

## 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.



## 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).

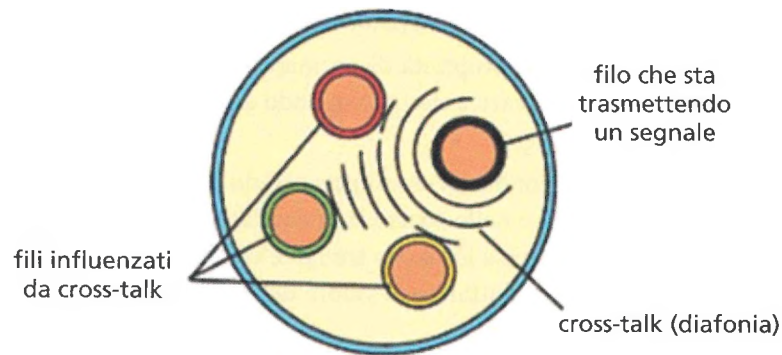
Le proprietà elettriche di un cavo sono:

- **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  $-25^{\circ}\text{C}$  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.

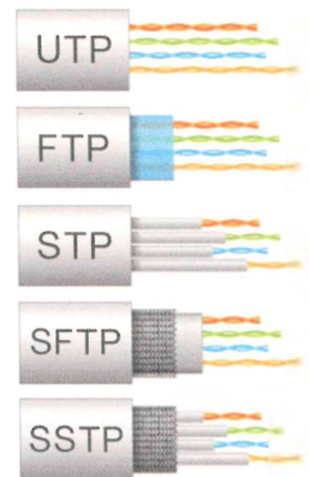
I cavi twisted-pair si dividono a loro volta in **categorie** in base al numero di intrecci, alla velocità di trasmissione, alla massima larghezza di banda e alla massima distanza raggiungibile. Le principali categorie oggi utilizzate nella cablatura delle reti locali con standard Ethernet sono elencate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

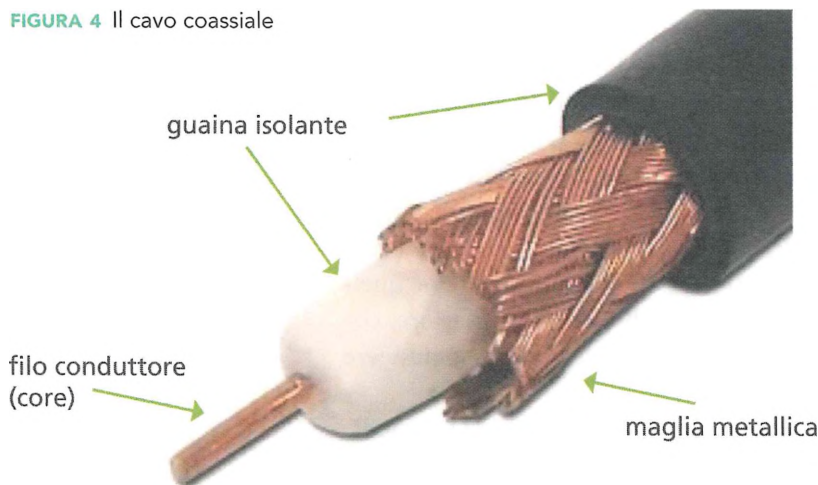


## 1.4 Il cavo coassiale

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?

## 2 LO STANDARD PER I CAVI TWISTED-PAIR

Nel 1991 due organizzazioni statunitensi, TIA ed EIA (Telecommunications Industry Association ed Electronic Industries Alliance), definirono uno standard per i cavi twisted-pair chiamato **TIA/EIA 568**. Con il passare degli anni, queste organizzazioni hanno continuato a migliorare lo standard tenendo conto dell'evoluzione dei mezzi trasmissivi e arrivando a sviluppare due schemi di cablaggio per i cavi twisted-pair: T568A e T568B (FIGURA 6). L'aggiornamento rilasciato nell'anno 2000 sostituisce tutti quelli precedenti e specifica che i cavi di categoria 5e sono da considerarsi come preferenziali, poiché garantiscono il limite inferiore per prestazioni accettabili.

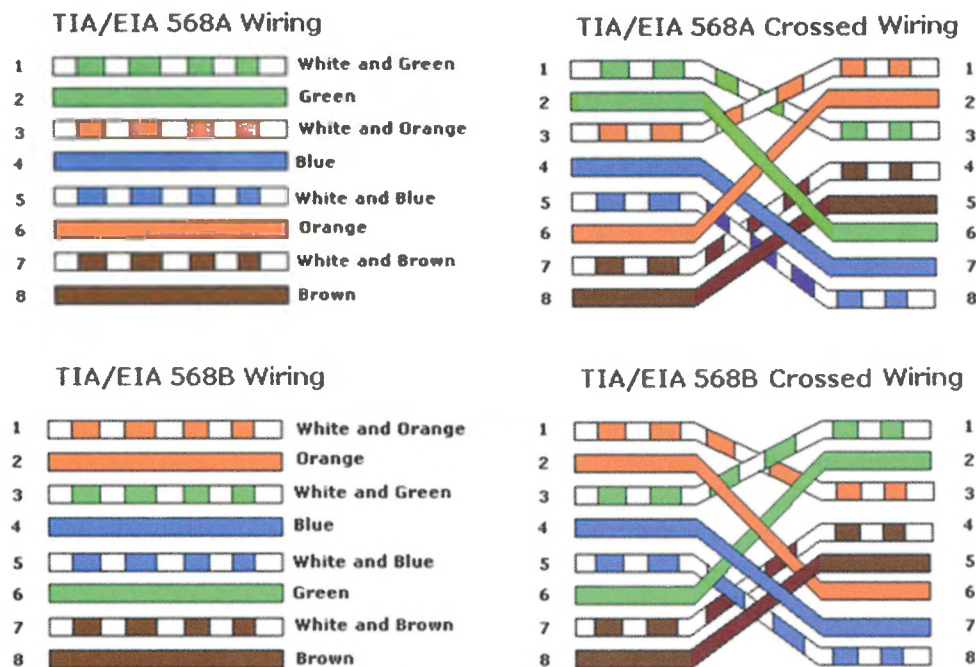


FIGURA 6 Schemi di cablaggio per i cavi twisted-pair: T568A e T568B

I cavi di ognuno dei due standard possono essere realizzati con due schemi diversi:

- **dritto** (straight-through): permette il collegamento tra la porta di un hub o di uno switch e un PC, cioè tra dispositivi di tipo diverso;
- **incrociato** (crossover): permette il collegamento tra le porte di hub o switch, oppure tra due computer, cioè tra dispositivi dello stesso tipo.

Gli switch attuali sono in grado di rilevare e adattarsi automaticamente al tipo di cavo in uso: incrociato o dritto. Alcuni vecchi modelli di switch non sono dotati della capacità di rilevamento automatico del tipo di cavo. Per questi tipi di switch, si utilizza un cavo dritto per collegare un computer o un router allo switch mentre si utilizza un cavo incrociato per collegare tra loro due switch. In linea di massima, per impianti nuovi è da preferire lo schema T568A, mentre nell'estendere reti già esistenti, bisogna rimanere coerenti con lo schema utilizzato.

Alla fine di questa unità, in Lavora per competenze, vedremo come realizzare un cavo di rete twisted-pair di tipo UDP.

### Come si può capire se un cavo twisted-pair è straight-through o crossover?

Si devono prendere le due estremità del cavo, mettendole con l'aletta di bloccaggio del connettore RJ45 verso il basso, per vedere bene i colori, e la punta verso l'esterno, in questo modo il PIN 1 è quello più a sinistra. A questo punto, come mostrato in FIGURA 7:

- nello straight-through (dritto) i colori dei fili sono nello stesso ordine da entrambe le estremità del cavo;
- nel crossover (incrociato) cambiano i PIN 1 – 2 – 3 – 6 del connettore perché i fili di ricezione e trasmissione sono invertiti.

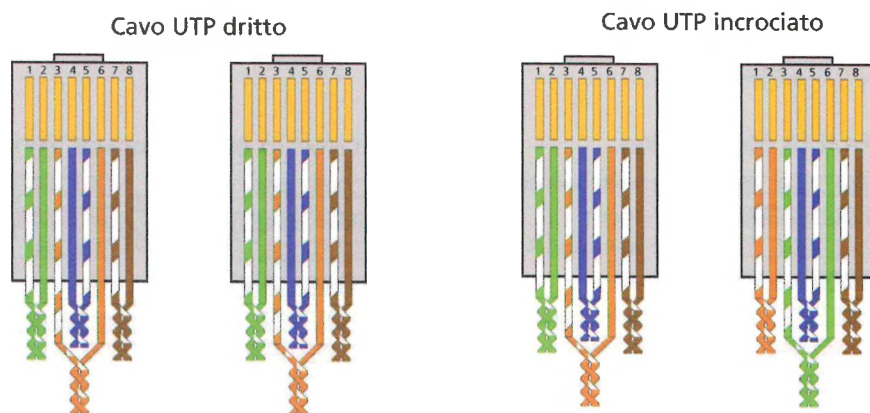


FIGURA 7 Vista delle due estremità dell'UTP dritto e incrociato

Come abbiamo detto, i connettori che vengono usati sono **RJ45** in un socket **8P8C** (Figura 3). Si tratta di un connettore trasparente con 8 PIN, 4 dei quali, detti "tip", portano tensione, mentre gli altri 4, detti "ring", sono collegati a massa. Il connettore è sempre maschio, le femmine sono o nelle prese a muro (wall outlet) o nei patch panel che servono per le giunzioni dei cavi.

Lo standard americano TIA/EIA 568 non è l'unico standard riconosciuto a livello internazionale per i sistemi di cablaggio di tipo twisted-pair, ne esiste un'altro chiamato ISO/IEC 11801 nel quale la distinzione tra i vari cavi e sistemi di cablaggio non si fa secondo le categorie ma secondo le classi, numerate con lettere crescenti (per esempio la categoria 6 corrisponde alla classe F). ISO/IEC 11801 (a partire dal 1995) utilizza una terminologia in buona parte differente per identificare gli stessi elementi definiti da TIA/EIA 568 e inoltre, più importante nella sostanza, specifica alcuni parametri relativi alle prestazioni con limiti diversi (e meno restrittivi) rispetto allo standard americano.

L'Unità 7 di questo volume sarà interamente dedicata agli standard per il cablaggio strutturato degli edifici.

#### FISSA LE CONOSCENZE

- Quali standard si devono seguire per la realizzazione di un cavo UTP?
- Che differenza c'è tra un cavo straight-through e un cavo crossover?
- Come si chiama il connettore usato per i cavi UTP?
- Se devo collegare un PC desktop con uno switch che tipo di cavo devo usare?
- Se devo collegare un PC desktop con un router che tipo di cavo devo usare?

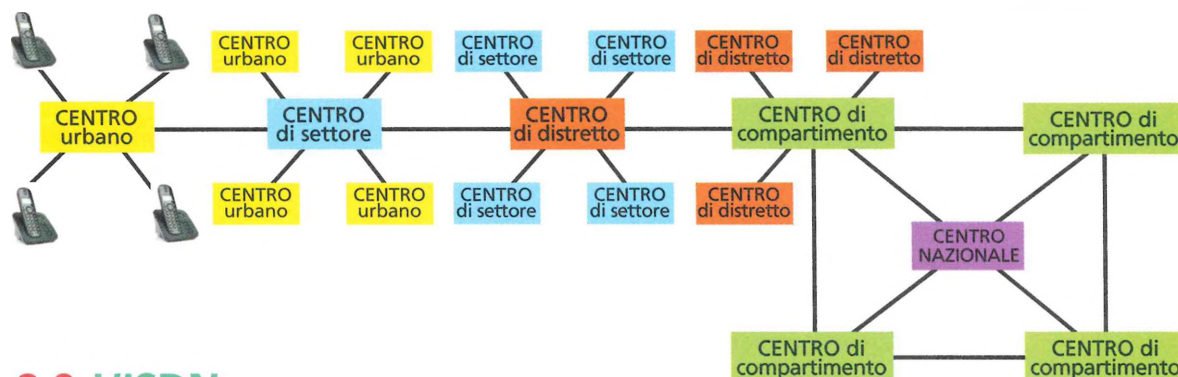


## 3 LA TRASMISSIONE SU CAVO: PSTN, ISDN, xDSL E FTTx

### 3.1 La PSTN

Il più semplice tipo di collegamento, ma anche il meno efficiente, utilizza la **PSTN** (**Public Switched Telephone Network**), cioè la rete analogica costituita dalle comuni linee telefoniche. In realtà il segnale è analogico per l'*ultimo miglio*, dal modem dell'utente al più vicino centro di rete urbana, dove viaggia sul classico doppino telefonico in rame. Poi il segnale analogico con banda fino a 4 KHz (*banda vocale*) viene convertito in un segnale numerico (digitale) della velocità base di 64 Kbps. A questo punto i dati proseguono il loro viaggio verso la destinazione attraversando la rete telefonica pubblica costituita da una serie gerarchica di centraline di commutazione in tecnologia digitale (esistono ancora alcune centraline elettroniche con tecnologia analogica, si sono estinte le centraline elettromeccaniche) organizzata a livelli (FIGURA 8).

FIGURA 8 Organizzazione gerarchica della PSTN



### 3.2 L'ISDN

L'**ISDN** (**Integrated Services Digital Network**) è una tecnologia digitale che consente di trasmettere voce, immagini e dati su linee telefoniche digitali utilizzando il normale doppino telefonico.

L'hardware ISDN che si trova sul lato utente consiste di:

- una borchia ISDN chiamata **NT1** (Network Termination) posta nel punto in cui arriva la linea telefonica. L'NT1 si occupa di mantenere le caratteristiche elettriche e di alimentazione dei dispositivi collegati sul bus locale e di gestire l'indirizzamento fino a un massimo di 8 dispositivi (computer, telefoni, fax);
- un apparato **NT2** nella configurazione per le aziende che occorre frapporre tra l'NT1 e i dispositivi collegati. L'NT2 è un apparato intelligente di interfacciamento, responsabile, dal lato utente, del collegamento alla rete, con compiti di multiplexing e commutazione per smistare il traffico nella rete locale; riassume i compiti tipici del router-switch delle LAN;
- un apparato **TA** (Terminal Adapter), noto anche impropriamente come modem ISDN, che ha il compito di adattare la velocità di trasmissione tra il canale ISDN e il dispositivo collegato. Per esempio, un PC che trasmette sulla seriale a 19,2 Kbps con un canale ISDN standard da 64 Kbps.

La tecnologia ISDN prevede due servizi standard: N-ISDN (Narrowband-ISDN) e B-ISDN (Broadband-ISDN) cioè rispettivamente a banda stretta e a banda larga.



## #preindinota

La BRI viene principalmente utilizzata nelle abitazioni private potendo sfruttare i due canali B uno per il telefono e l'altro per la navigazione Internet in contemporanea (cosa che il modem analogico non consente).

N-ISDN supporta due tipi di accessi alla rete:

- **BRI** (Basic Rate Interface): costituito da due canali B (*Bearer*) da 64 Kbps ciascuno più un canale D (*Data* o *Delta*) da 16 Kbps. I canali B possono anche essere aggregati in un unico canale da 128 Kbps per applicazioni pesanti come la videoconferenza. Il canale D svolge funzioni di segnalazione e controllo ma è anche utilizzabile come canale criptato per il trasferimento di dati sensibili, per esempio la validazione delle carte di credito;
- **PRI** (Primary Rate Interface): costituito in Europa da 30 canali B più un canale D, negli USA e in Giappone da 23 canali B più un canale D. La PRI viene utilizzata in ambiti aziendali con possibilità di aggregare più canali avvicinandosi al concetto di banda larga. Il canale D in questa configurazione viene usato esclusivamente per la segnalazione e il controllo.

B-ISDN va oltre il servizio PRI realizzando il primo vero esempio di banda larga.

## IN ENGLISH PLEASE

ITU (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION)

CCITT (THE INTERNATIONAL TELEGRAPH AND TELEPHONE CONSULTATIVE COMMITTEE)

ISDN (INTEGRATED SERVICES DIGITAL NETWORK)

GENERAL STRUCTURE AND SERVICE CAPABILITIES Recommendation I.121

Geneva, 1991

## BROADBAND ASPECTS OF ISDN

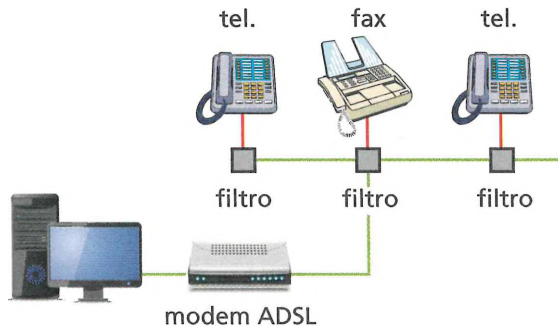
## 4 Evolution

4.1 B-ISDN will be based on the concepts developed for ISDN and may evolve by progressively incorporating directly into the network additional B-ISDN functions enabling new and advanced services.

4.2 The deployment of B-ISDN may require a period of time extending over one, or more, decade(s) as operators seek to find the most economic means of evolving to the B-ISDN. These evolutionary phases (e.g. deployment of metropolitan area networks, passive optical networks, local area networks and also satellite based networks) will need to be harmonized with the overall B-ISDN concepts ensuring the continued support of existing interfaces and services and be eventually integrated with the B-ISDN. In these evolutionary phases appropriate arrangements must be developed for the interworking of services on B-ISDN and services on other networks.

## 3.3 La xDSL

Tra le molte tecniche xDSL esistenti, quella che si è diffusa in Italia è l'ADSL. L'**ADSL** (**Asymmetric Digital Subscriber Line**) è anch'essa una tecnologia che consente di trasmettere voce, immagini e dati su linee telefoniche digitali utilizzando il normale doppio telefonico. Garantisce un accesso a Internet ad alta velocità cioè con la vera e propria banda larga. A livello di apparati necessita di un modem DSL o più precisamente un **ripartitore** che provvede a suddividere il segnale in uscita dal PC in una sequenza opportuna di frequenze. Nel caso dell'ADSL occorre inoltre inserire un filtro passa basso per la fonia su ogni presa telefonica per avere una trasmissione non disturbata (FIGURA 9).



**FIGURA 9** Esempio di collegamento ADSL di un PC

I filtri possono essere tripolari o RJ11 a seconda della presa telefonica a cui dovranno essere collegati. Ciascun filtro presenta solitamente due uscite: una è filtrata e va al telefono o all'apparecchiatura che utilizza la normale linea telefonica tripolare o RJ11, l'altra è denominata ADSL, non è filtrata e va al modem ADSL in formato RJ11 (**FIGURA 10**).



**FIGURA 10** Filtro RJ11 (a sinistra) e filtro tripolare (a destra)

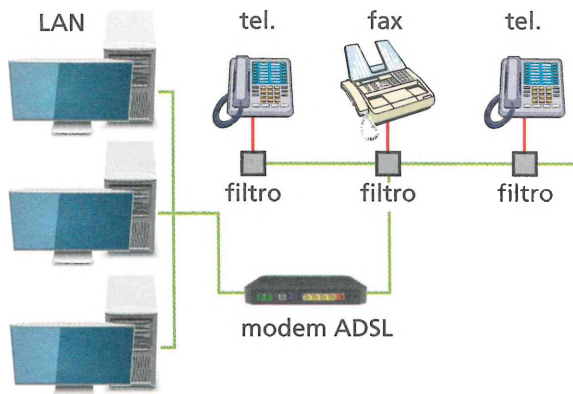
Il collegamento cablatto tra il modem ADSL e il PC può avvenire attraverso la porta USB o la scheda di rete a seconda dell'interfaccia prevista sul modem.

Se invece si deve collegare a Internet via ADSL un gruppo PC (**FIGURA 11**) servirà un modem con un numero sufficiente di porte RJ45 o l'aggiunta di uno switch.

Si vanno inoltre sempre più diffondendo i modem-router wireless sia per uso privato che per le reti aziendali.

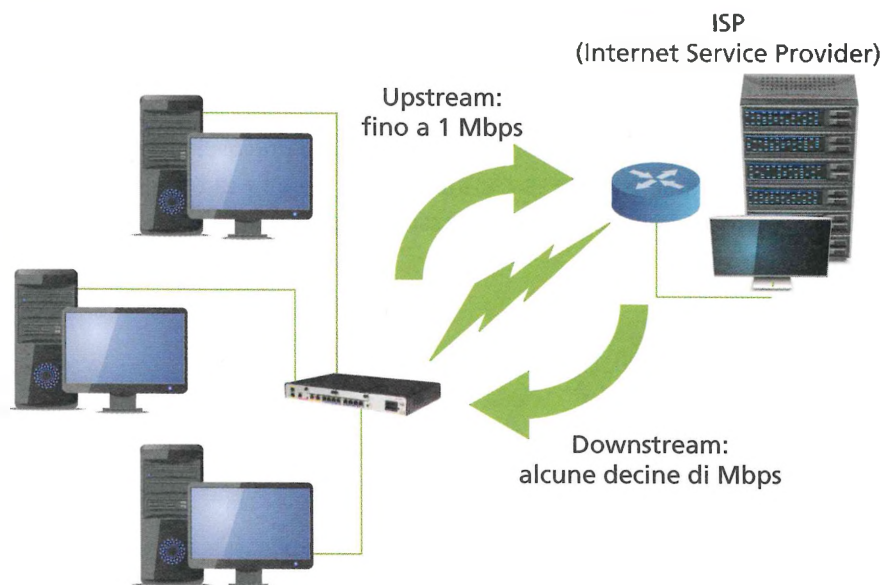
Alcune delle principali tecnologie **xDSL** sono:

- ADSL (Asymmetric DSL);
- HDSL (High Big Rate DSL);
- SDSL (Symmetric DSL);
- VDSL (Very high-bit-rate DSL).



**FIGURA 11** Esempio di collegamento ADSL di un gruppo di PC

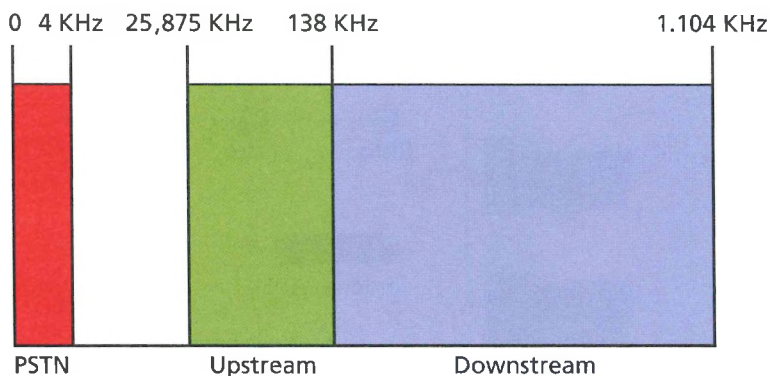
L'**ADSL** è la tecnologia che si è diffusa in Italia per il collegamento con l'ISP (Internet Service Provider) che fornisce l'accesso a Internet. L'accesso del cliente è di tipo **always-on**, ossia sempre attivo senza bisogno della chiamata per stabilire il collegamento (niente dial-up). L'asimmetria consiste nel fatto che l'upstream e il downstream (**FIGURA 12**) hanno velocità diverse (fino ad alcune decine di Mbps in downstream e fino a 1 Mbps in upstream).



**FIGURA 12** Esempio di collegamento ADSL con l'ISP

Il collegamento dal provider verso l'utente (downstream) è utile che sia più veloce in modo da consentire una più rapida ricezione delle pagine web a cui ci si vuole collegare o dei file che si vogliono scaricare. L'ADSL, secondo lo standard ANSI, utilizza la modulazione analogica **DMT** (Discrete Multitone Modulation) che consiste nel suddividere (ripartire) la banda disponibile fino a 1.104 KHz (**FIGURA 13**) in 256 sottocanali, ciascuno con ampiezza effettiva pari a 4 KHz. Nelle realizzazioni standard si destinano i primi 6 sottocanali per la fonia, 32 sottocanali per l'upstream e 218 sottocanali per il downstream. Si può pensare che un modem ADSL sia costituito da 256 modem in parallelo che modulano i canali fonia e upstream e demodulano i canali fonia e downstream su 256 diverse frequenze portanti distanti tra loro 4 KHz.

**FIGURA 13** Bande passanti per l'ADSL





### 3.4 La FTTx

Accedere al web è possibile grazie alla rete di cavi in rame (doppino telefonico) che si snoda attraverso il pianeta mettendo in comunicazione tutti i paesi come un sistema di vasi capillari. Il cuore di questa struttura è costituito dalle centrali di trasmissione dei vari operatori telefonici, che non sono collegate direttamente alle abitazioni ma a una serie di **armadi stradali ripartilinea** (detti anche **cabinati di smistamento**). È da lì che i cavi si ramificano e raggiungono le case delle singole persone.

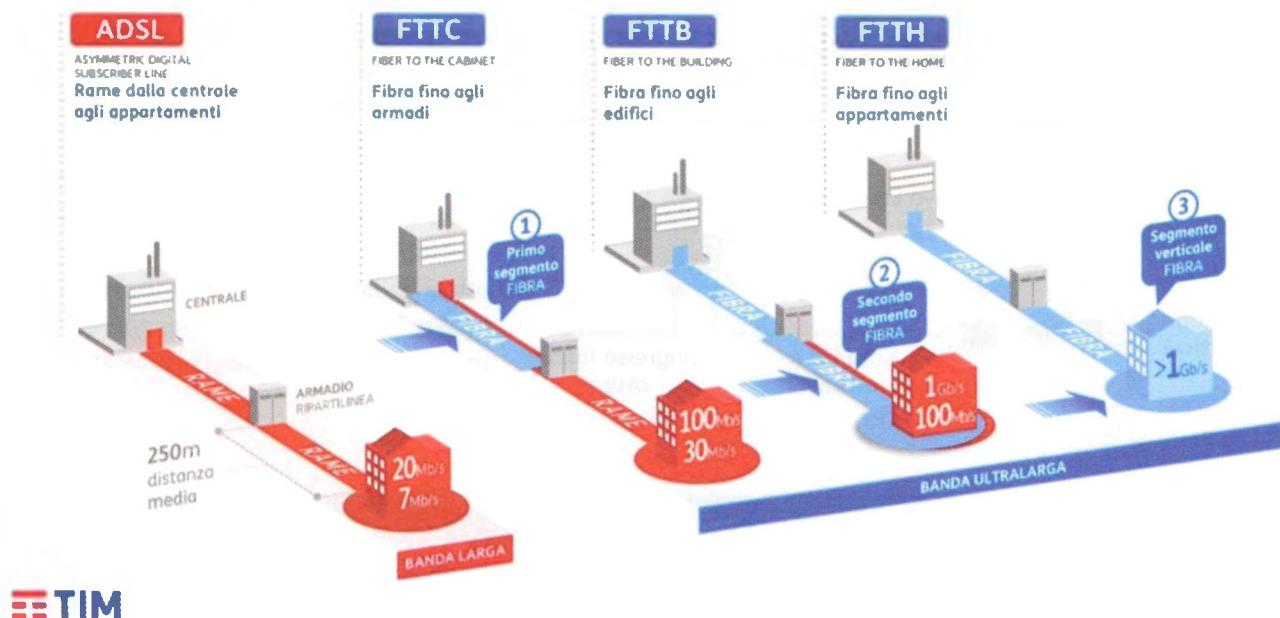
Fino a qualche anno fa, la rete era composta per intero da cavi in rame (prevalentemente in tecnologia ADSL) e le prestazioni variavano a seconda delle condizioni dei cavi (magari vecchi), delle temperature esterne e delle distanze geografiche. Più un'abitazione era lontana dalla centrale o dai cabinati, più il segnale perdeva potenza lungo il percorso. Con l'avvento della banda ultra larga, tutta o parte di questa rete è stata cablata in **fibra ottica** per migliorarne le prestazioni. In alcune zone l'intero collegamento dalla centrale a casa viaggia su fibra ottica, in altre la fibra è limitata alla tratta dalla centrale al cabinato.

**FTTx** è l'acronimo della locuzione inglese **Fiber To The x** che indica un'architettura di rete di telecomunicazioni di livello fisico a banda larga che utilizza la fibra ottica come mezzo trasmissivo per sostituire completamente o parzialmente la rete di accesso locale tradizionale in rame utilizzata per l'**ultimo miglio** di telecomunicazioni.

Le tre principali configurazioni sono:

- **FTTC** (Fiber To The Cabinet): fibra fino al cabinato (armadio stradale ripartilinea);
- **FTTB** (Fiber To The Building): fibra fino all'edificio;
- **FTTH** (Fiber To The Home): fibra fino a casa.

La **FIGURA 14** riassume le tre configurazioni a confronto con l'ADSL nella proposta di TIM.



**FIGURA 14** Configurazioni FTTC, FTTB e FTTH

In presenza di una connessione FTTC, il cavo che collega la centrale al cabinato è in fibra ottica, mentre il tratto dal cabinato a casa è in rame. Il collegamento resta soggetto a dispersioni e può risentire di avverse condizioni atmosferiche o sbalzi di temperatura dovuti all'utilizzo della banda in rame nell'ultimo tratto.

Le velocità raggiunte sono comunque superiori rispetto a quelle della classica connessione ADSL. Una connessione FTTC può raggiungere i 100/200 Mbps rispetto all'ADSL, che arriva a 20 Mbps in condizioni ottimali.

Le connessioni più performanti sono quelle FTTH in cui il collegamento dalla centrale al modem dell'utente finale è realizzato per intero in fibra ottica.

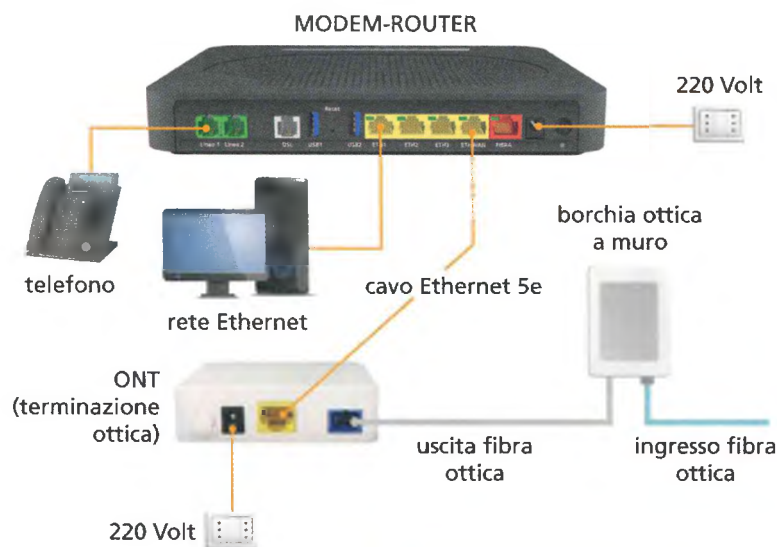
Quando in casa si installa una connessione in fibra ottica in modalità Fiber To The Home (FTTH), uno degli apparati che potrebbe essere installato dal tecnico si chiama **ONT**, Optical Network Terminal, apparato che trasforma il segnale ottico e permette di collegare il proprio modem alla rete in fibra.

Un ONT è quindi un dispositivo che va alimentato elettricamente in cui si attesta (si fissa, si collega in modo definitivo) il cavo in fibra proveniente dall'esterno e che si occupa di convertire il segnale ottico in entrata in un segnale elettrico.

Questo apparato non è da confondere con la **borchia ottica**, una scatoletta che viene fissata a muro nel punto in cui arriva il cavo in fibra ottica dall'esterno.

Esistono due tipi di ONT: integrato nel router domestico oppure esterno con alimentazione dedicata. La soluzione con ONT integrato nel modem è quella largamente utilizzata dai fornitori di servizi telefonici. Il modem con ONT integrato si occupa quindi sia di "decodificare" il segnale ottico e di convertirlo in elettrico, sia di renderlo disponibile per i dispositivi connessi via cavo LAN o Wi-Fi. Invece, una ONT esterna (FIGURA 15) si presenta in maniera simile alla borchia ottica, ma in questo caso è presente l'alimentazione dedicata. Questo tipo di apparecchio si installa infatti vicino

FIGURA 15 ONT esterno con alimentazione dedicata



alla borchia e si occupa soltanto di convertire il segnale ottico in entrata in un segnale elettrico, da inviare poi al modem-router tramite cavo Ethernet di categoria 5e o superiore, garantendo prestazioni di almeno 1000 MHz.

Nel caso in cui non sia possibile effettuare lavori in appartamento per l'installazione della fibra, la soluzione FTTB rappresenta un buon compromesso. Questo tipo di cabatura prevede il collegamento in fibra ottica dalla centrale di trasmissione a una **centralina condominiale**, con collegamento in rame da quest'ultima ai singoli appartamenti.

#### FISSA LE CONOSCENZE

- Com'è organizzata la rete telefonica pubblica (PSTN)?
- Descrivi l'hardware ISDN che si trova sul lato utente.
- Di che tipo possono essere i filtri ADSL e a che cosa servono?
- Quali sono le tre principali configurazioni in fiber? Descrivine la differenza.

## 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:

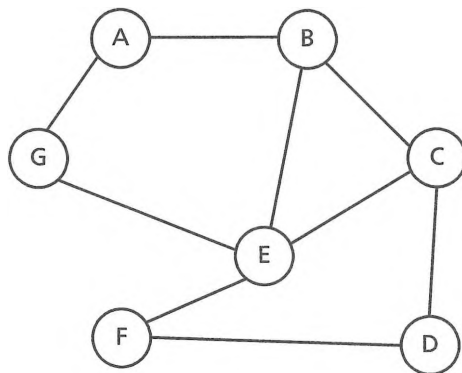
- commutazione di circuito (Circuit switching);
- commutazione di pacchetto (Packet switching);
- commutazione di pacchetto con circuito virtuale (Packet switching with virtual circuit).

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 tutte 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 riassemblaggio dei dati da parte del nodo finale.

### #prendinota

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.