

Università di Roma Tor Vergata
Corso di Laurea triennale in Informatica
Sistemi operativi e reti

A.A. 2022-2023

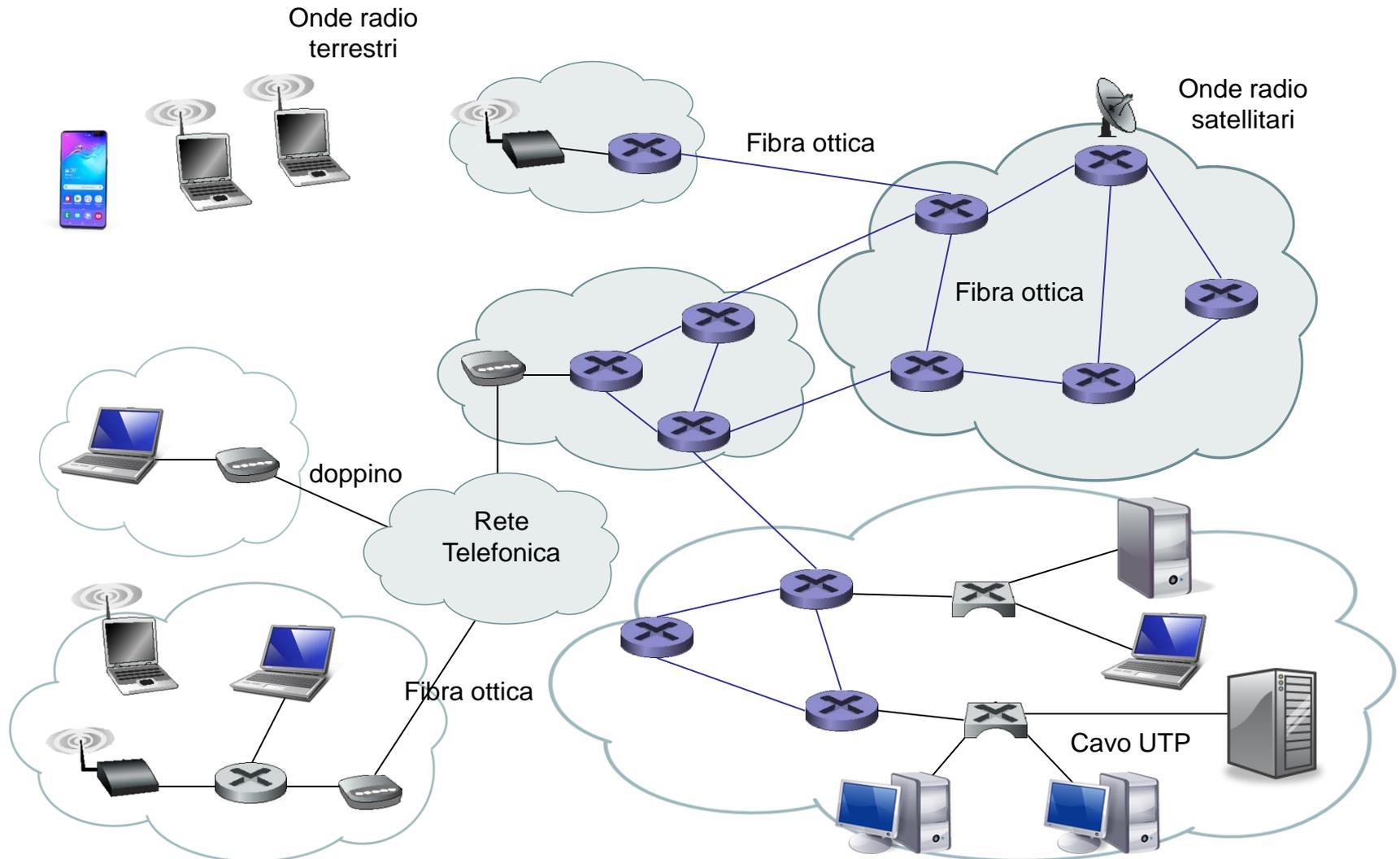
Pietro Frasca

Parte II

Lezione 3 (27)

Martedì 14-03-2023

I mezzi trasmissivi



Mezzi trasmissivi

- I mezzi trasmissivi si dividono in due categorie: **mezzi trasmissivi guidati** e **mezzi trasmissivi non guidati**.
- Esempi di mezzi trasmissivi guidati sono **doppini in rame, cavi coassiali, cavi in fibra ottica**.
- I mezzi trasmissivi non guidati sono le **onde radio** nella banda **terrestre** e **satellitare**. Nei mezzi trasmissivi **non guidati** le onde si propagano nello spazio, come in una wireless LAN o in un canale satellitare.

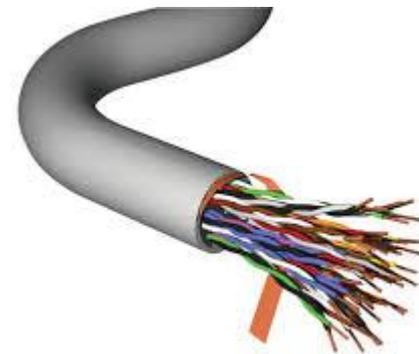
Doppino

- Il mezzo trasmissivo più economico è il doppino che consiste in due fili, generalmente di rame o alluminio, isolati tra loro, avvolti a spirale e aventi diametro di circa 1 mm. L'avvolgimento dei fili consente la riduzione di interferenze elettriche con altri doppini vicini.

- Generalmente, molti doppini sono impaccati in un cavo e protetti da guaina esterna.
- Il doppino telefonico è usato per l'accesso residenziale a Internet, sia con i modem analogici che con DSL.
- Varie coppie di **doppino** sono usate per realizzare varie categorie di cavo nelle reti locali (LAN).
- Spesso, questi cavi sono chiamati cavi ethernet.



Doppino



Doppini impaccati

- La velocità di trasmissione delle LAN attuali che usano i cavi ethernet è di 10 Mbit/s (obsoleta), 100 Mbit/s, 1 Gbit/s e 10 Gbit/s.
- Le LAN utilizzano vari tipi di cavo tra i quali **categoria 5** (in disuso), **5e** (1 Gbit/s), **6** (10 Gbit/s), **6A** (10 Gbit/s) e **7** (10 Gbit/s).
- Tutti i tipi di cavo ethernet usano il connettore RJ45. I cavi si differenziano per le prestazioni raggiungibili e per il livello di immunità alle interferenze. Le principali categorie di cavi ethernet sono le seguenti:
 - **CAT 5 (in disuso)**: cavi in grado di arrivare a una velocità massima di trasmissione di 100 Mbps (Fast Ethernet) con larghezza di banda fino a 100 MHz.
 - **CAT 5e (CAT 5 enhanced)**: è un miglioramento della precedente categoria 5; permette una velocità di trasmissione massima di 1 Gbit/s (Gigabit).
 - **CAT 6** è in grado di offrire velocità di trasmissione fino a 10 Gbps con larghezza di banda fino a 250 MHz.

- **CAT 6A** è un miglioramento della categoria 6 con un raddoppio di banda fino a 500 MHz e riduce ulteriormente le interferenze.
- **CAT 7** è la categoria di cavo con migliori prestazioni, con velocità di 10 Gbps e una larghezza di banda di 600 Mhz. Riduce le interferenze al minimo.
- Una caratteristica importante dei cavi ethernet è la **schermatura**. La schermatura è indicata sul cavo con delle sigle, come **UTP, STP, FTP**.



Cavo UTP

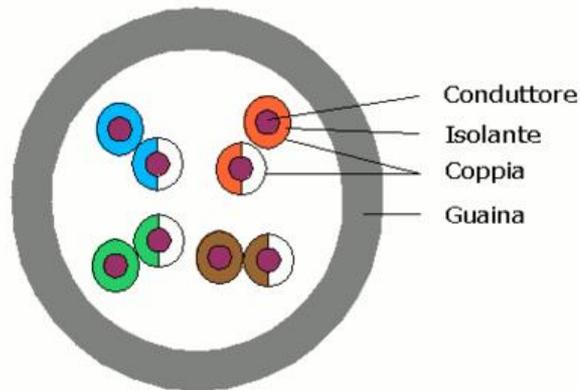


Connettore RJ-45

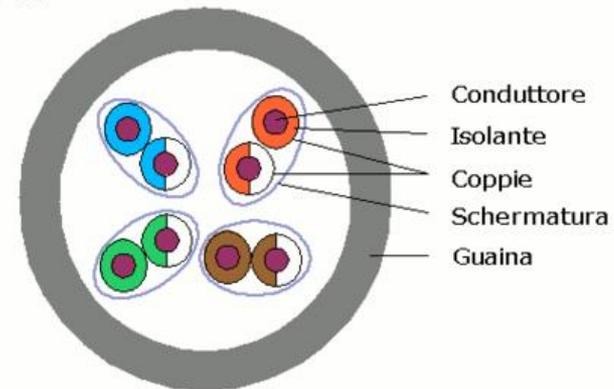
- Generalmente, ogni tipo di cavo è identificato con una coppia di sigle, che indicano la velocità di trasmissione e il tipo di schermatura, per la protezione contro le interferenze

- **UTP (Unshielded Twisted Pair)**, indica cavi senza schermatura.
- **STP (Shielded Twisted Pair) e FTP**: indicano cavi con schermatura aggiuntiva contro le interferenze. I cavi STP e FTP sono più costosi degli UTP, ma permettono di coprire distanze maggiori limitando al massimo le interferenze. Con FTP si indicano cavi con schermatura di tutti i fili, mentre con STP si indicano cavi con la schermatura a coppie di fili.

UTP

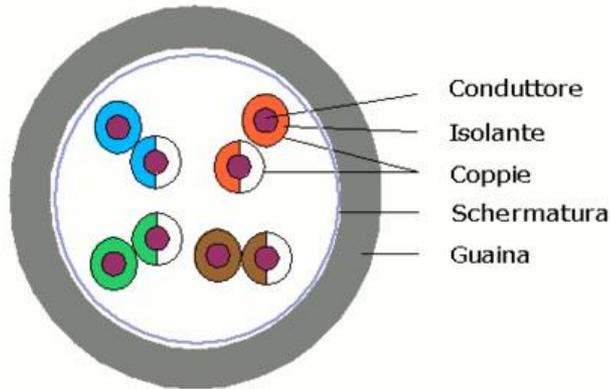


STP

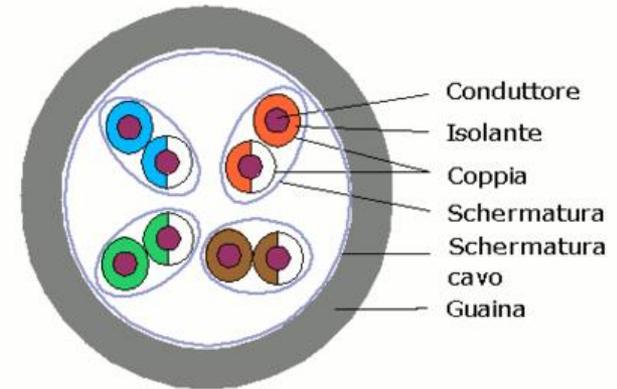


- I cavi con doppia schermatura si indicano con le sigle **S-STP** e **S-FTP (Screened Shielded Twisted Pair)**

S/UTP - FTP - S/FTP



S/STP



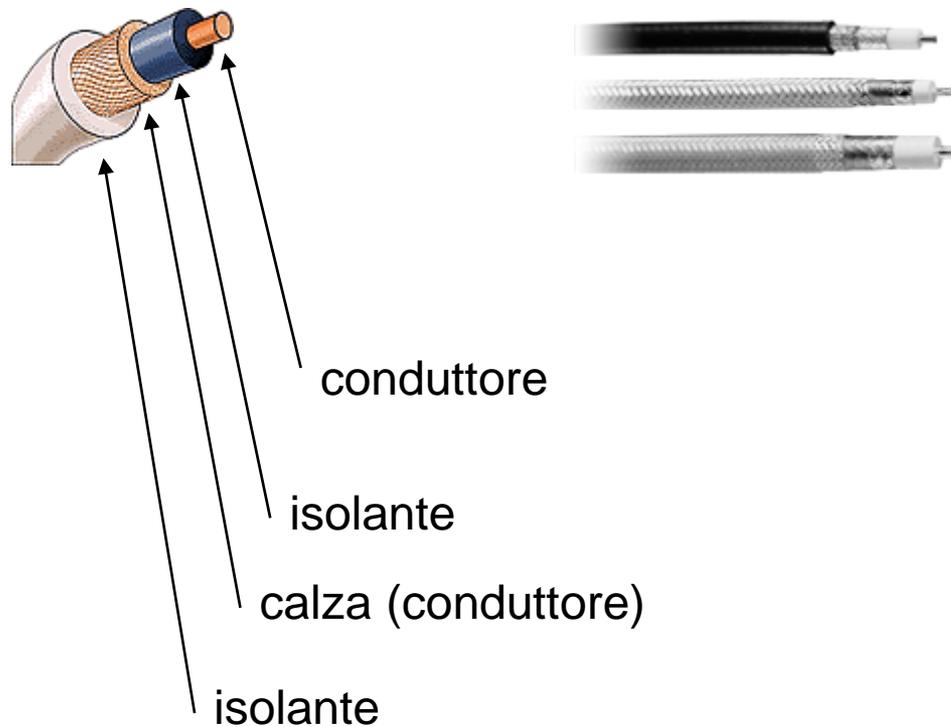
Cavi coassiali

I cavi coassiali consistono di due conduttori in rame concentrici. Consentono una velocità di trasmissione dati più elevata dei doppini. I cavi coassiali sono di due tipi:

- a) cavo coassiale in **banda base**;
- b) cavo coassiale in **banda traslata**.

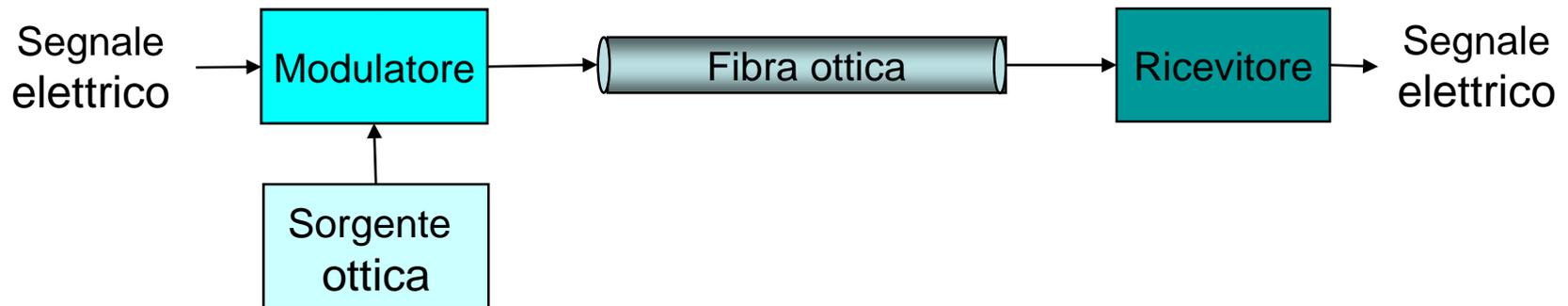
- Il cavo coassiale in banda traslata, detto **cavo a 75 ohm**, è leggermente più spesso di quello in banda base. E' usato negli impianti di TV via cavo.
- Nelle tecnologie che utilizzano il cavo coassiale in banda traslata, il trasmettitore modula il segnale digitale traslandolo su una specifica banda di frequenza; il segnale analogico risultante è inviato dal trasmettitore a uno o più ricevitori. I cavi coassiali, sia in banda base sia in banda traslata, possono essere usati come mezzi condivisi.

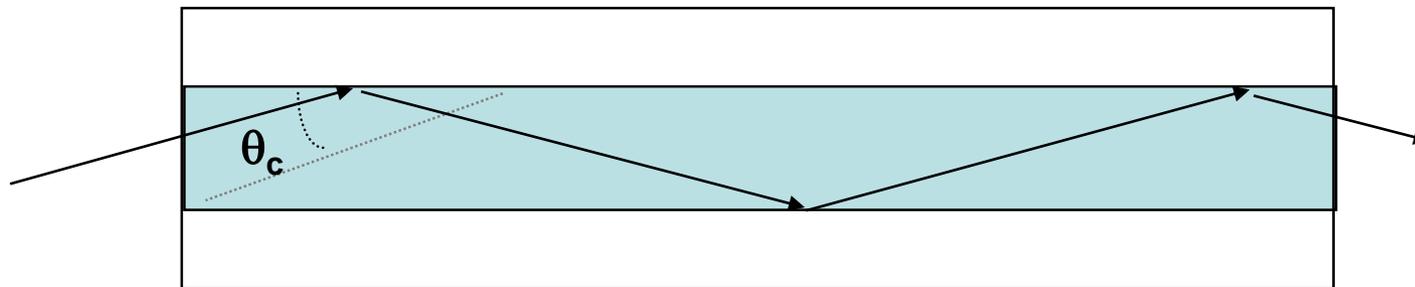
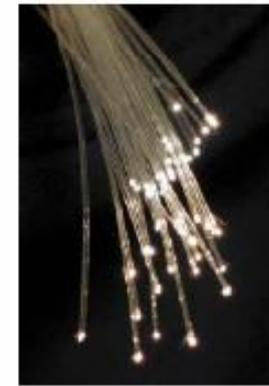
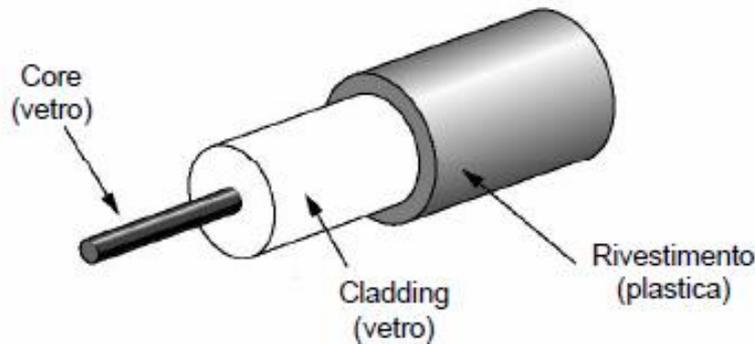
- Di solito, molti host possono essere collegati direttamente al cavo, e tutti gli host ricevono tutti i segnali che vengono trasmessi dagli altri host.



Fibre ottiche

- Una fibra ottica è un sottile mezzo di vetro o plastica (sezione delle dimensioni di un capello) che conduce impulsi di luce. Una fibra ottica consente velocità di trasmissione superiori alle **centinaia di Gbit/s**. Le fibre ottiche sono immuni alle interferenze elettromagnetiche, provocano attenuazioni dei segnali molto ridotte e fino a 50 km possono essere usate senza un ripetitore (amplificatore di segnale) mentre doppini e cavi coassiali necessitano di un ripetitore ogni 5 Km. Queste caratteristiche rendono la fibra ottica il mezzo trasmissivo più adatto per le lunghe distanze.
- Le fibre ottiche sono utilizzate anche nelle **rete dorsali (backbone)** di Internet.





- Tuttavia, gli alti costi dei dispositivi ottici, come trasmettitori, ricevitori e commutatori, hanno limitato il loro uso per trasmissioni per brevi distanze, come nelle LAN o nelle reti di accesso residenziale.
- La velocità dei link OC (optical carrier) standard varia da 51.8 Mbps a 39.8 Gbps. Tali standard sono espressi con la notazione **OC-n**, dove la velocità di trasmissione del collegamento corrisponde a **$n \times 51.8$** Mbps.

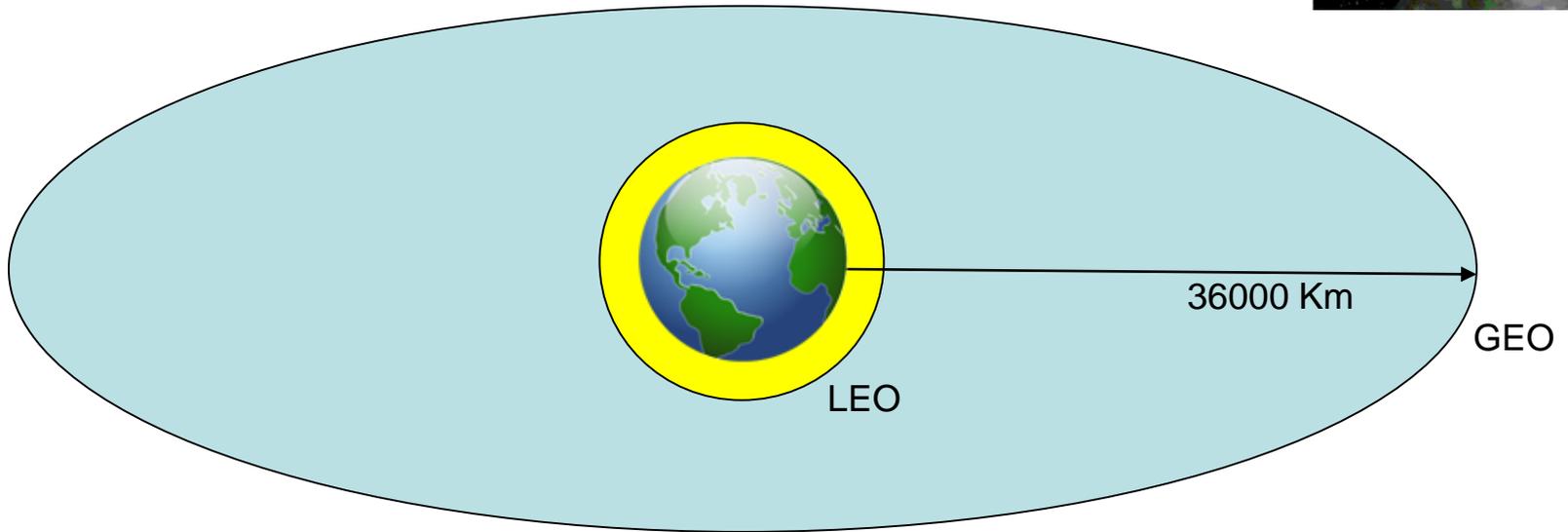
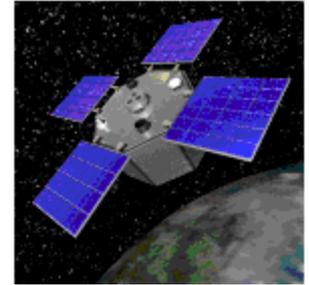
Canali radio terrestri

- I canali radio trasportano segnali tramite onde elettromagnetiche.
- Le caratteristiche di un canale radio dipendono dall'ambiente di propagazione e dalla distanza a cui un segnale deve arrivare. Il segnale è soggetto a vari problemi tra i quali attenuazione, zone d'ombra e interferenze.
- I canali radio terrestri possono essere classificati a grandi linee in due gruppi:
 - canali per **reti in area locale**, con copertura tipica da decine a poche centinaia di metri;
 - canali in **area geografica**, con copertura di decine di chilometri.

Canali radio satellitari

- Un satellite per comunicazioni collega due o più trasmettitori/ricevitori a microonde situati sulla Terra, detti **stazioni al suolo**. Il satellite riceve le trasmissioni su una banda di frequenza e ritrasmette il segnale su un'altra banda di frequenza per evitare interferenze. I satelliti possono fornire larghezze di banda dell'ordine dei Gbit/s.
- Esistono vari tipi di satelliti per comunicazioni tra i quali: **geostazionari (GEO, Geostationary Earth Orbit)** e a **orbita bassa (LEO, Low Earth Orbit)**.
- I **satelliti geostazionari** sono sempre visibili nella stessa posizione da un punto sulla Terra. Questa posizione stazionaria è ottenuta posizionando il satellite su un'orbita di circa 36.000 Km dalla superficie terrestre. Questa enorme distanza che va dalla stazione a terra al satellite e poi dal satellite all'indietro, verso la stazione a terra, introduce un rilevante ritardo di propagazione del segnale di circa 240 millisecondi ($36.000 * 2 / 300.000$).

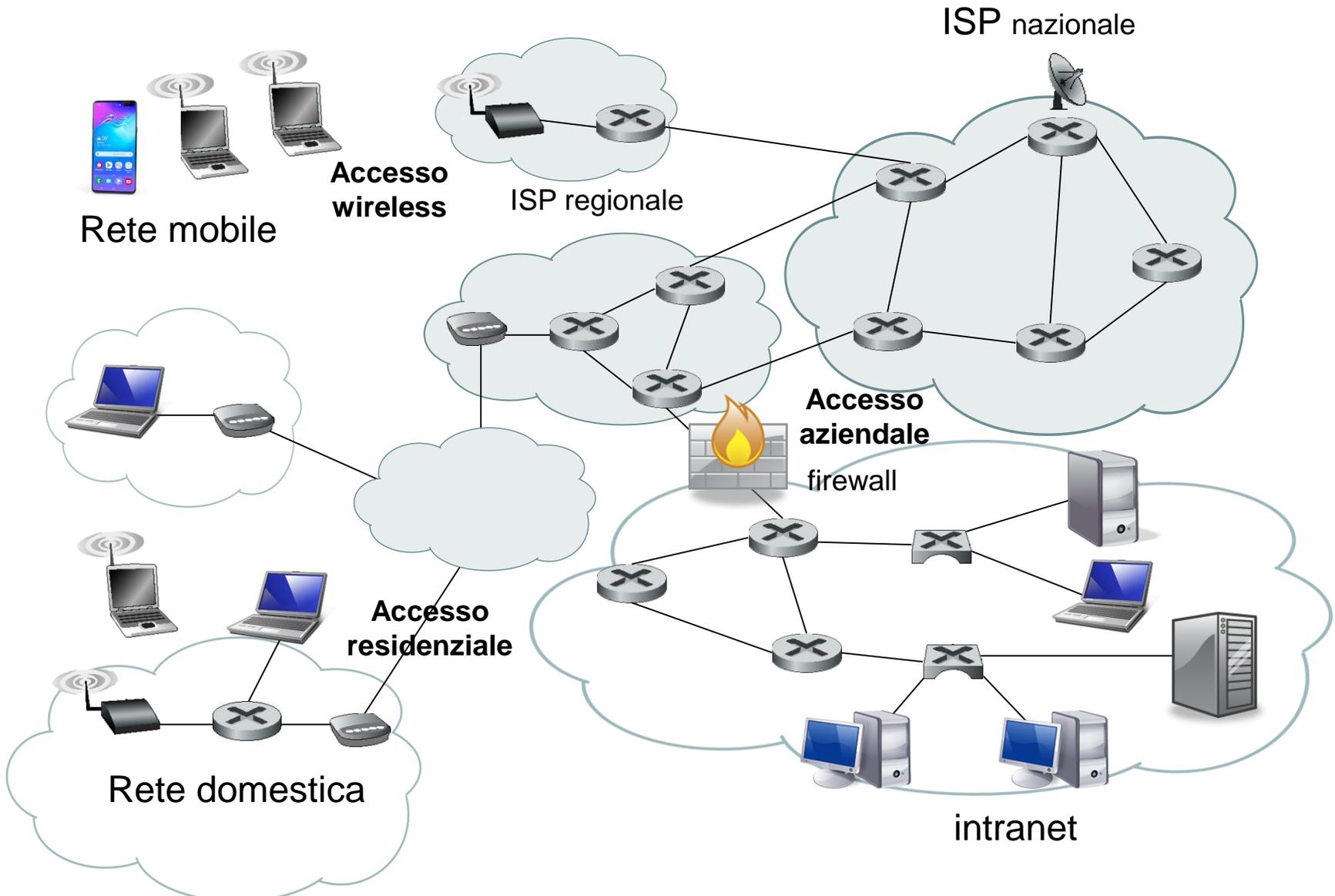
- I collegamenti via satellite, con velocità di trasmissione di centinaia di Mbit/s, sono spesso usati nelle reti telefoniche e nelle reti dorsali di Internet.
- I **satelliti a orbita bassa** sono posti su orbite più vicine alla Terra a distanze comprese tra 160 e 2000 Km. Non sono fissi in corrispondenza dello stesso luogo sulla Terra ma ruotano intorno alla Terra come la Luna. Hanno un periodo di rivoluzione di circa 90 minuti e quindi una velocità di circa 27400 Km/h. Per fornire una copertura continua di un'area, devono essere posti in orbita molti satelliti (circa 50-200). Introducono un ritardo di propagazione di 20 – 25 ms. Attualmente sono in fase di sviluppo molti sistemi di comunicazione a orbita bassa.



Accesso alla rete Internet

- Gli host possono connettersi a Internet mediante vari tipi di accesso che sono genericamente classificati in tre classi:
 - **accesso residenziale**, collega alla rete i computer di casa;
 - **accesso aziendale**, collega alla rete i computer di aziende e istituti vari;
 - **accesso wireless**, collega alla rete i computer portatili, tablet e smarthphone.
- Queste categorie sono solo schematiche; per esempio alcuni host di enti potrebbero usare sia la tecnologia ad accesso aziendale che quella ad accesso residenziale.

Accesso alla rete Internet

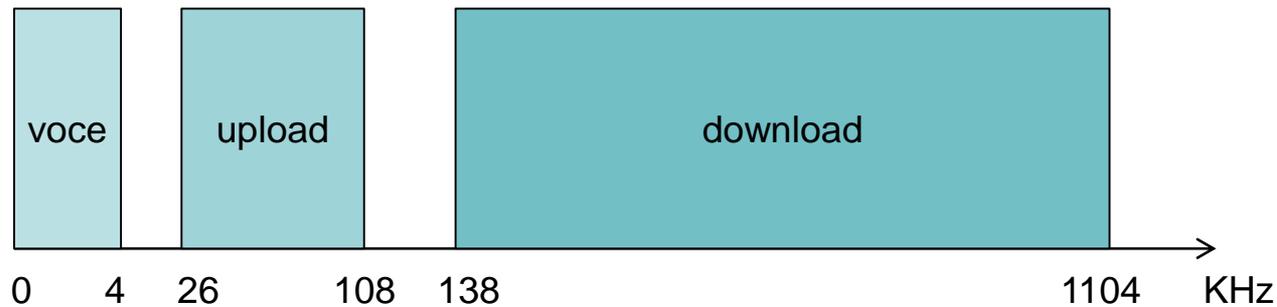


Accesso residenziale

- **DSL (*Digital Subscriber Line, Linea Digitale per abbonati*)** e **l'HFC (*Hybrid Coaxial Fiber Cable*)** sono due tecnologie per l'accesso residenziale a banda larga. La DSL è molto diffusa in Europa mentre l'HFC è più diffusa negli USA. HFC usa le reti per trasmissioni televisive via cavo, basate su cavo coassiale.
- **DSL (o xDSL)** è una famiglia di tecnologie di trasmissione utilizzate per l'accesso residenziale a Internet progettata per funzionare con le reti telefoniche cablate esistenti, basate su doppino telefonico.
- Le velocità di trasmissione sono generalmente asimmetriche nelle due direzioni, con velocità maggiore dalla rete dell'ISP verso casa (download) che da casa verso la rete dell'ISP (upload). Questa asimmetria è dovuta al comportamento dell'utente che generalmente è più un consumatore che un produttore di informazioni.

- Gli accessi a internet DSL sono considerati a "banda larga", e hanno ormai quasi totalmente sostituito sia i modem analogici di tipo dial-up, che consentono velocità trasmissive massime di 56 kbit/s in download e 48 kbit/s in upload (standard V.92), sia le linee ISDN che arrivano fino a 128 kbit/s (utilizzando doppio canale a 64 kbit/s) simmetrici.
- La banda trasmissiva in ricezione e trasmissione varia a seconda della particolare tecnologia DSL, delle condizioni della linea e del livello di servizio.
- Esistono limitazioni in velocità di trasmissione che dipendono principalmente dalla qualità del doppino telefonico e dalla distanza tra l'abitazione dell'utente e centrale telefonica. Più è distante la centrale più è bassa la velocità di trasmissione.
- In questi ultimi anni sono state standardizzate e utilizzate diverse tipologie di tecnologie DSL, che comprendono *ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)* , *ADSL2*, *ADSL2+*, *VDSL (Very-high-bit-rate digital subscriber line)*, *VDSL2*, *VDSL2+* e altre.

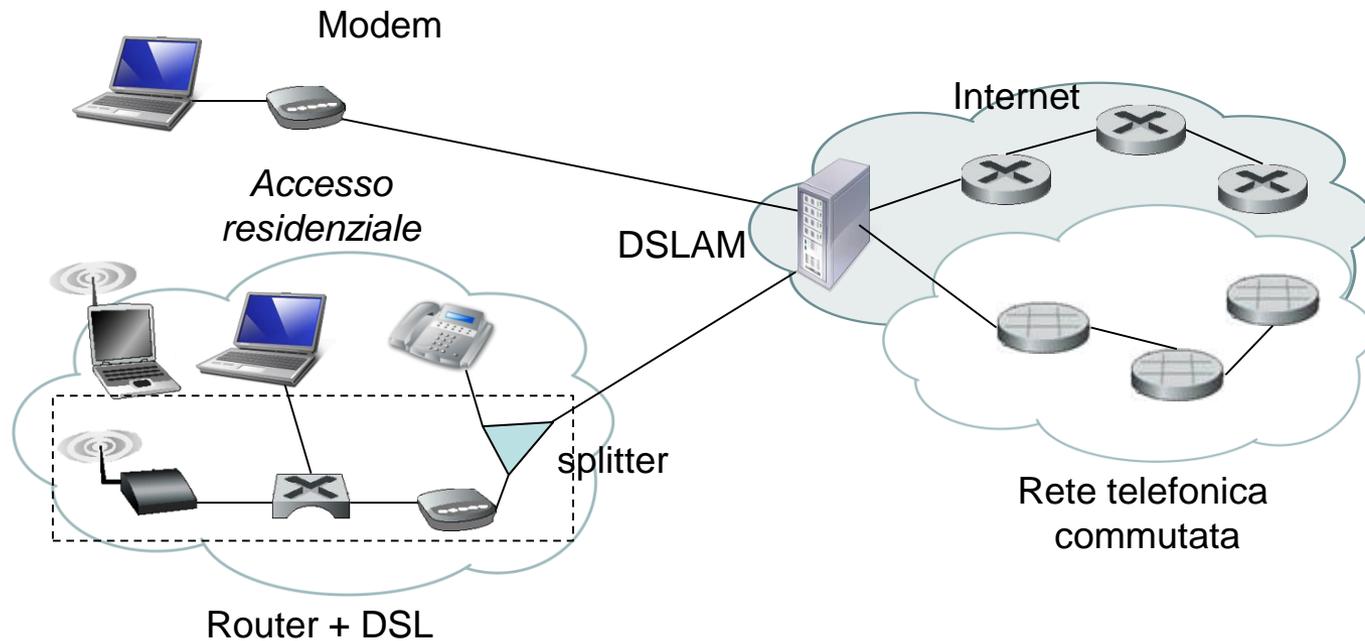
- La DSL usa tecniche FDM (multiplicazione a divisione di frequenza). In particolare, la larghezza di banda della linea di comunicazione tra l'abitazione e ISP (detta ultimo miglio) è divisa in tre bande di frequenza:
 - **canale telefonico**, nella banda da 0 a 4 kHz.
 - **canale in *upstream*** a media velocità, nella banda di frequenze intermedie comprese tra F_{u1} e F_{u2} ;
 - **canale in *downstream*** ad alta velocità, nella banda delle frequenze più alte, comprese tra F_{d1} e F_{d2} .



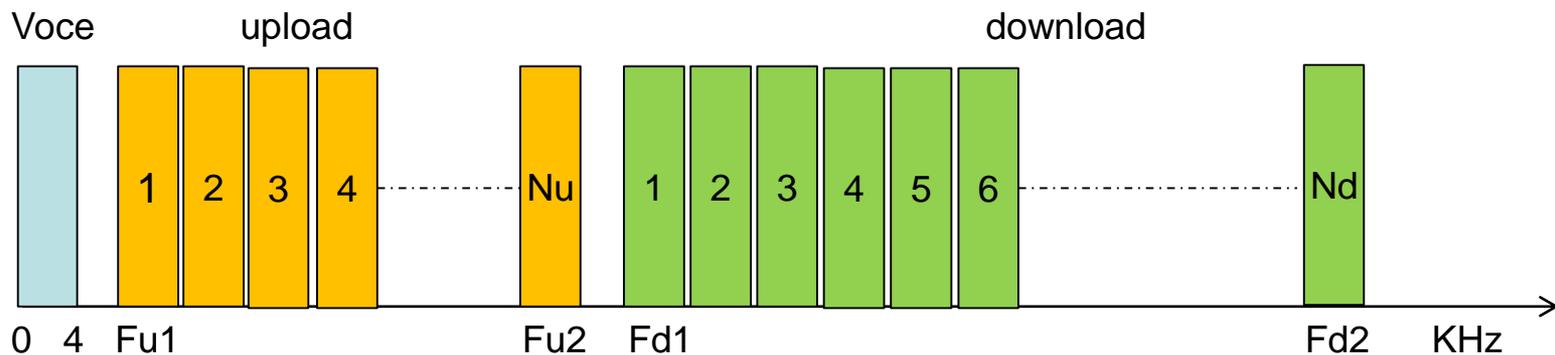
Suddivisione della larghezza di banda con l'ADSL

- Il valore delle frequenze F_{u1} , F_{u2} , F_{d1} e F_{d2} varia a seconda del tipo di tecnologia DSL. Ad esempio i valori di tali frequenze per ADSL, mostrate nella figura precedente, valgono rispettivamente 26 KHz, 108 KHz, 138 KHz e 1104 KHz.
- Il doppino telefonico in rame era stato progettato, e viene tuttora usato, per la comunicazione in voce, che utilizza una banda di frequenza compresa tra 300 e 3.400 hertz. Tuttavia, il doppino ha una banda passante molto più estesa.
- Per utilizzare tutta la banda effettivamente disponibile, vengono utilizzate tecniche di moltiplicazione a divisione di frequenza (FDM) per separare il segnale vocale (sotto i 4 kHz) dal traffico dati in upload e in download.
- Il collegamento DSL consiste in un modem DSL, posto a casa dell'utente, e da un DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) nella centrale telefonica, generalmente posto nell'armadietto su strada (cabinet).

- La separazione tra il segnale vocale e dati viene effettuato tramite appositi filtri detti **splitter** posti nel dispositivo dell'utente e nella centrale telefonica.
- La parte a bassa frequenza del segnale, cioè la fonia, viene inviata rispettivamente ai telefoni e ai commutatori telefonici preesistenti, preservando il servizio telefonico; la parte in alta frequenza, cioè la parte dati, ai DSLAM o al modem/router a casa dell'utente.



- La banda del canale trasmissivo viene suddivisa in sotto bande (canali) di circa 4 KHZ (4,3125 kHz).
- I canali compresi tra le frequenze F_{u1} e F_{u2} sono usati per l'upload, mentre quelli da F_{d1} e F_{d2} sono usati per il download.

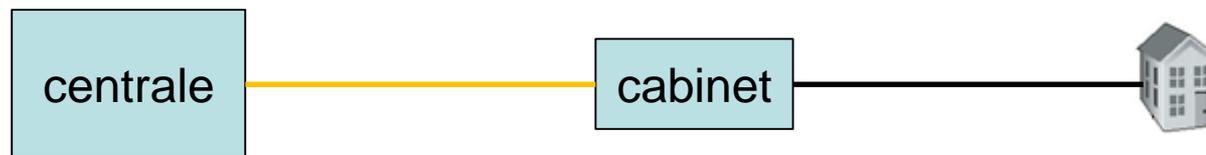


- La modulazione utilizzata è di tipo OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), una variante FDM. Pertanto i canali sono utilizzati in parallelo. Questa tecnologia permette di utilizzare i mezzi trasmissivi, come il doppino, soggetti a disturbi sotto forma di rumore e interferenza, in modo adattativo.

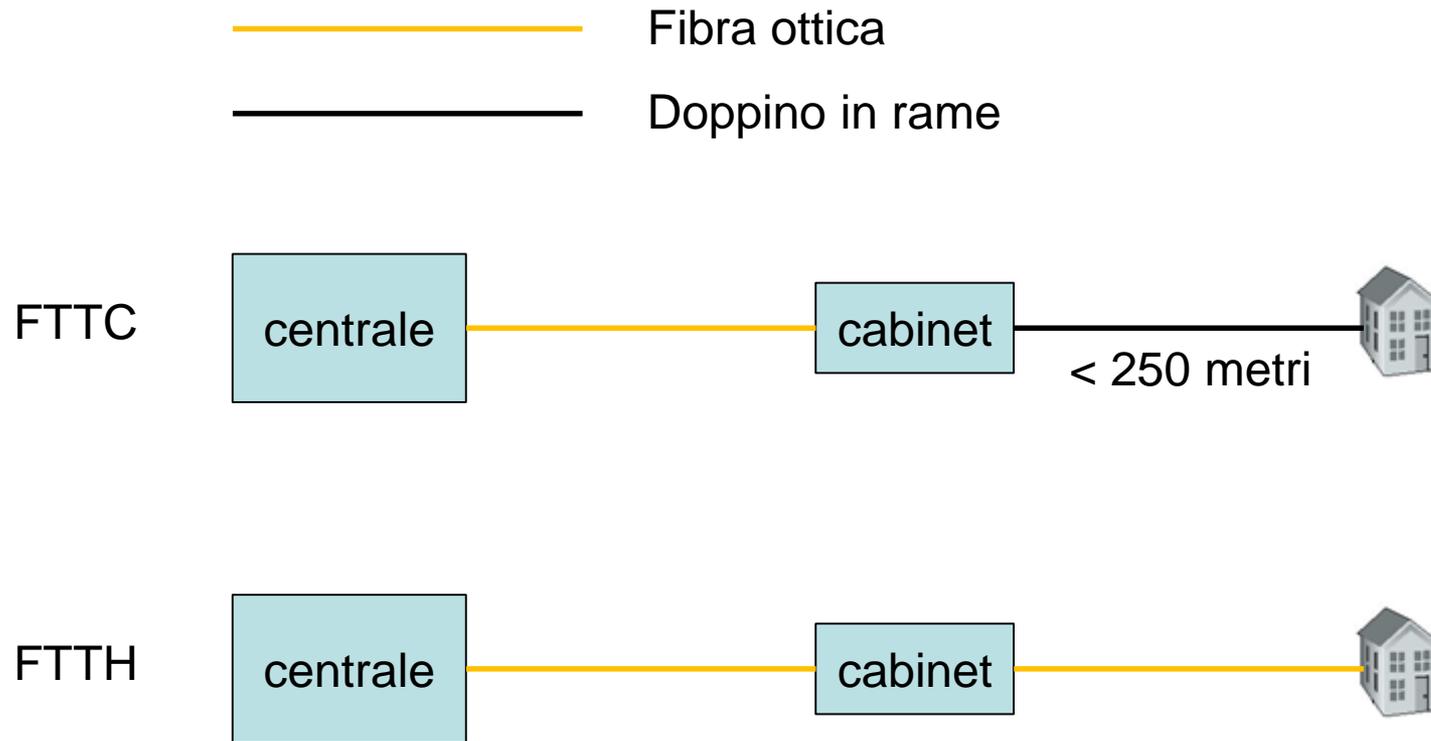
- Questa adattabilità è necessaria perché le linee di trasmissione basate su doppino hanno caratteristiche eterogenee (lunghezza, qualità del cavo, vetustà, etc) e sono soggette a forte attenuazione del segnale e a varie forme di interferenza, come ad esempio la diafonia (crosstalk). La velocità di trasmissione non è dunque costante e dipende dallo stato del mezzo trasmissivo.
- Al momento di stabilire la connessione, il modem ADSL e il DSLAM analizzano la qualità della linea su ciascun canale e decidono come utilizzare ciascun canale ("bits-per-bin allocation").
- Questa operazione è detta "sincronizzazione" del modem e può richiedere anche alcune decine di secondi.
- Nel selezionare i canali viene scelto un compromesso tra velocità di trasmissione e affidabilità. Più canali sono attivati per la comunicazione più è elevata la velocità di trasmissione. I modem sono in grado di adattarsi al variare delle condizioni della linea "spostando" bit tra canali ("bit swapping").

FTTC E FTTH

- Come previsto dalla normativa europea entro il 2020 il 100% della popolazione dei paesi membri dell'UE dovrebbe avere accesso a una connessione Internet domestica a banda *ultra larga*, cioè con velocità di almeno 30 megabit al secondo.
- Per fare questo, i vari operatori telefonici e fornitori di servizi Internet stanno investendo centinaia di milioni di euro per ammodernare le infrastrutture e portare la fibra ottica quanto più possibile vicino alle abitazioni degli utenti.
- Una connessione a rete fissa è costituita da un mezzo trasmissivo, che collega l'abitazione dell'utente o l'azienda alla cosiddetta *centralina (o armadio) di prossimità*, detta anche *cabinet*, la quale, a sua volta, è collegata alla centrale dell'ISP più vicina all'utente.



- La diversa combinazione di mezzi trasmissivi utilizzati per coprire queste due tratte, dall'utente alla centralina e da questa alla centrale, definisce il tipo di collegamento che, pertanto, è indicato con nomi differenti.



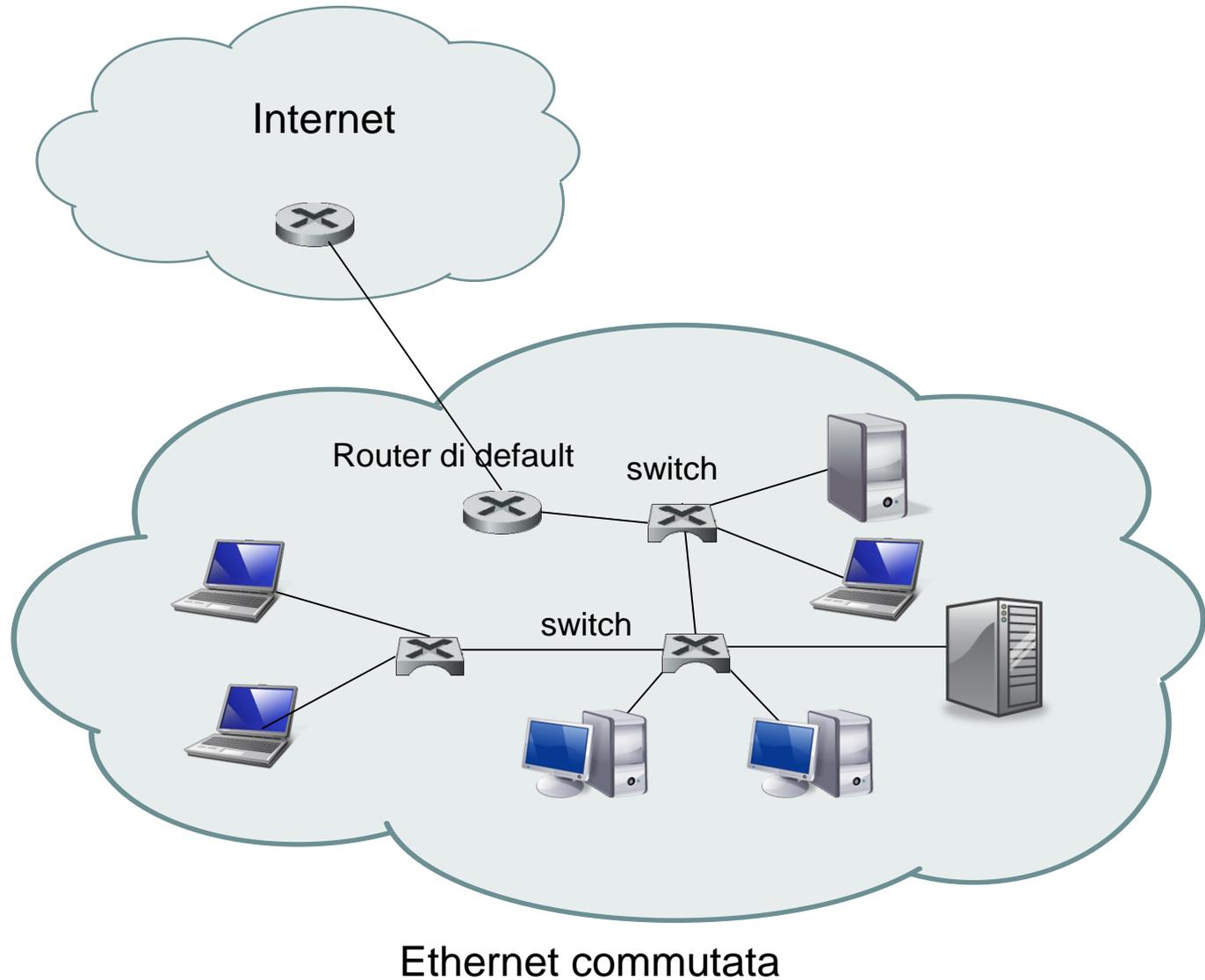
- I termini **FTTS (Fiber to the Street)** oppure **FTTC (Fiber to the Cabinet)** indicano collegamenti nei quali si usa la fibra ottica, per connettere la centrale con il cabinet, conservando il doppino di rame per il collegamento tra cabinet e il modem DSL a casa dell'utente. Quest'ultimo tratto, è solitamente di lunghezza inferiore ai 250-300 metri
- Con **FTTH (Fiber To The Home)**, si indicano collegamenti in cui la fibra ottica è usata in entrambe le tratte, partendo dalla centrale ed arrivando fino all'interno della casa dell'utente.
- Con la **tecnologia VDSL (Very High-speed Digital Subscriber Line)**, è possibile raggiungere, per brevi distanze, velocità di trasmissione dell'ordine delle centinaia di mbps. Tali elevate velocità sono state raggiunte grazie al *vectoring*, una tecnica di cancellazione del rumore o interferenza elettromagnetica che consente il passaggio di segnali a frequenze più elevate.

- **VDSL 2 enhanced** è una tecnologia standardizzata nel 2015, consente di incrementare la velocità di trasmissione fino a 350 mbps in download e 100 mbps in upload in una distanza inferiore ai 250 metri dall'armadio stradale.
- VDSL2 enhanced, è nominato anche con diverse sigle come e-VDSL2, VDSL2 vPlus e VDSL2 35b.
- In conclusione, la differenza tra le varie tecnologie DSL sta nella larghezza di banda utilizzata per la codifica dei dati. Le linee ADSL sono in grado di usare frequenze fino a 2,2 megahertz, la VDSL2 espande la banda passante arrivando ai 17 megahertz, mentre la VDSL2 enhanced raddoppia questo valore arrivando a 35 megahertz. Ciò consente di aumentare il numero di canali supportati dalla linea fino a 8192 consentendo velocità di trasmissione precedentemente indicate.
- E' da notare che più è alta la velocità di trasmissione e più è breve la distanza tra abitazione e cabinet.

Accesso aziendale

- Nelle società o nelle università, una rete **LAN** (**Local Area Network**) viene utilizzata per collegare i computer a Internet.
- Ci sono differenti tipi di tecnologie LAN. La rete **Ethernet** è attualmente la tecnologia di accesso più diffusa per le reti locali.
- La velocità di trasmissione di Ethernet è di 10 Mbit/s (obsoleta), 100 Mbit/s, 1 Gbit/s e 10 Gbit/s.
- La tecnologia Ethernet più recente è la **Ethernet commutata** che usa gli **switch** per connettere tra loro i computer. La connessione tra calcolatori e switch si ottiene fisicamente con cavi UTP. Vari switch possono essere connessi ad un **router di default** che ha il compito di instradare i pacchetti indirizzati all'esterno della LAN. La figura seguente mostra un semplice schema di Ethernet commutata.

Accesso aziendale



Accesso wireless

- Oggi, esistono due ampie classi di accesso wireless a Internet.
 - **Wireless LAN**, in cui gli utenti con dispositivi mobili comunicano con una stazione base detta **punto di accesso wireless**, entro un raggio inferiore a **cento metri**. La stazione base è connessa a Internet.
 - **Wireless in area geografica**, in cui la stazione base è gestita da un gestore di servizi di telecomunicazione e serve gli utenti entro un raggio di una **decina di chilometri**.
- La LAN wireless (IEEE 802.11) nota anche come wireless Ethernet e Wi-Fi, è una tecnologia che attualmente è molto diffusa. La tecnologia 802.11b fornisce una banda condivisa di 11 Mbit/s, la 802.11g consente velocità di trasmissione fino a 54 Mbps, la 802.11n fino a 300Mbps.
- Lo standard 802.11ac è stato approvato nel gennaio 2014 e funziona solo nella banda delle frequenze dei 5 GHz. La velocità massima teorica di questo standard all'interno di una WLAN è di 1 Gbit/s con una velocità massima di un singolo collegamento di 500 Mbit/s.

Standard	Frequenza	Velocità trasmissione (Mb/s)	Modulazioni
802.11b	2,4 GHz	1, 2, 5.5, 11	DBPSK, DQPSK
802.11g	2,4 GHz	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54	DBPSK, DQPSK, BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54, 65, 72, 125, 144, 150, 270, 300	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11ac	5 GHz	500, 1000	256-QAM

- WiMax (IEEE 802.16) è una tecnologia wireless che consente velocità di trasmissione di oltre 10 Mbit/s su distanze di decine di chilometri.