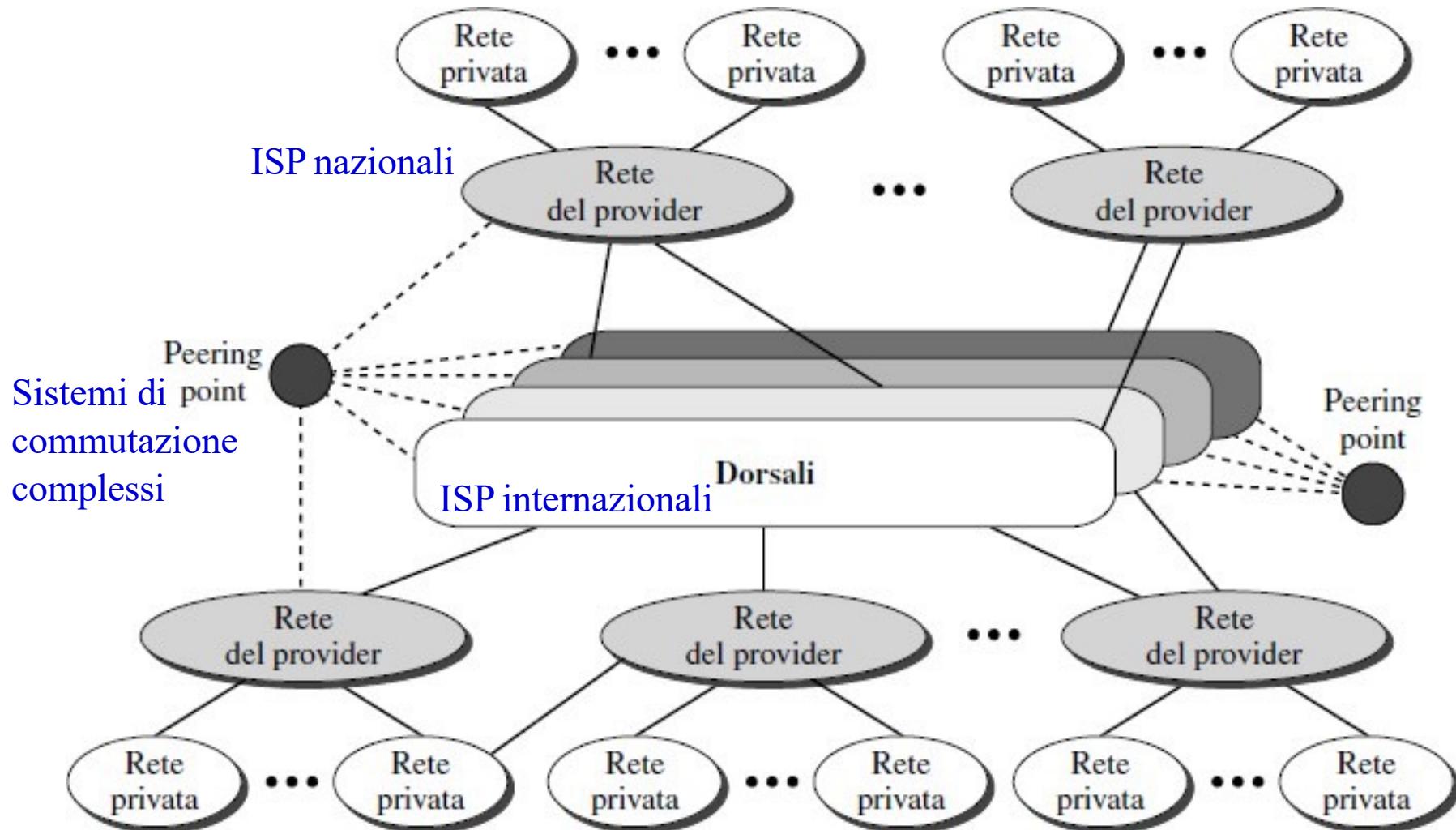
Internet

Si è detto che una internet (con i minuscola) è costituita da due o più reti interconnesse.

L'internet più famosa è chiamata Internet (I maiuscola) ed è composta da migliaia di reti interconnesse.

E' una rete a commutazione di pacchetto

Rappresentazione concettuale di Internet



Mappa della rete ISP di livello 1: Sprint (2019)



POP: punto di presenza

da/per altri Sprint PoPs

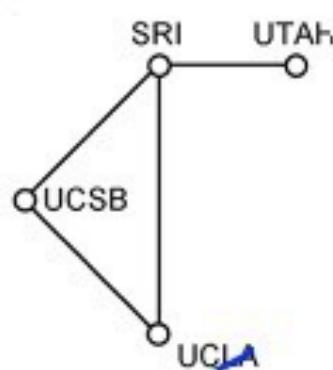
collegamenti a
reti di peering

collegamenti a/da reti di clienti Sprint

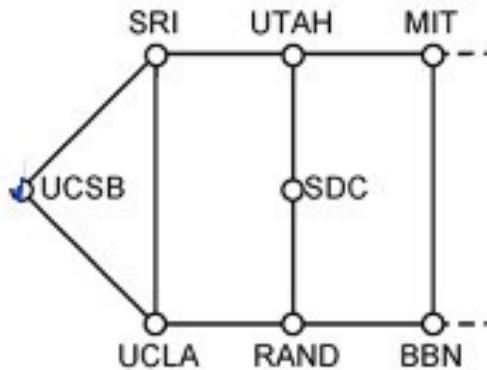
ARPANET

Advanced Research Projects Agency Network (ARPANET)

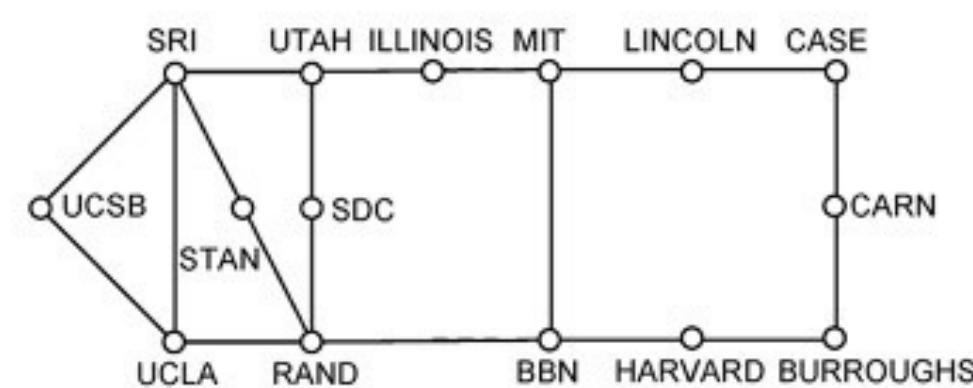
- Prima rete packet-switched ad implementare lo stack TCP/IP
- Progettata per scopi accademici e di ricerca



(a) Dec. 1969.



(b) July 1970.



(c) March 1971.

Internet oggi

