

1 IL CAVO ELETTRICO

1.1 I mezzi di trasmissione

Come abbiamo visto nell'Unità 5, i dispositivi comunicano tra loro scambiandosi dei segnali che hanno lo scopo di trasportare i bit di dati. I segnali necessitano di un mezzo di trasporto per giungere a destinazione.

I mezzi trasmissivi possono essere suddivisi in tre categorie:

- i cavi in rame attraversati da segnali elettrici;
- le fibre ottiche attraversate da impulsi luminosi;
- #l'etere (il wireless) attraversato da onde elettromagnetiche.

L'utilizzo di **conduttori in rame** per le trasmissioni in rete è da sempre molto diffuso, potendo approfittare della già esistente rete telefonica cablata.

Il cavo utilizzato è il **twisted-pair** (doppino ritorto o semplicemente **doppino**), costituito da coppie di fili in rame attorcigliate, tipico proprio dell'accesso alla rete telefonica. Ma il doppino è molto utilizzato anche nella realizzazione delle reti locali con standard Ethernet, il più diffuso standard per la cablatura delle reti aziendali. Spesso tale cavo è noto come **cavo Ethernet** o **cavo LAN**.

I cavi in rame possono anche essere a **cavo coassiale**, derivato dal cavo per l'antenna TV, formati da un solo filo conduttore in rame circondato da materiale isolante e ricoperto da un intreccio di sottili fili di rame detto calza. I cavi coassiali, molto usati in passato per le reti a bus, sono ormai in disuso nella realizzazione delle reti locali. La sempre maggior richiesta di bandwidth e throughput ha portato negli anni a sostituire il cavo elettrico con la **fibra ottica**. La posa della fibra ottica è più che mai attuale in Italia e in Europa, per ottemperare ai parametri previsti dalla strategia Europa 2020 che vuole la copertura con banda larga di base per il 100% dei cittadini europei e la copertura di almeno il 50% degli utenti domestici con velocità pari o superiori ai 100 Mbps.

Risale al 15 settembre del 1977 la realizzazione del primo impianto in fibra ottica che collegava due centrali SIP di Torino, utilizzando cavi ottici prodotti dalla Pirelli, mentre è del 1985 il primo cavo transatlantico in fibra ottica.

L'avvento dei dispositivi mobili ha dato una spinta determinante all'utilizzo delle tecnologie **wireless**. Le trasmissioni wireless possono utilizzare le **onde radio** (RF, radio frequenza) o i **segnali infrarossi** (IR, radiazione infrarossa) per comunicare attraverso l'aria.

Quindi, a differenza delle reti **wired**, formate da cavi elettrici o fibre ottiche, quelle wireless non utilizzano alcun tipo di cavo: il segnale viaggia nell'atmosfera (etere) tramite la propagazione di onde emesse da un'antenna. L'utilizzo delle onde radio ha portato alla nascita di alcuni tra i più diffusi standard per le comunicazioni e per le reti (Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX), in grado di coprire anche l'intero pianeta grazie alle trasmissioni satellitari che possono ricevere le frequenze radio e ritrasmetterle sulla Terra.

L'utilizzo dei segnali infrarossi è invece limitato alla comunicazione diretta tra dispositivi posti a breve distanza, come la tastiera e il mouse con il personal computer.

#techwords

L'**etere** era un termine scientifico del secolo diciannovesimo utilizzato per descrivere il medium (il mezzo) grazie al quale la luce si propagava. Oggi è inteso come luogo di propagazione delle onde elettromagnetiche.

Le onde elettromagnetiche non hanno bisogno di alcun mezzo materiale per propagarsi, si propagano attraverso l'aria, ma anche nel vuoto.

#prendinota

La **SIP** - Società Italiana per l'Esercizio delle Telecomunicazioni S.p.A. (prima del 1985 SIP - Società Italiana per l'Esercizio Telefonico) il cui logo è mostrato in figura, è stata la principale azienda di telecomunicazioni italiana, attiva dal 1964 a seguito della nazionalizzazione delle imprese elettriche, per poi essere trasformata in Telecom Italia S.p.A.

SIP - Società Italiana per l'Esercizio delle Telecomunicazioni



1.2 Il cavo elettrico in rame

I mezzi trasmissivi elettrici si basano sulla caratteristica dei metalli di condurre l'energia elettrica; si associa al bit da trasmettere un particolare valore di tensione o di corrente (o una variazione di esse).

Le proprietà elettriche di un cavo sono:

- **resistenza:** è la resistenza passiva che frena il moto di scorrimento del flusso di elettroni lungo il conduttore (per esempio un filo di rame) dopo aver applicato allo stesso una forza elettromotrice (tensione); più la resistenza è alta, più il segnale trasmesso perderà la propria "forza" e di conseguenza la capacità di arrivare a destinazione. Il valore della resistenza è dato dal prodotto tra la resistività del materiale conduttore e la sua lunghezza, diviso la sua sezione;
- **capacità:** fa riferimento alla proprietà di un materiale dielettrico, posto tra due conduttori, di conservare la carica elettrica quando esiste una differenza di potenziale tra i due conduttori stessi
- **induttanza:** quando due conduttori sono percorsi da correnti uguali e contrarie, si crea un campo magnetico nello spazio tra i conduttori stessi. Il rapporto tra il flusso magnetico che attraversa lo spazio tra i due conduttori e la corrente che lo riproduce viene chiamato induttanza. Il valore dell'induttanza varia in funzione della frequenza di lavoro;
- **impedenza caratteristica:** è un parametro molto importante per le linee di trasmissione, infatti l'impedenza caratteristica è la risultante di tutti gli elementi passivi presenti che si oppongono al flusso degli elettroni (cioè resistenza, capacità e induttanza). In un sistema di trasmissione è importante che l'impedenza del cavo corrisponda a quella dei sistemi ricevente e trasmittente. Se c'è differenza di impedenza alla giunzione, si avrà una riflessione elettrica che ridurrà l'intensità del segnale. Quindi è fondamentale **mantenere l'impedenza uniforme** per tutto il cavo: eventuali variazioni comportano riflessioni interne che possono causare distorsioni e perdite del segnale. Il valore dell'impedenza si misura in Ohm e varia in funzione della frequenza di lavoro.

I problemi che possono sorgere con l'impiego di cavi elettrici come canale di trasmissione sono:

- **temperatura di esercizio:** i cavi elettrici sono spesso posati in ambienti con molti dispositivi e apparati che scaldano l'ambiente. La temperatura di esercizio dei cavi in rame ha comunque un range molto ampio che va da -25°C a $+80^{\circ}\text{C}$ (posa fissa);
- **raggio di curvatura:** indica quanto possiamo curvare un cavo senza compromettere la trasmissione del segnale. Le canaline per la posa dei cavi devono prevedere percorsi quanto più possibile rettilinei. In generale il raggio di curvatura non deve superare di 8 volte il diametro del cavo (posa fissa);
- **attenuazione:** è la riduzione d'ampiezza del segnale di uscita rispetto a quello di ingresso al cavo. Il valore di attenuazione (espresso in dB) cresce linearmente con la lunghezza del cavo e con la radice quadrata della frequenza. L'attenuazione dipende dalle caratteristiche fisiche del cavo (capacità, resistenza e induttanza) e per ogni tipo di cavo il costruttore definisce un intervallo di frequenze (banda passante) in cui l'attenuazione è minima;

- **diafonia** (*cross-talk*): è l'interferenza che si può generare tra due conduttori vicini. Nella diafonia parte del segnale presente in un conduttore si trasferisce al conduttore vicino per induzione, creando così un disturbo al segnale trasmesso (FIGURA 1). Nel caso di coppie di fili in rame presenti nello stesso cavo, si possono verificare i seguenti disturbi:
 - **NEXT** (*Near End Cross-Talk*): interferenza che si induce all'inizio di una coppia quando viene generato un segnale all'inizio della coppia adiacente; si rileva entro 20-30 metri dal trasmettitore;
 - **FEXT** (*Far End Cross-Talk*): simile a NEXT, ma la misurazione è effettuata all'estremità del cavo opposta a quella da cui si è originato il segnale.

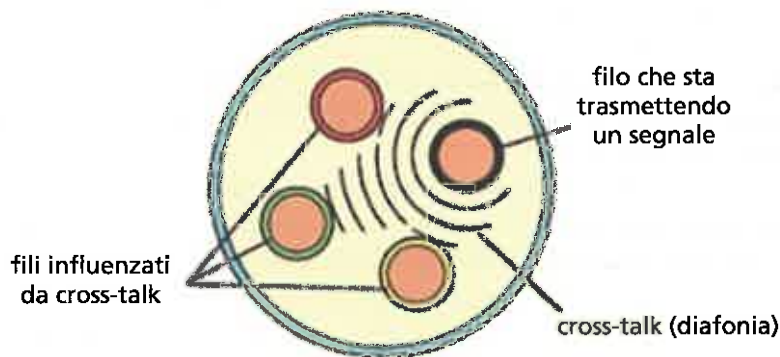


FIGURA 1 Esempio di cross-talk (diafonia) in un cavo con 4 fili di rame

Come abbiamo detto il cavo in rame può essere di due tipi:

- twisted-pair (doppino);
- coassiale.

1.3 Il cavo twisted-pair

Il twisted-pair è un cavo elettrico formato da coppie di fili conduttori in rame, avvolti da una guaina isolante e attorcigliati in modo da ridurre il rumore esterno e l'interferenza.

I suoi principali vantaggi sono:

- facile da installare;
- flessibile;
- poco costoso;
- piccole dimensioni (il diametro è di circa 0,43 cm);
- è il tipo di cavo in rame che consente la più elevata velocità di trasmissione.

L'operazione che rende ritorte le coppie di fili è detta **binatura**: i conduttori che compongono la singola coppia sono ritorti, le coppie sono poi ritorte tra loro con passi di *twistatura* (attorcigliamento) differenti, evitando in tal modo che si presenti il problema della diafonia tra coppie di fili che sono stati ritorti con lo stesso passo.

Esistono tre tipi di doppini ritorti a seconda del livello di schermatura desiderato:

- **UTP (Unshielded Twisted-Pair)**: si tratta di cavi composti da 8 fili intrecciati in 4 coppie, le varie coppie sono a loro volta intrecciate tra loro. Questo tipo di cavo, non avendo calze per la schermatura, risulta molto flessibile;
- **STP (Shielded Twisted-Pair)**: uguale all'UTP, ma con la presenza della calza di schermatura intorno a ogni coppia e anche all'esterno, questo tipo di cavo è molto meno flessibile del precedente ma sicuramente più immune ai disturbi e più costoso.

- FTP (Foiled Twisted-Pair):** è in pratica una via di mezzo tra UTP e STP. Si tratta di un cavo UTP con la schermatura soltanto all'esterno (e non anche per ogni coppia come l'STP). È quindi una scelta intermedia sia come caratteristiche di immunità ai disturbi che di prezzo.

Sono in commercio anche cavi STP e FTP a doppia schermatura, detti rispettivamente **SSTP (Screened Shielded Twisted-Pair)** e **SFTP (Screened Foiled Twisted-Pair)** che garantiscono una maggior protezione dalle interferenze.

La **FIGURA 2** riassume i vari casi.

I cavi twisted-pair si dividono a loro volta in **categorie** in base al numero di intrecci, alla velocità di trasmissione, alla massima larghezza di banda e alla massima distanza raggiungibile. Le principali categorie oggi utilizzate nella cablatura delle reti locali con standard Ethernet sono elencate in **TABELLA 1**.

La categoria 7a con larghezza di banda fino a 1 GHz è soprattutto usata per far coesistere meglio telefono, TV e rete sul cavo Ethernet. Sono anche in commercio i cavi di categoria 8 con prestazioni ancora più performanti.

Attualmente i cavi più commercializzati per le reti 10/100/1000 Mbps (cioè quelle fino a 1 Gbps) sono quelli UTP di categoria 5e, cavi di categoria inferiore, come la 4 o la 3, non vengono più utilizzati dato che non permettono di raggiungere i 100 Mbps.

In generale categorie più elevate portano ad avere maggiori frequenze raggiungibili.

La distanza massima che possono coprire questi cavi è di 100 metri senza bisogno di dispositivi ripetitori/rigeneratori di segnale.

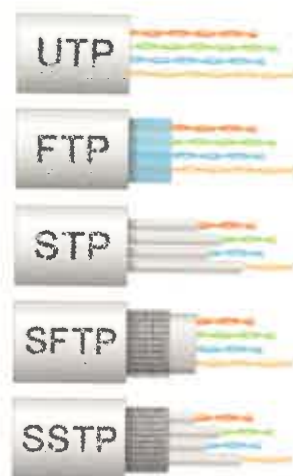


FIGURA 2 Tipi di cavi twisted-pair

TABELLA 1 Le principali categorie di cavi twisted-pair

CATEGORIA	SCHERMATURA	VELOCITÀ DI TRASMISSIONE MASSIMA	LARGHEZZA DI BANDA MASSIMA	DISTANZA MASSIMA
5	Non schermato	10/100 Mbps	100 MHz	100 m
5e (enhanced)	Schermato/non schermato	1 Gbps	100 MHz	100 m
6	Schermato/non schermato	1 Gbps	250 MHz	100 m
6a (augmented)	Schermato/non schermato	10 Gbps	500 MHz	55 m
7	Schermato	10 Gbps	600 MHz	100 m
7a (augmented)	Schermato	40/100 Gbps	600 MHz/1 GHz	50/15 m
8	Schermato	25/40 Gbps	1,4/2 GHz	30 m

I cavi twisted-pair terminano alle due estremità con un connettore di tipo **RJ45** (Registered Jack n. 45) in un socket **8P8C** (8 posizioni e 8 contatti) mostrato in **FIGURA 3**.

Bisogna stare attenti a non scambiare i connettori del tipo RJ11, quelli comunemente adottati per la telefonia classica, con quelli di rete di tipo RJ45 usati per le reti. I connettori RJ11 sono facilmente riconoscibili dalle minori dimensioni rispetto all' RJ45 e al fatto che possono portare solo un massimo di 4 fili interni.



FIGURA 3 Connettore RJ45

1.4 Il cavo coassiale

Il cavo coassiale è stato il mezzo trasmissivo usato per le prime reti Ethernet degli anni Settanta ed è stato molto usato fino agli anni Novanta, dopodiché lo si è sostituito con i cavi twisted-pair e le fibre ottiche. Quindi nelle nuove reti non si usano più i cavi coassiali, mentre è ancora possibile trovarli in “vecchie” reti.

Il cavo coassiale mantiene, però, alcuni vantaggi: può arrivare a distanze maggiori di STP e UTP, è meno costoso delle fibre ottiche, è una tecnologia ben nota e collaudata.

FIGURA 4 Il cavo coassiale



Un cavo coassiale è formato da un filo conduttore centrale (tipicamente in rame, detto *core*), racchiuso in una guaina isolante, avvolta in un foglio metallico (anche questo solitamente in rame, detto *calza*) che serve a schermare il cavo centrale e bloccare le interferenze. L'involucro metallico esterno è usato come schermo e come secondo conduttore ed è a sua volta rivestito da una guaina isolante.

Tutto il cavo viene infine protetto da una guaina in plastica (FIGURA 4).

Esistono vari tipi di cavo coassiale:

- **thick coax** (coassiale spesso): è il tipo storico usato nelle LAN Ethernet ed è indicato nelle specifiche originali per Ethernet dette **10BASE5**, dove il 5 indica che il segnale può viaggiare per circa 500 m. Le reti realizzate con questi cavi raggiungono una velocità di 10 Mbps. Questo cavo misura approssimativamente 1,27 cm di diametro e come tale risulta relativamente poco flessibile e di difficile installazione;
- **thin coax** (coassiale sottile): questo tipo si è diffuso con le LAN di personal computer, in quanto meno costoso e più facilmente manipolabile dell'altro, è usato per le specifiche Ethernet **10BASE2**, dove il 2 indica che il segnale può viaggiare per circa 200 m. Le reti realizzate con questi cavi raggiungono una velocità di 10 Mbps. Questo cavo misura approssimativamente 0,63 cm ed è molto simile al cavo coassiale usato per la TV.

Esistono molti tipi di cavi coassiali, quelli più comunemente usati hanno dei connettori, denominati **BNC** (FIGURA 5), dove BNC sta per Bayonet Neill Concelman, dal nome dei due inventori Neill e Concelman e dal sistema utilizzato per l'innesto, definito "a baionetta".



FIGURA 5 I connettori BNC

FISSA LE CONOSCENZE

- Quali sono i cavi che si possono utilizzare per cablare una rete?
- Spiega il problema della diafonia nei cavi elettrici.
- Che differenza c'è tra cavo UTP, STP e FTP?
- Come è fatto un cavo coassiale?

4 LE COMMUTAZIONI: CIRCUIT & PACKET SWITCHING

4.1 Circuit switching

Le commutazioni servono a stabilire una connessione tra i nodi di una rete al fine di realizzare un percorso, condiviso o dedicato, che consenta alle informazioni inviate dal mittente di arrivare al destinatario.

Esistono tre tipi di commutazione:

- commutazione di circuito (Circuit switching);
- commutazione di pacchetto (Packet switching);
- commutazione di pacchetto con circuito virtuale (Packet switching with virtual circuit).

La **commutazione di circuito** ha la caratteristica di creare una connessione fisica tra mittente e destinatario. Praticamente prima di iniziare la trasmissione si deve chiudere il circuito, prenotando uno alla volta tutti i canali tra i due nodi interessati. Una volta chiuso il percorso, e solo allora, i dati possono essere trasferiti senza soluzione di continuità. Se i canali hanno velocità diverse, l'intera trasmissione avverrà alla **velocità del canale più lento**.

Le informazioni arrivano nell'ordine in cui sono state trasmesse e seguendo tutto lo stesso percorso. Inoltre nessun altro può utilizzare quel canale fino al termine del collegamento tra le due stazioni.

Pur essendo la tecnica più semplice (in uso nelle comunicazioni telefoniche) essa presenta diversi svantaggi.

Innanzitutto il meccanismo di prenotazione fa sì che un canale possa risultare occupato anche se in quel momento nessuno sta trasmettendo su quel canale. Supponiamo per esempio di avere una rete come nella **FIGURA 16** e di dover trasmettere tra il nodo A e il nodo D attraverso il percorso più breve ABCD.

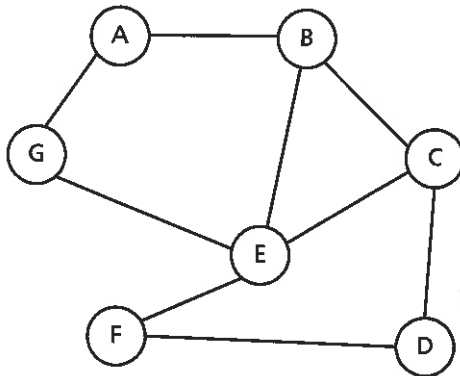


FIGURA 16 Rete WAN a maglia non completamente connessa

Se il mittente dopo aver prenotato i canali A-B e B-C trovasse occupato il canale C-D, la trasmissione non potrebbe partire non essendosi chiuso il circuito, ma intanto i due primi canali risulterebbero inutilizzabili da altri utenti (in quanto prenotati) con evidente calo dell'efficienza della rete. I danni possono essere limitati consentendo percorsi alternativi, pur non avendo comunque la garanzia di trovarne di liberi.

In questo modo però si complicano i compiti delle centraline di commutazione e di conseguenza aumentano i costi.

Nel caso peggiore potrebbe verificarsi anche uno stallo (**deadlock**). Se nell'esempio sopra alla comunicazione tra A e D si sovrapponesse una comunicazione tra D e B attraverso il percorso più breve DCB e quest'ultima fosse riuscita a prenotare il canale C-D, ci troveremmo nella spiacevole situazione in cui il primo mittente è in attesa che si liberi il canale C-D, e il secondo in attesa che si liberi B-C. Dunque entrambi si trovano bloccati avendo ciascuno occupato una risorsa che serve all'altro e quindi entrambi non sono in grado di chiudere il percorso. La soluzione consiste nell'introdurre un **timeslot** al termine del quale rilasciare tutti i canali qualora non si sia riusciti a chiudere l'intero percorso tra mittente e destinatario.

4.2 Packet switching

Le informazioni da trasmettere sono suddivise in pacchetti che possono essere inoltrati in tutte le direzioni (**connectionless**). Questo fa sì che i pacchetti possano arrivare a destinazione in un ordine diverso da quello di invio. Si rende quindi necessario aggiungere ai dati veri e propri (**payload**) un'intestazione (**header**) e una chiusura (**trailer**) che contengono informazioni quanto meno sul mittente, sul destinatario e sul numero di sequenza del pacchetto al fine di rendere possibile l'instradamento dei pacchetti (**routing**) da parte dei nodi intermedi e il riassetto dei dati da parte del nodo finale.

#preindotta

Nella commutazione di pacchetto può accadere che i pacchetti vengano consegnati al destinatario fuori sequenza (pacchetti diversi possono raggiungere la destinazione seguendo cammini diversi). Inoltre non esistono garanzie sui tempi di consegna dell'informazione al destinatario.

La **commutazione di pacchetto** usa il canale solo quando serve e non deve prenotare l'intero percorso ma sposta i pacchetti di un canale per volta liberandolo immediatamente. **Frazionare i dati in pacchetti di piccole dimensioni rende le comunicazioni molto più veloci anche se comporta il rischio che qualche pacchetto vada perso e debba quindi essere ritrasmesso.**

■ PACKET SWITCHING WITH VIRTUAL CIRCUIT

La **commutazione di pacchetto con circuito virtuale** riassume in sé alcune caratteristiche della commutazione di circuito e di quella di pacchetto.

Innanzitutto si ripresentano le tre fasi della commutazione di circuito (instaurazione del collegamento, trasferimento dati e abbattimento del collegamento). A differenza della commutazione di circuito tradizionale, però, le risorse sono allocate in maniera esclusiva solo per un **flusso di pacchetti** e non per l'intera trasmissione. Flussi diversi possono quindi arrivare a destinazione attraverso percorsi diversi.

Per fare fronte, per esempio, alle esigenze di *real time* del traffico telefonico in uno scenario di rete riconducibile alla commutazione di pacchetto, è necessario predisporre meccanismi di commutazione di circuito virtuale: l'utente telefonico può negoziare con la rete l'allocazione, per una durata di tempo prestabilita, di un percorso unico per i suoi pacchetti, lungo il quale sono garantiti probabilità di perdita minima e tempi di consegna certi (e quindi anche il rispetto della sequenza originaria).

Si può sicuramente affermare che senza la commutazione di pacchetto il traffico su Internet non sarebbe sostenibile e molto probabilmente Internet stessa, almeno come la conosciamo noi oggi, non sarebbe mai nata.

5 LA TRASMISSIONE SU FIBRA OTTICA

5.1 I principi dell'ottica

A partire dagli anni Novanta si è diffuso l'impiego della fibra ottica nelle reti per la trasmissione dati. La fibra ottica utilizza la luce per trasportare il segnale. La luce è radiazione elettromagnetica con frequenze che cadono nello spettro del visibile, chiamato così proprio perché visibile all'occhio umano. Le onde elettromagnetiche possono viaggiare nel vuoto, nell'aria ma anche attraverso alcuni materiali come il vetro. La luce si propaga in linea retta all'interno di un mezzo trasparente omogeneo (cioè con densità costante) e isotropo (cioè il comportamento della luce è lo stesso in tutte le direzioni); l'aria, il vetro, l'acqua soddisfano di norma queste condizioni.

Quando un raggio di luce passa da un mezzo all'altro, per esempio dall'aria al vetro, sulla superficie che separa i due mezzi avviene il fenomeno della **riflessione** dei raggi luminosi (FIGURA 18). Il raggio incidente sulla superficie forma con la normale un piano, detto **piano di incidenza**, in cui si trova anche il raggio riflesso.

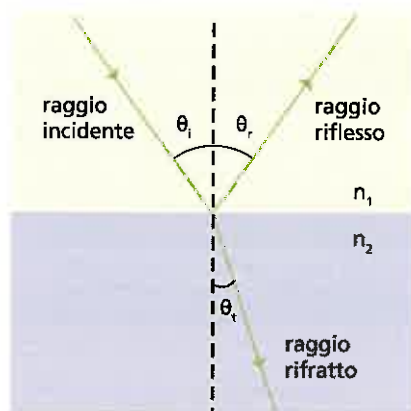


FIGURA 18. I fenomeni di riflessione e rifrazione

La legge della riflessione afferma che: l'angolo θ_r che il raggio riflesso forma con la normale è uguale all'angolo θ_i che il raggio incidente forma con la normale.

$$\theta_i = \theta_r$$

Incontrando la superficie di separazione tra due mezzi trasparenti diversi, la luce subisce, oltre alla riflessione, anche il fenomeno della **rifrazione**: da un raggio luminoso incidente hanno origine un raggio riflesso, che sta nel primo mezzo, e un raggio rifratto nel secondo mezzo che si trova sul piano di incidenza e forma con la normale un angolo θ_r .

Esiste un particolare angolo di incidenza θ_L per cui valori di θ_i maggiori di θ_L producono un raggio rifratto nullo e la luce viene tutta riflessa: il fenomeno si chiama **riflessione totale**. Tale angolo θ_L è detto **angolo limite** e il suo valore dipende dagli **indici di rifrazione** n_1 e n_2 dei due mezzi fisici.

Quindi:

- se il raggio incidente ha un angolo inferiore all'angolo limite, allora il raggio penetra nel secondo materiale, ma subisce una deviazione;
- se invece il raggio incidente supera l'angolo limite il raggio viene totalmente riflesso e la superficie di separazione si comporta come uno specchio.

#techwords

L'**indice di rifrazione** è il rapporto tra la velocità c della luce nel vuoto e la velocità v della luce nel mezzo:

$$n = \frac{c}{v}$$

L'indice di rifrazione è sempre maggiore di 1.

5.2 Struttura e funzionamento di una fibra ottica

La trasmissione della luce attraverso la fibra è basata sul fenomeno della **riflessione totale interna** che si presenta quando il raggio di luce incide obliquamente sull'interfaccia di separazione tra due mezzi, aventi indice di rifrazione diverso, con un angolo superiore all'angolo limite. Nella fibra ottica i due mezzi sono due diversi tipi di pasta vetrosa: uno interno, detto **core** (nucleo), con indice di rifrazione n_1 , e uno esterno detto **cladding** (mantello), con un indice di rifrazione n_2 più basso rispetto al core ($n_1 > n_2$, tipicamente $n_1 = 1,5$ e $n_2 = 1,475$). Il cladding è poi rivestito con un materiale plastico allo scopo di proteggere il vetro (FIGURA 19).

Il sottilissimo filo di materiale vetroso viene "tirato" fino ad avere dimensioni piccolissime (dell'ordine dei micron) così da perdere la sua caratteristica fragilità e diventare un filo robusto e flessibile. Ogni cavo in fibra ottica è composto da due fibre: una per trasmettere e una per ricevere, per cui la trasmissione è full-duplex. Le due fibre sono messe in un singolo cavo protettivo fino all'innesto con i connettori. Un cavo può avere da 2 a 48 fibre o più.

In seguito al fenomeno della riflessione totale i raggi luminosi che attraversano il core vengono riflessi quando cercano di passare dal core al cladding (FIGURA 20).

Affinché il raggio luminoso rimanga entro il core (riflessione totale), conservando così la sua energia, è necessario che esso venga introdotto con un certo angolo, chiamato **angolo di accettazione della fibra**. L'insieme di questi angoli forma una superficie tridimensionale chiamata **cono di accettazione** della fibra ottica. Un raggio luminoso introdotto nella fibra all'interno del cono di accettazione andrà a incidere l'interfaccia tra core e cladding con un angolo θ_1 maggiore dell'angolo limite (θ_L) e verrà totalmente riflesso (FIGURA 21).

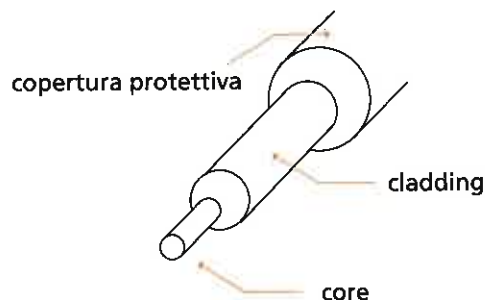
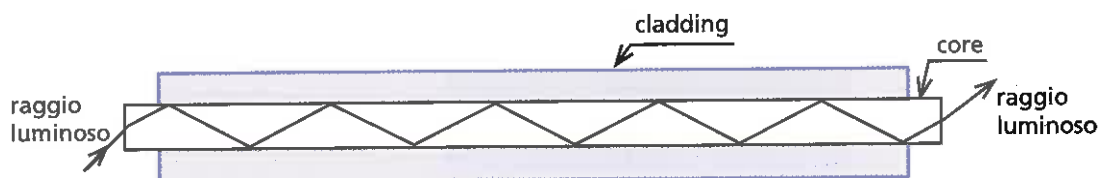


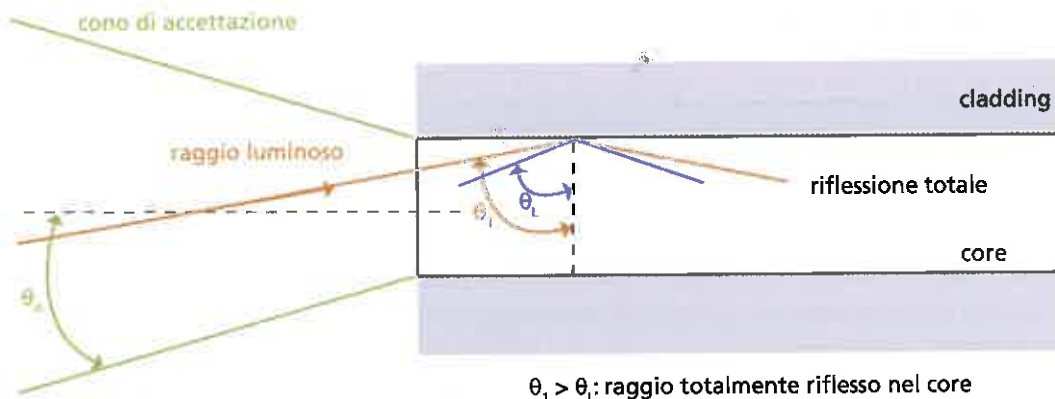
FIGURA 19 Core e cladding della fibra

FIGURA 20 Il fenomeno della riflessione totale



Affinché il raggio luminoso rimanga entro il core (riflessione totale), conservando così la sua energia, è necessario che esso venga introdotto con un certo angolo, chiamato **angolo di accettazione della fibra**. L'insieme di questi angoli forma una superficie tridimensionale chiamata **cono di accettazione** della fibra ottica. Un raggio luminoso introdotto nella fibra all'interno del cono di accettazione andrà a incidere l'interfaccia tra core e cladding con un angolo θ_1 maggiore dell'angolo limite (θ_L) e verrà totalmente riflesso (FIGURA 21).

FIGURA 21 Raggio luminoso dentro il cono di accettazione



$\theta_1 > \theta_L$: raggio totalmente riflesso nel core

Un raggio introdotto nella fibra al di fuori del cono di accettazione andrà a incidere l'interfaccia tra core e cladding con un angolo θ_2 inferiore all'angolo limite e quindi verrà rifratto e si disperderà nel cladding (FIGURA 22). Quindi, tanto è maggiore l'angolo di accettazione, tanto più alta è la copertura numerica della fibra, cioè la quantità di energia luminosa che si riesce a introdurre e mantenere confinata all'interno del core.

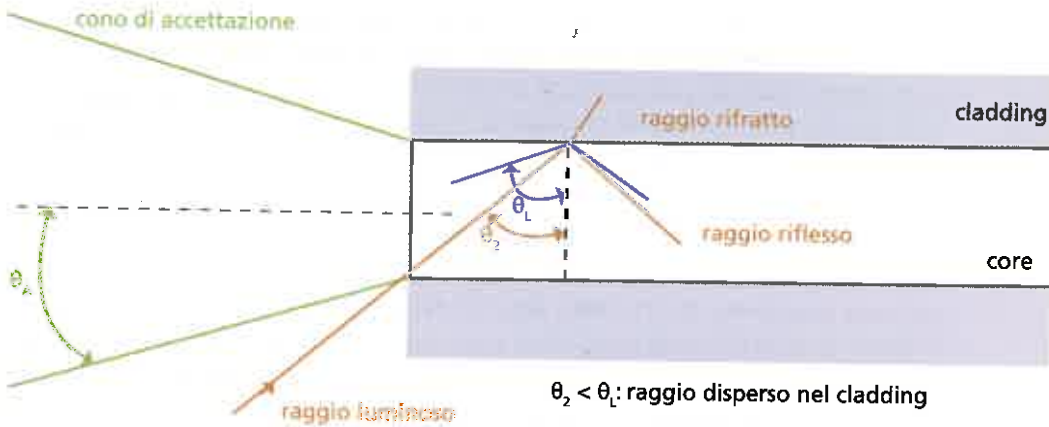


FIGURA 22 Raggio luminoso fuori dal cono di accettazione

5.3 Le fibre mono e multimodali e i connettori ottici

Come descritto in precedenza, i raggi di luce penetrano nella fibra solo se il loro angolo di incidenza rispetto all'asse centrale ha valore inferiore rispetto a un limite massimo. Se il diametro del core è largo abbastanza da avere più percorsi di luce, la fibra è detta **multimodale** (*multimode*); le fibre dette **monomodali** (*singlemode*) hanno il core molto più piccolo e la luce può avere solo un modo (da qui il nome) (FIGURA 23).

Caratteristiche delle fibre ottiche multimodali:

- hanno core di diametro 50 o 62,5 μm e cladding di diametro pari a 125 o 140 μm (di solito sulla fibra si indica la dimensione come: 50/125 μm oppure 62,5/125 μm);
- consentono una varietà di angoli di riflessione dei raggi;
- usano come sorgente di luce i diodi LED;
- arrivano fino a 2 km; solitamente sono di colore arancione.

Caratteristiche delle fibre ottiche monomodali:

- hanno core di diametro tra 5 e 10 μm e cladding di diametro pari a 125 μm (per esempio, 10/125 μm oppure 5/125 μm);
- data la ridotta dimensione del diametro si forza il passaggio di un raggio con un solo angolo, quello assiale;
- usano come sorgente di luce i raggi laser;
- arrivano fino a 3 km; solitamente sono di colore giallo.

I connettori a fibre ottiche sono composti da involucri (*plugs*) che presentano una ghiera adatta a proteggere e mantenere la fibra in posizione corretta, e un adattatore associato per allineare e accoppiare le fibre a formare un punto di connessione. Le prime ghiera di accoppiamento, chiamate più propriamente **ferule**, furono introdotte negli anni Settanta del secolo scorso ed erano costruite in bronzo o polimeri pla-

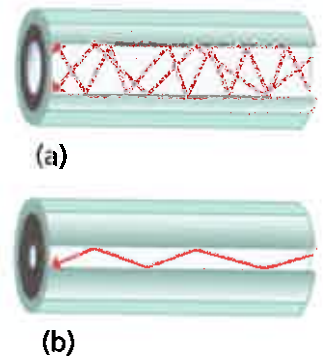


FIGURA 23 Fibra ottica multimodale (a) e monomodale (b)

stici. Solo verso la metà degli anni Ottanta, l'introduzione della ferula in ceramica migliorò l'allineamento e consentì una minore perdita di inserzione.

Secondo la Fiber Optic Association, in tutto ci sono sul mercato circa 100 diversi tipi di connettori.

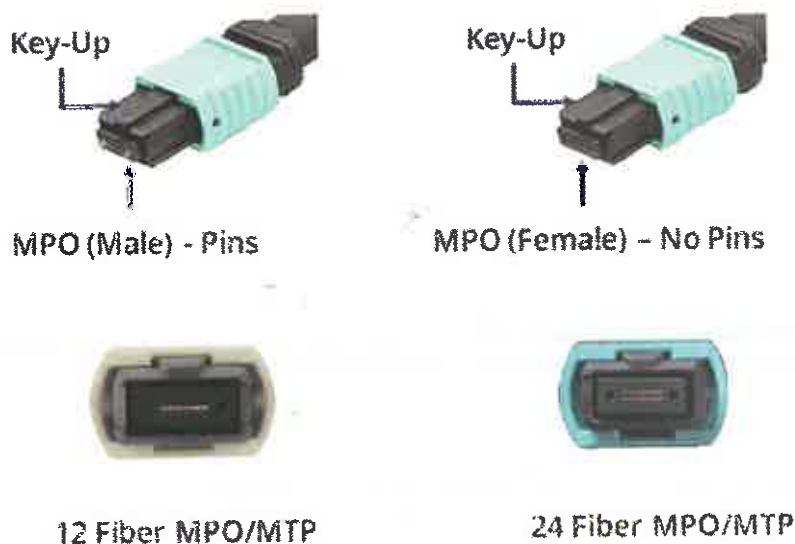
I tipi principali (FIGURE 24 e 25) sono:

- SC (Subscriber Connector) chiamato anche *Standard Connector* è stato sviluppato nei laboratori Nippon Telegraph and Telephone (NTT) a metà anni Ottanta. È un connettore affidabile, resistente ed economico. Impiega una ghiera ceramica per allineare perfettamente la fibra single mode contenuta al suo interno. È facilmente riconoscibile per la sua forma quadrata;
- FC (Ferrule Core) è stato il primo tipo di connettore a fare uso di una ghiera ceramica con un montaggio a vite arrotondata, costruita in nickel o acciaio inossidabile. Una volta che il connettore viene inserito, mantiene la sua posizione con estrema precisione. Con l'arrivo dei connettori SC e LC, il suo impiego è stato ridotto, in quanto questi connettori sono più veloci da connettere e più economici da produrre;
- ST (Straight Tip) è stato progettato da AT&T poco dopo l'arrivo del connettore FC. Utilizza un montaggio a baionetta, invece di un montaggio a vite. È impiegato nelle fibre multimode. Come per il connettore FC, il suo impiego è stato ridotto negli ultimi anni, anche perché non è pratico per fibre single mode e FTTH;
- LC (Lucent Connector) è considerato in assoluto il connettore più diffuso grazie alle dimensioni della ferula da 1,25 mm (la metà delle dimensioni dei connettori SC, ST e FC), bassa perdita di inserzione e affidabilità generale. Simile per dimensioni al connettore RJ45 in rame, risulta ideale per il cablaggio dei data center. È sempre più impiegato nel campo delle FTTH;
- MPO/MTP (Multi-fiber Push On/Mechanical Transfer Pull Off). In sistemi high-density è necessario utilizzare connettori di tipo MPO/MTP che alloggiavano da 12 a 96 fibre, riducendo notevolmente gli ingombri. Il riconoscimento delle fibre è garantito da una chiave (Key) presente alle estremità dei connettori. Gli MTP sono connettori MPO maggiormente performanti.



FIGURA 24 Connettori ottici SC, FC, ST e LC

FIGURA 25 Connettori ottici MPO/MTP



5.4 Il sistema di trasmissione ottico

Un sistema di trasmissione che utilizza la luce per trasportare il segnale si compone di tre elementi: un **trasmettitore** che converte il segnale elettrico in segnale luminoso, una **fibra ottica** attraverso la quale transita il segnale luminoso e un **ricevitore** che trasforma il segnale luminoso in segnale elettrico.

■ TRASMETTITORE

Per trasmettere si usano **LED** (Infrared Light Emitting Diode) o **laser** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Si tratta di sorgenti di luce infrarossa:

- i **LED** sono meno costosi, ma trasmettono su distanze più brevi e il raggio emesso tende ad allargarsi rapidamente; sono tipicamente usati nelle fibre multimodali;
- i **laser** producono un sottilissimo e intenso raggio di luce infrarossa con lunghezza d'onda maggiore rispetto ai LED; il raggio risulta più potente e preciso, di conseguenza si possono raggiungere maggiori distanze; sono solitamente usati nelle fibre monomodali.

■ RICEVITORE

In genere è un **fotodiodo PIN**, che trasforma l'impulso di luce ricevuto nel corrispondente impulso elettrico.

All'interno delle fibre non si propagano particelle cariche (come gli elettroni per la corrente elettrica), quindi le fibre non risentono del rumore elettrico (disturbi dovuti prevalentemente al passaggio di corrente in altri conduttori) e, di conseguenza, per i mezzi trasmissivi ottici non esiste il problema della diafonia (*cross-talk*).

L'attenuazione, pur ridottissima per distanze di alcuni chilometri, è comunque presente anche nei mezzi trasmissivi ottici e dipende dalla qualità della fibra e dagli elementi di interconnessione utilizzati.

Infatti possono essere presenti nel vetro delle disomogeneità che causano riflessioni e dispersione del raggio luminoso (*scattering*) oppure delle impurità chimiche che provocano l'assorbimento di parte dell'energia del segnale trasformandola in calore (*absorption*). La dispersione e l'assorbimento del segnale luminoso influenzano le distanze raggiungibili con una fibra ottica.

Infine, una causa frequente di eccessiva attenuazione è la non corretta installazione: la fibra non va tirata o posizionata con curve troppo strette (è necessario il rispetto delle specifiche di raggio minimo di curvatura fornite dal costruttore della fibra), né piegata o schiacciata. Per questo motivo, spesso la fibra è messa in una condotta metallica (canalina).

•previdinota

I fotodiodi PIN sono così chiamati perché includono un diodo PIN, cioè un diodo con una parte di semiconduttore P, una parte di semiconduttore I (intrinseco = "non drogato") e una parte di semiconduttore N (estrinseco = "drogato")

FISSA LE CONOSCENZE

- Qual è il principio fisico su cui si basa la trasmissione con le fibre ottiche?
- Da che cosa è formata una fibra ottica?
- Che differenza c'è tra fibre multimodali e monomodali?
- Descrivi quali fattori influiscono sull'attenuazione nelle fibre ottiche.

7 GLI APPARATI DI RETE

7.1 La scheda di rete

FIGURA 34 NIC PC Card PCMCIA



FIGURA 35 NIC USB

La scheda di rete (NIC, Network Interface Card) è un circuito stampato che collega l'host al mezzo trasmissivo (cioè il PC al cavo). È chiamata anche **LAN adapter**. Solitamente la NIC si trova integrata nella scheda madre del computer. Nel caso in cui si volesse installare una seconda interfaccia di rete (per esempio, perché ha prestazioni migliori di quella integrata) si può ricorrere a una NIC in formato PCIe, per i computer desktop, o in formato PC Card PCMCIA (FIGURA 34) o USB (FIGURA 35) per i computer notebook.

Le schede di rete sono anche note con il nome di **schede Ethernet** poiché forniscono una porta standard Ethernet per il collegamento alla rete tramite connettore RJ45 e cavo di rete in rame di tipo doppiino telefonico (twisted-pair).

Anche le schede di rete possono supportare diverse velocità di trasmissione come i cavi. La scheda Ethernet standard prevede 10Mbps, la **Fast Ethernet 100Mbps**, la **Gigabit Ethernet 1000Mbps (1Gbps)** e la **10 Gigabit Ethernet 10Gbps** (FIGURA 36). Lo standard Gigabit Ethernet è disponibile anche per cavi in fibra (FIGURA 37).

Prendinota

La PC Card **PCMCIA** è uno standard sviluppato dalla Personal Computer Memory Card International Association al fine di permettere l'espansione delle funzionalità dei dispositivi portatili.

Prendinota

Forse a qualcuno può sembrare impossibile che vi siano sufficienti indirizzi MAC diversi per tutti pensando al gran numero di PC sparsi per uffici e abitazioni private.

In realtà con 12 cifre esadecimali, pari a 48 bit, è possibile indirizzare 2^{48} schede di rete diverse. Ricordando che

$$2^{10} \approx 10^3 \quad 2^{20} \approx 10^6$$

$$2^{30} \approx 10^9 \quad \text{e} \quad 2^{40} \approx 10^{12}$$

risulta che

$$2^{48} = (2^8 \cdot 10^{12}) \approx (256 \cdot 10^{12})$$

cioè circa 256.000 miliardi. Sulla Terra siamo circa 7 miliardi e mezzo: gli indirizzi MAC sono sufficienti!

FIGURA 36 NIC PCIe 2 porte 10 gigabit ETH rame



FIGURA 37 NIC PCIe Gigabit ETH fibra

Le schede di rete sono caratterizzate da un indirizzo fisico univoco chiamato **MAC address** (Media Access Control) costituito da 12 cifre esadecimali (6 byte) come mostrato in FIGURA 38.

I primi tre ottetti sono detti **OUI** (Organization Unique Identifier), in quanto identificano l'azienda produttrice della scheda, le altre tre coppie sono detti **UAA** (Universally Administered Address) e rappresentano il numero progressivo cronologico di produzione della scheda da parte di una determinata azienda (numero seriale).

La caratteristica fondamentale dell'indirizzo MAC è di essere univoco: non esistono due indirizzi MAC uguali in tutto il pianeta cioè non ci sono due schede di rete (quindi due host) con lo stesso MAC.

MAC Address (Media Access Control Address)

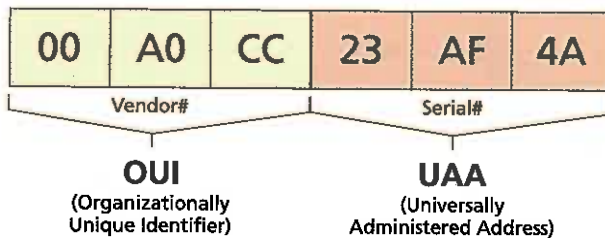


FIGURA 38 MAC Address

7.2 L'hub

L'hub ha come compito principale quello di ricevere le informazioni dai vari nodi presenti sulla rete e di inoltrarle agli altri nodi collegati alle sue porte. È un apparato presente sul mercato con un numero molto variabile di porte standard Ethernet (FIGURA 39), essendo utilizzabile in una rete domestica come in una LAN aziendale per collegare le NIC dei singoli computer a un centro stella di rete (topologia a stella o stella estesa).

L'hub non è in grado di verificare quale sia il reale destinatario di tali dati, per cui li invia su tutte le porte tranne quella da cui sono arrivati (modalità **broadcast**). Saranno gli stessi dispositivi riceventi a valutare se i dati inviati dall'hub siano o meno di loro pertinenza e, in caso contrario, a rifiutarli senza processarli.

Tale operazione, oltre a provocare un traffico inutile sulla rete, crea anche incertezze sulla sicurezza dei dati stessi. Bisogna infatti considerare che tutte le informazioni arriveranno a tutti i dispositivi collegati anche quelli a cui non sono realmente destinate.



FIGURA 39 Hub a 16 porte Ethernet

Un altro compito tipico degli hub è quello di **repeater multiporta**. Il repeater è un apparato ripetitore che permette di ritrasmettere un segnale su una rete.

Ricordiamo che un segnale che transita su un supporto fisico tende ad attenuarsi dopo una certa distanza, oltre a essere distorto a causa del rumore, quindi può essere necessario rigenerarlo.

Un hub con funzioni di repeater quando riceve un segnale, lo rigenera riportandolo al livello originale, lo risincronizza e lo inoltra estendendo così la lunghezza del canale trasmissivo su LAN omogenee.

Per una rete LAN a 10/100Mbps Ethernet vale la regola dei 4 ripetitori, secondo la quale tra 2 host non possono esserci più di 4 ripetitori. Questo per evitare la latenza, cioè il ritardo di un segnale nell'arrivare a destinazione. Una latenza troppo alta rende la rete meno efficiente.

Ci sono 3 tipi di hub:

- **passivi**: servono solo come punto di connessione fisica, non vedono (non leggono) i dati che passano. Essendo passivi non necessitano di alimentazione elettrica;
- **attivi**: richiedono alimentazione elettrica per amplificare e ripulire i segnali che arrivano e trasmetterli sulle altre porte (funzione di repeater);
- **intelligenti**: chiamati anche *smart hub*, funzionano come gli hub attivi ma al loro interno hanno un microprocessore che fornisce informazioni di diagnostica. Sono più costosi degli hub attivi ma sono utili nelle situazioni di *troubleshooting* (ricerca del guasto).

I dispositivi collegati a un hub ricevono tutto il traffico che passa attraverso di esso (**broadcast**): più dispositivi ci sono e più facile sarà avere **collisioni**. Una collisione si ha quando due dispositivi trasmettono nello stesso istante; ciò causa la distruzione dei dati, che dovranno essere ritrasmessi provocando evidenti ritardi.

Per questo motivo gli hub sono adatti a reti di dimensioni ridotte o con traffico limitato.

7.3 Lo switch e il bridge

Lo **switch** è un apparato in grado di analizzare il contenuto di un pacchetto di dati ricevuto e di inoltrarlo solo al reale destinatario, riducendo in tal modo il traffico superfluo nella rete e le possibili collisioni che invece crea l'hub.

Uno switch permette che avvengano più comunicazioni in parallelo, infatti durante la comunicazione collega solo le due porte interessate, rendendo possibili più scambi contemporaneamente con conseguente aumento della bandwidth totale.

Gli switch attuali offrono la funzionalità di autoconfigurazione, cioè sono in grado di riconoscere dinamicamente il dispositivo all'altro capo del cavo, adeguando di conseguenza il collegamento interno per garantire una corretta comunicazione. In questo modo non è più necessario usare cavi incrociati (crossover) e si possono usare sempre cavi dritti (straight-through), in quanto lo switch configura in automatico la porta in modo diverso se dall'altra parte del cavo c'è un altro switch oppure un PC. Esistono modelli di switch di tipo "ibrido" ossia con porte che usano differenti velocità, per esempio porte 10/100 Mbps e porte 1.000 Mbps. Nella FIGURA 40 è mostrato uno switch con 48 porte 10/100 Mbps e 2 porte Gigabit.

Gli switch sono associati a topologie a stella e stella estesa, dove svolgono funzioni di centro stella e sono adatti a reti di qualsiasi dimensione e con un elevato livello di traffico.

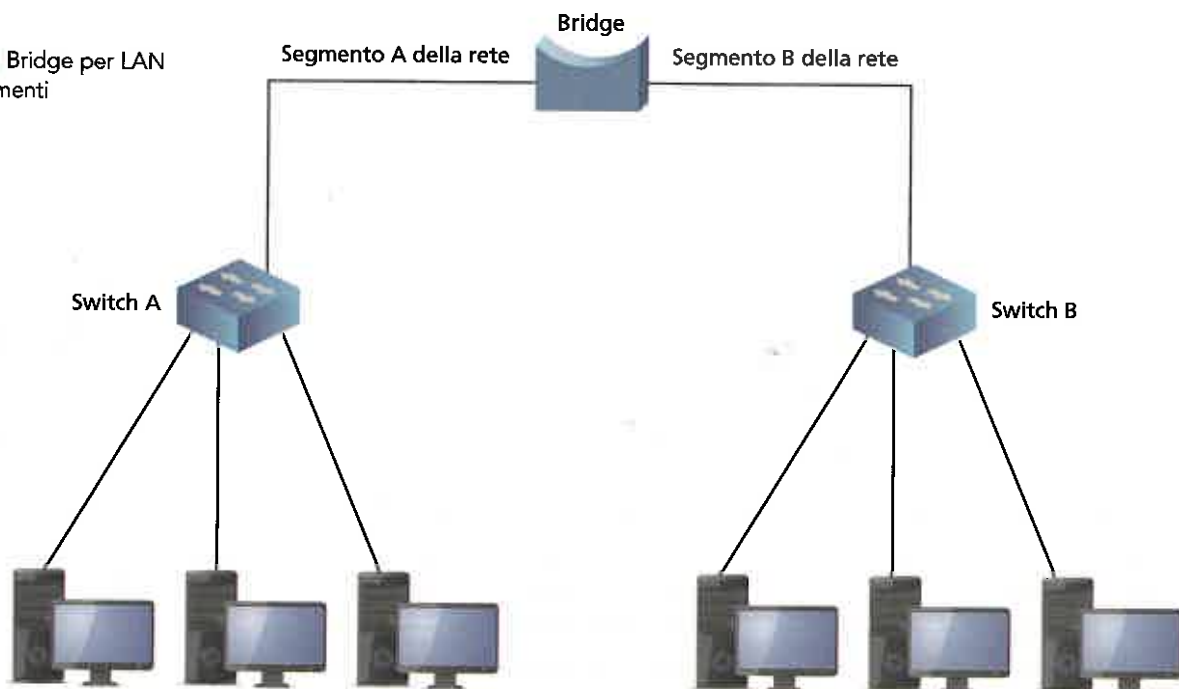
Il **bridge** è un apparato simile allo switch ma con meno porte (anche solo 2). Mentre lo switch collega direttamente gli host a un segmento di rete, il bridge serve a collegare tra loro due o più segmenti di rete (FIGURA 41).

Il compito del bridge è quindi anche quello di repeater grazie alla capacità di inoltrare i dati verso un altro segmento di rete.

FIGURA 40 Switch a 50 porte Ethernet



FIGURA 41 Bridge per LAN con 2 segmenti



I bridge permettono quindi la suddivisione di grosse reti in sottoreti in modo da facilitare la gestione e il controllo delle stesse, oppure permettono di creare delle macroreti partendo da reti locali già esistenti. È possibile in questo modo creare delle reti dipartimentali che verranno poi inglobate nell'unica rete aziendale.

7.4 Il router

Un **router** è un dispositivo hardware che si occupa di far comunicare tra loro reti differenti ed eterogenee instradando i pacchetti nella giusta direzione. Il router, in particolare, è il dispositivo utilizzato per permettere l'accesso di tutti i computer di una rete LAN a un'altra rete (per esempio a Internet).

Reti diverse parlano "linguaggi" diversi, quindi a livello di trasmissione fisica, di accesso e di controllo, per collegare tra loro due reti non è sufficiente metterle in comunicazione tramite un bridge o uno switch. È necessario invece che tra una rete e l'altra venga posto un apposito dispositivo, il router, che parli entrambi i protocolli delle due reti e provveda a leggere, tradurre e rispedire (*store and forward*) i dati che lo attraversano (FIGURA 42 e FIGURA 43).

Tipicamente i router che vengono impiegati nelle reti locali per la connessione a Internet integrano al loro interno le funzioni di modem, di conseguenza in rete viene installato un unico apparato con funzionalità di modem/router.

Il router, quindi, è connesso a due o più reti (FIGURA 44) e si occupa di indirizzare i messaggi decidendo quale percorso far compiere ai dati sulla base delle informazioni



FIGURA 42 Router per MAN-WAN



FIGURA 43 Router aziendale

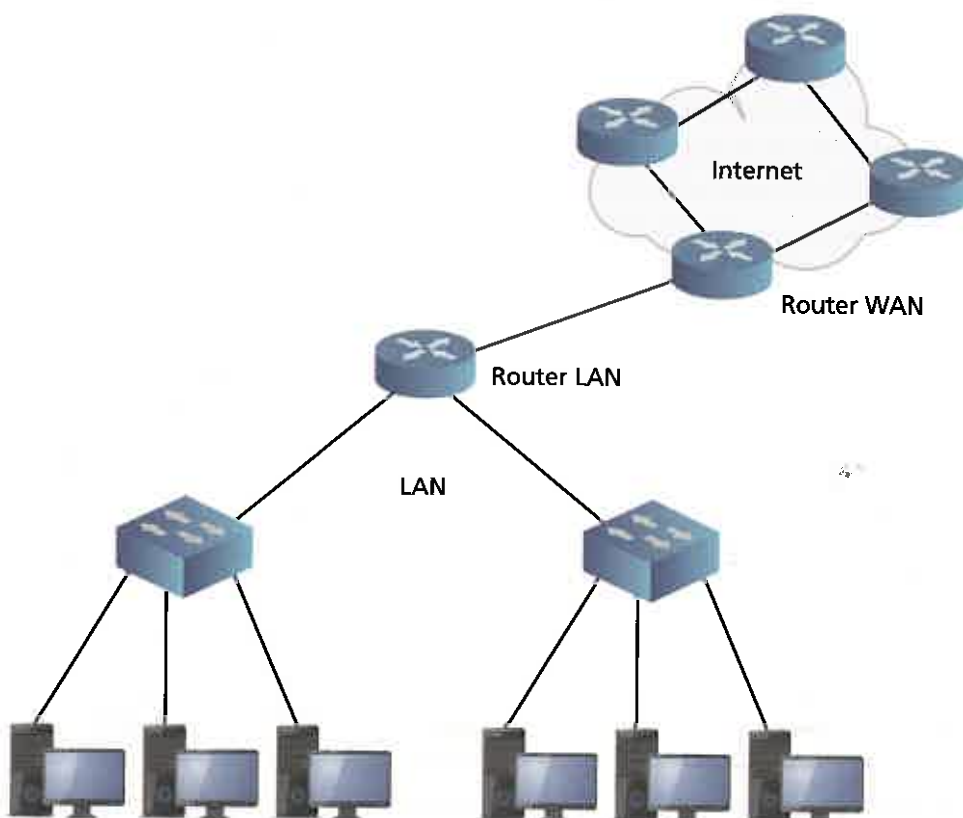


FIGURA 44 Router per LAN e per WAN

dello stato delle reti alle quali è collegato, cioè determinando il successivo punto della rete a cui inoltrare il pacchetto di dati ricevuto. In questo modo il router reindirizza i messaggi che vengono trasmessi tra reti di computer perché vengano instradati fino a raggiungere la destinazione finale.

Le due attività principali di un router sono dunque:

- scegliere il percorso migliore (**routing**);
- mettere i pacchetti sull'interfaccia di uscita corretta (**forwarding**).

Anche se un router può essere usato per segmentare una rete locale, il suo principale utilizzo è come dispositivo per reti geografiche.

Il router, essendo un **computer dedicato al routing** (instradamento dei pacchetti), necessita di un Sistema Operativo e dal punto di vista hardware dev'essere dotato di almeno due schede di rete e di:

- **microprocessore** con CPU specializzata nelle elaborazioni richieste;
- **RAM**: memoria volatile usata per memorizzare la tabella di routing, il file di configurazione, i pacchetti in attesa. La RAM viene condivisa come memoria del processore e memoria di input/output (I/O) per i pacchetti in attesa e in genere è dinamica (DRAM);
- **flash**: memoria di tipo read-only cancellabile e riprogrammabile, è usata per contenere il Sistema Operativo e mantiene il suo contenuto anche se non c'è alimentazione (a differenza della RAM);
- **NVRAM (Non Volatile RAM)**: è usata per memorizzare il file di configurazione di startup (quello che viene eseguito all'accensione del router); come la memoria flash, mantiene il suo contenuto anche se non c'è alimentazione;
- **bus**: la maggior parte dei router contiene un System bus e un CPU bus. Il System bus si usa per le comunicazioni tra la CPU e le interfacce, mentre il CPU bus è usato per accedere alle memorie;
- **ROM**: è una memoria non volatile usata per contenere i programmi di diagnostica allo startup dell'hardware;
- **interfacce**: sono le schede di rete del router usate per le connessioni verso l'esterno; generalmente sono di 3 tipi: LAN, WAN, gestionale. Quelle LAN in genere sono di tipo Ethernet o Token Ring, quelle WAN possono essere seriali o ISDN. La porta gestionale (detta anche console o AUX) è usata per la configurazione del router.

Un router con almeno due schede di rete di cui una verso la LAN e una verso la WAN può essere configurato come **gateway** e, attraverso esso, si rende condiviso l'accesso a Internet per tutti i computer della rete locale. L'interfaccia del router che funziona da gateway LAN diventa la "via di uscita" degli host dalla LAN stessa.

7.5 L'Access Point

Gli AP (Access Point, FIGURA 45) hanno un doppio scopo: sono dei bridge che collegano la parte cablata (wired) della LAN con la parte wireless e consentono ai Wireless Terminal (dispositivi wireless quali: smartphone, tablet, netbook, ecc.) di collegarsi alla rete (agisce quindi da gateway). L'utilizzo degli AP è diventato indispensabile vista la presenza sempre maggiore di dispositivi mobili in una rete.



FIGURA 45 Access Point

Nelle reti domestiche di solito basta un AP che funge anche da router consentendo di collegarsi a Internet. Nelle reti aziendali invece più AP vengono cablati per creare un vero e proprio sistema di distribuzione wireless in cui ogni AP è una **base station** a cui i dispositivi wireless si collegano. Approfondiremo nel corso del quarto anno il principale standard per il wireless: l'IEEE 802.11 che ha dato origine al Wi-Fi sulle bande a 2.4 GHz e a 5 GHz.

La configurazione di un AP in una rete aziendale o domestica prevede l'impostazione di una serie di parametri. I principali sono i seguenti.

- **SSID (Service Set Identifier):** serve ad assegnare un nome alla rete wireless affinché gli utenti possano identificarla. L'AP può essere configurato per trasmettere in broadcast e in continuazione l'SSID attraverso un frame periodico detto **beacon**. In questo modo, i dispositivi wireless sono in grado di rilevare l'elenco delle reti wireless esistenti nel loro raggio d'azione.
- **Potenza:** la normativa ETS 300-328 dell'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) impone di non irradiare segnali con una EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), cioè la potenza che effettivamente è emessa dall'antenna in ogni direzione, superiore a 100mW per la banda a 2.4 GHz e 1 W per la banda a 5 GHz.
- **Canale:** poiché le bande sono divise in canali da alcuni MHz, si può impostare l'AP affinché lavori su uno qualsiasi dei canali disponibili. AP vicini non devono usare lo stesso canale per evitare interferenze.
- **Crittografia:** lo standard di crittografia e di autenticazione è la WEP (Wired Equivalent Privacy). È necessario attivarla come livello minimo di sicurezza. Si deve assegnare una chiave di crittografia a ogni utente perché possa collegarsi all'Access Point con dati crittografati. Le chiavi standard sono da 10 cifre esadecimali (40 bit) o da 26 cifre esadecimali (104 bit) corrispondenti alla crittografia rispettivamente a 64 o 128 bit per via dell'aggiunta, in entrambi i casi, di un vettore d'inizializzazione a 24 bit.

sostituito da
WPA
↓
WPA 2

FISSA LE CONOSCENZE

- A che cosa serve la scheda di rete (NIC)?
- Che cosa è in grado di fare un hub "intelligente"?
- Che differenza c'è tra switch e bridge?
- Quali compiti principali svolge un router?
- Quali sono le caratteristiche hardware di un router?
- Che cos'è e a che cosa serve l'SSID?



Case study
Installazione di un
modem ADSL