



2 – Concetti base

Cos'è Internet, Architettura e
componenti, Meccanismi base



POLITECNICO
MILANO 1863



Password per aprire le registrazioni

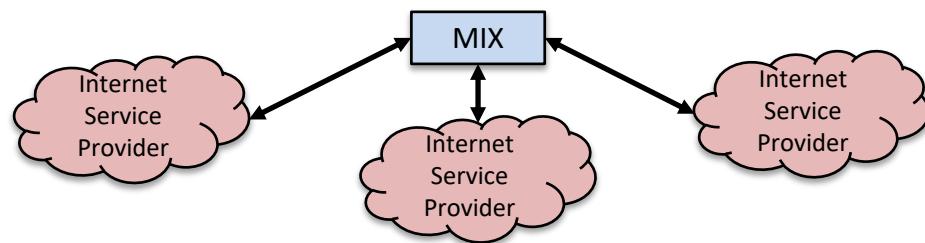
FTLC2025

Come è fatta la rete?

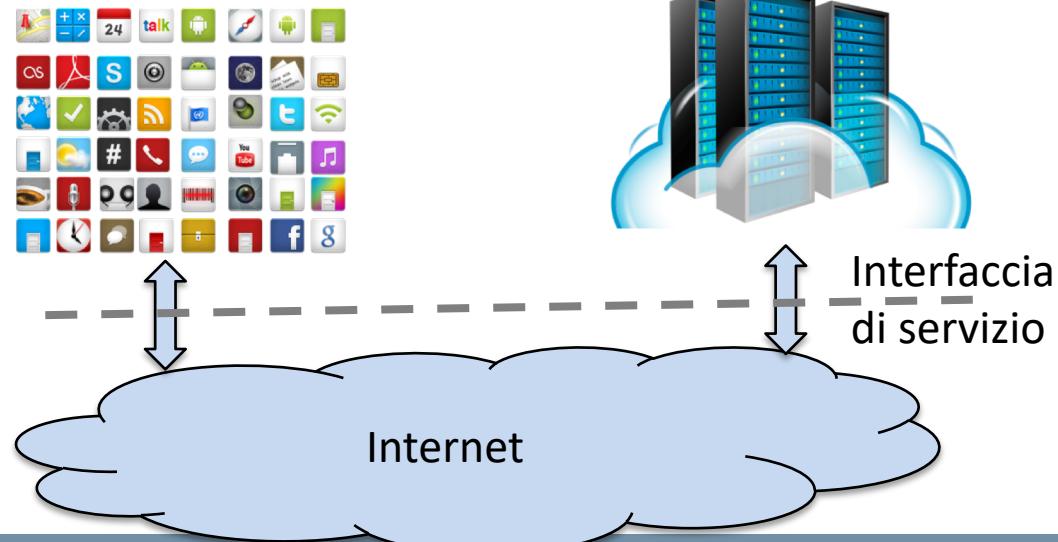
1) Una **infrastruttura fisica** fatta di componenti fisiche



2) Un'architettura di rete



3) Un **servizio di comunicazione** usato dalle applicazioni e i **protocolli di comunicazione** tra le componenti del sistema



Componenti fisiche

- Milioni di computer connessi alla rete chiamati **host = terminali**
- Canali di comunicazione di diversi tipi (fibra, cavo, radio, satellite, ...) **link = collegamenti**
- Nodi di rete chiamati **router = nodi**
- Altri nodi di rete locali (switch, access point, modem, ...)



router



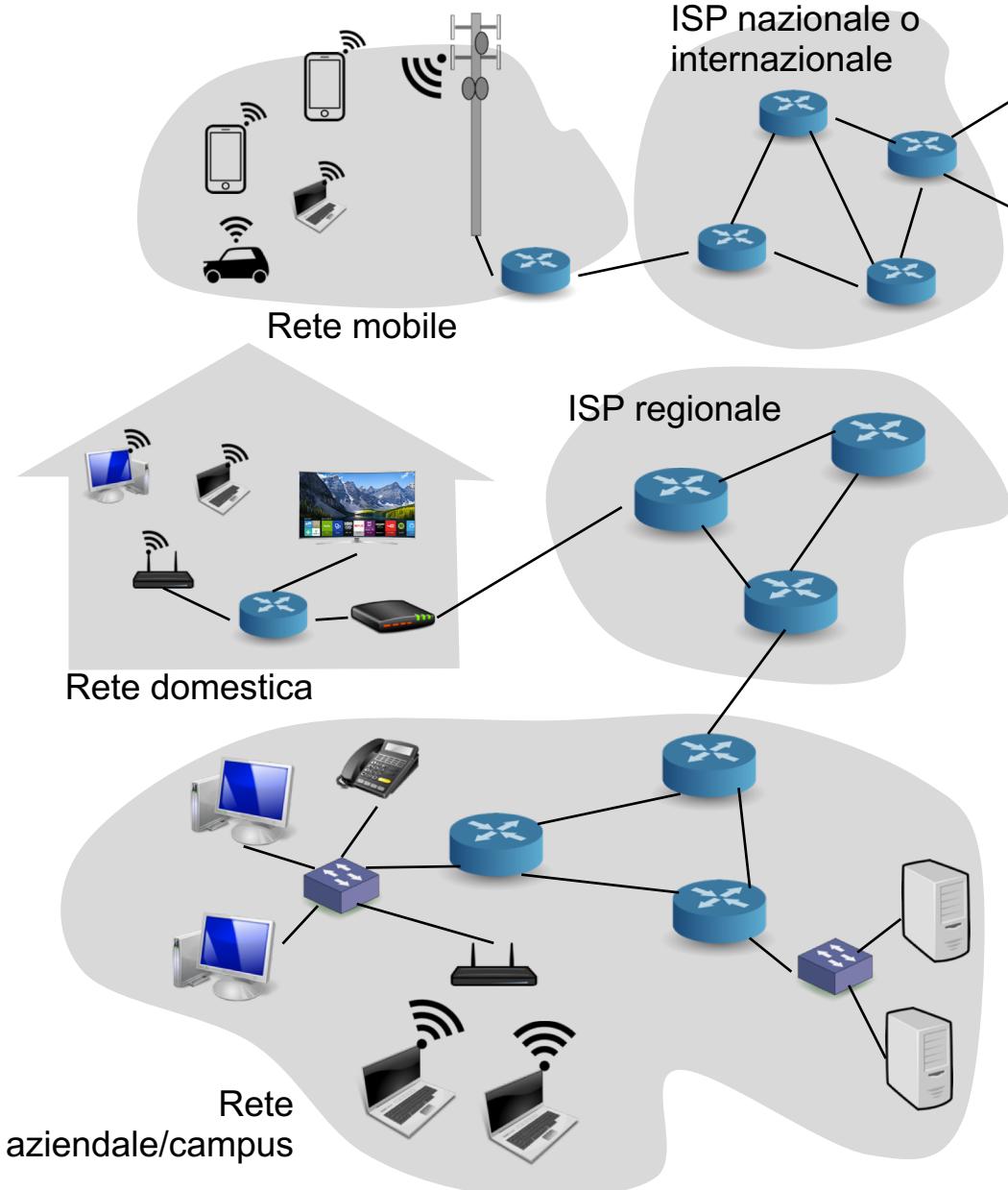
desktop



server

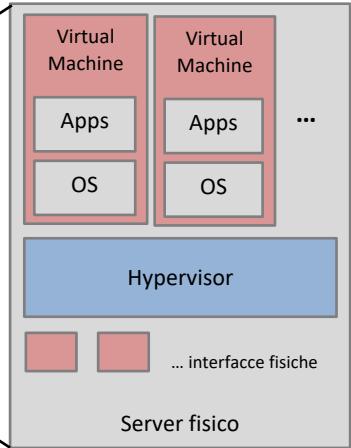


laptop



Componenti fisiche: host (terminali)

- Tutti gli **host** per la rete sono sistemi in grado di **inviare e ricevere informazioni** per le loro applicazioni finali
- Ma in realtà hanno caratteristiche molto diverse



Server fisici e virtuali per data center di servizi cloud



Dispositivi personali



Oggetti intelligenti



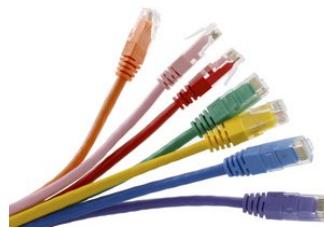
Componenti fisiche: link (collegamenti)

- I collegamenti possono essere di natura fisica molto diversa (fibra ottica, cavi coassiali, doppini, radio, ecc.)
- Differiscono anche per tecnologia di trasmissione dell'informazione
- E ovviamente per la velocità di trasmissione (rate) misurato in bit al secondo (b/s, kb/s, Mb/s, Gb/s, Tb/s)

Fibra ottica



Cavi coassiali



Doppini



Antenne radio

Caratteristica	Cavo coassiale	Cavo Ethernet	Cavo in fibra ottica
Velocità	Fino a 1 Gbps (tipico), 10 Gbps (DOCSIS 3.1)	100 Mbps fino a 10 Gbps (a seconda della categoria)	40 Gbps fino a 100 Gbps e oltre
Larghezza di banda	Fino a 1 GHz	Fino a 500 MHz (Cat6a)	Estremamente alta (nell'ordine dei Terahertz)
Distanza	Lunghe distanze (fino a chilometri)	Fino a 100 metri	Fino a 80 km o più
Attenuazione	Moderata su lunghe distanze	Aumenta oltre i 100 metri	Molto bassa, anche su lunghe distanze
Interferenze	Altamente resistente alle interferenze	Suscettibile (UTP), resistente (STP)	Immune a EMI e RFI
Latenza	Moderata	Bassa	Molto bassa

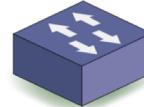


Componenti fisiche: nodi di rete

- I nodi di rete di internet sono i **router** che operano su unità di informazione (sequenze di bit) finite, dette pacchetti
- Esistono altri nodi di rete che a livello locale svolgono altre funzioni di collegamento
- Vedremo che il “livello” a cui opera un nodo di rete è un aspetto importante della tecnologia



router



switch



access point



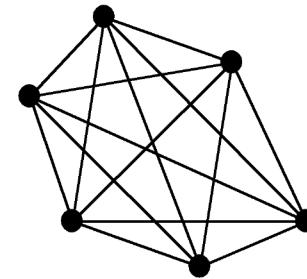
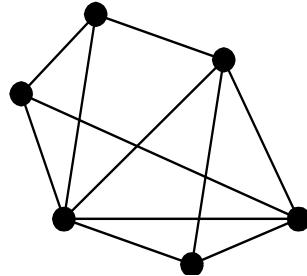
Architettura di rete

- **Grado di Integrazione**
 - Reti dedicate
 - Telefonia
 - Dati
 - Video
 - Reti integrate
 - Sviluppo molto recente
 - Migliori servizi forniti
 - Economie di scala
- **Topologia**
 - Grafo di Interconnessione (maglia, albero, stella, etc.)
- **Estensione di una rete di TLC**
 - Geografica
 - Locale/metropolitana

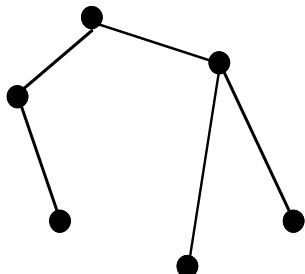


Architettura di rete

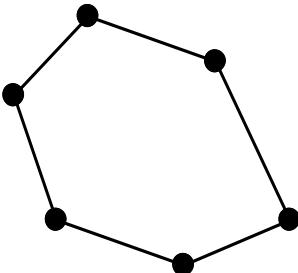
- **Maglia**



- **Albero**

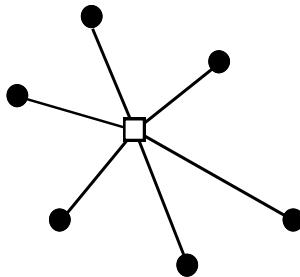


- **Anello**

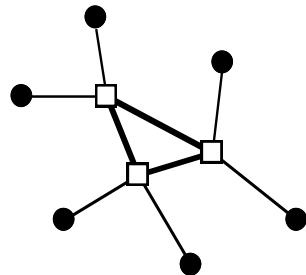


Architettura di rete

- **Stella**

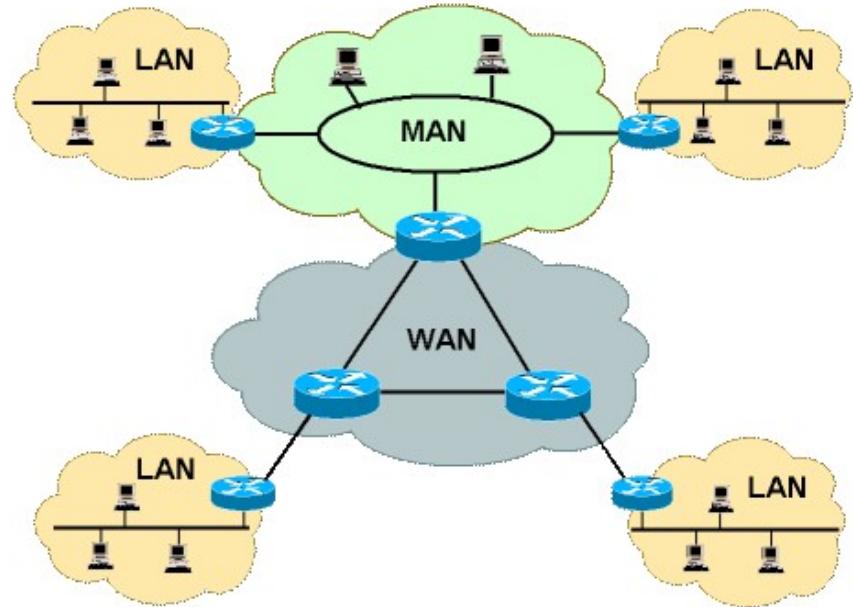


- **Maglia + stella**



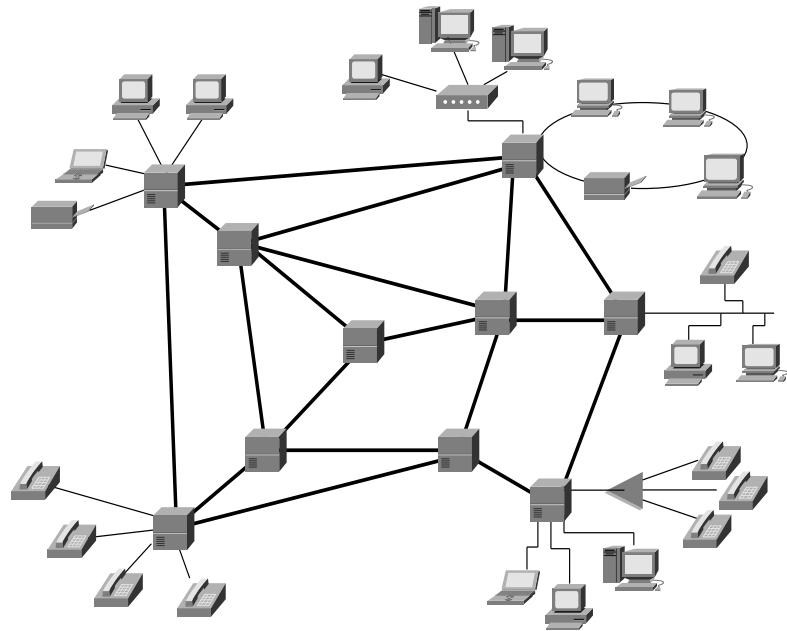
Architettura di rete

- **Tipi di rete**
 - LAN: Local Area Network
 - Impiegate in aree limitate (tipicamente edifici, campus)
 - MAN: Metropolitan Area Network
 - WAN: Wide Area Network
 - Coprono estensioni fino ad alcune decine di km
 - WAN: Wide Area Network
 - Hanno copertura ampia a piacere



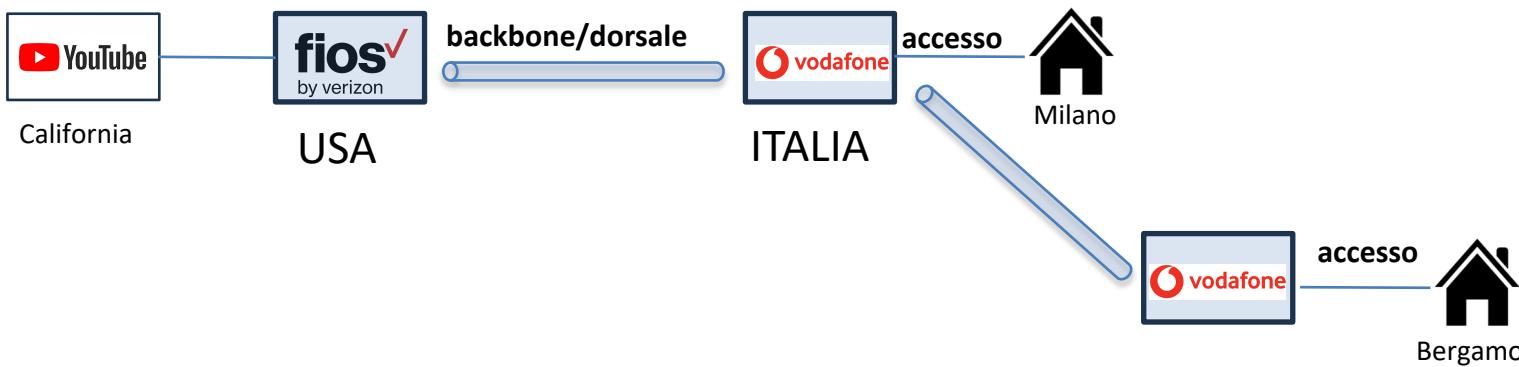
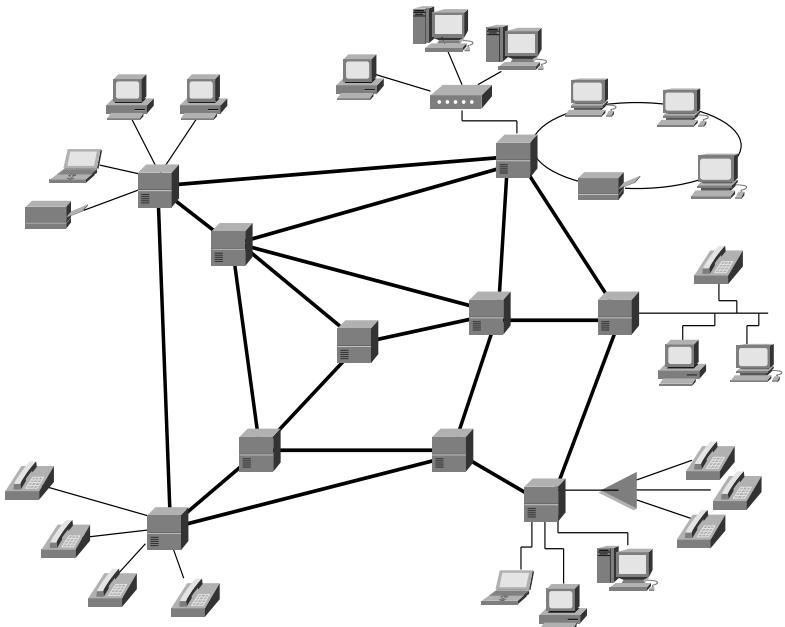
Architettura di rete

- **Rete di backbone (a lunga distanza)**
- **Rete di accesso o di distribuzione**
- **Criterio generale dimensionamento di rete**
 - Condivisione max di risorse
 - Limitazione max risorse indivise

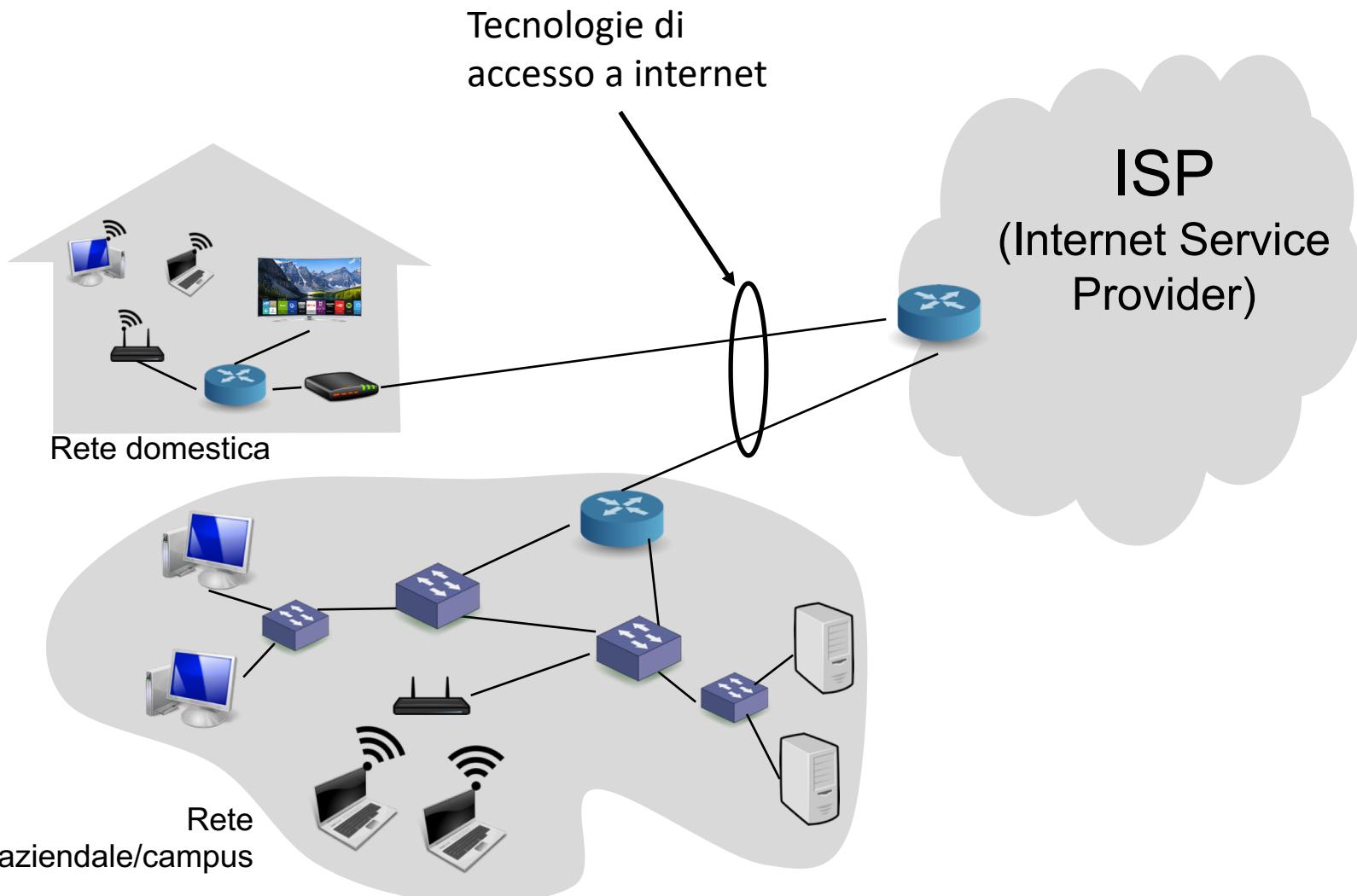


Architettura di rete

- Rete di backbone (a lunga distanza)
- Rete di accesso o di distribuzione

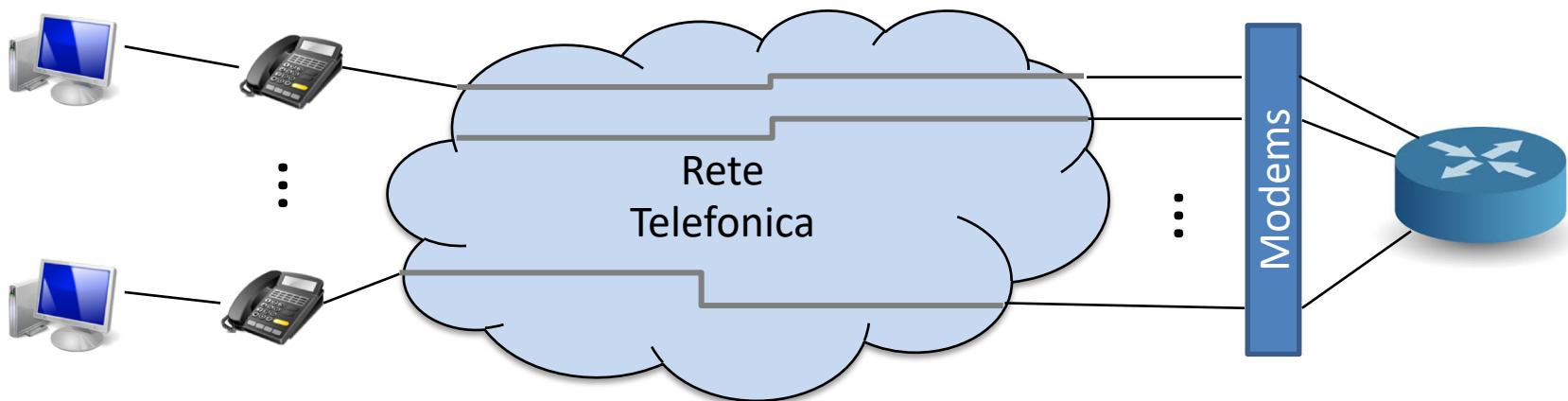


Accesso alla rete Internet



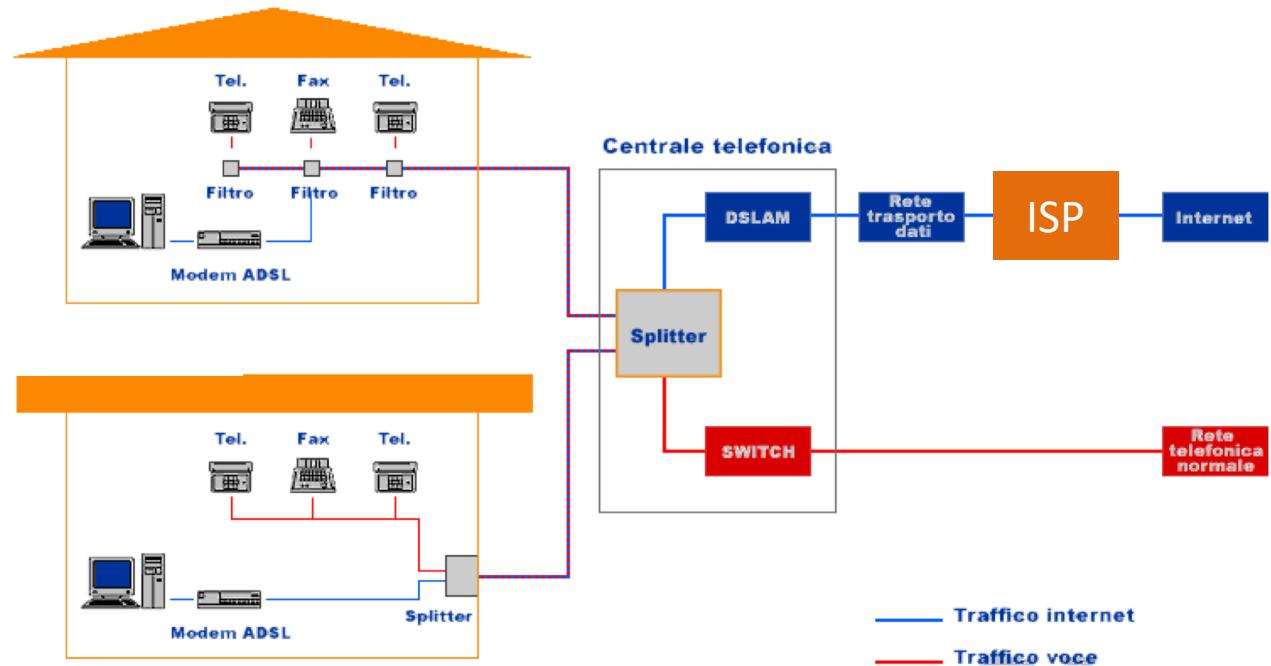
Accesso a Internet: Dialup

- **Dialup via modem**
 - Fino a 56Kbps
 - Accesso diretto al router del ISP mediante circuito telefonico
 - Trasmissione del segnale in banda fonica



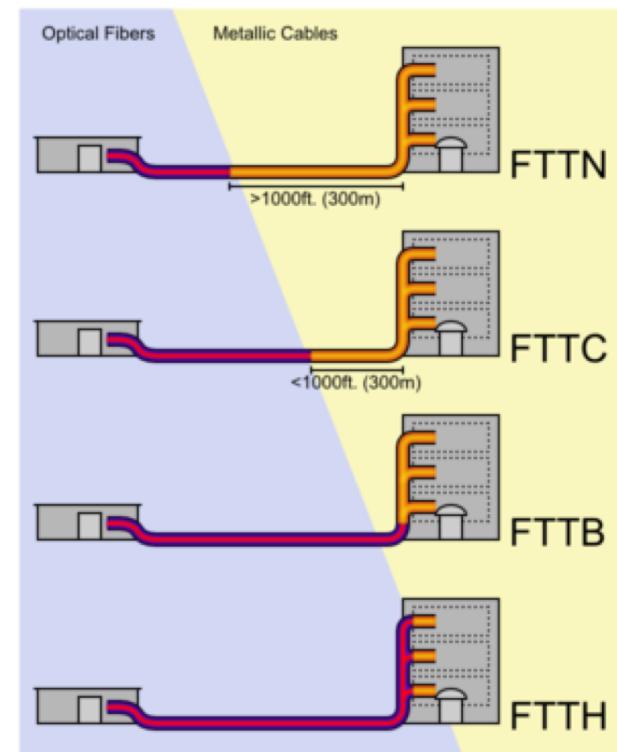
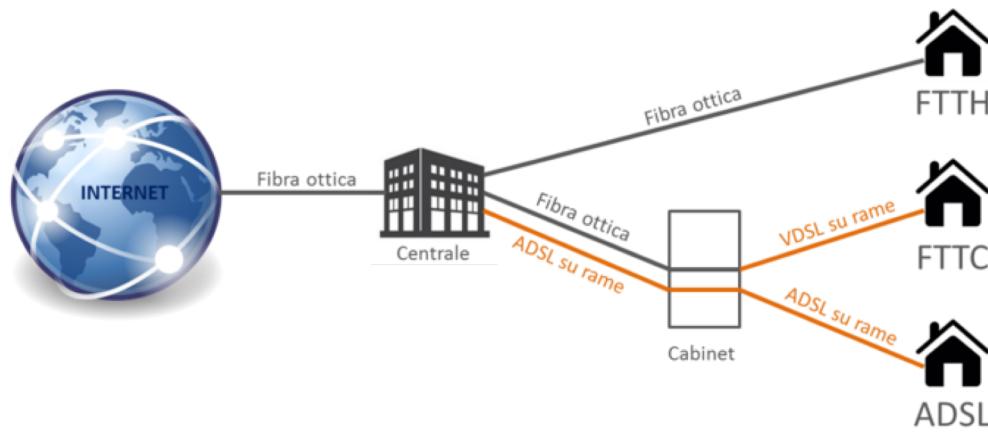
Accesso a Internet: ADSL

- **ADSL: asymmetric digital subscriber line**
 - Utilizzo del cavo in rame (detto doppino telefonico) fino alla centrale
 - Limitazione in prestazioni a causa del rame (fino a 1 Mbps upstream, fino a 20 Mbps downstream)



Accesso a Internet: Fibra

- **Rete d'accesso di nuova generazione ad alta velocità**
 - Sostituzione parziale o totale del doppino telefonico con fibra ottica



FTTH - Fiber To The Home

FTTB - Fiber To The Basement

FTTC - Fiber To The Curb

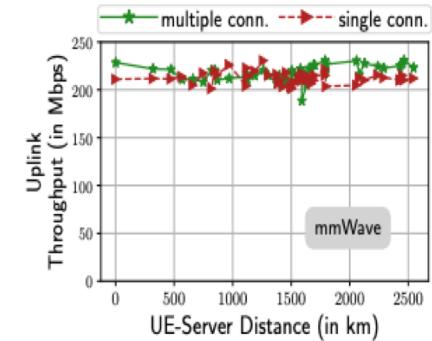
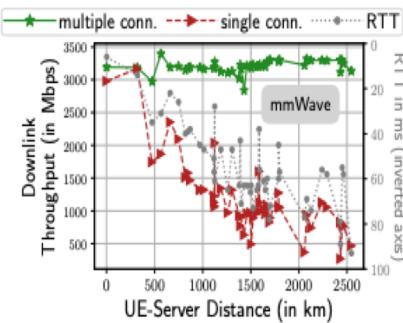
FTTN - Fiber To The Neighborhood



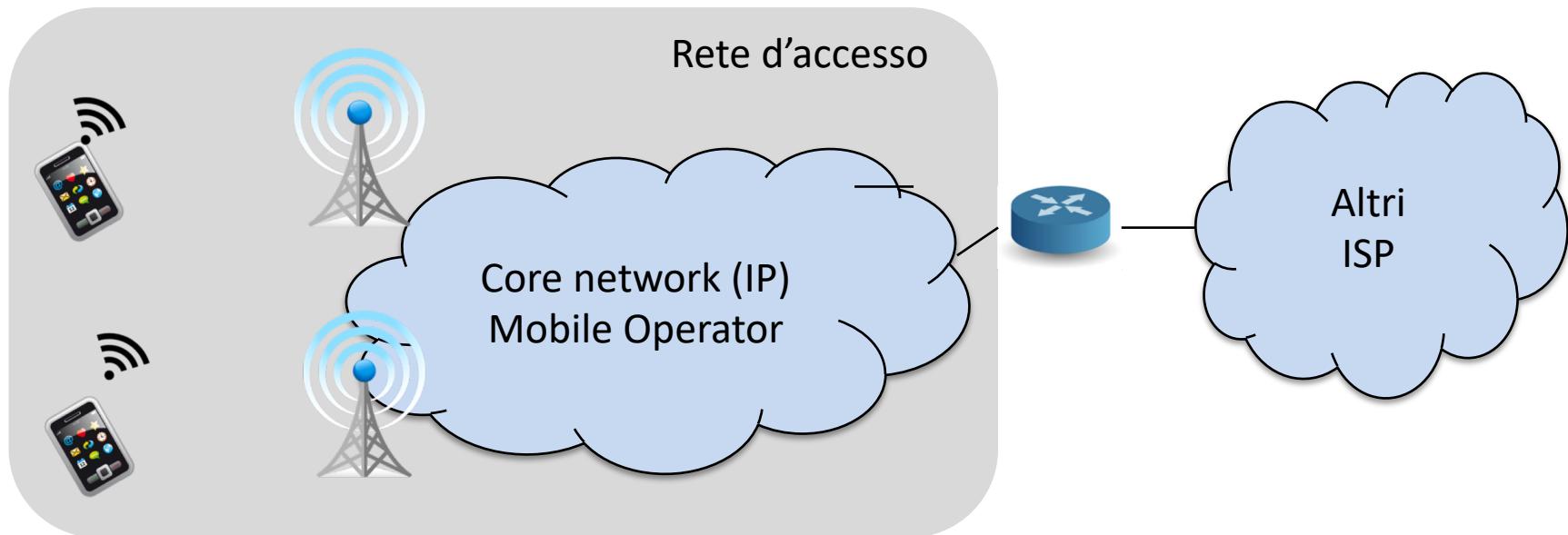
Accesso a Internet: Rete cellulare

- **Reti cellulari**

- GPRS/EDGE ~ 200 kbps
- HSPA ~ 14,5(down)/5,7(up) Mbps
- LTE ~ 300(down)/85(up) Mbps
- 5G ~ 3000 (down)/250(up) Mbps



A Variegated Look at 5G in the Wild: Performance, Power, and QoE Implications

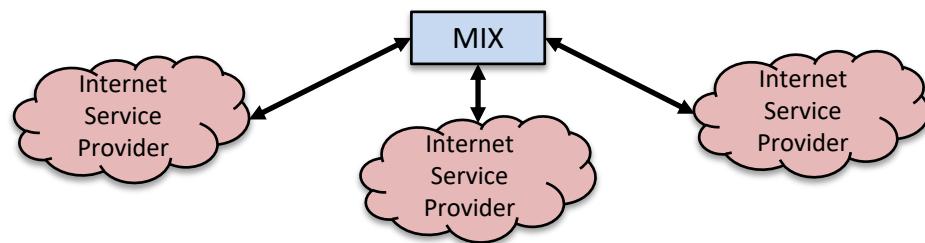


Come è fatta la rete?

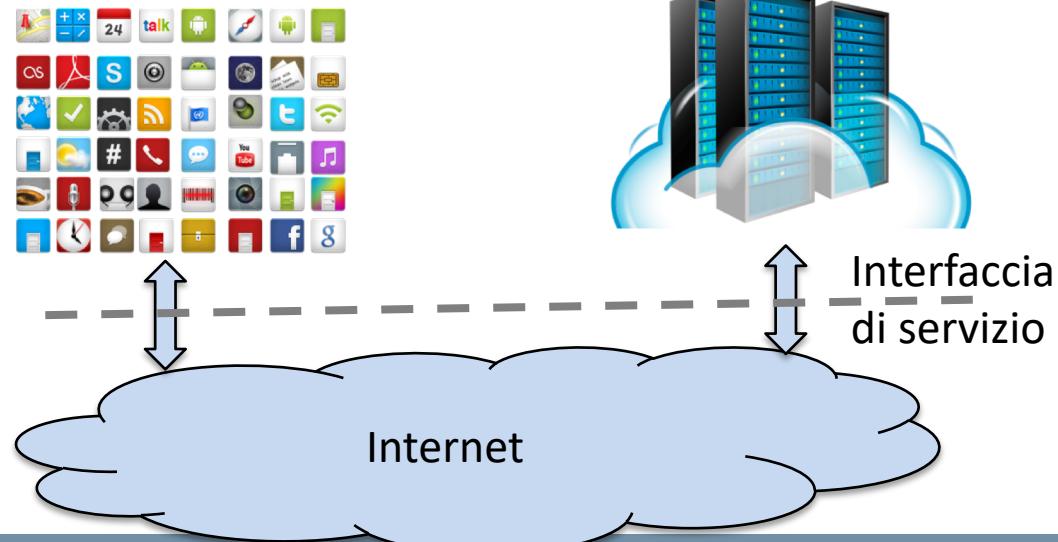
1) Una **infrastruttura fisica** fatta di componenti fisiche



2) Un'architettura di rete



3) Un **servizio di comunicazione** usato dalle applicazioni e i **protocolli di comunicazione** tra le componenti del sistema



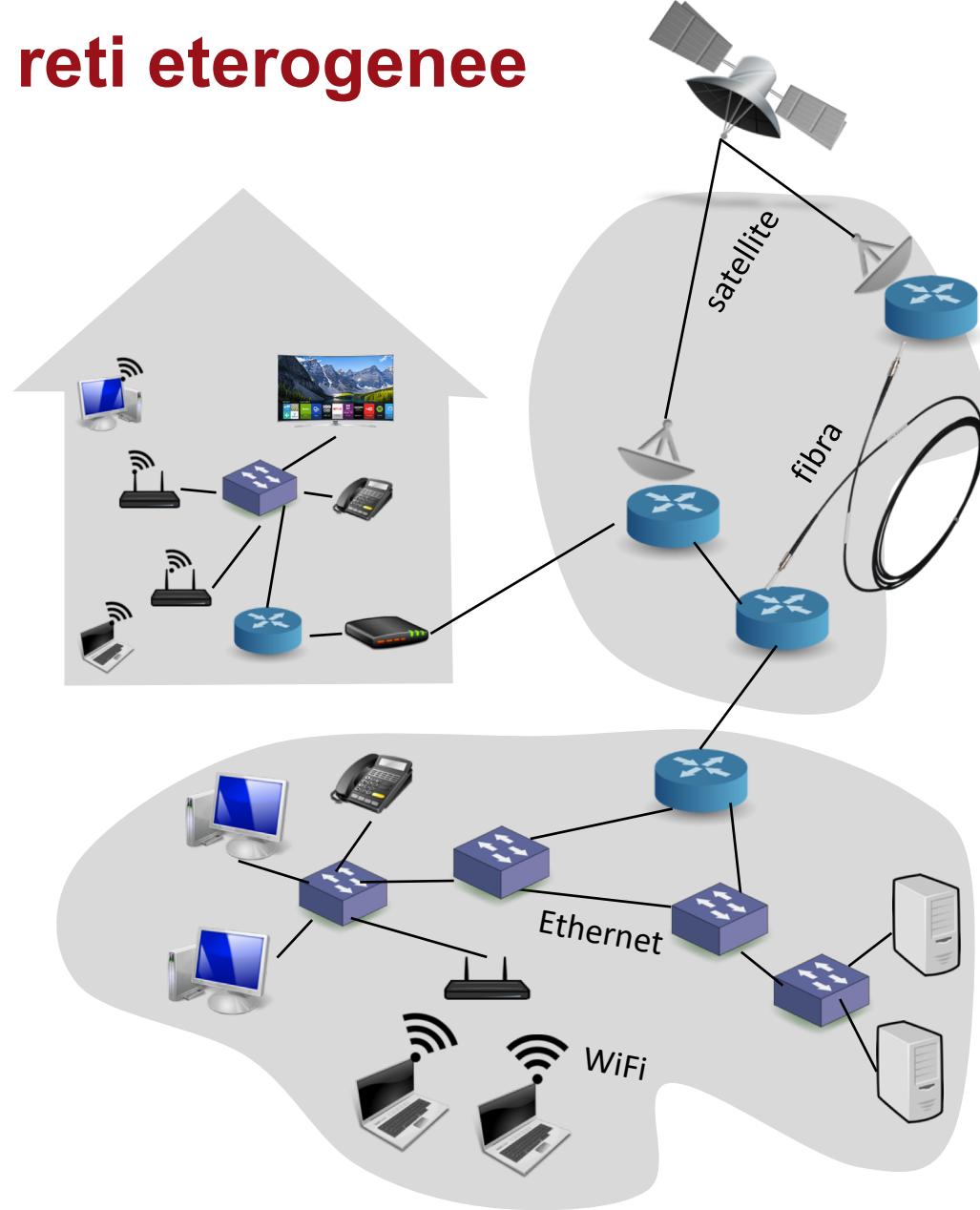
Reti di reti

- Nella descrizione di cosa sia Internet da punto di vista fisico e di servizio non dobbiamo trascurare un aspetto architetturale fondamentale: **Internet in realtà è un puzzle di tante reti interconnesse**
- **Questo ha due risvolti importanti:**
 - 1) La tecnologia di Internet (IP - Internet Protocol) può essere usata per interconnettere sotto-reti di tipo eterogeno
 - 2) L'intera rete Internet mondiale è composta da tante reti gestite da operatori indipendenti (ISP – Internet Service Provider) che si accordano per collegarle insieme



Reti di reti: Insieme di reti eterogenee

- Le diverse porzioni di rete sono composte da **tecnicologie diverse**
- I router possono essere interconnessi da **link di vario tipo**
- Ma anche da “**sotto-reti**” che gestiscono internamente propri nodi e link
- Esempio: reti locali Ethernet e/o WiFi

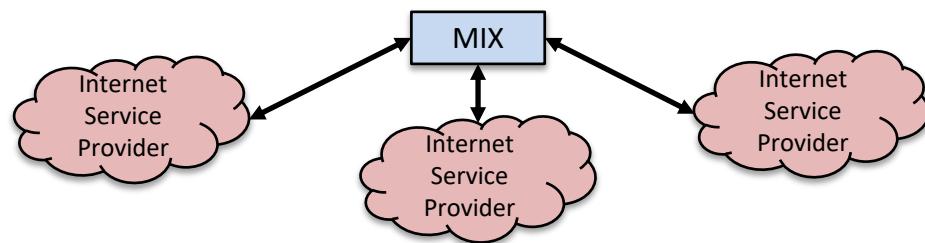


Come è fatta la rete?

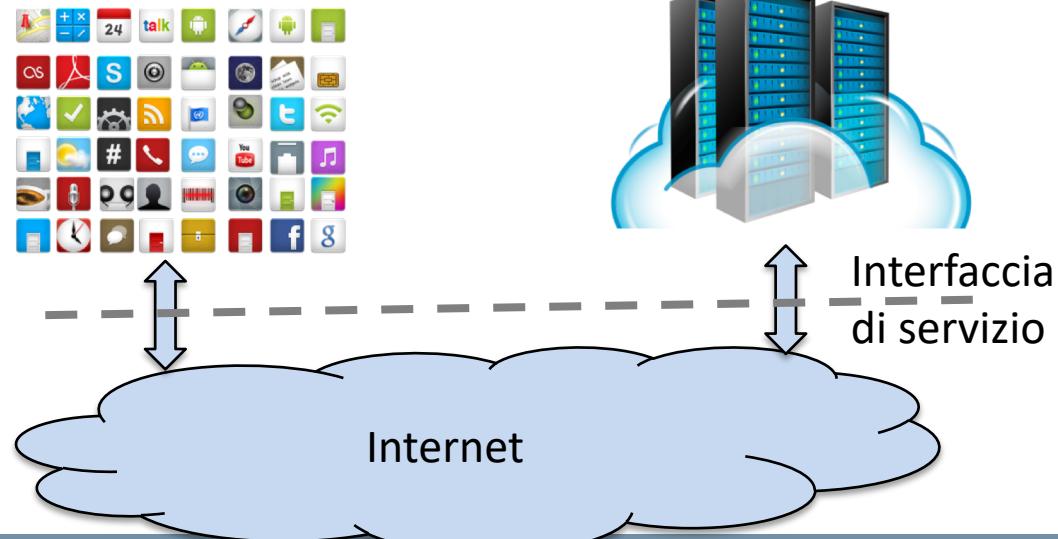
1) Una **infrastruttura fisica** fatta di componenti fisiche



2) Un'architettura di rete

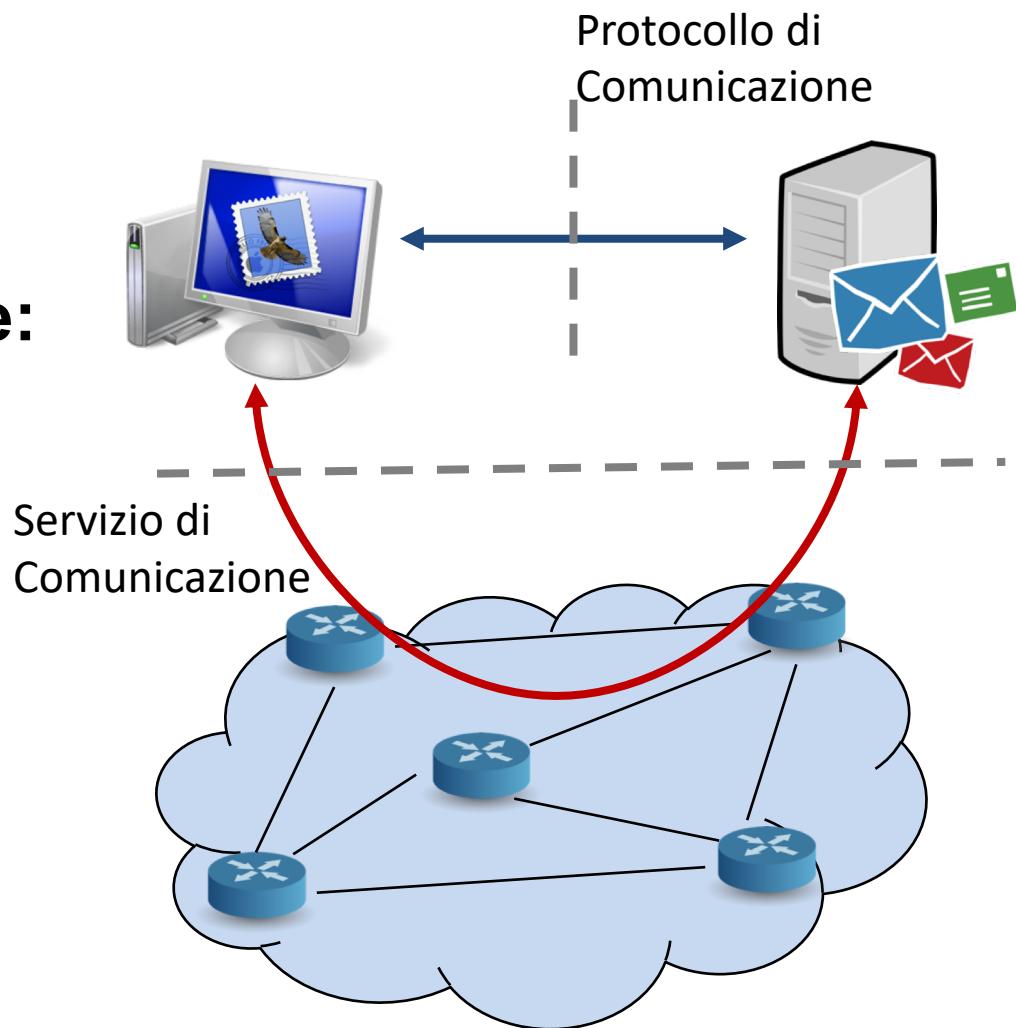


3) Un **servizio di comunicazione** usato dalle applicazioni e i **protocolli di comunicazione** tra le componenti del sistema



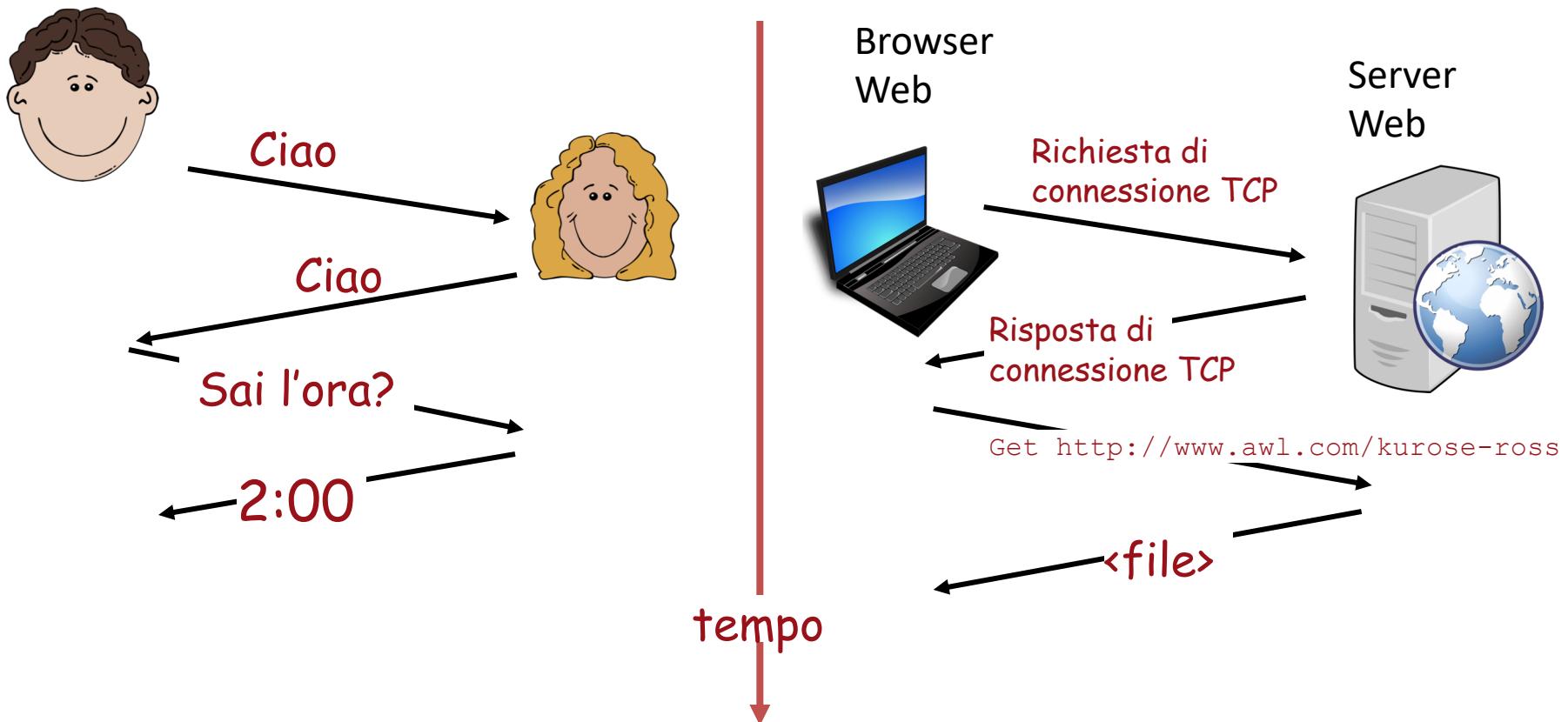
Il servizio e i protocolli di comunicazione

- **Infrastruttura di comunicazione consente le applicazioni distribuite:**
 - Web, email, games, e-commerce, file sharing
- **Protocolli di comunicazione per inviare e ricevere messaggi**



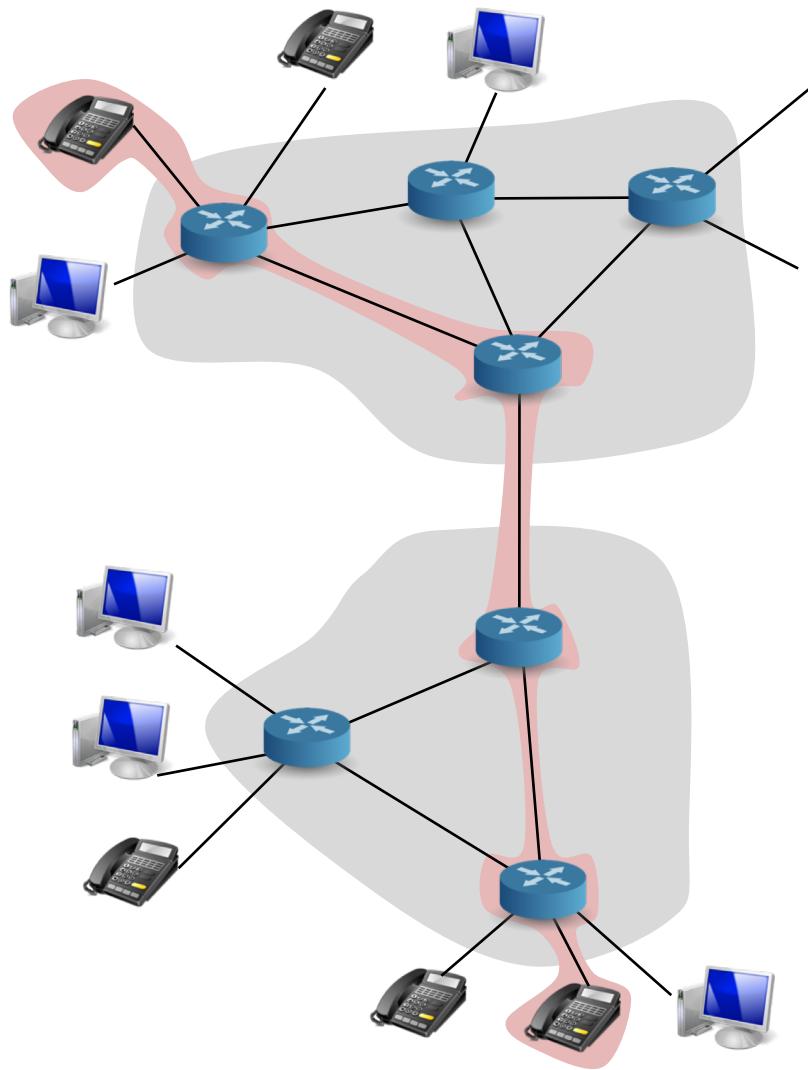
Cos'è un protocollo

Protocollo umano e protocollo di rete



Come funziona la rete Internet?

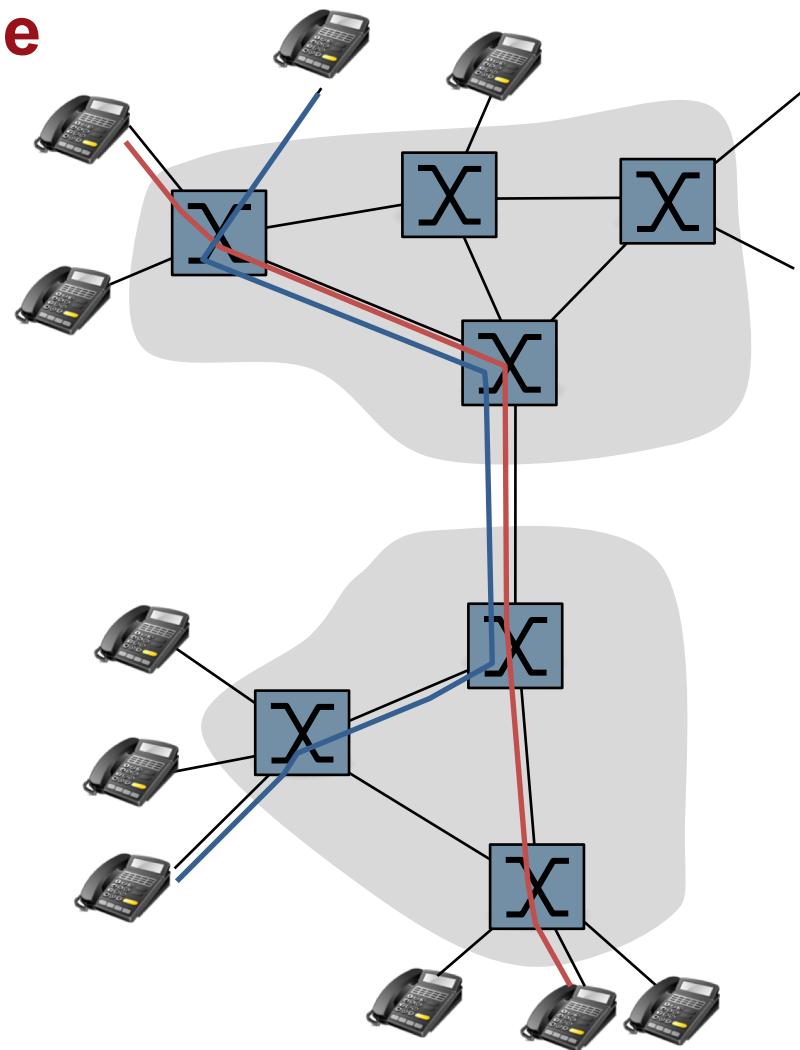
- Insieme di router interconnessi
- **Come viene trasferita l'informazione in rete?**
 - Comutazione di circuito: circuito dedicato per chiamata
 - Comutazione di pacchetto: dati inviati in rete con messaggi



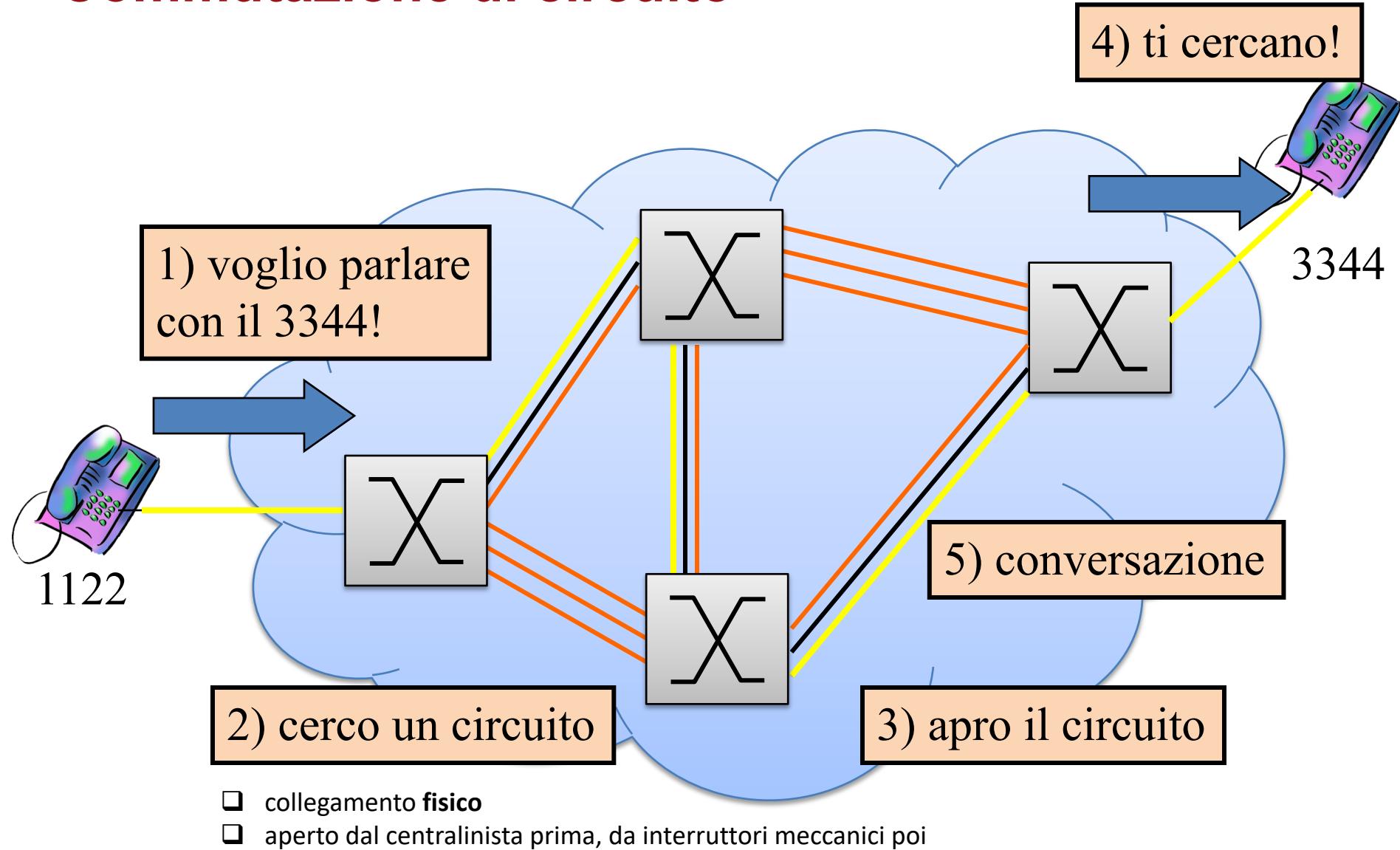
Commutazione di circuito

Le risorse per la comunicazione sono riservate per la chiamata

- Esempio rete telefonica



Commutazione di circuito



Commutazione di circuito

- Risorse di rete **suddivise in “pezzi”**
- ciascun “pezzo” (= circuito) viene allocato ai vari collegamenti
- le risorse rimangono ***inattive*** se non utilizzate (*non c’è condivisione*)



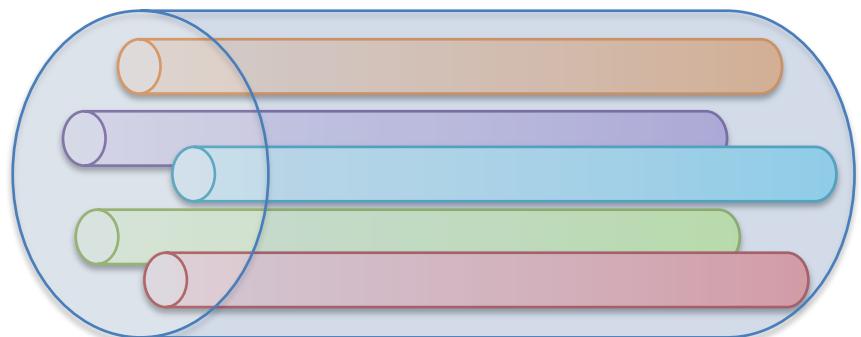
Commutazione di circuito

- Risorse di rete **suddivise in “pezzi”**

suddivisione della **banda** (cioè della capacità di trasmettere un certo numero di bit al secondo)

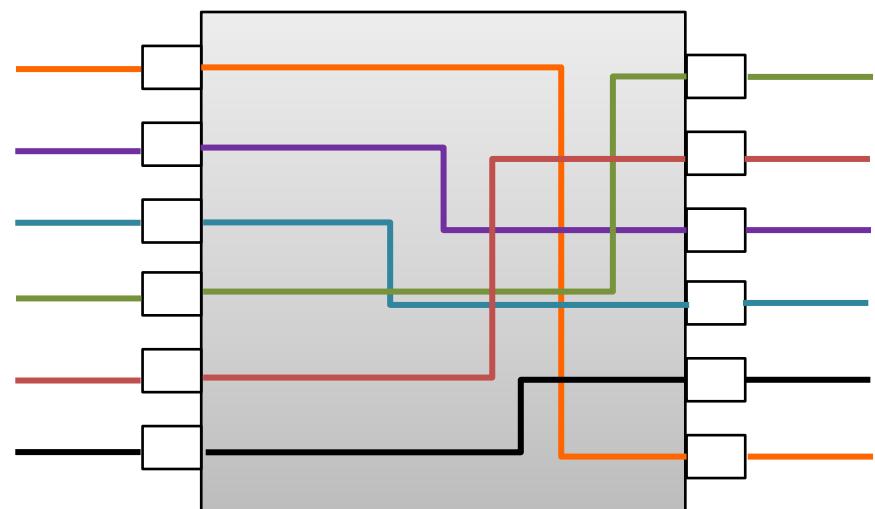
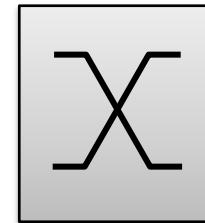
in “pezzi”

- divisione di frequenza
- divisione di tempo



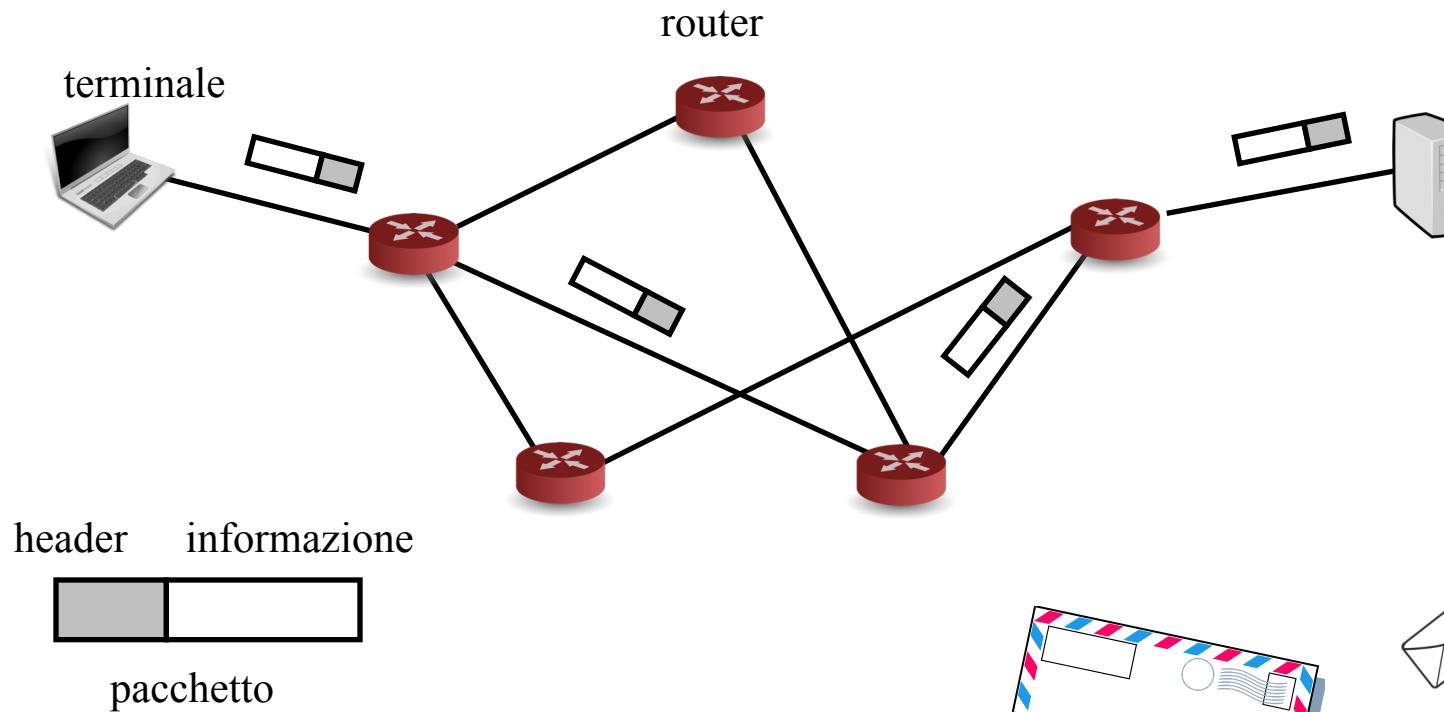
Commutazione di circuito

- **Modello di nodo
(comutatore a
circuito)**
 - La capacità dei canali in ingresso è pari alla capacità (in bit al secondo) di quelli in uscita
 - Non serve memorizzare temporaneamente l'informazione

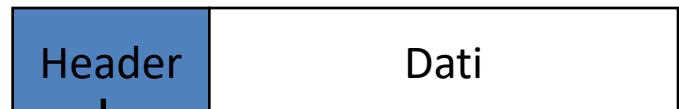


Commutazione di pacchetto

- **Informazione suddivisa in pezzi**

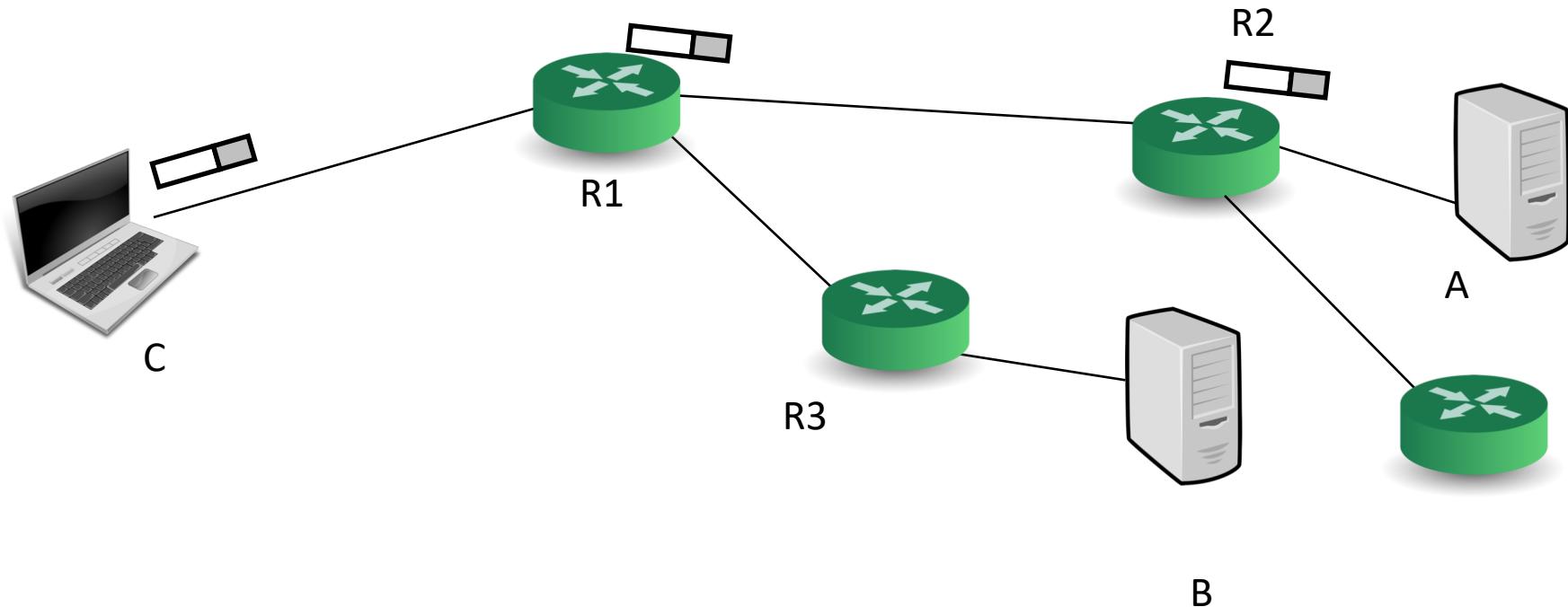


Commutazione di pacchetto



Indirizzo di destinazione: A

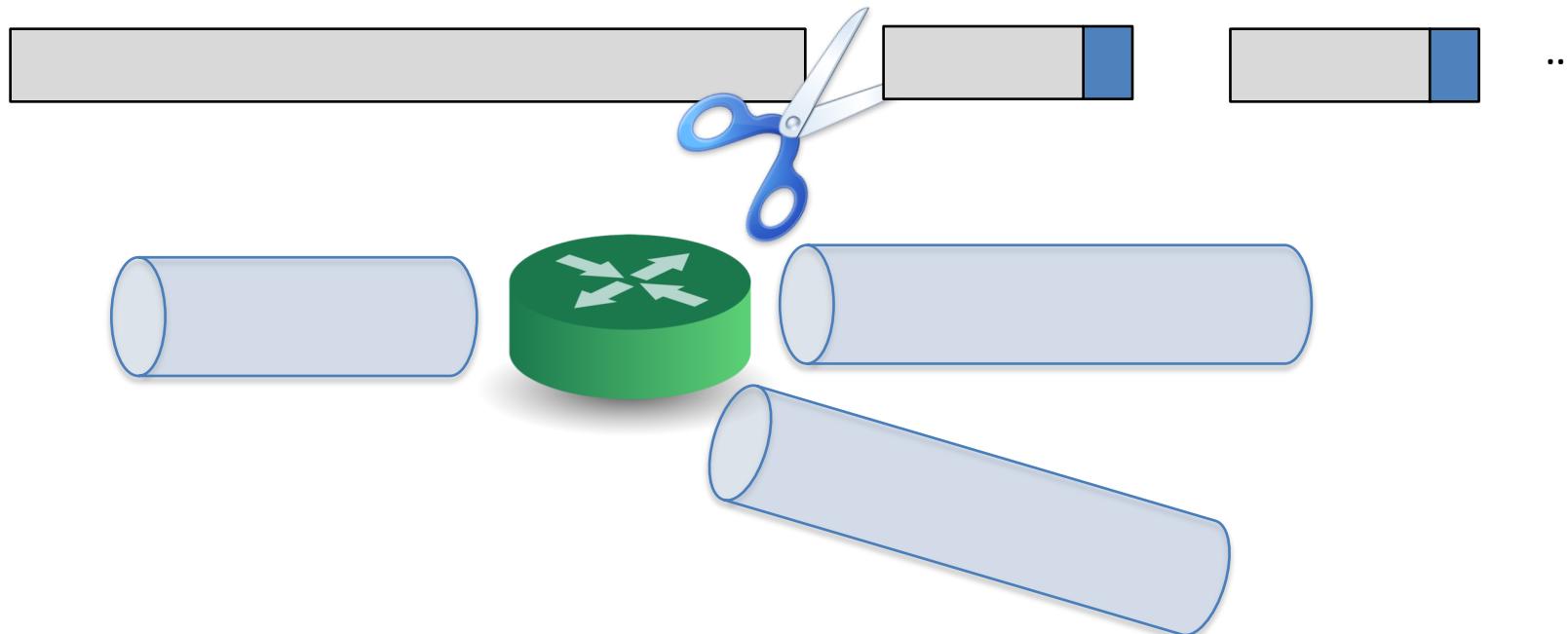
tabella di instradamento	
indirizzo dest.	Prossimo nodo
A	A
...	...
B	R3



Commutazione di pacchetto

Il flusso di dati viene suddiviso in *pacchetti*

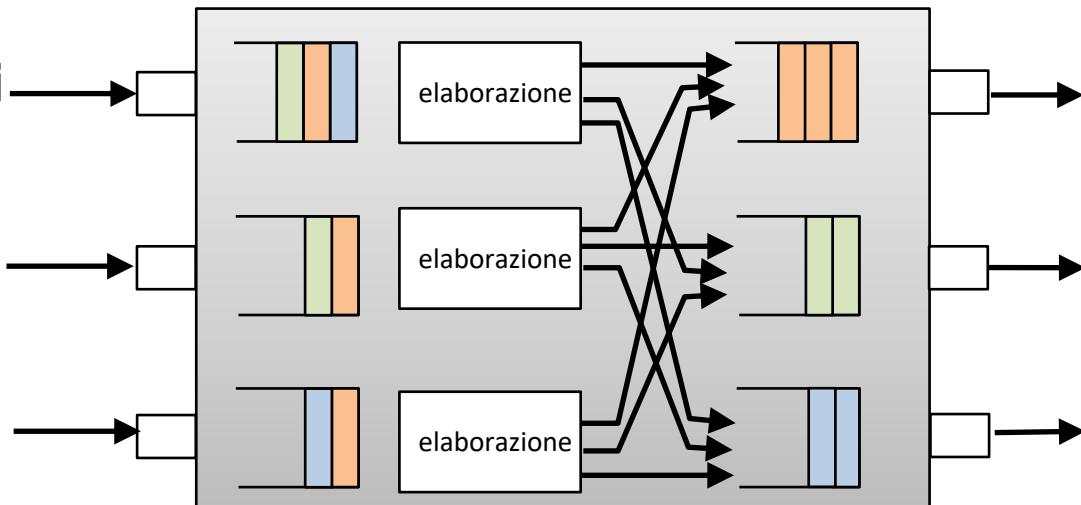
- I pacchetti di tutti gli utenti *condividono* le risorse di rete
- Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale
- Le risorse vengono usate a seconda delle necessità



Commutazione di pacchetto

- **Modello di nodo
(packet switch/router)**

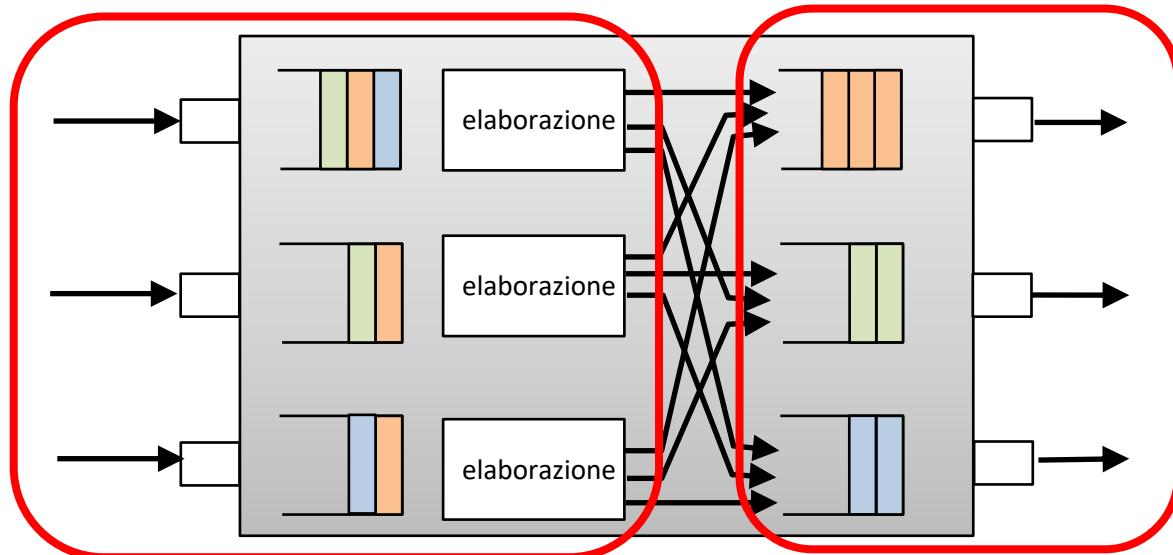
- L'arrivo dei pacchetti è **asincrono**
- La capacità dei collegamenti **arbitraria**
- Possono esserci **conflitti temporali** per la trasmissione
- Serve **memorizzare temporaneamente** per analizzare indirizzo destinazione e per gestire conflitti



Commutazione di pacchetto

Contesa per le risorse:

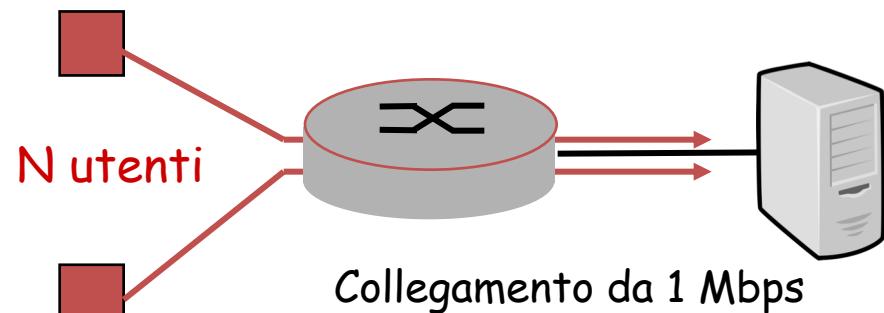
- ❑ **Store and forward:** il commutatore deve ricevere l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita
- ❑ **Scheduling e gestione delle code:** ordinamento dei pacchetti
 - ❑ First In, First Out (FIFO): Chi primo arriva primo alloggia
 - ❑ Weighted Fair Queuing (WFQ): Priorità pesata per ogni utente
 - ❑ Round Robin: Stessa priorità ad ogni utente
- ❑ **Multiplazione statistica:** usare al meglio (statisticaente) le risorse a disposizione



Confronto tra pacchetto e circuito

Esempio:

- 1 collegamento da 1 Mbps
- Ciascun utente:
 - Genera 100 kbps quando è “attivo”
 - È attivo per il 10% del tempo
- **commutazione di circuito:**
 - 10 utenti ($1 \text{ Mbps} / 100 \text{ kbps} = 10$)



- **commutazione di pacchetto:**
 - con 35 utenti, la probabilità di averne > 10 attivi è inferiore a 0,0004
(risultato di teoria della prob.)

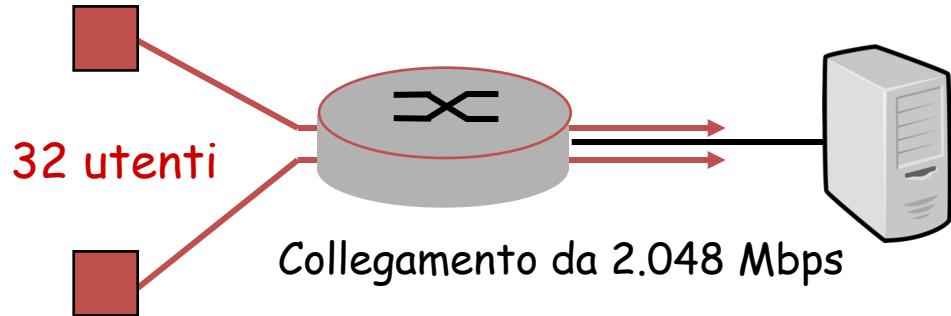
La commutazione di pacchetto consente a più utenti di usare la rete!



Confronto tra pacchetto e circuito

Esempio:

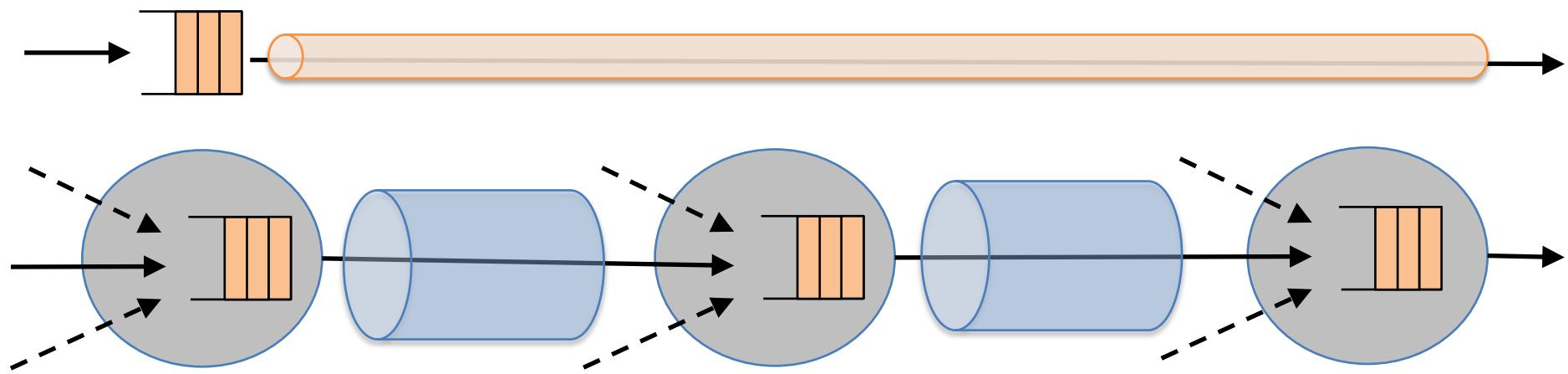
- 1 collegamento da 2.048 Mbps
- Ciascun utente:
 - Chiede pagine web di 50KB ogni 62.5s in media
- **commutazione di circuito:**
 - 1 canale 64 kbps per utente
 - Ritardo di trasferimento pagina web: 6.25s
 $(400 \text{ kbit} / 64 \text{ kbps} = 6,25\text{s})$
- **commutazione di pacchetto:**
 - Ritardo di trasferimento medio pagina web: 0.22s
(risultato di teoria delle code)



La commutazione di pacchetto consente di scaricare le informazioni più velocemente!



Confronto tra pacchetto e circuito

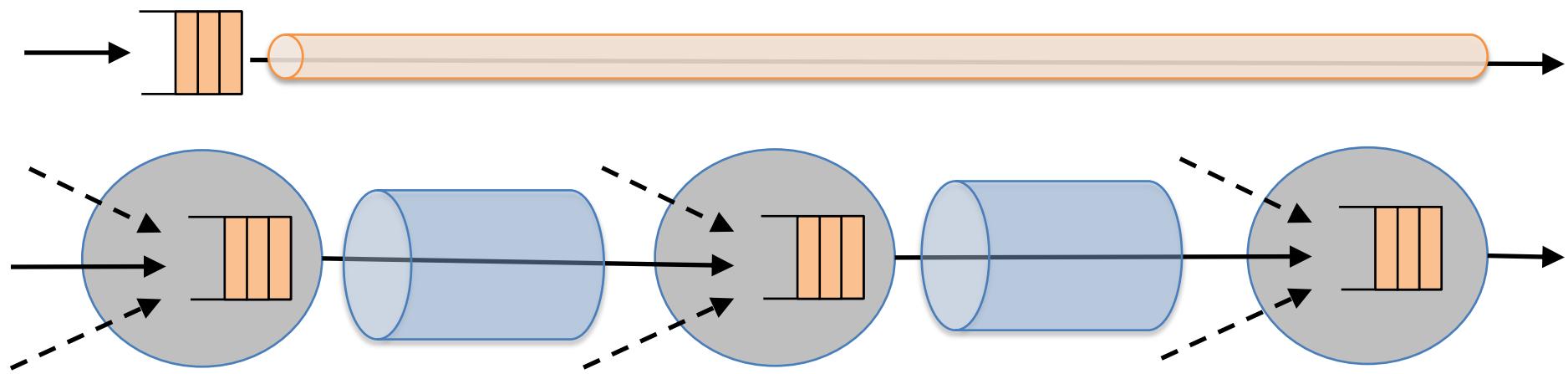


La commutazione di pacchetto è la scelta di Internet

- **Il problema delle coda: ritardo e perdita di pacchetti**
 - Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione



Confronto tra pacchetto e circuito



La commutazione di pacchetto è la scelta di Internet

<https://internetreti.it/animations/packet-queue/packet-queue/packet-queue.html>

