

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

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

Materiale didattico

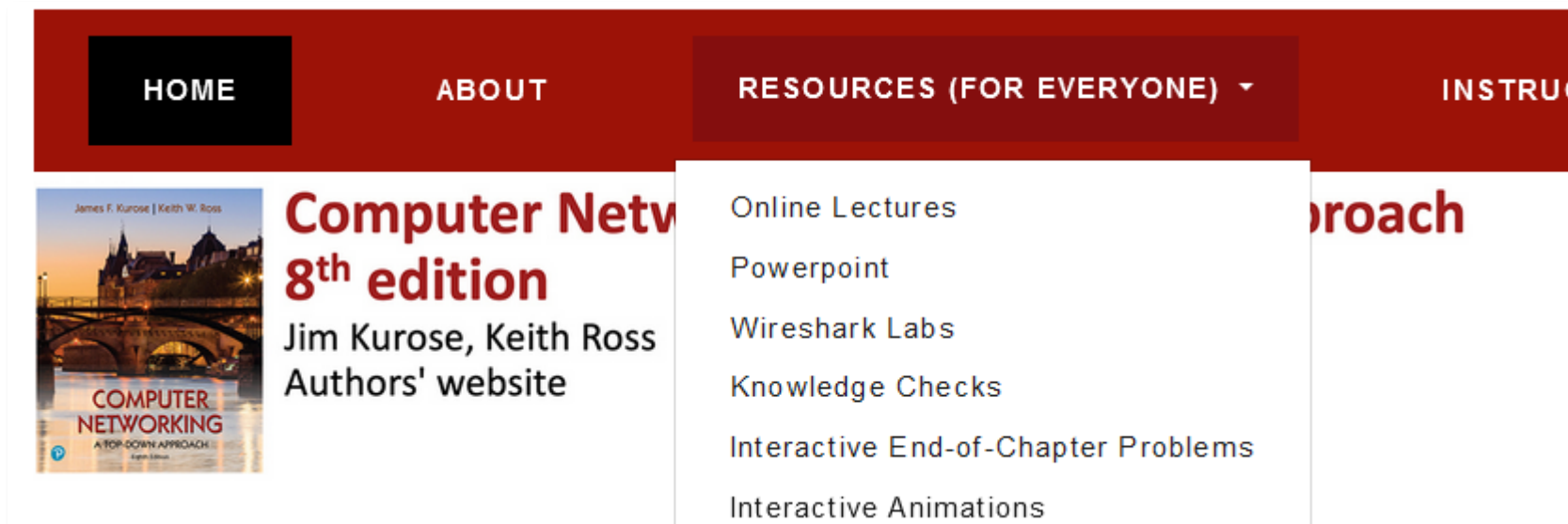
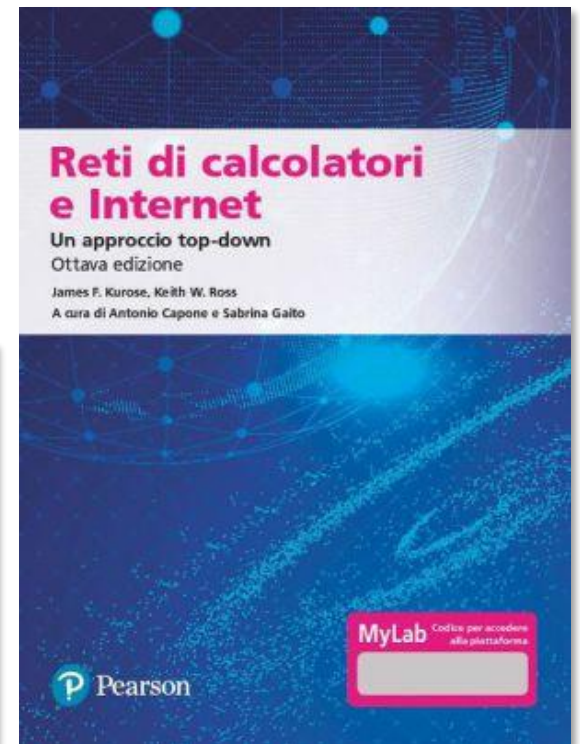
- Libro di testo:

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 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)

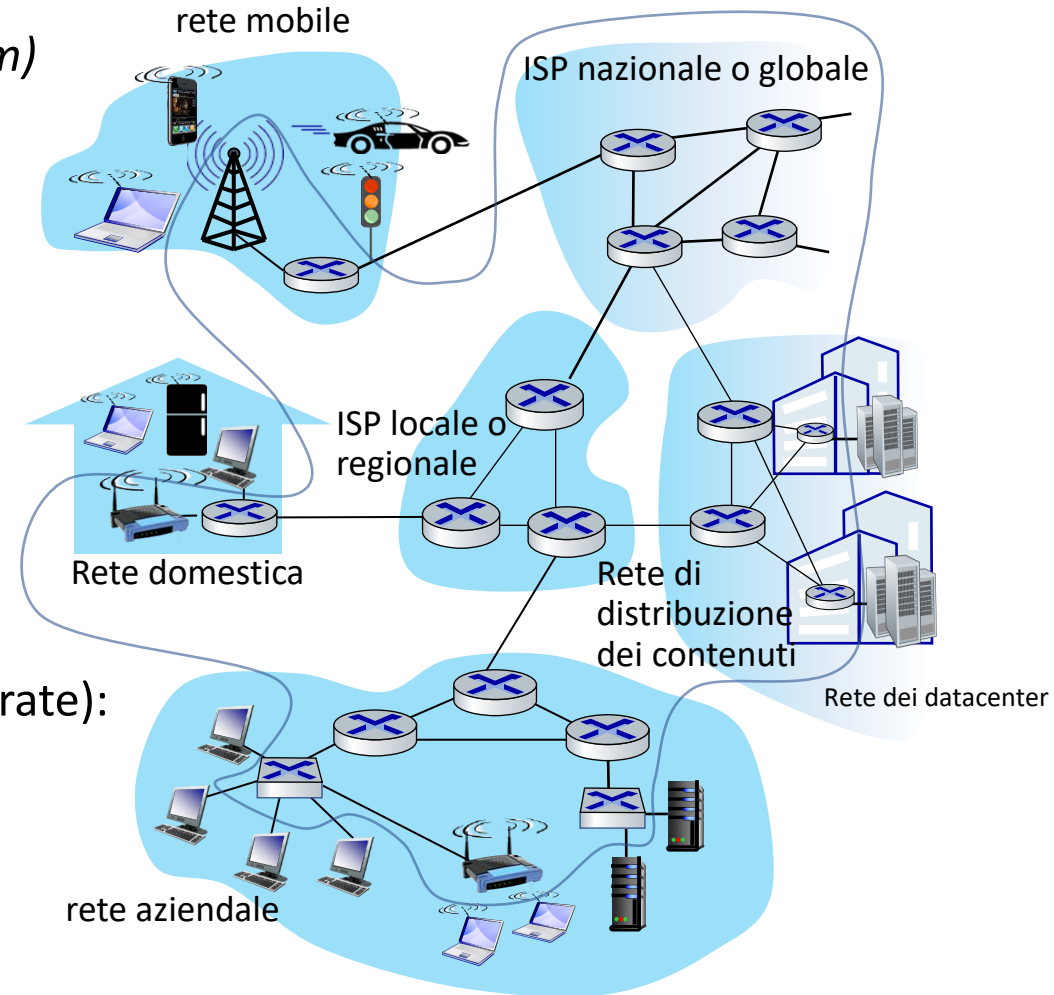
- router, switch

Reti di 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:

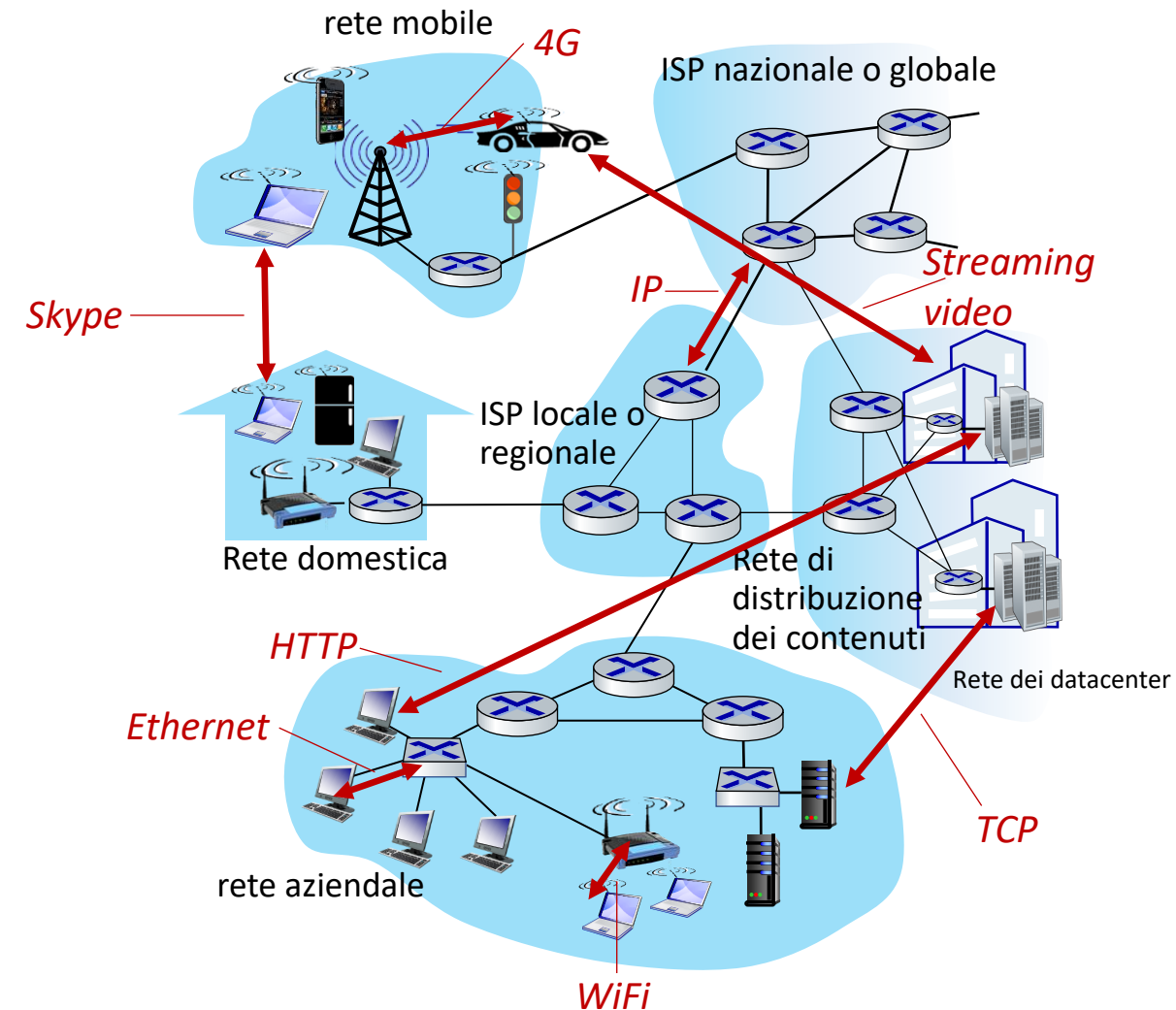
- PC desktop
- server (spesso raggruppati in cluster all'interno di data center)
- dispositivi mobili (es. computer portatili, smartphone e tablet)
- altri tipi di "cose" (*things*) che in passato non erano connesse (es. termostato!) -> il termine "rete di calcolatori" sta diventando obsoleto

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>

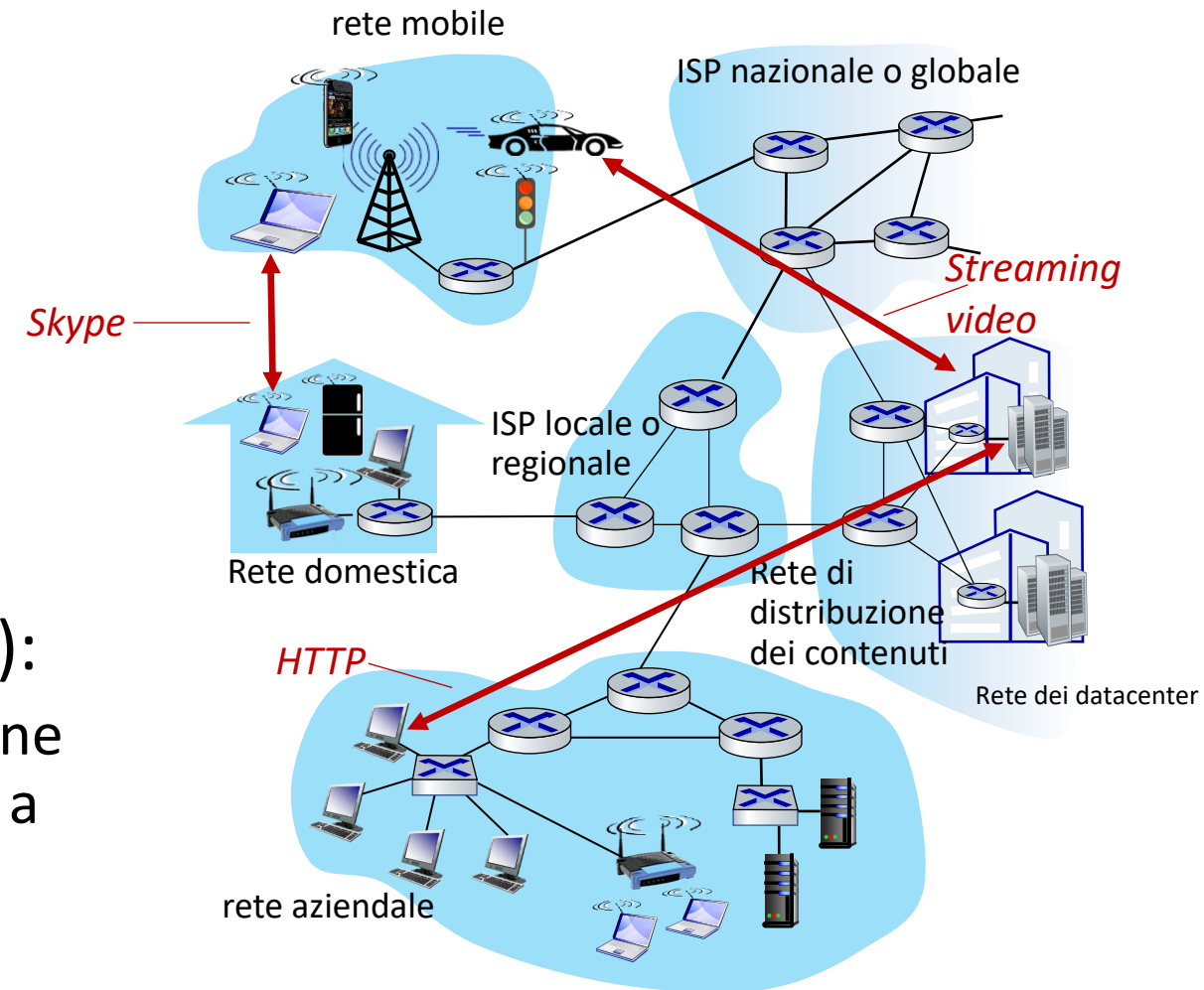
Internet: descrizione degli “ingranaggi”

- *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 (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)

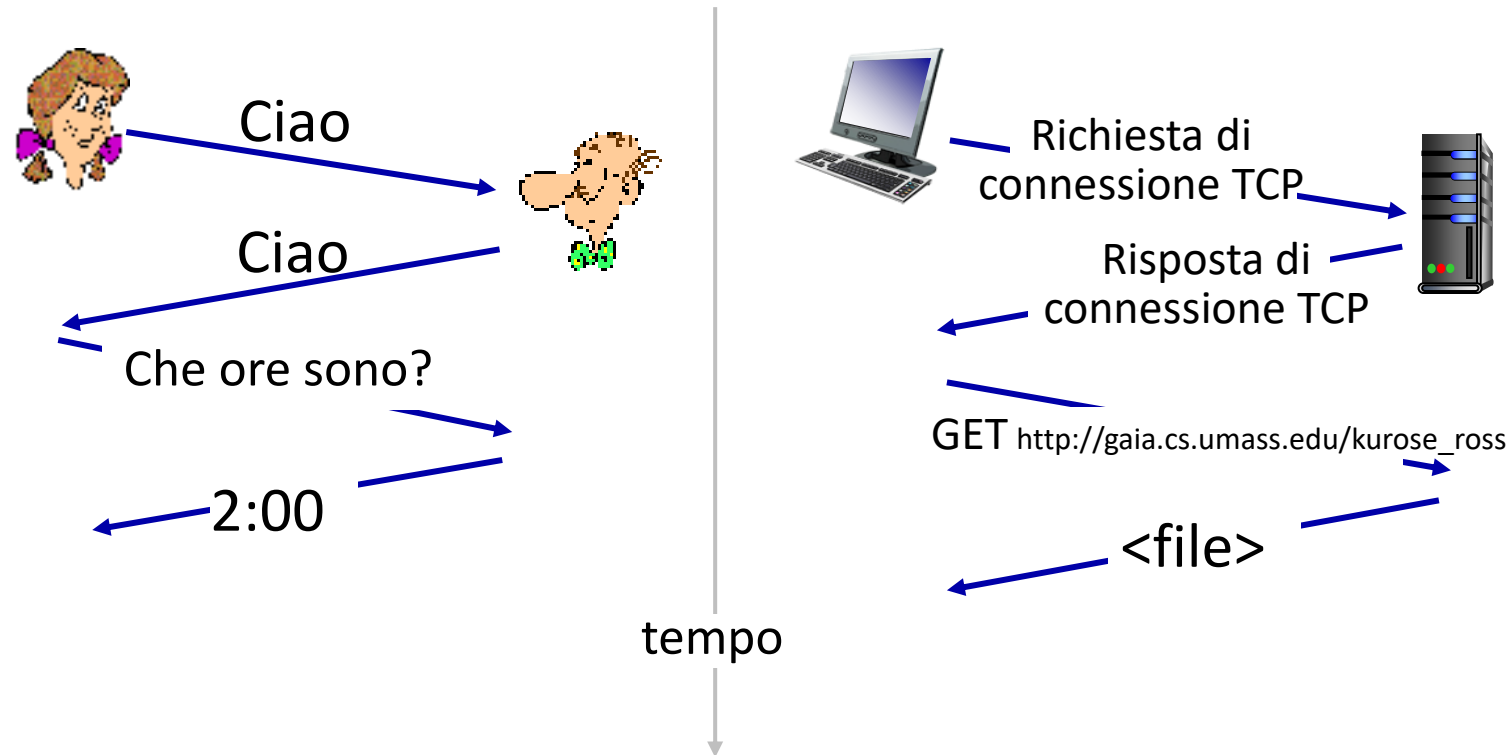
Protocolli di rete:

- 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

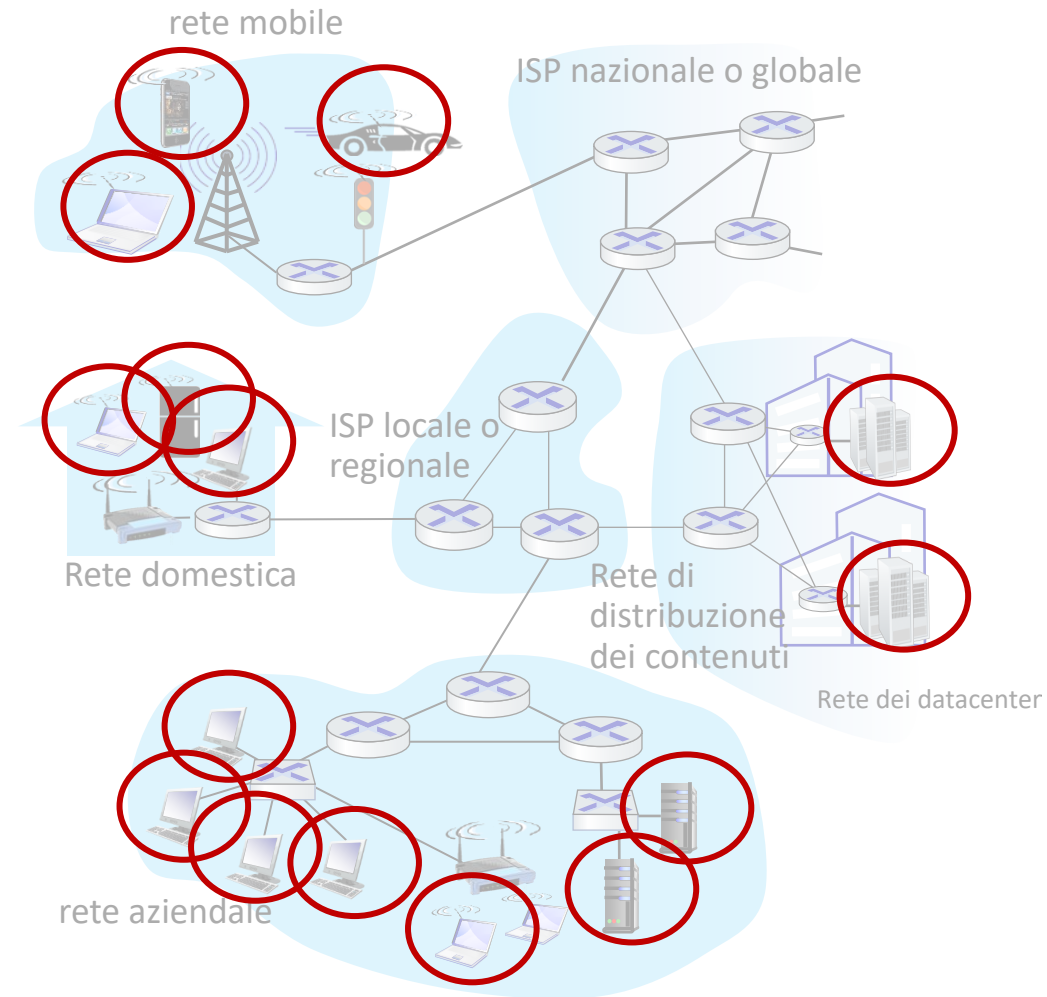
- Cos'è Internet?
- Cos'è un protocollo?
- **Ai confini della rete:** host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto e commutazione di circuito, struttura di Internet
- Prestazioni: perdite, ritardi, throughput
- Sicurezza
- Livelli di protocollo, modelli di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

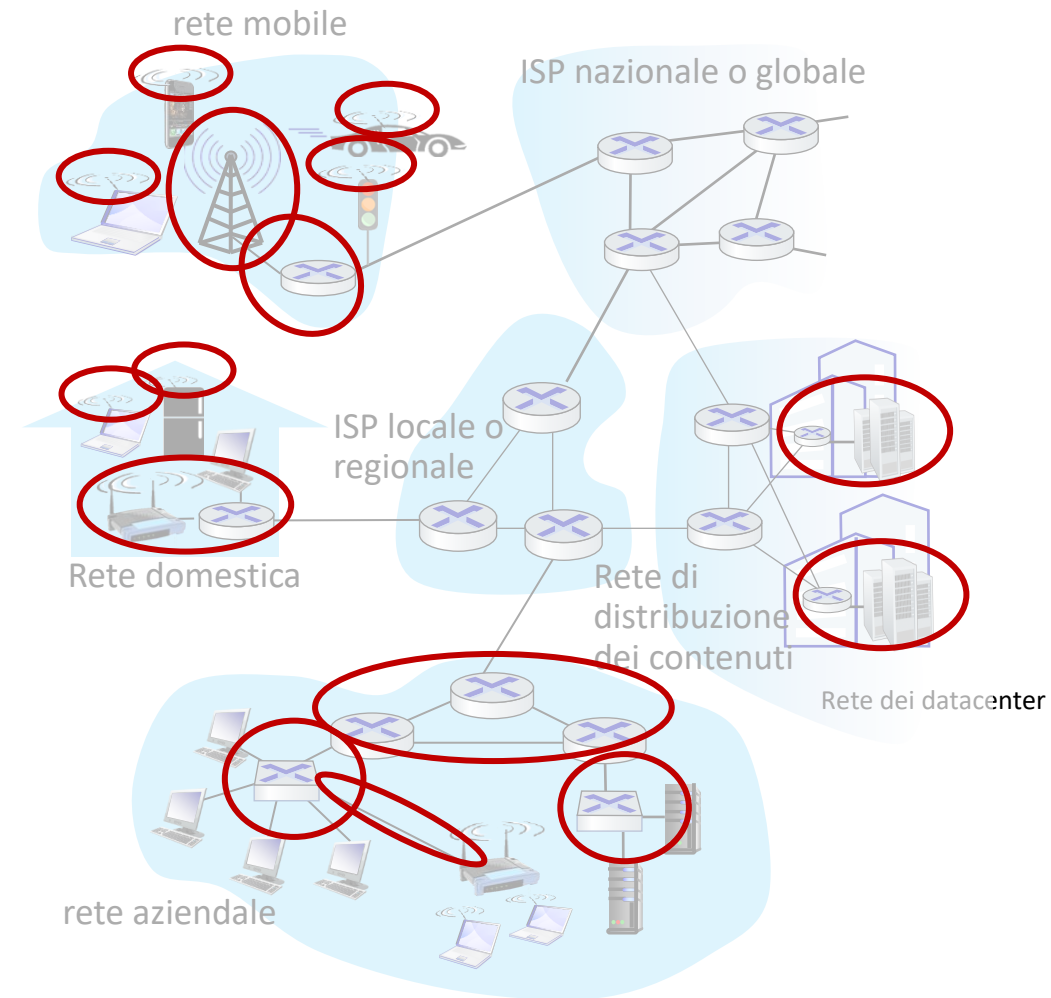
Uno sguardo da vicino alla struttura di Internet

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:

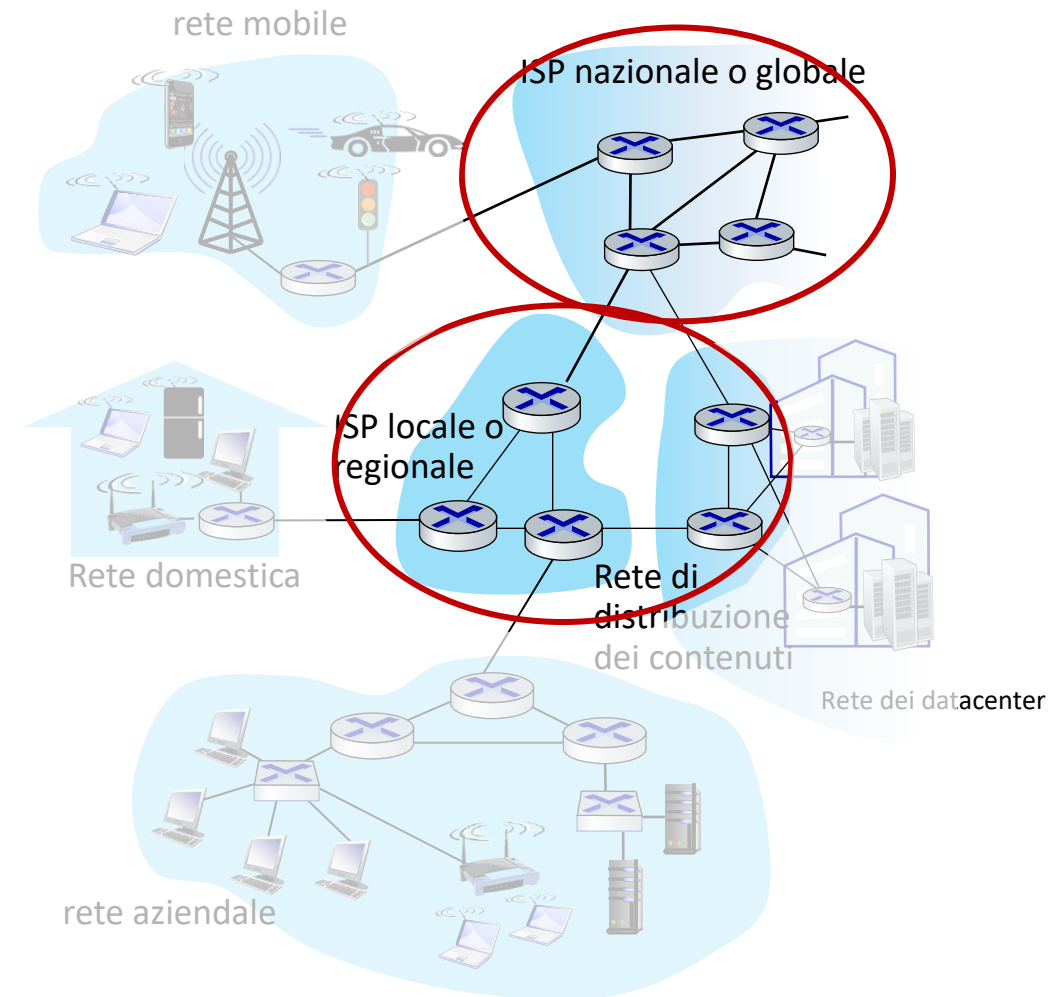
- host: client e server
- server spesso nei data center

Reti di accesso, mezzi trasmissivi:

- collegamenti cablati e wireless

Nucleo della rete:

- router interconnessi
- rete di reti



Reti di accesso e mezzi trasmissivi

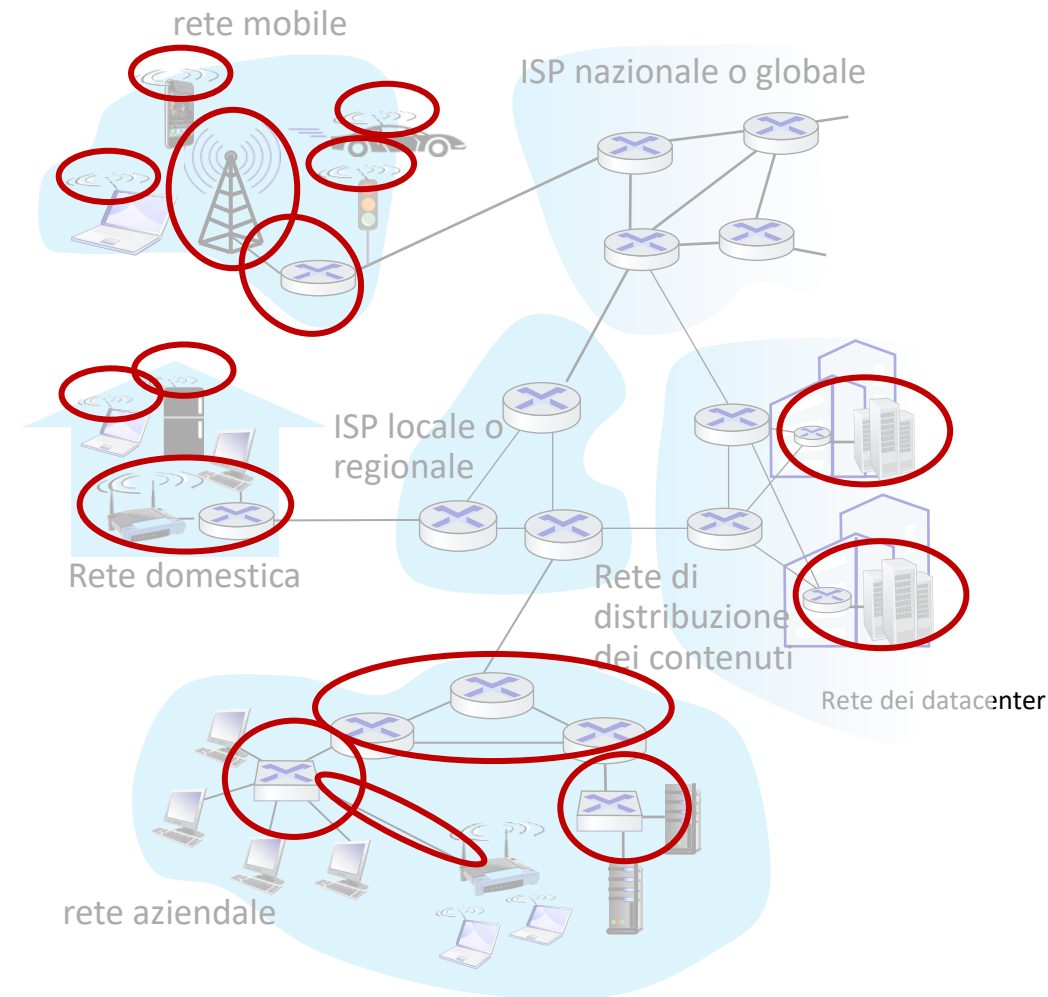
D: Come collegare sistemi periferici e edge router (router di bordo)?

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

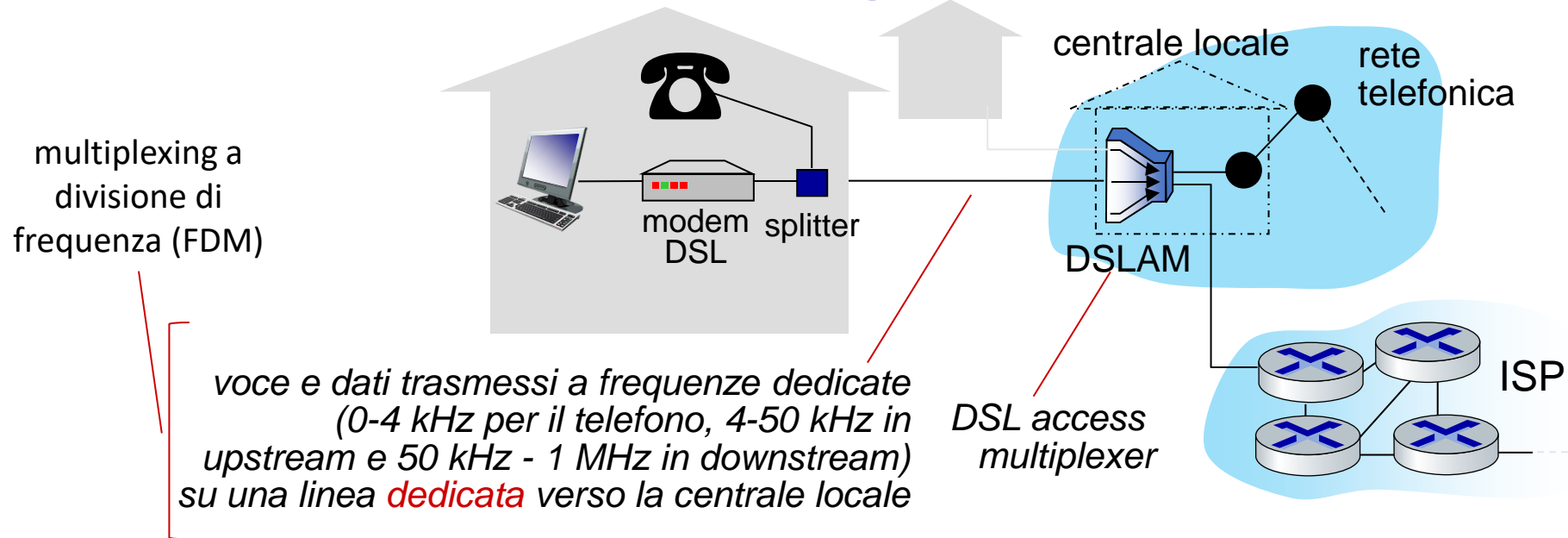
edge router: primo router sul percorso dal sistema d'origine a un qualsiasi altro sistema di destinazione collocato al di fuori della stessa rete di accesso.

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)



Osservazione chiave:

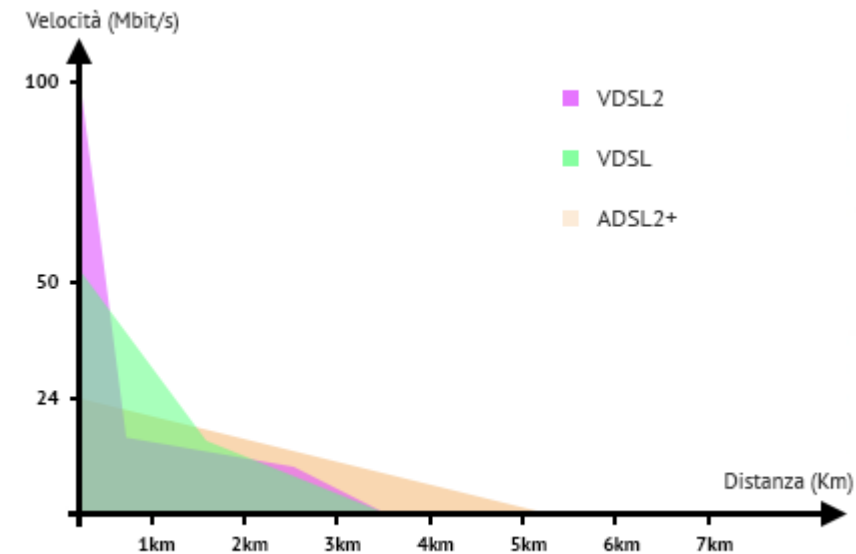
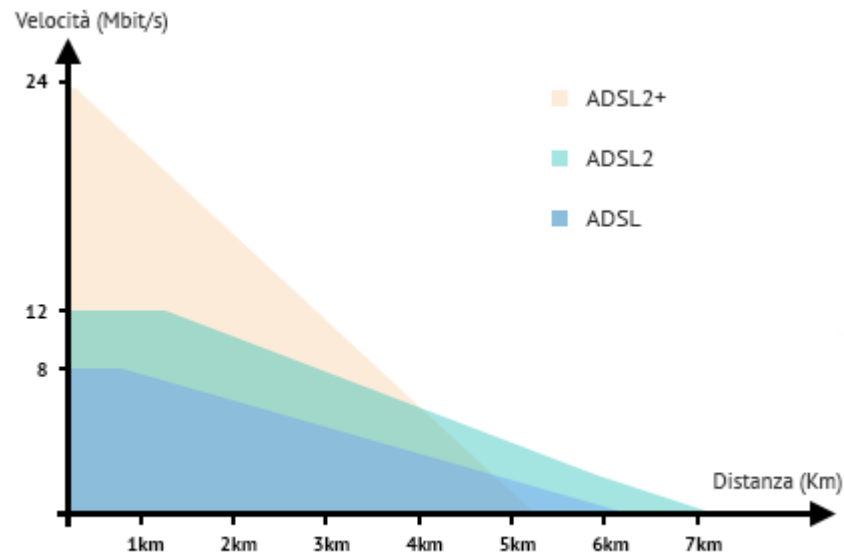
Il doppino di rame intrecciato può trasmettere (su brevi distanze) segnali a frequenze molto più alte di quelle associate al segnale telefonico analogico (legato alle frequenze della voce umana) e che possono quindi essere usate per i dati

- 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 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: 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).

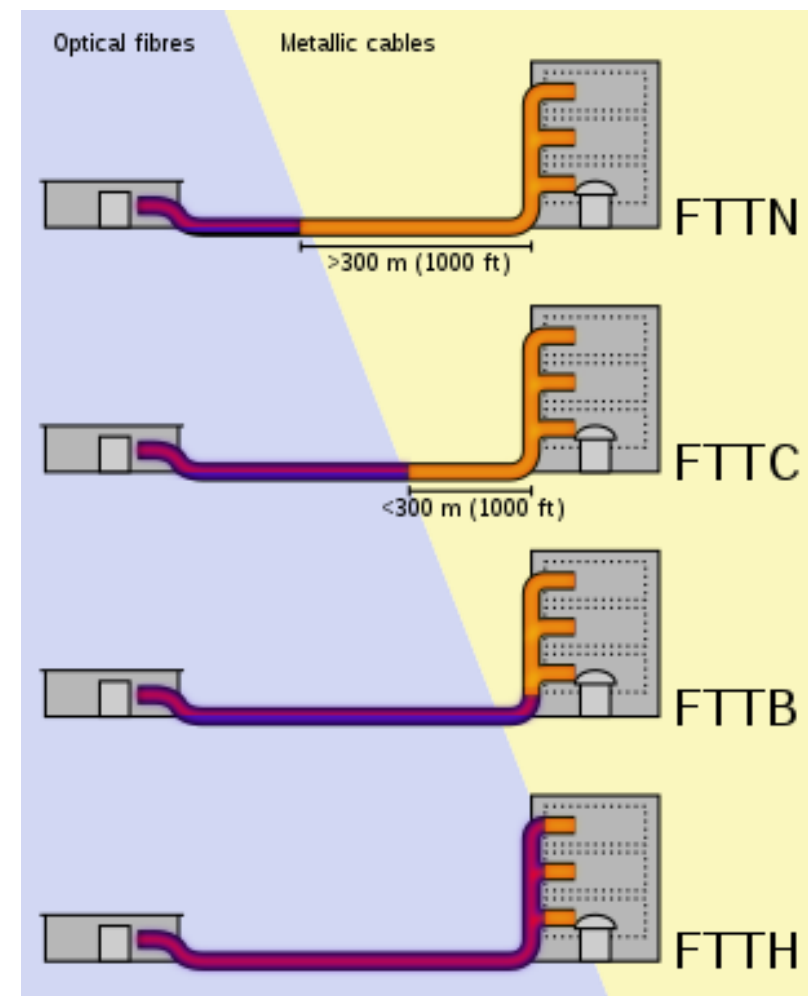


velocità massime teoriche in download delle diverse tecnologie DSL in funzione della distanza (lunghezza del cavo in rame). Fonte: <https://www.fastweb.it/adsl-fibra-ottica/rete-adsl/>

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*
- 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.

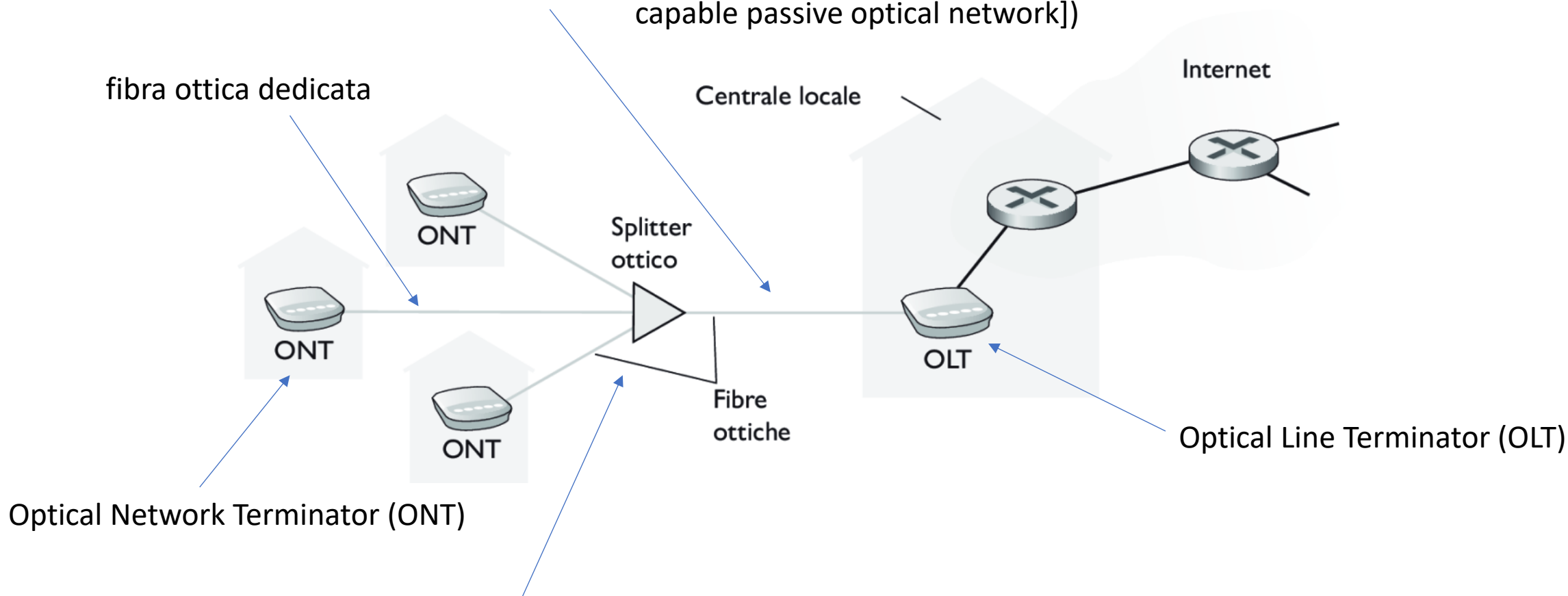
Due architetture:

- *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 trasmettono in broadcast verso gli utenti.

Reti di accesso: FFTH di tipo PON

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

fibra ottica dedicata

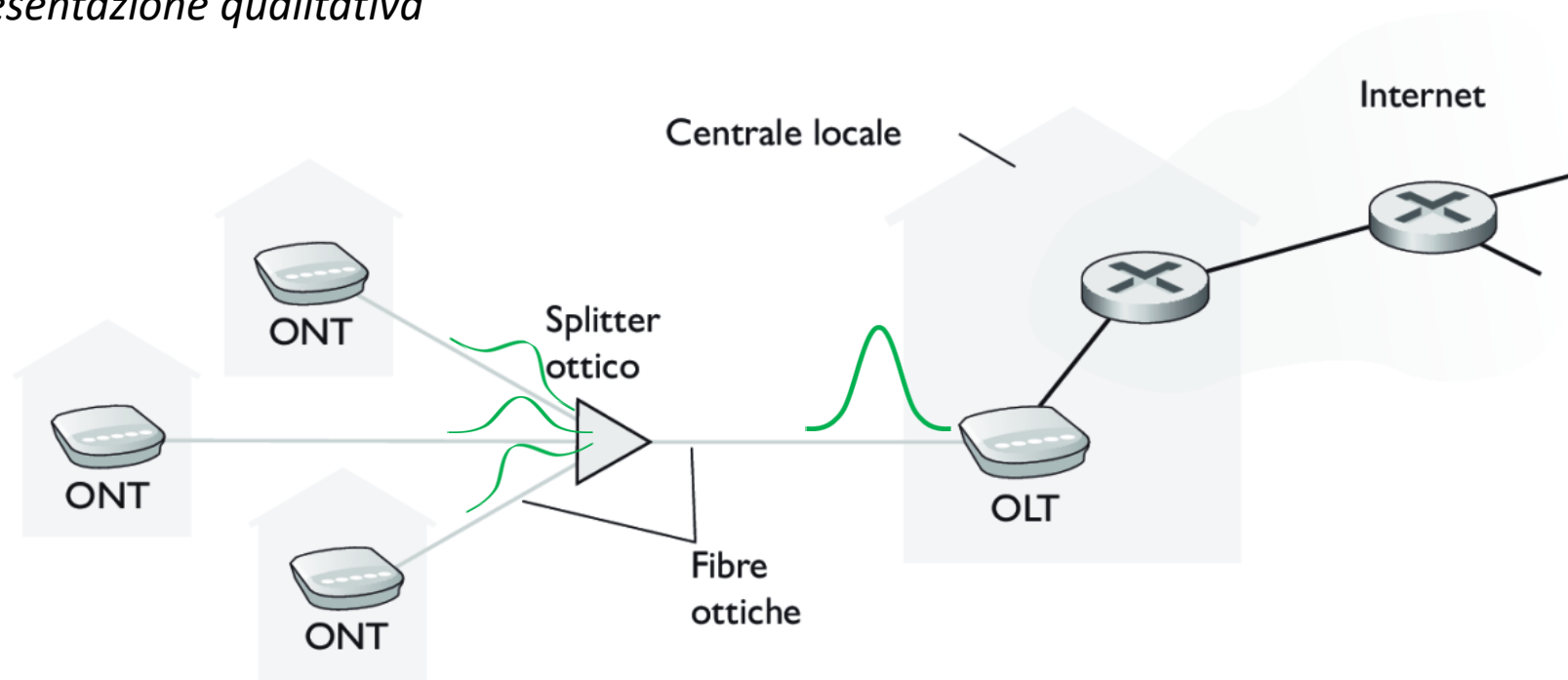


combina più abitazioni,
generalmente meno di 100

- 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*

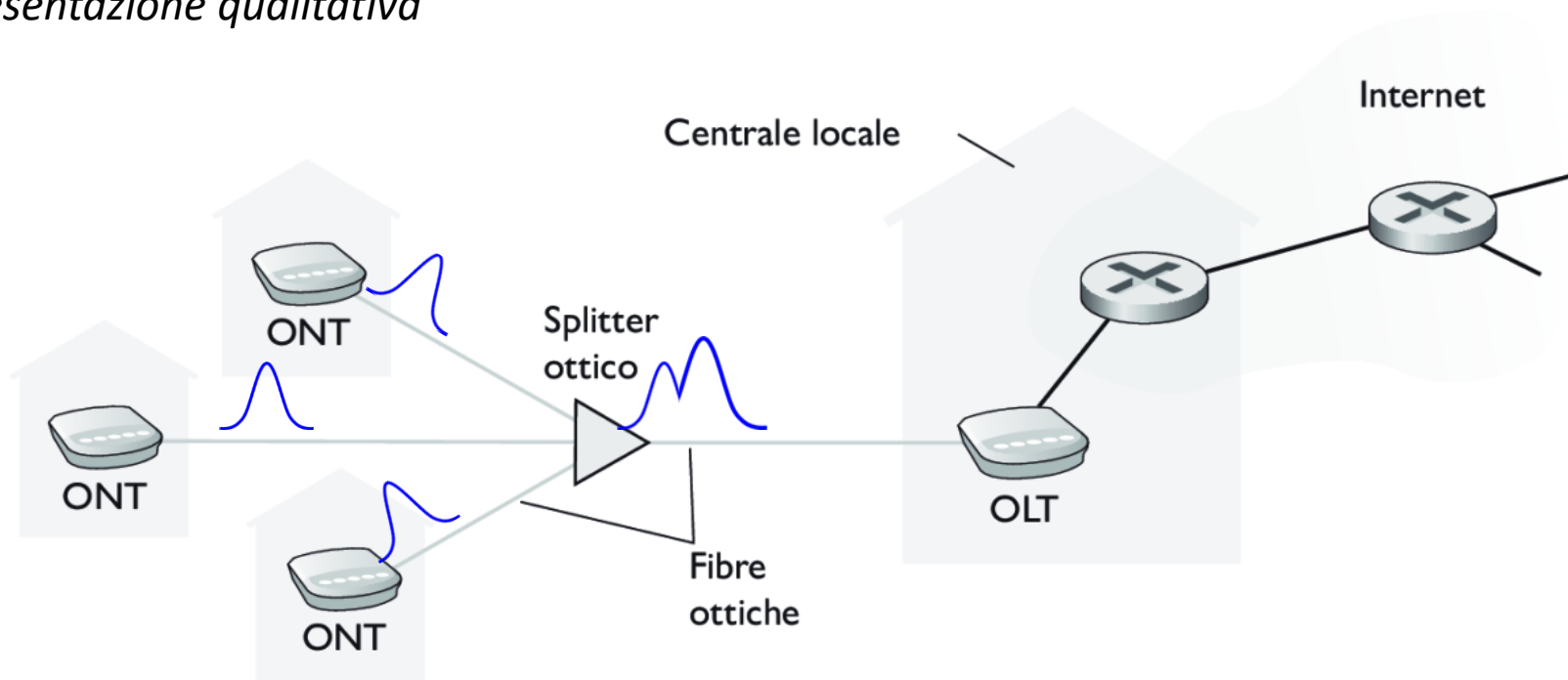


Lo splitter divide il segnale ottico proveniente dall'OLT distribuendone la potenza tra le varie uscite:

- 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)

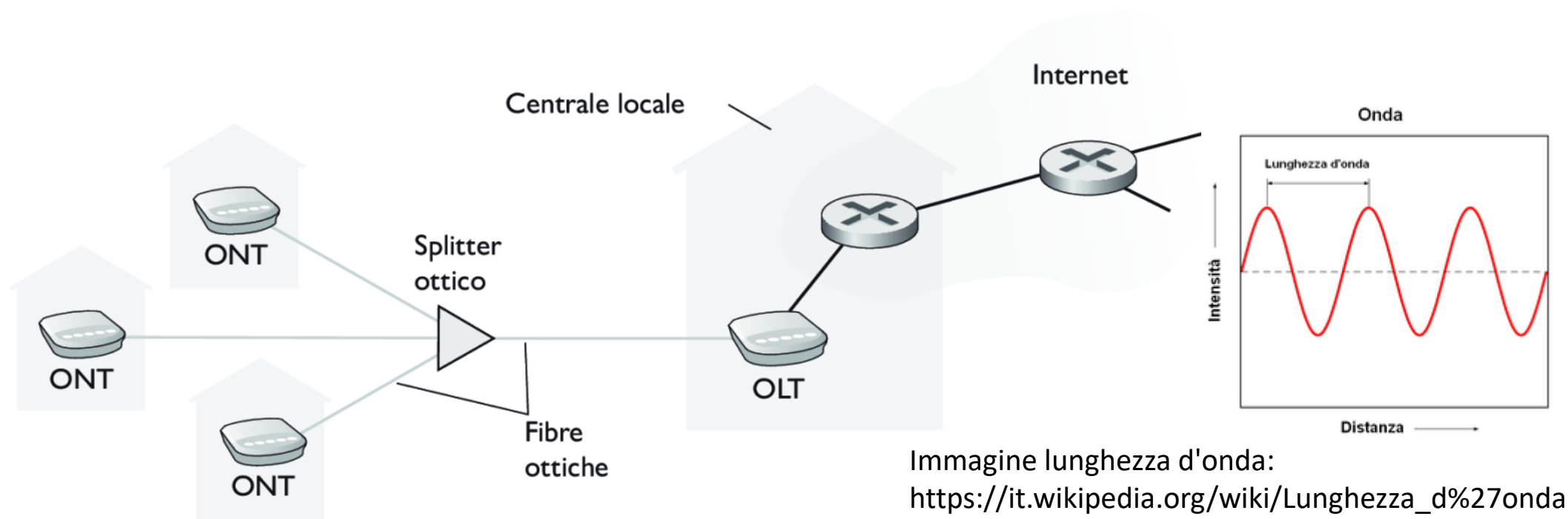
Reti di accesso: FFTH di tipo PON

⚠ *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

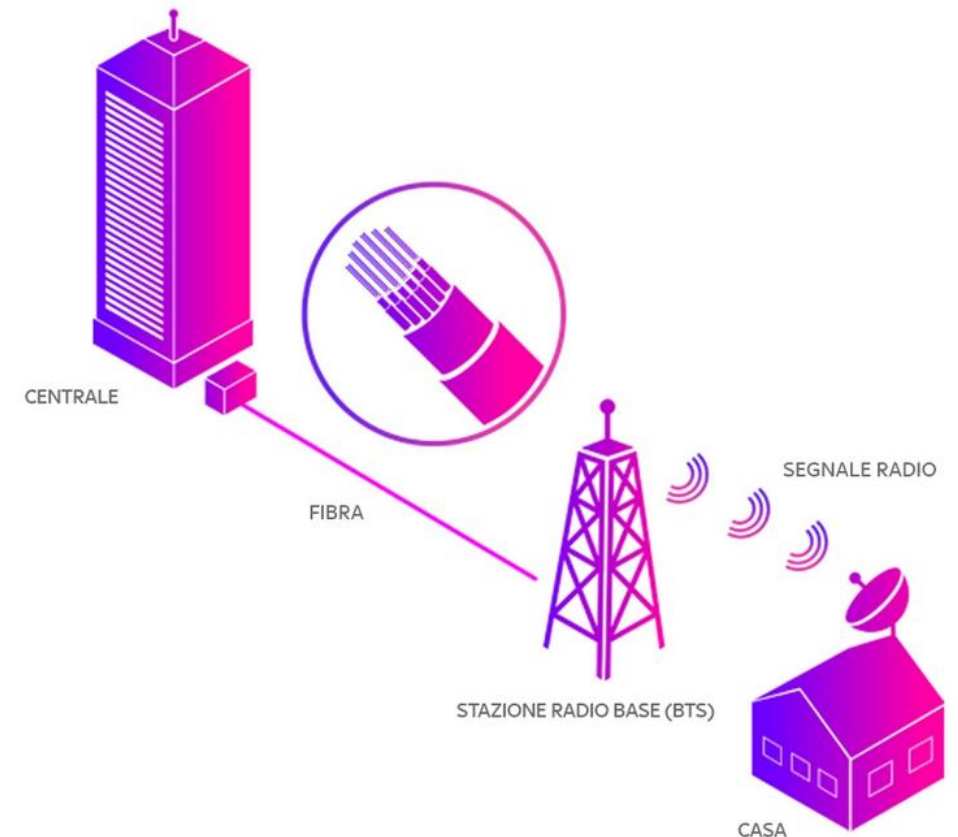


- gli impulsi di luce (generalmente non visibile) nelle direzioni upstream e downstream possono viaggiare contemporaneamente attraverso la fibra ottica perché usano frequenze (colori) differenti.
- la frequenza f di un'onda è legata alla sua lunghezza d'onda (*wavelength*) λ : $\lambda = \frac{v}{f}$ 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)

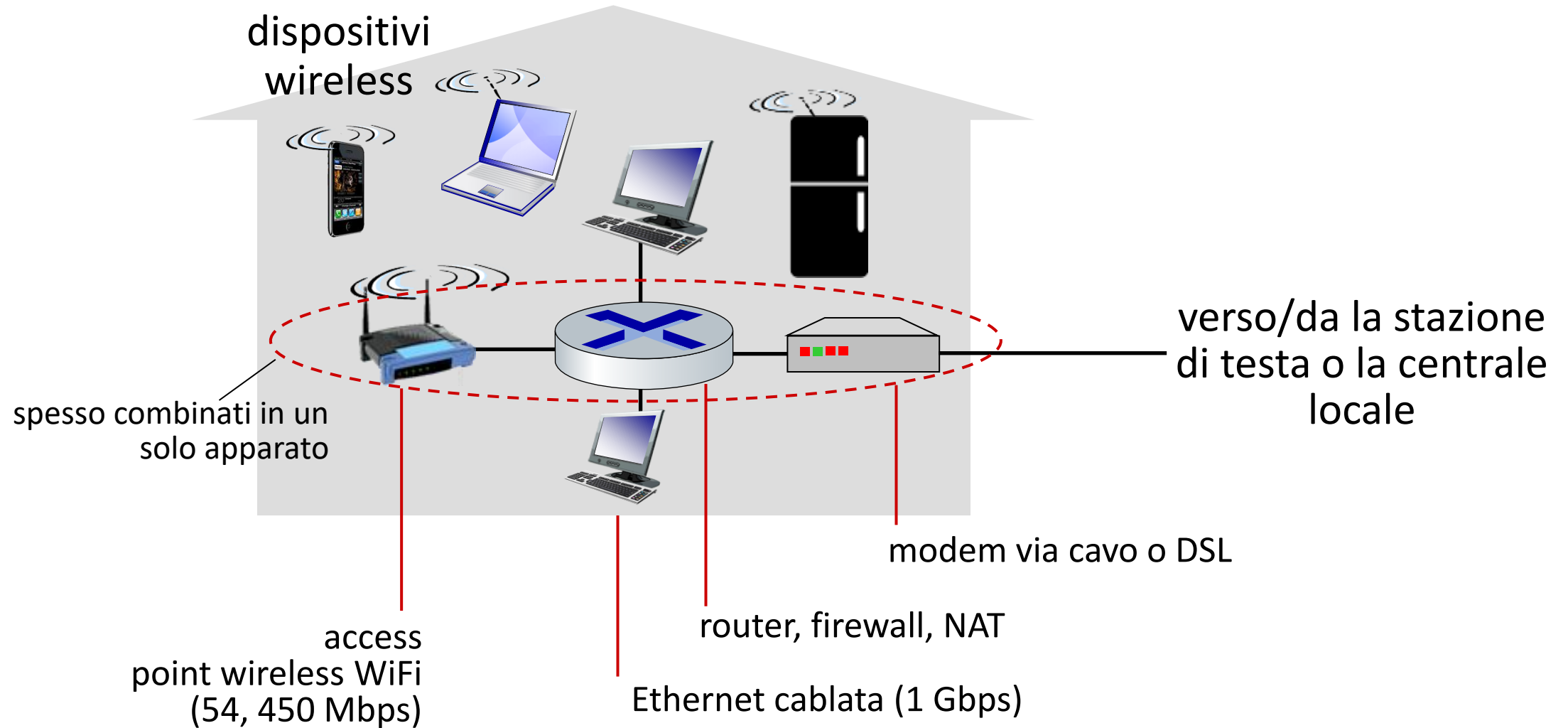
- Rete mista: fibra, radio
- Raggiungere i clienti con:
 - una rete a banda larga, ossia con velocità fino a 30 Mbps
 - una rete a banda ultralarga, ossia con velocità fino a 100 Mbps

Può impiegare varie tecnologie radio, incluso il 5G



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

Reti di accesso: reti domestiche



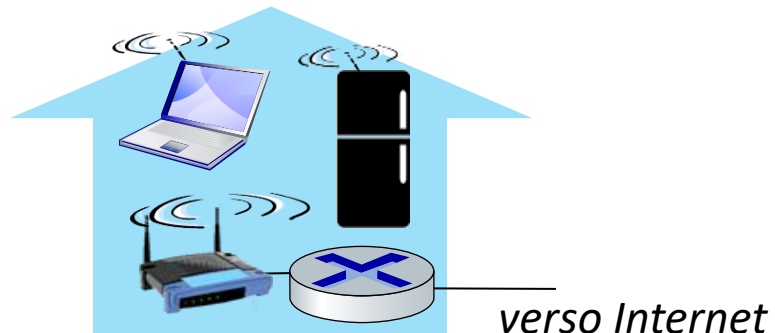
Reti di accesso wireless

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)

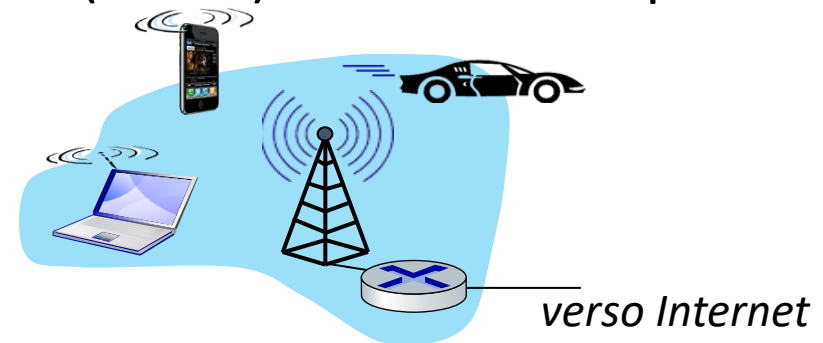
Reti Locali Wireless (Wireless local area networks (WLANs))

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

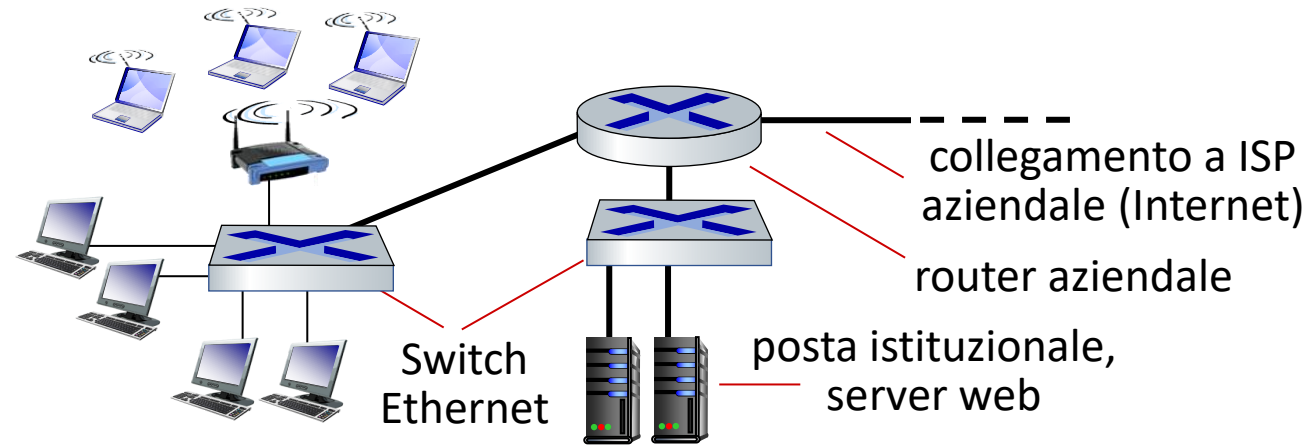


Accesso wireless su scala geografica

- 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



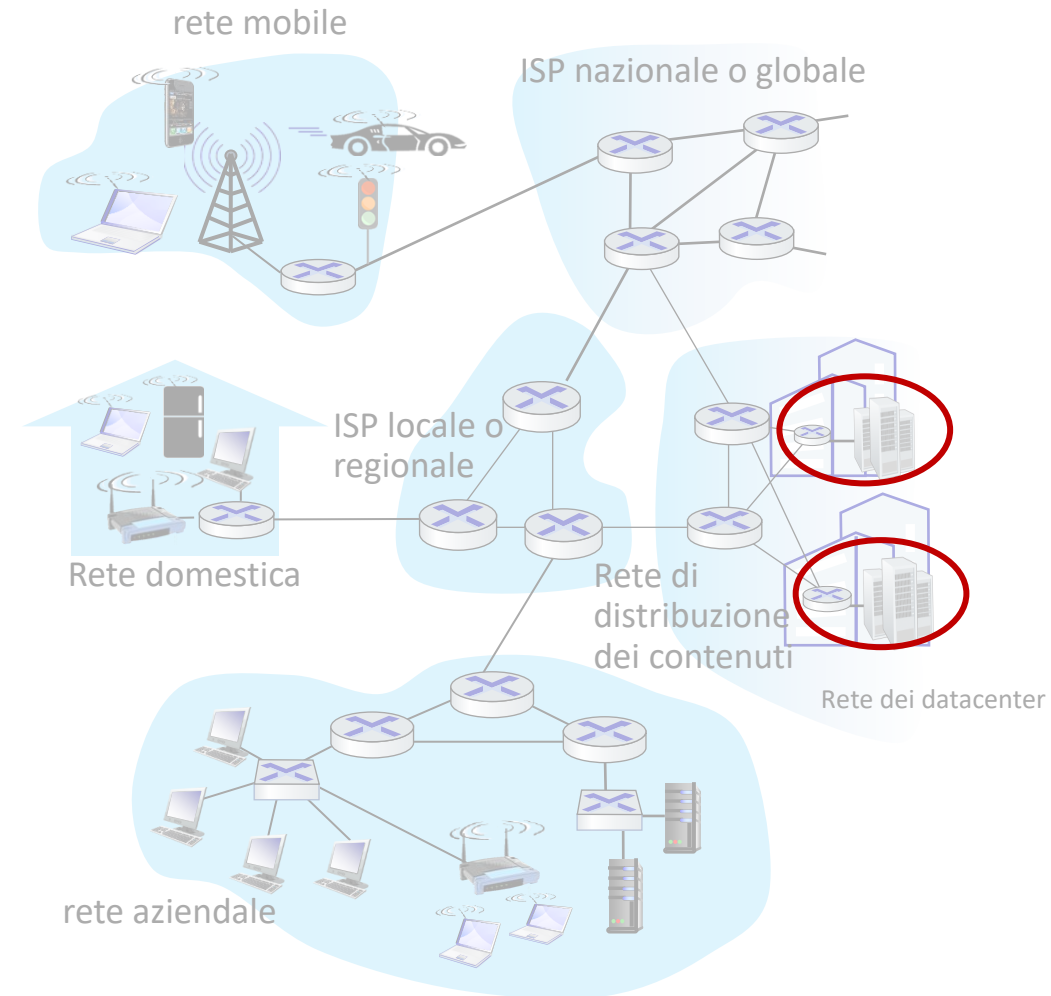
- aziende, università, ecc.
- misto di tecnologie di collegamento cablato e wireless, che collegano un misto di switch e router (discuteremo le differenze a breve)
 - Ethernet: accesso cablato a 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
 - WiFi: accesso wireless a 11, 54, 450 Mbps

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.



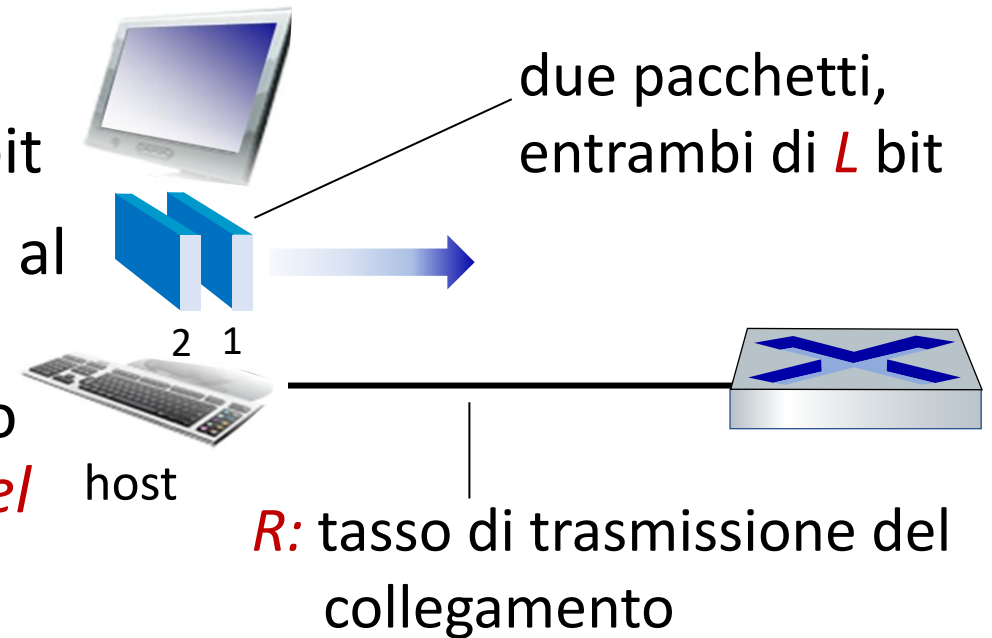
Per gentile concessione: Massachusetts Green High Performance Computing Center (mghpcc.org)



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*



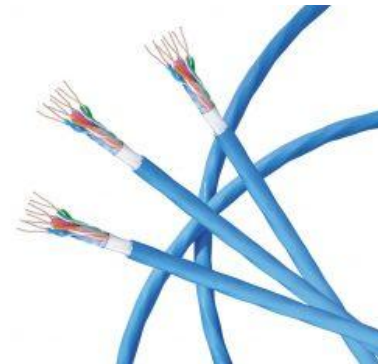
$$\begin{array}{l} \text{ritardo} \\ \text{di trasmissione} \\ \text{del pacchetto} \end{array} = \begin{array}{l} \text{tempo necessario per} \\ \text{trasmettere pacchetti di} \\ L \text{ bit nel collegamento} \end{array} = \frac{L \text{ (bit)}}{R \text{ (bit/s)}}$$

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

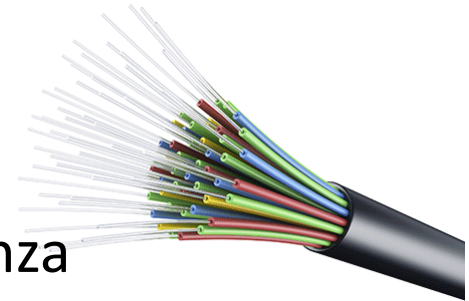
Cavo coassiale:

- 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

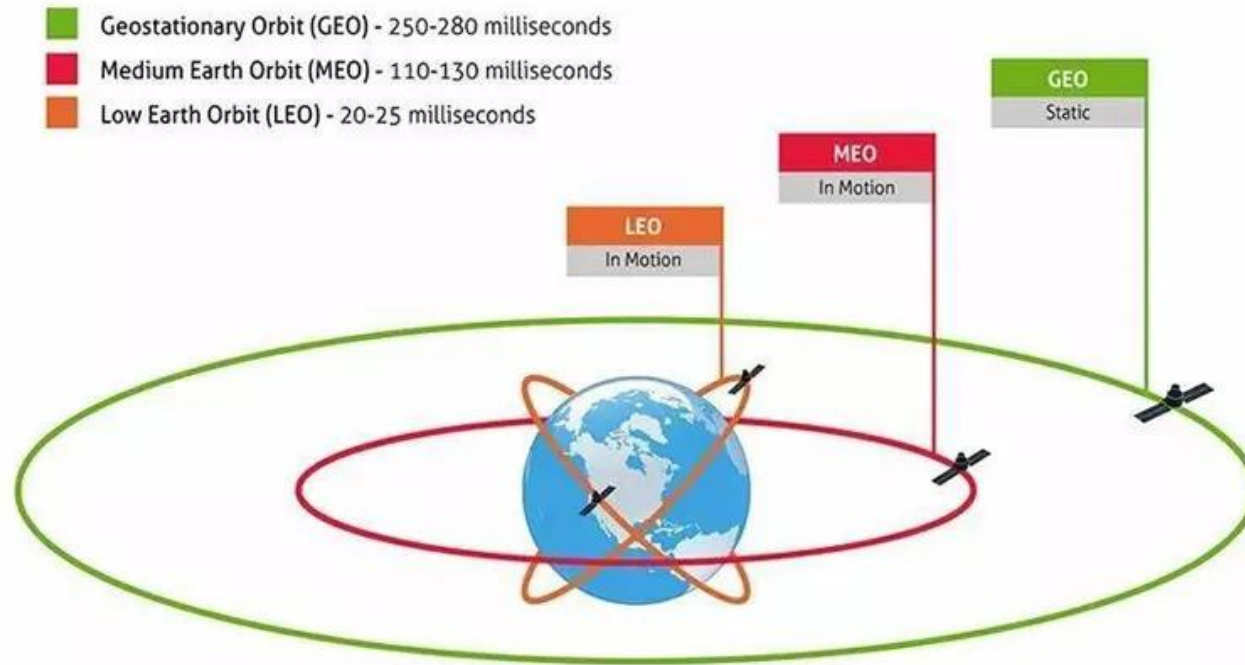


Immagine: <https://www.diteltech.com/info-detail/differences-between-leo-and-geo-satellites>

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

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