

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

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

Introduzione

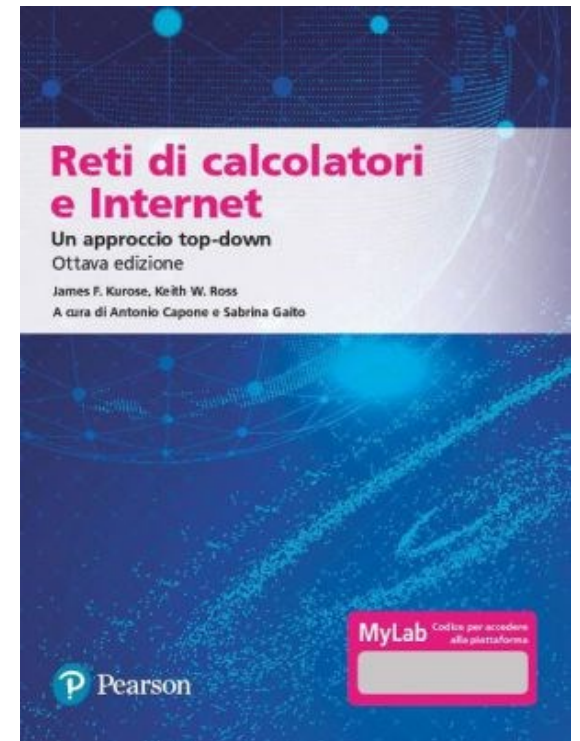
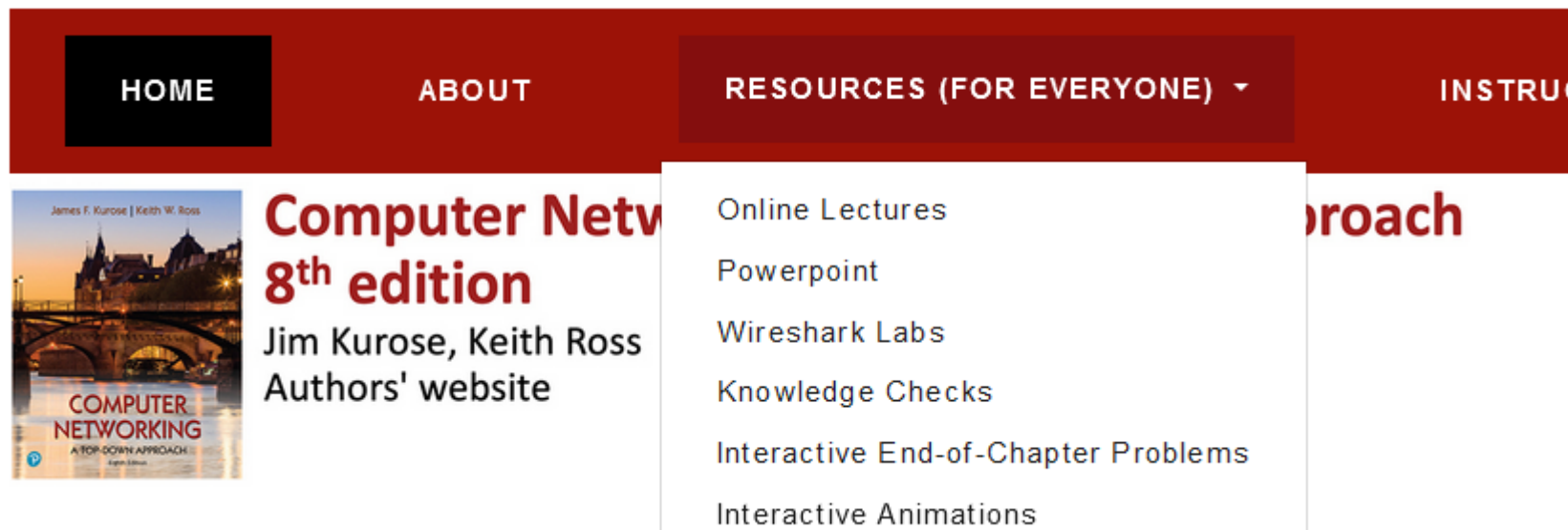
dr. Manuel Fiorelli

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



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 esercitazioni

Questo materiale sarà distribuito attraverso il canale dedicato al modulo di reti 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)

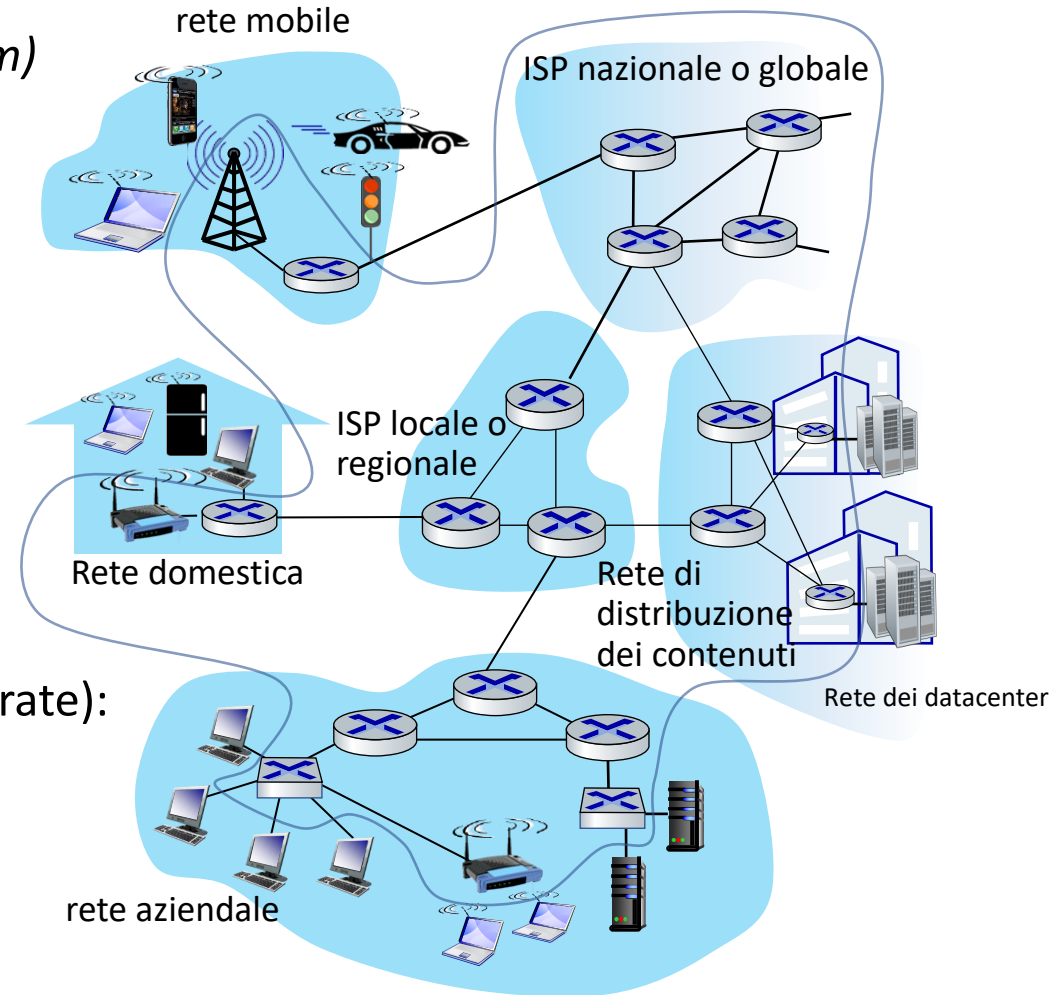
- router, switch

Reti di collegamento (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



Cornice IP



Pacemaker & Monitor



Tweet-a-watt:
Monitoraggio dei consumi energetici

biciclette



Telecamera di sicurezza



Slingbox: visione e controllo remote della TV via cavo



Tostapane Web + previsioni del tempo



Dispositivi per la realtà aumentata



automobili



monopattini



Telefonia Internet



Dispositivo di gioco



Materasso sensorizzato



Fitbit



pannolini

Altri?

Note sui sistemi periferici

■ Sistemi periferici in Internet:

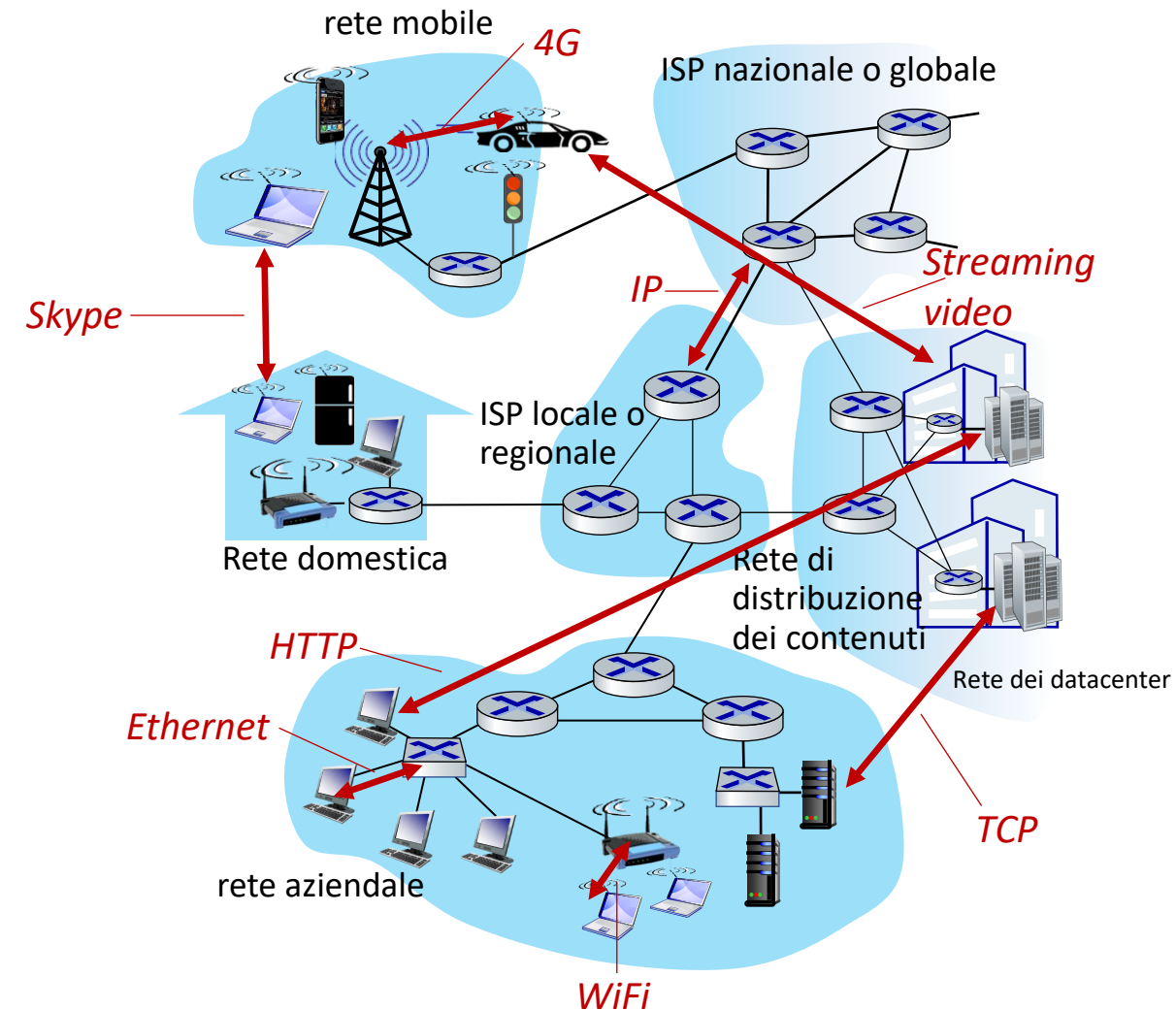
- PC desktop
- server (spesso raggruppati in cluster all'interno di data center)
- dispositivi mobili (es. computer portatili, smartphone e tablet)
- altri tipi di "cose" (*things*) che in passato non erano connesse (es. termostato!) -> il termine "rete di calcolatori" sta diventando obsoleto

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>

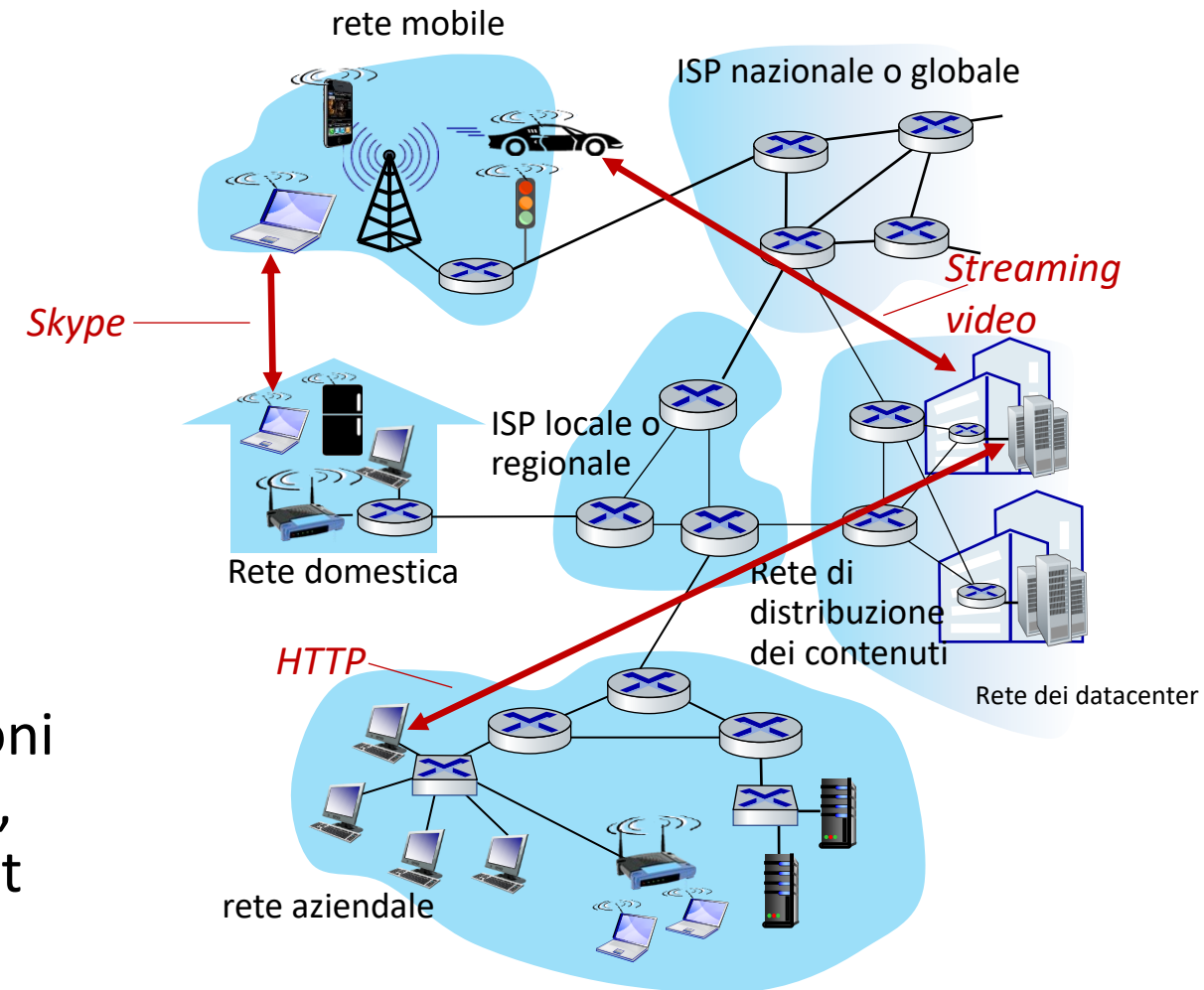
Internet: descrizione degli “ingranaggi”

- *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 (LMSC), 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:
 - “hook” che consentono alle applicazioni mittente/destinataria di "connettersi", usare il servizio di trasporto di Internet
 - 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)

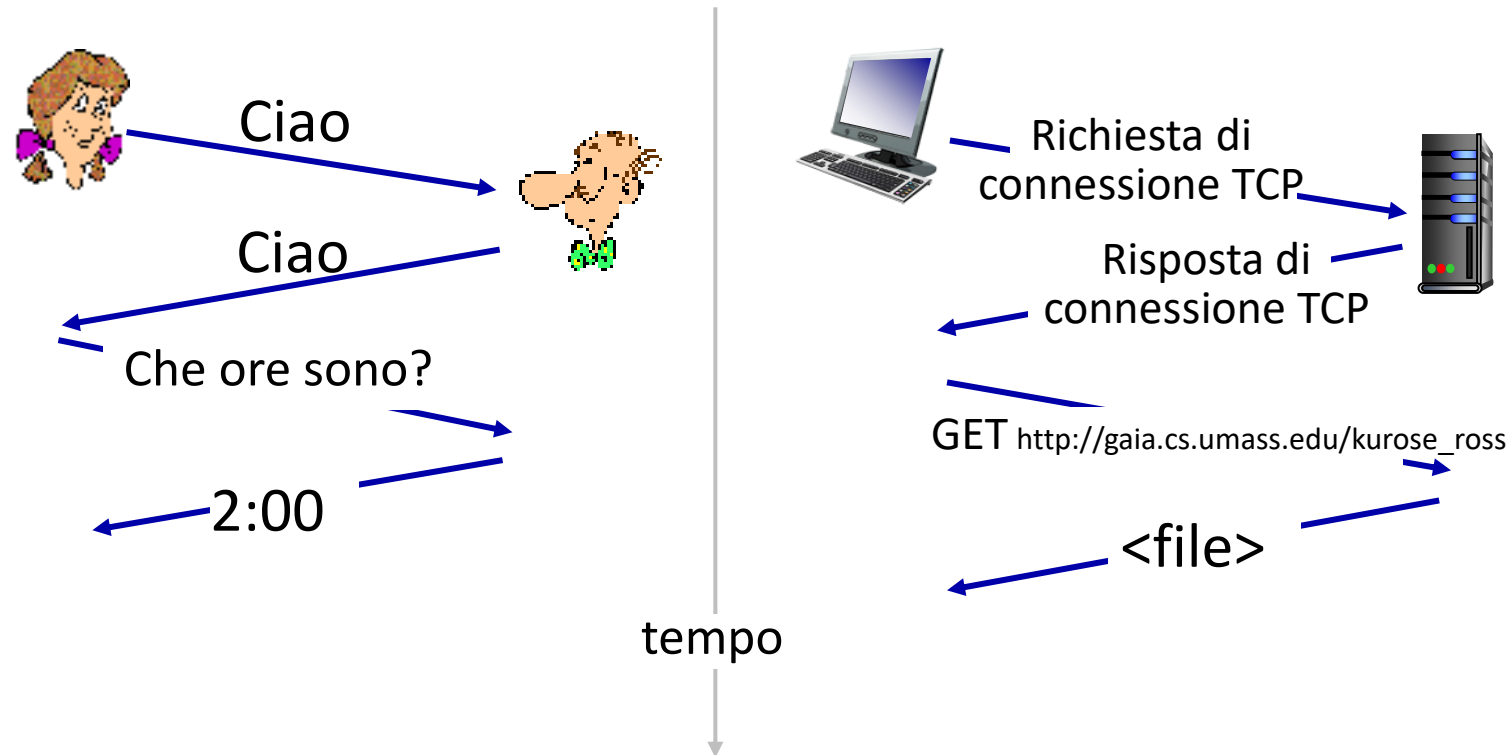
Protocolli di rete:

- computers (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

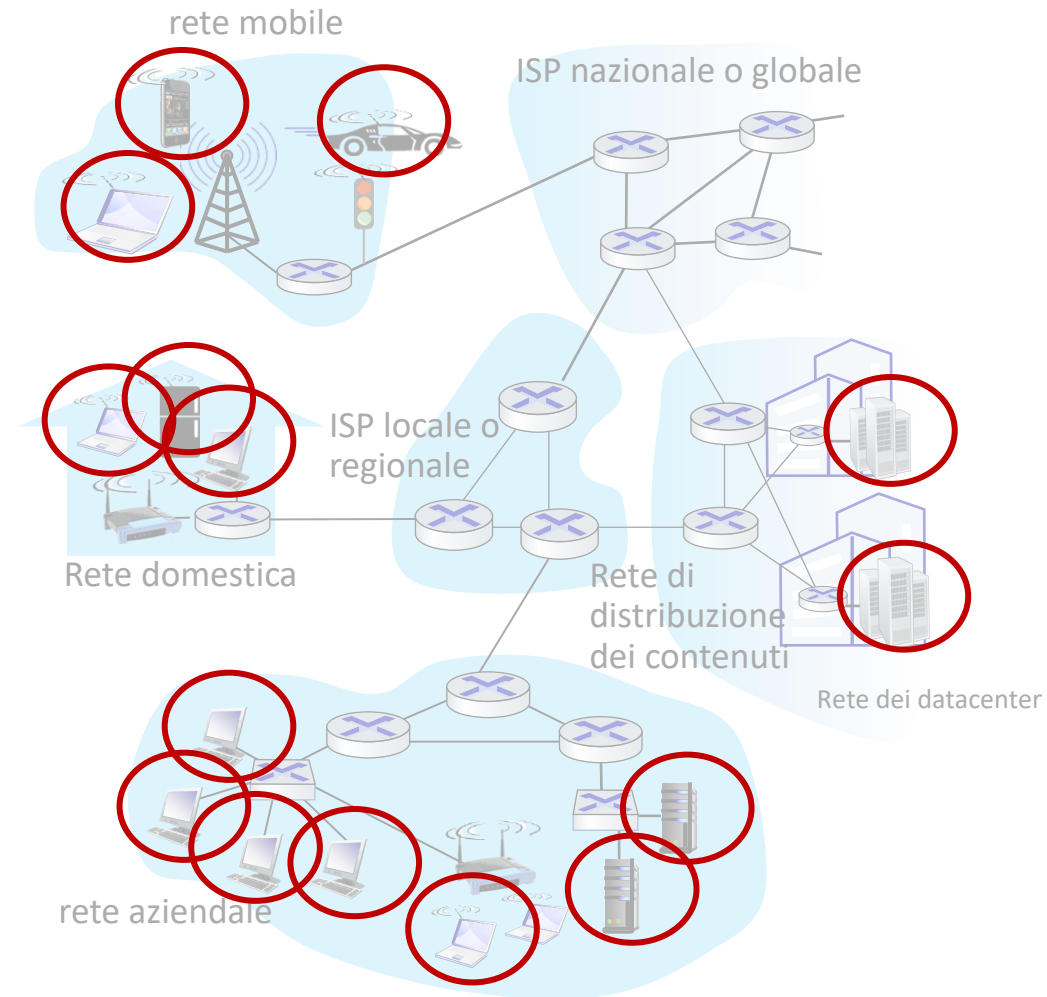
- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- **Ai confini della rete:** host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di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

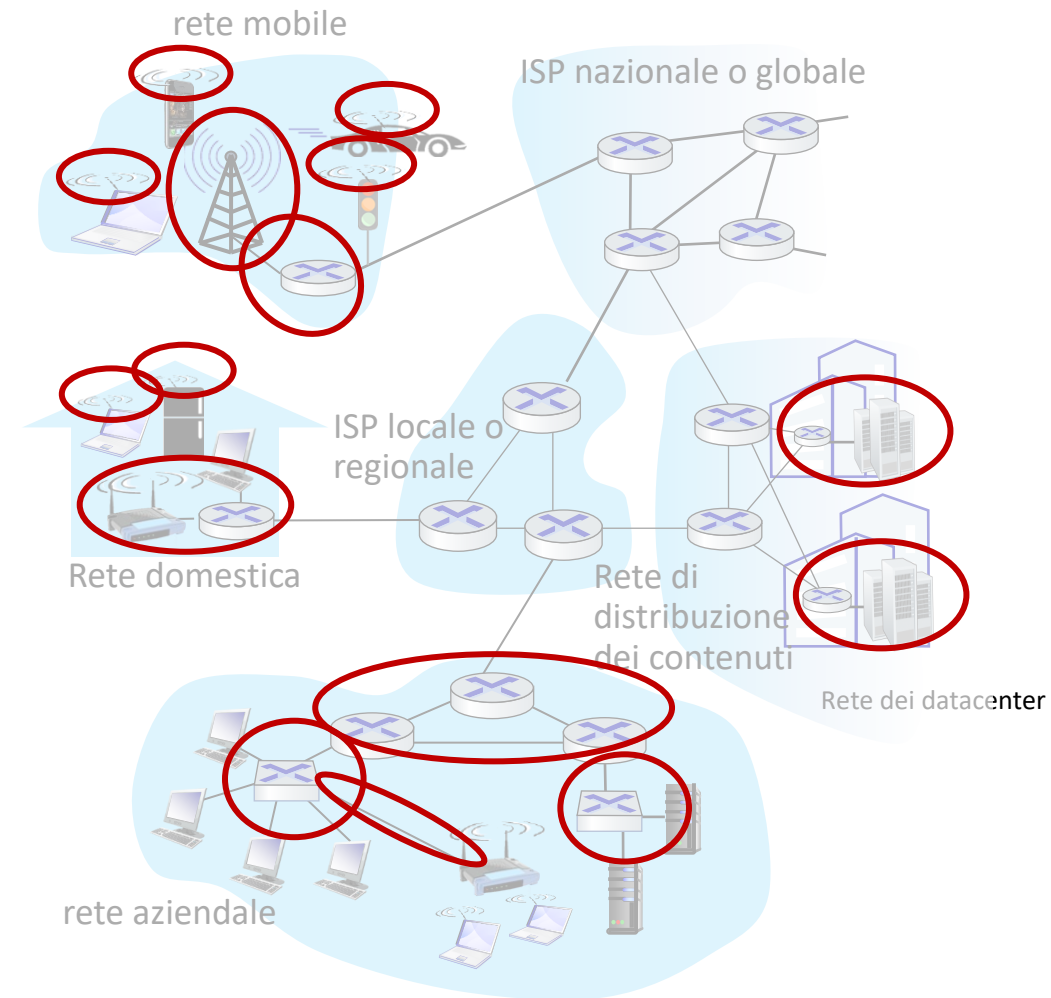
Uno sguardo da vicino alla struttura di Internet

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:

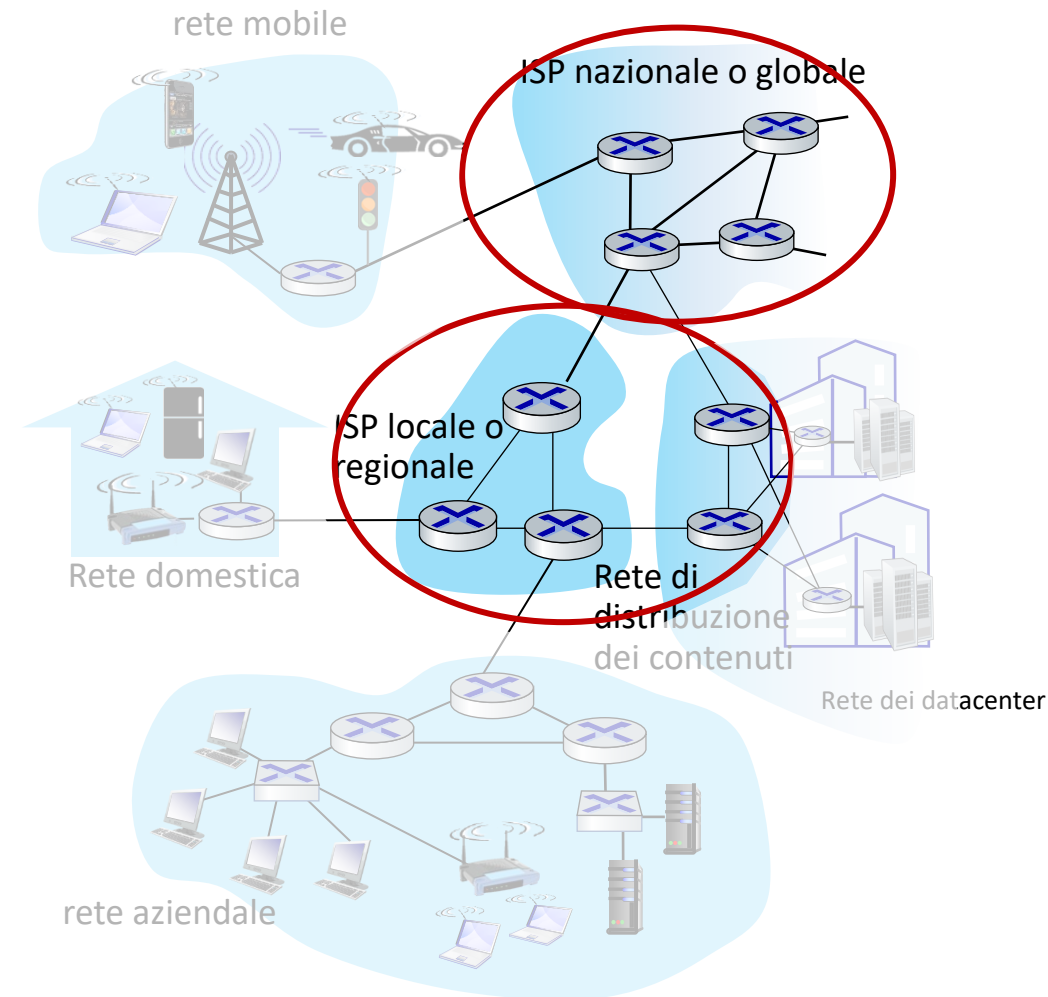
- host: client e server
- server spesso nei data center

Reti di accesso, mezzi trasmissivi:

- collegamenti cablati e wireless

Nucleo della rete:

- router interconnessi
- rete di reti



Reti di accesso e mezzi trasmissivi

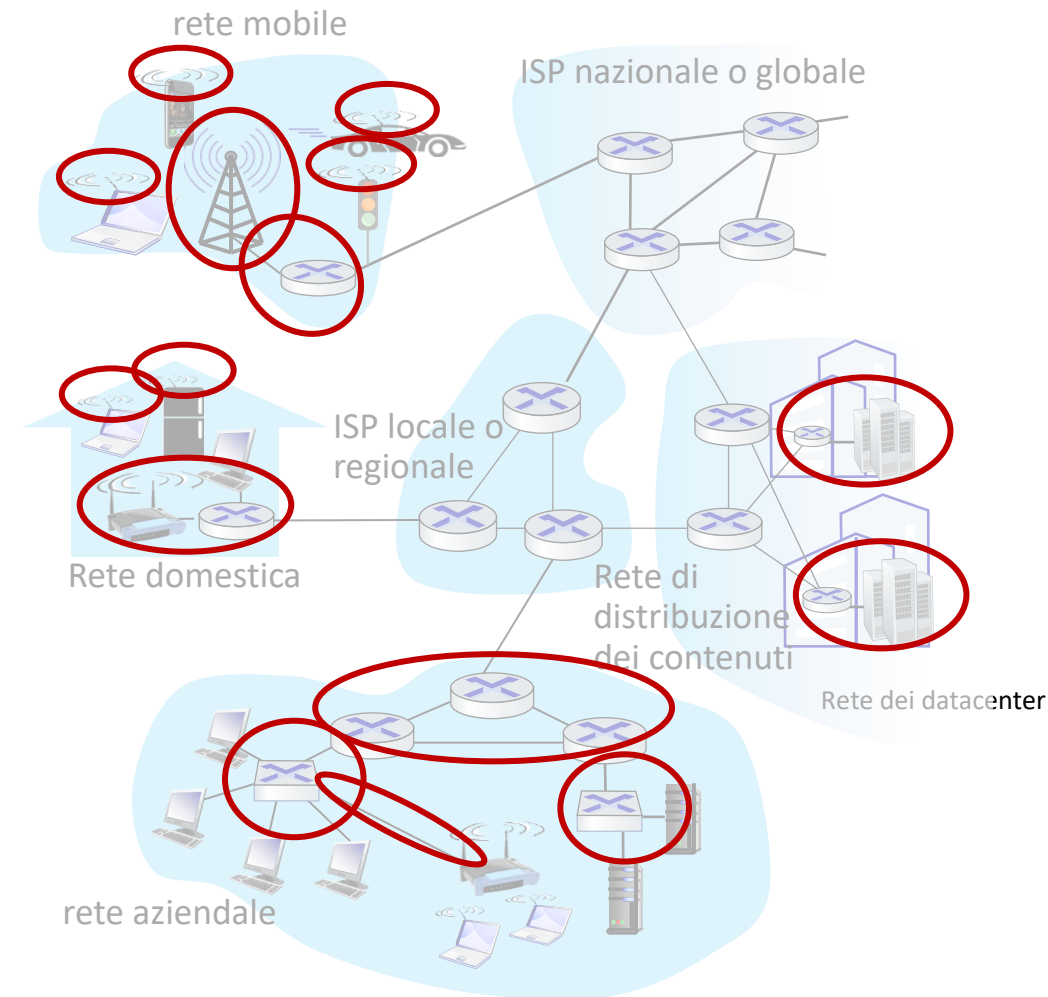
D: Come collegare sistemi periferici e edge router (router di bordo)?

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

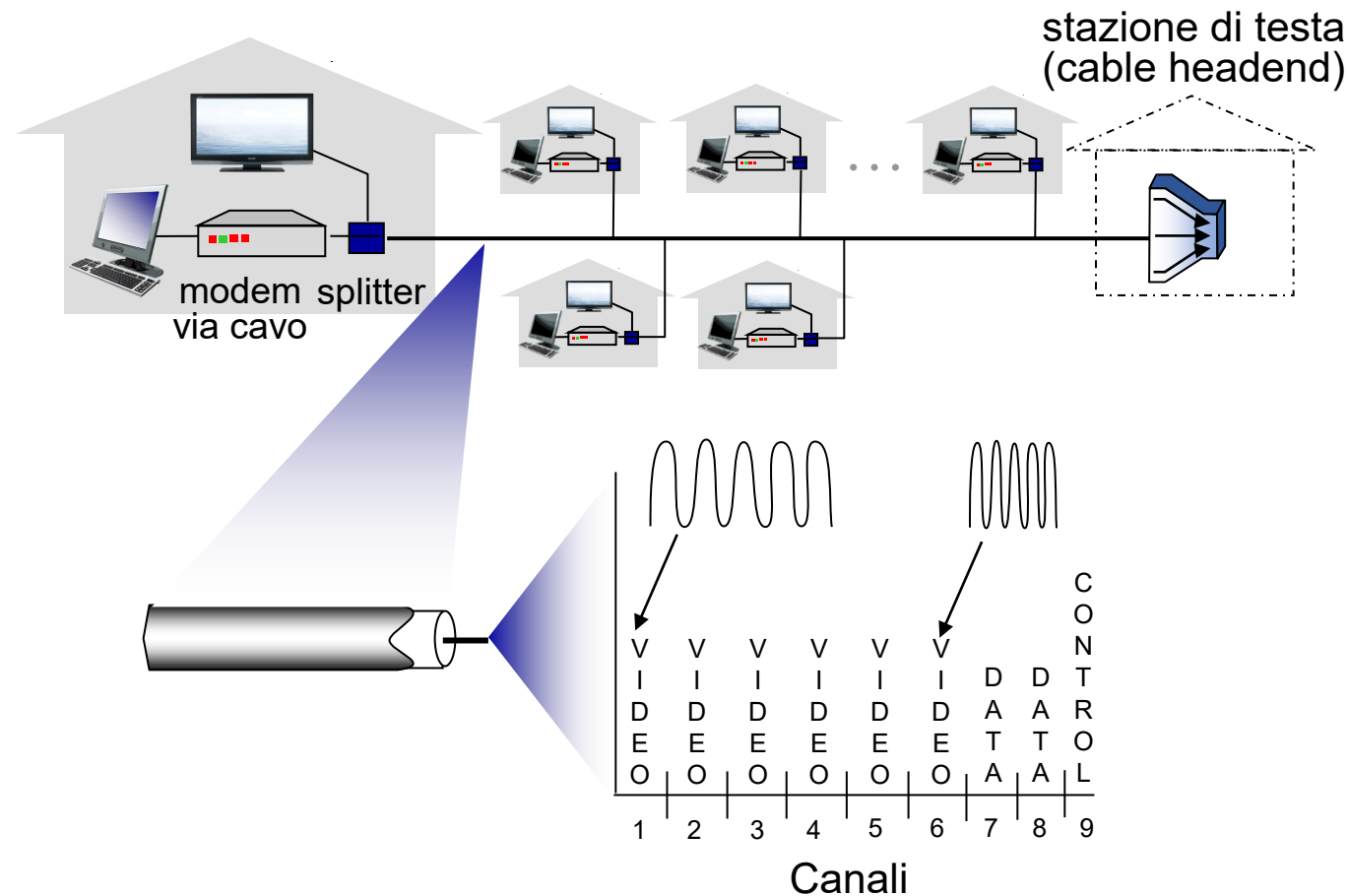
edge router: primo router sul percorso dal sistema d'origine a un qualsiasi altro sistema di destinazione collocato al di fuori della stessa rete di accesso.

Cosa guardare:

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

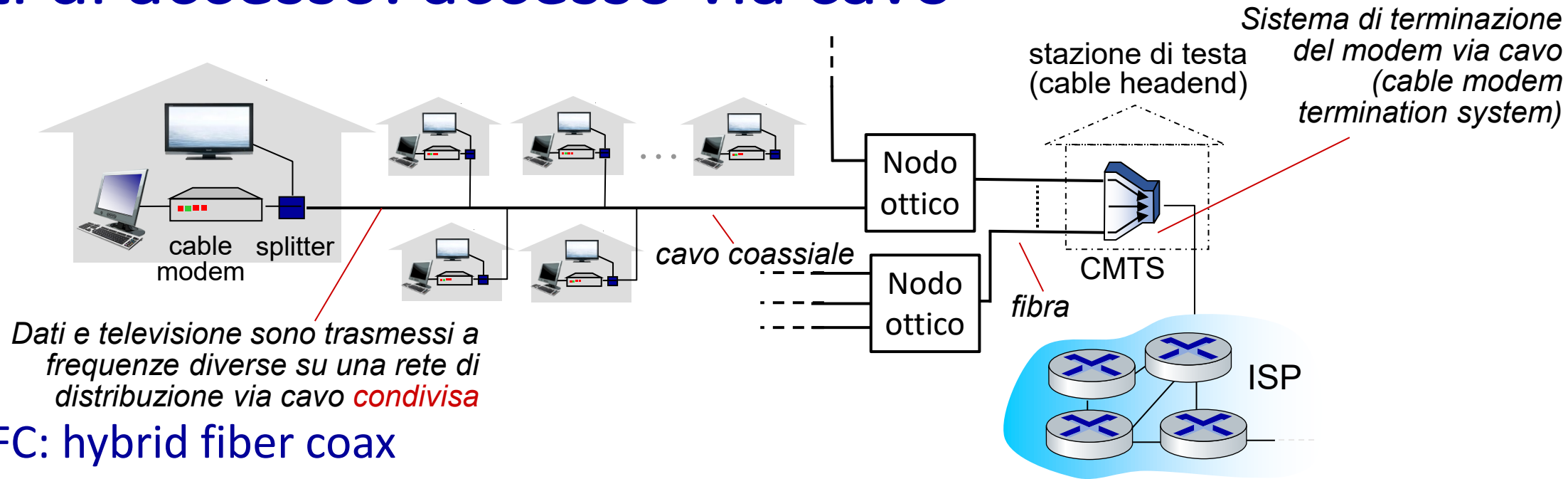


Reti di accesso: accesso via cavo



Multiplexing a divisione di frequenza (frequency division multiplexing, FDM):
canali diversi sono trasmessi in bande di frequenza diverse

Reti di accesso: accesso via cavo



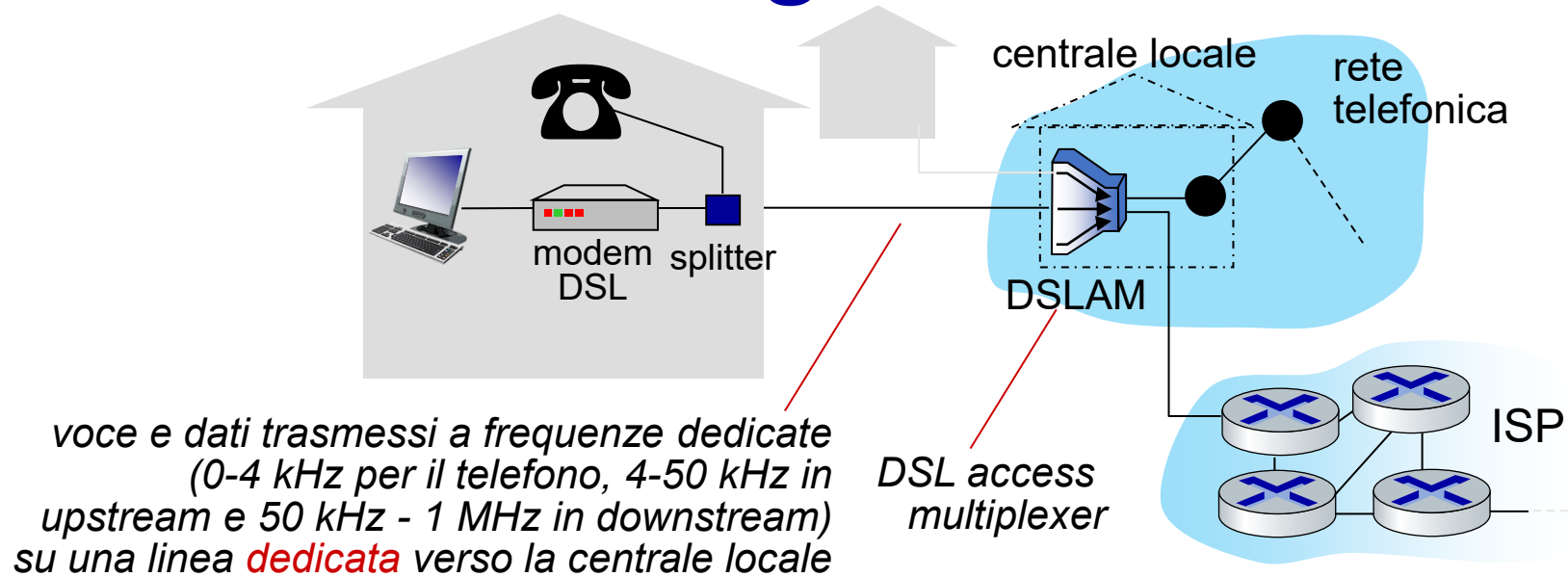
■ HFC: hybrid fiber coax

- asimmetrico: fino a 40 Mbps – 1.2 Gbps in downstream, 30-100 Mbps in upstream

■ Rete ibrida a fibra e cavo coassiale collega le case ai router degli ISP

- l'utenza domestica **condivide la rete di accesso** alla stazione di testa:
 - *downstream*: download concorrenti avvengono ciascuno a velocità inferiori alla velocità totale del canale di downstream
 - *upstream*: necessità di un protocollo di accesso multiplo distribuito per coordinare le trasmissioni

Reti di accesso: digital subscriber line (DSL)

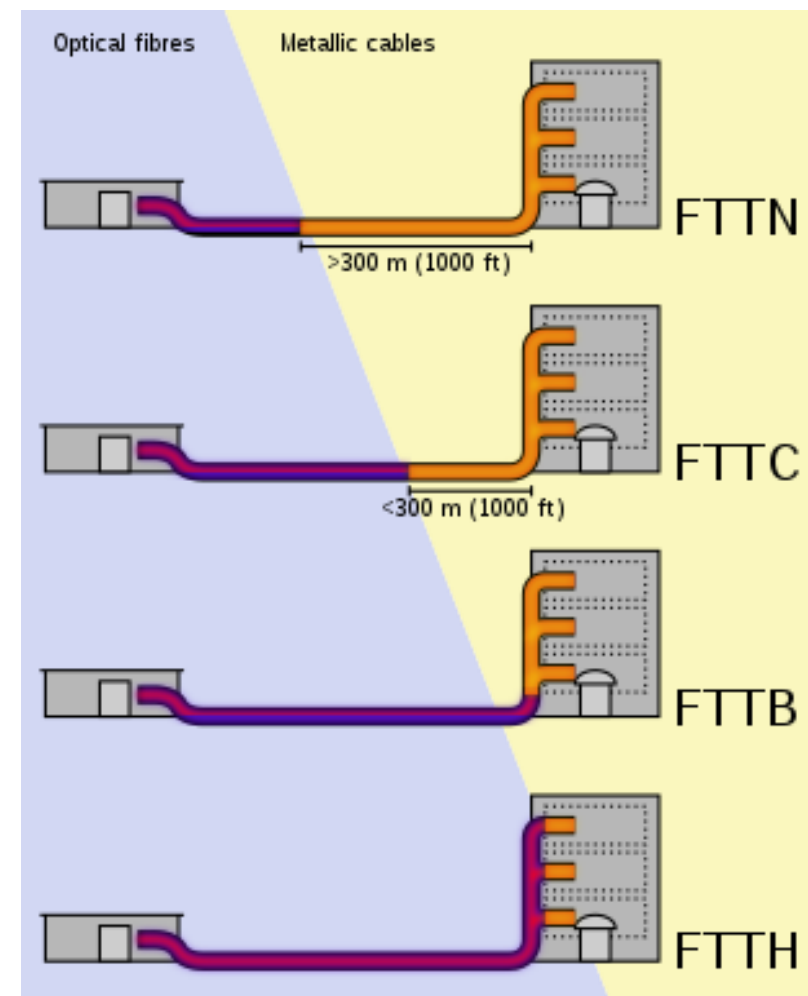


- utilizza la linea telefonica **esistente** verso il DSLAM nella centrale locale
 - i dati sulla linea telefonica DSL vanno su Internet
 - la voce sulla linea telefonica DSL vanno sulla rete telefonica
- Asimmetrico (velocità effettive inferiori per limitazioni del provider, distanza, qualità materiale 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

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*
- FTTW 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)



Reti di accesso: FFTH

- Fibra diretta:

una singola fibra collega una centrale locale a un'abitazione

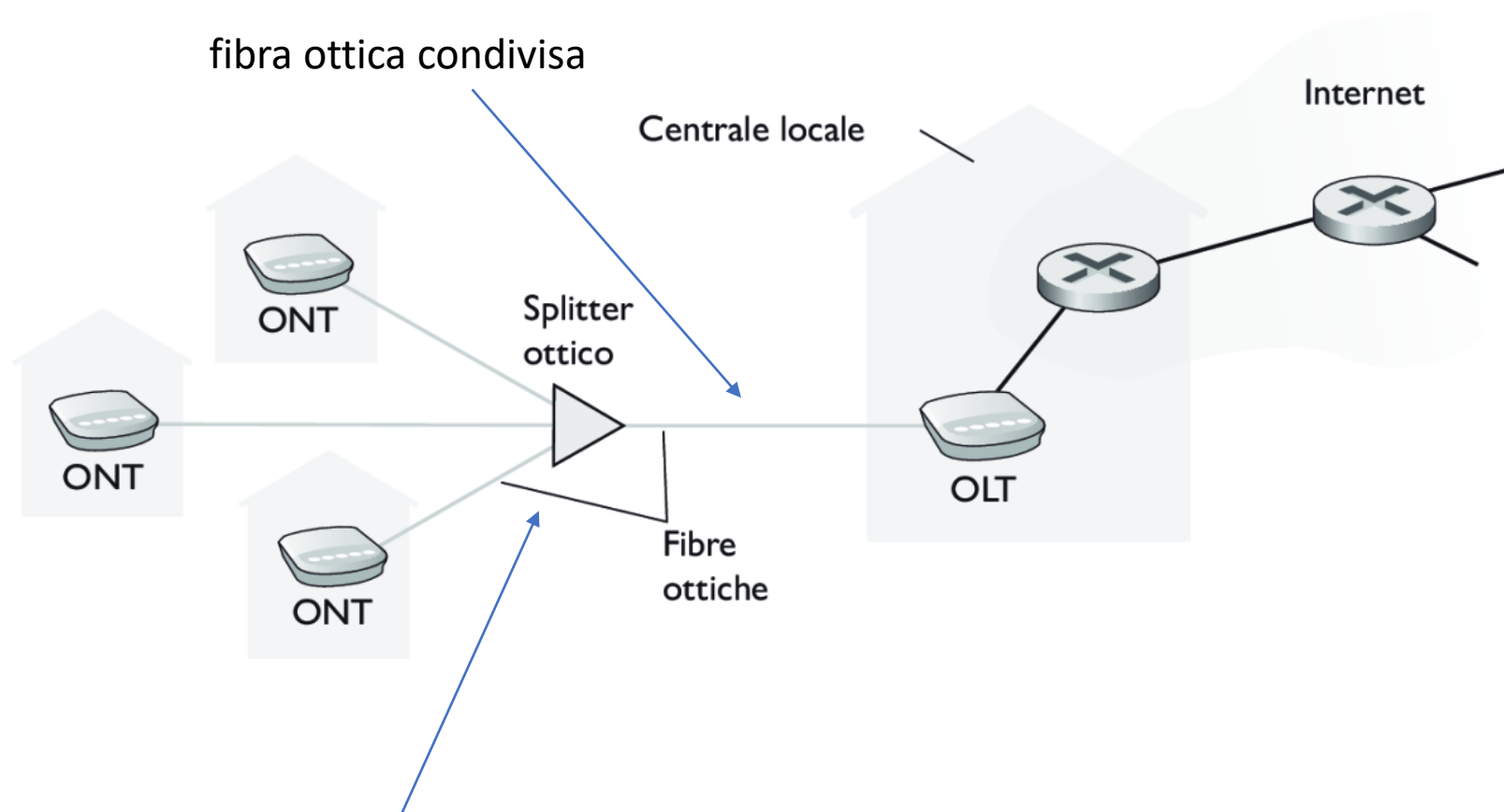
- Alternativa più comune:

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 trasmette in broadcast verso gli utenti.

Reti di accesso: FFTH di tipo PON



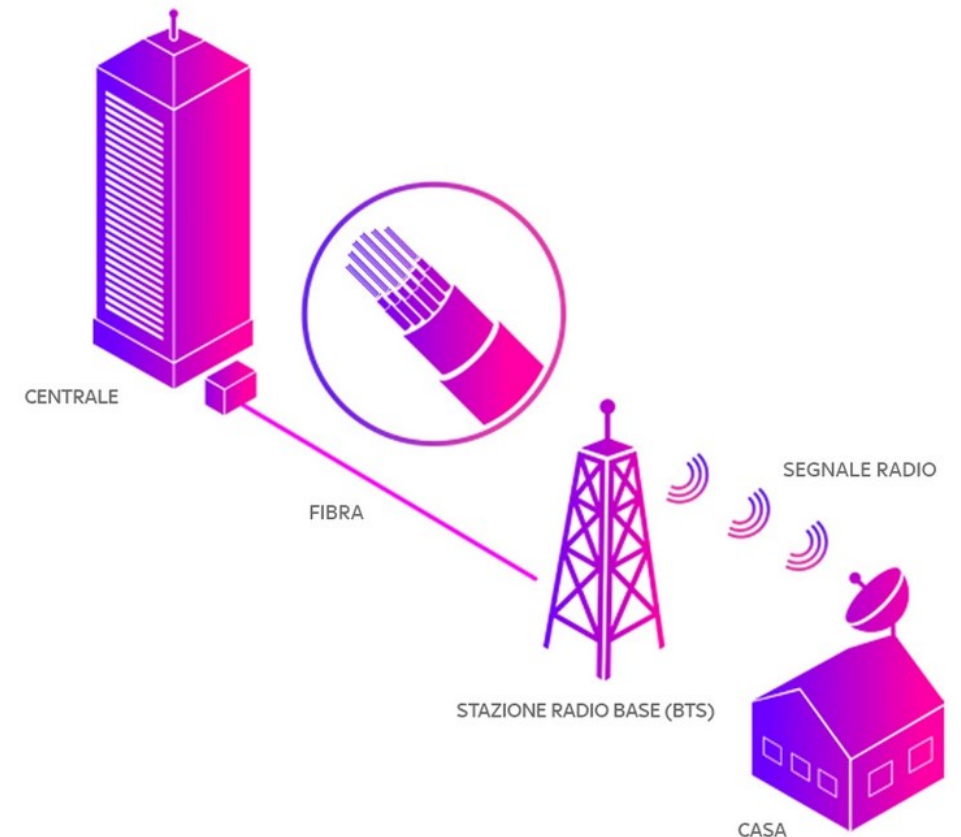
combina più abitazioni,
generalmente meno di 100

- 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: Fixed Wireless Access (FWA)

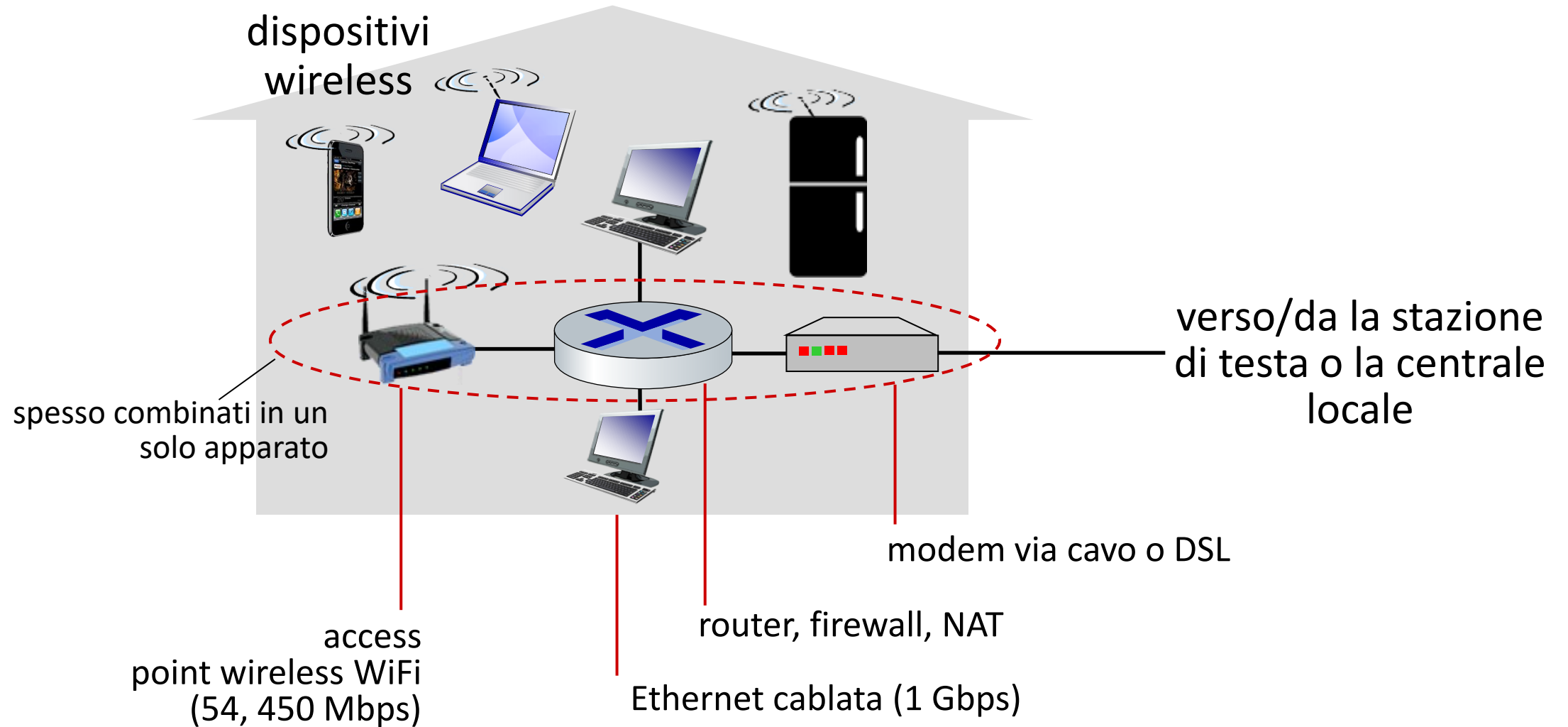
- Rete mista: fibra, radio
- Raggiungere i clienti con:
 - una rete a banda larga, ossia con velocità fino a 30 Mbps
 - una rete a banda ultralarga, ossia con velocità fino a 100 Mbps

Può impiegare varie tecnologie radio, incluso il 5G



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

Reti di accesso: reti domestiche



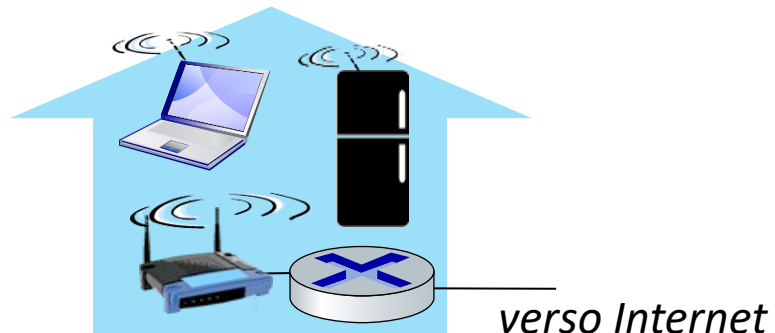
Reti di accesso wireless

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)

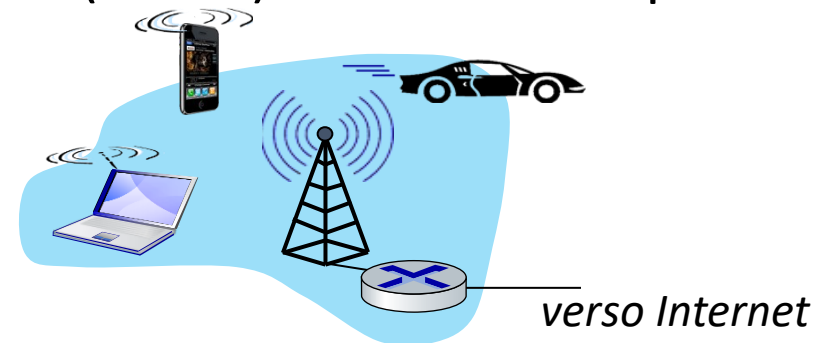
Reti Locali Wireless (Wireless local area networks (WLANs))

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

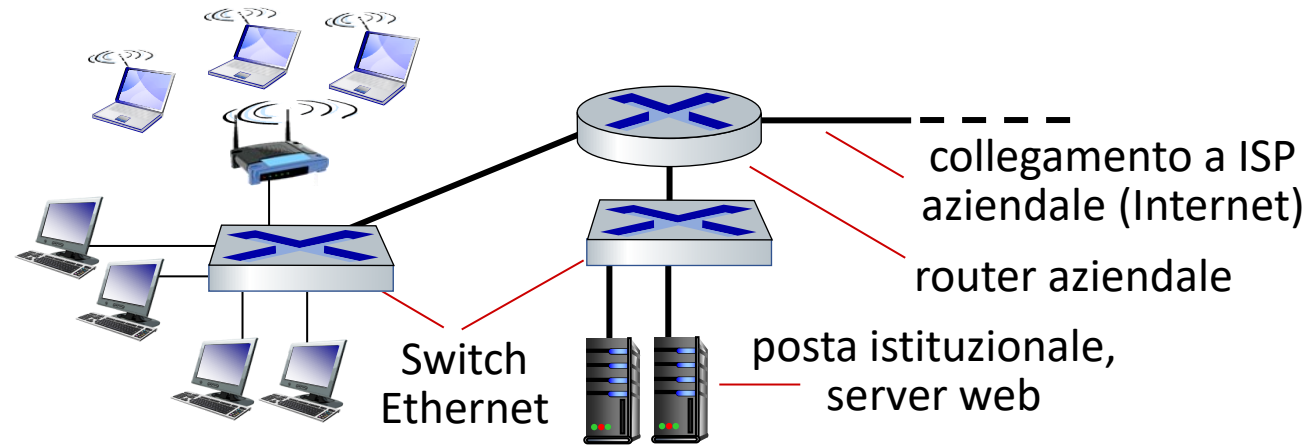


Accesso wireless su scala geografica

- 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



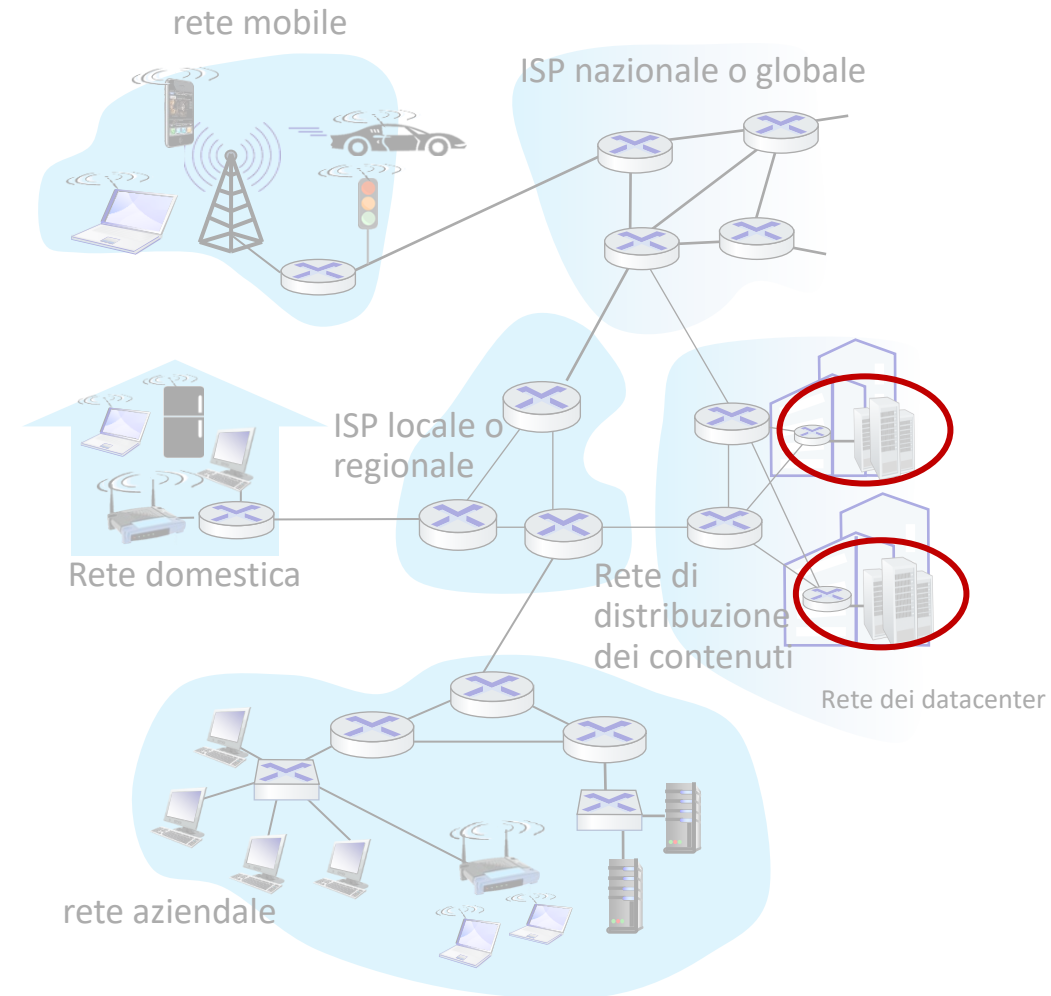
- aziende, università, ecc.
- misto di tecnologie di collegamento cablato e wireless, che collegano un misto di switch e router (discuteremo le differenze a breve)
 - Ethernet: accesso cablato a 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
 - WiFi: accesso wireless a 11, 54, 450 Mbps

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.



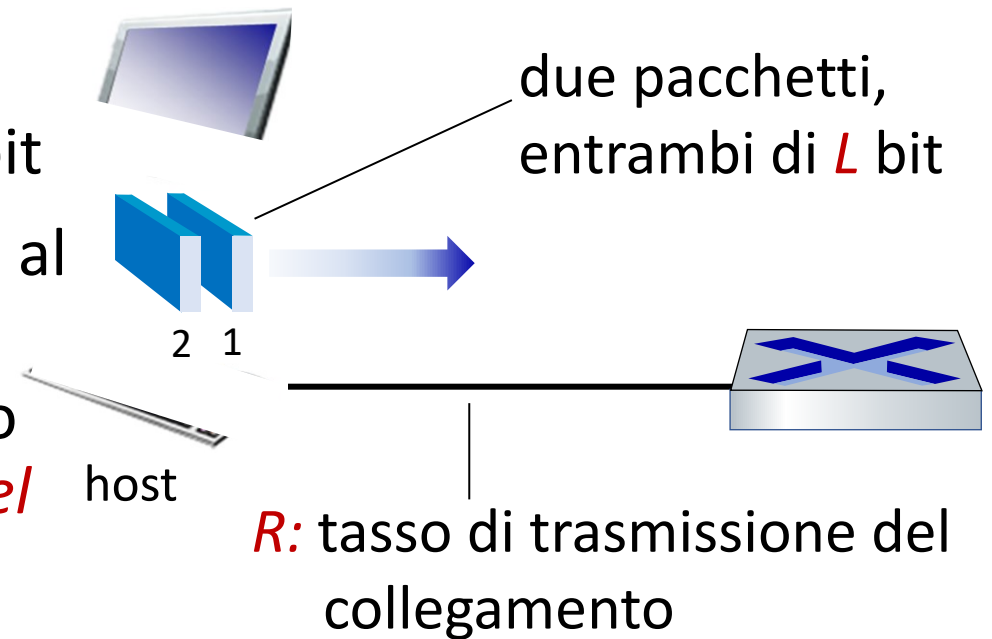
Per gentile concessione: Massachusetts Green High Performance Computing Center (mghpcc.org)



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*



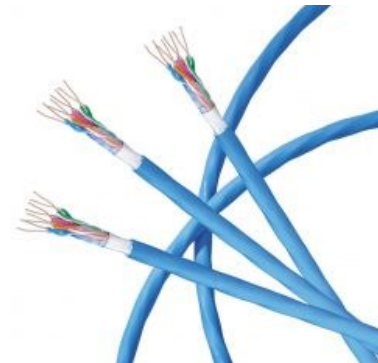
$$\begin{array}{lcl} \text{ritardo} & \text{tempo necessario per} & \\ \text{di trasmissione} & \text{trasmettere pacchetti di} & \\ \text{del pacchetto} & L \text{ bit nel collegamento} & \end{array} = \frac{L \text{ (bits)}}{R \text{ (bits/sec)}}$$

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

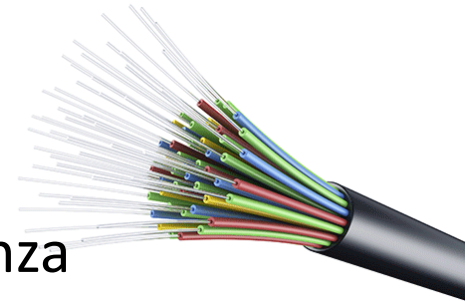
Cavo coassiale:

- 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 meno di 100 Mbps (Starlink) in downlink
 - ritardo punto-punto di 270 ms (geostazionari)

Satelliti per le telecomunicazioni

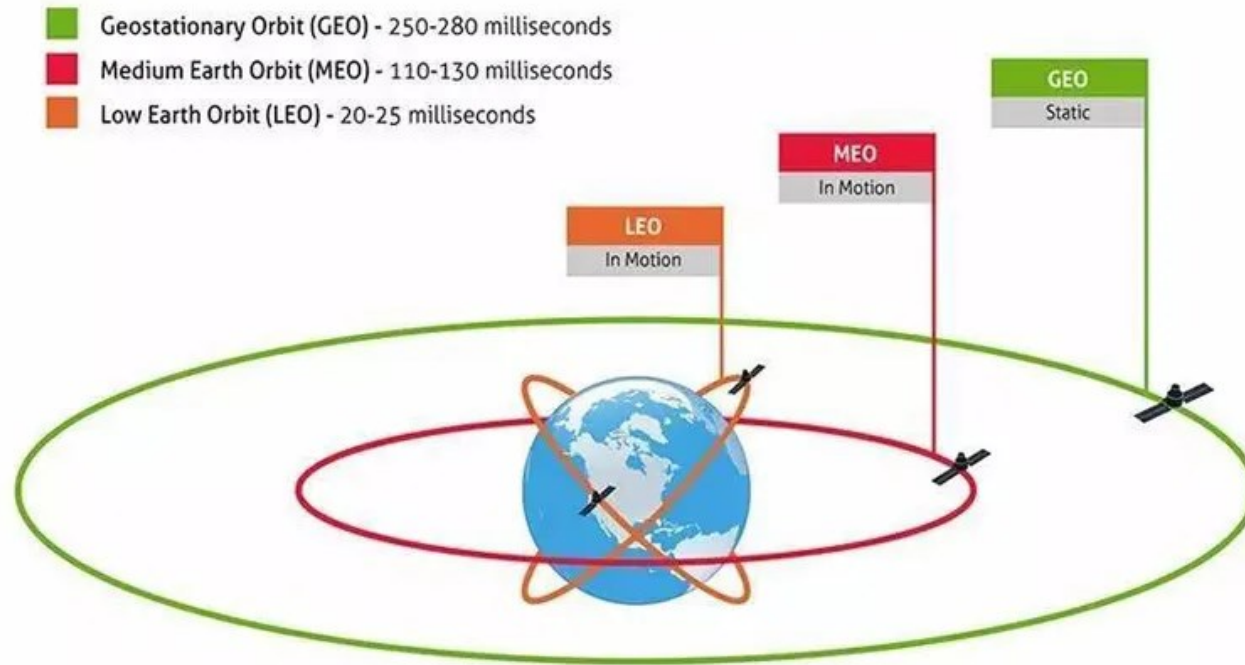


Immagine: <https://www.diteltech.com/info-detail/differences-between-leo-and-geo-satellites>

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

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