

Reti di computer - Capitolo 1

Introduzione alle reti di computer

Premessa.....	1
definizione di “rete di computer”	2
<i>Vantaggi delle reti informatiche</i>	3
Un semplice schema di rete di computer.....	4
Reti “punto-a-punto”, “multipunto” e “broadcast”	6
Flussi trasmissivi e circuiti fisici	9
Nodi di commutazione	10
Topologie di rete	11
<i>Rete gerarchica (o ad albero)</i>	12
<i>Rete a stella</i>	13
<i>Rete a dorsale</i>	13
<i>Topologia ad anello (ring)</i>	14
<i>Topologia a maglia</i>	14
Collegamenti commutati: la rete telefonica pubblica	15
<i>Struttura generale della rete telefonica pubblica</i>	17
Collegamenti commutati e permanenti	19
Velocità di trasmissione.....	20
Tecnica FDM per la trasmissione del segnale telefonico.....	21
Spettro delle frequenze delle radiazioni elettromagnetiche	22
Trasmissione digitale e modulazione	23
Sincronizzazione.....	25
Attivazione di una connessione commutata.....	26
Altri componenti di rete.....	27

PREMESSA

Gli ultimi tre secoli sono stati dominati ciascuno da una diversa tecnologia che lo ha caratterizzato ed ha avuto profonde influenze sulla vita dell'uomo:

- 18° secolo: sistemi meccanici, rivoluzione industriale;
- 19° secolo: motori a vapore;
- 20° secolo: tecnologie dell'informazione:
 - raccolta e memorizzazione dei dati;
 - elaborazione;
 - distribuzione.

Nel nostro secolo si sono via via diffusi i seguenti sistemi:

- il *sistema telefonico*, a livello mondiale;
- la *radio* e la *televisione*;
- i *computer*;
- i *sistemi per telecomunicazioni* (tra i quali citiamo anche i satelliti per le telecomunicazioni).

Queste tecnologie stanno rapidamente convergendo: in particolare, la combinazione di *elaboratori* e *sistemi di telecomunicazione* ha avuto una profonda influenza sull'organizzazione dei sistemi di calcolo. Si è passati dal vecchio modello **mainframe - terminali**, in cui la potenza di calcolo era concentrata in un unico grande elaboratore a cui si accedeva per mezzo di un certo numero di terminali, a quello attuale in cui vi è un grande numero di elaboratori, che sono **autonomi** ma **interconnessi** fra loro:

- *autonomi* significa che ciascuno è indipendente dagli altri;
- *interconnessi* significa che devono essere capaci di scambiare informazioni (sfruttando un opportuno mezzo fisico).

Un sistema di calcolo siffatto è detto **rete di elaboratori (computer network)**. Osserviamo subito che *rete di elaboratori* non è sinonimo di *sistema distribuito*:

- in un **sistema distribuito**, l'esistenza di più elaboratori è invisibile all'utente, che ha l'impressione di avere a che fare con un unico sistema di calcolo;
- in una **rete di elaboratori**, l'utente è invece conscio dell'esistenza di molteplici elaboratori, che devono essere esplicitamente riferiti.

In effetti, si può costruire la seguente relazione:

Rete di Elaboratori + Sistema software di gestione = Sistema distribuito

dove il *sistema software di gestione* non è altro che un particolare tipo di sistema operativo, ossia un *sistema operativo distribuito*.

DEFINIZIONE DI “RETE DI COMPUTER”

L'utilizzo contemporaneo della tecnologia dei computer e della tecnologia delle telecomunicazioni ha dunque permesso la nascita delle **reti informatiche**, usate sia all'interno delle singole organizzazioni sia tra consorzi di organizzazioni sia tra singoli individui.

Che cos'è allora una *rete di computer*? Una semplice definizione è la seguente: **una rete di computer è un insieme di computer collegati tra di loro.**

Nelle figura seguente è mostrato un semplice esempio di rete di computer:

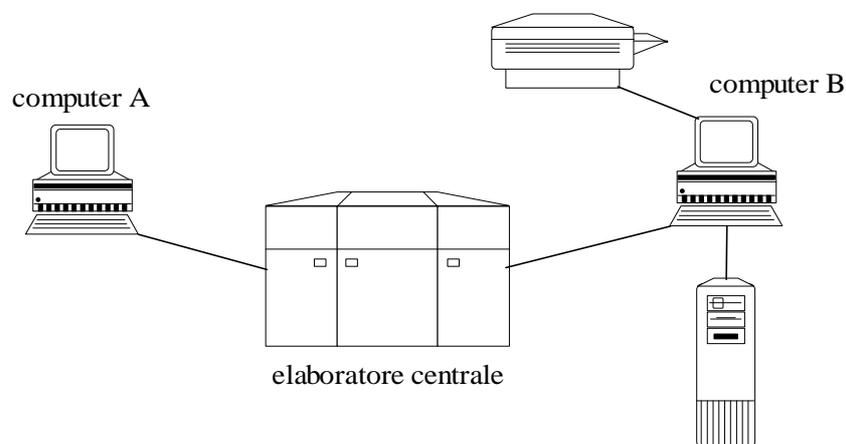


Figura 1 - Semplice esempio di rete di computer

I computer collegati alla rete possono essere i più vari, di marche diverse tra loro e con diverse capacità elaborative (dal *PC* al *mainframe*); ciascun computer ha delle proprie risorse (tipicamente *periferiche di input e di output*, *dischi rigidi* e così via) e a ciascun computer possono essere collegate una o più *stazioni d'utente*, altrimenti dette **terminali**. Con riferimento alla figura 1, si osserva, ad esempio, quanto segue:

- in primo luogo, abbiamo un elaboratore centrale al quale, come si vedrà nei dettagli più avanti, è nella maggior parte dei casi affidata la gestione della rete stessa; tale elaboratore, oltre a svolgere funzioni di controllo e gestione, può possedere delle risorse proprie;
- a tali risorse attingono, nel caso considerato, due diversi computer: la differenza, tra i due, è che il computer B, al contrario del computer A, dispone di due risorse in più, cioè una stampante e un ulteriore disco rigido;
- tuttavia, il fatto che tali due risorse siano a loro volta collegate alla rete (il disco rigido direttamente, mentre la stampante tramite il computer A) fa' sì che anche il computer A ne possa usufruire, previa opportuna richiesta.

Anche le **linee di interconnessione**, che hanno il compito di trasmettere i dati tra computer e terminali oppure tra computer e computer, possono essere di svariati tipi: per esempio, in caso di lunghe distanze, la linea di interconnessione tradizionale è la **linea telefonica**, grazie anche e soprattutto alla sua diffusione capillare. Stanno diffondendosi adesso anche le connessioni su **fibra ottica** e ci sono dei particolari *standard di trasmissione* (come ad esempio lo *standard ATM* ideato dalle principali compagnie telefoniche in risposta allo *standard TCP/IP* della rete *Internet*) specificamente progettati per tali mezzi trasmissivi.

Vantaggi delle reti informatiche

Le *reti informatiche* portano diversi vantaggi agli utenti, grandi e piccoli, collegati. Li possiamo velocemente elencare come segue:

- le moderne organizzazioni sono spesso caratterizzate da una distribuzione di uffici su un territorio molto vasto (basti pensare alle grandi organizzazioni nazionali o addirittura mondiali); i computer ed i terminali ubicati in un determinato luogo devono poter scambiare *dati* e *programmi* con quelli che si trovano in luoghi diversi; usando, a questo scopo, una rete informatica, si ha un aggiornamento quotidiano e costante dell'insieme delle informazioni aziendali;
- il collegamento tra computer permette inoltre una migliore condivisione delle risorse aziendali: per esempio, gli utenti di un dato computer, normalmente dedicato ad una applicazione specifica, potrebbero trovarsi nella necessità di accedere a risorse di un altro computer; oppure, una situazione di carico di lavoro eccessivo su un sistema può essere risolta inviando parte del lavoro ad un altro sistema della rete;
- la rete permette inoltre di risolvere anomalie o guasti: se un sistema A è fuori uso, le sue mansioni possono essere svolte da un altro sistema B senza incidere eccessivamente sulle normali operazioni aziendali (si dice, in questo caso, che il sistema B svolge "*funzioni di back-up*");
- si possono infine trovare vantaggi anche in termini organizzativi: un operatore che viaggia, può essere dotato di un terminale o di un sistema terminale trasportabile (tipicamente un "*computer portatile*") che gli consente di svolgere le sue mansioni ovunque ci sia un collegamento in rete alla propria azienda.

I vantaggi di una rete informatica non riguardano solo le organizzazioni, ma anche i singoli individui:

- accesso ad informazioni remote, ad es.:
 - accesso a servizi bancari;
 - acquisti da casa;
 - navigazione sul World Wide Web;
- comunicazioni fra persone:
 - posta elettronica;
 - videoconferenza;
 - gruppi di discussione;
- divertimento:
 - video on demand (selezione e ricezione via rete di un qualunque spettacolo tratto da un catalogo);
 - giochi interattivi (contro macchine o avversari umani).

UN SEMPLICE SCHEMA DI RETE DI COMPUTER

Consideriamo una semplicissima rete, costituita da 2 computer collegati tra loro da una linea trasmissiva:

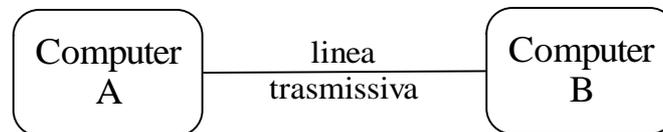


Figura 2 - Struttura schematica di una rete di due computer

Rientra in questo semplice schema anche il collegamento tra un computer ed un terminale (cioè una stazione utente), dato che gran parte delle stazioni terminali è attualmente costituita da veri e propri computer programmabili e quindi dotati del proprio sistema operativo e del proprio software applicativo.

Descriviamo allora nei dettagli quale può essere il funzionamento di una rete del genere, procedendo anche a perfezionare quello schema per il momento assolutamente generico.

Il computer A avrà del **software applicativo** (che brevemente si indica con **AP**) che deve erogare servizi all'utente, nel senso che si tratta di quell'insieme di programmi (**applicazioni**) che consentono al computer di rispondere alle esigenze dell'utente; quest'ultimo ha la possibilità di inoltrare le proprie richieste al computer mediante opportuni *strumenti di immissione*, quali una tastiera, un lettore di tessere e così via.

Supponiamo allora che una applicazione AP_{A1} del computer A chieda di accedere, per rispondere alla richiesta del proprio utente locale, alle risorse di una applicazione AP_{B1} presente nel computer B. Supponiamo inoltre che, contemporaneamente, una applicazione AP_{B2} del computer B richieda di accedere ad una applicazione AP_{A2} del computer A, per esempio al fine di leggere un certo file.

Abbiamo dunque una situazione in cui, contemporaneamente, ciascun computer chiede di accedere a parte delle risorse dell'altro computer.

Il fatto che esista una sola linea di connessione tra i due computer comporta allora che questa unica *linea fisica* debba essere impiegata per due *interazioni logiche* diverse: nel nostro esempio, abbiamo l'interazione tra AP_{A1} e AP_{B1} e l'interazione tra AP_{B2} e AP_{A2} . Perché questo sia possibile, è necessario che sui due sistemi sia presente uno **strato di software** capace sia di indirizzare, in partenza, i vari messaggi dell'applicazione interessata sia anche di smistare i messaggi in arrivo. Il software del computer B deve da un lato rispondere alla richiesta del computer A e, dall'altro, inviare al computer B la richiesta di accedere alla applicazione AP_{A2} . Stesso discorso ovviamente per il computer A.

Questo *software* ha anche altri compiti: per esempio, esso deve rendere facile la programmazione della gestione delle richieste di trasmissione, amministrando in proprio tutte le complesse funzioni trasmissive; inoltre, esso deve anche provvedere ad inviare effettivamente i dati nella rete.

Premesso questo, diamo una prima importante definizione che spesso ricorrerà in seguito: prende il nome di **Data Terminal Equipment** (brevemente DTE) il complesso costituito dal sistema, dal terminale (che può accompagnare o sostituire il sistema) e dalle relative risorse (applicazioni, strumenti di *INput* e di *OUTput*) collegati in rete per la trasmissione dei dati.

Il DTE può essere dunque un mainframe, un semplice PC o anche semplicemente un terminale.

Scopo della rete è l'interconnessione dei vari DTE per la condivisione delle risorse, lo scambio di dati e la cooperazione tra i processi applicativi

Uno schema più completo di rete tra due computer può essere il seguente:

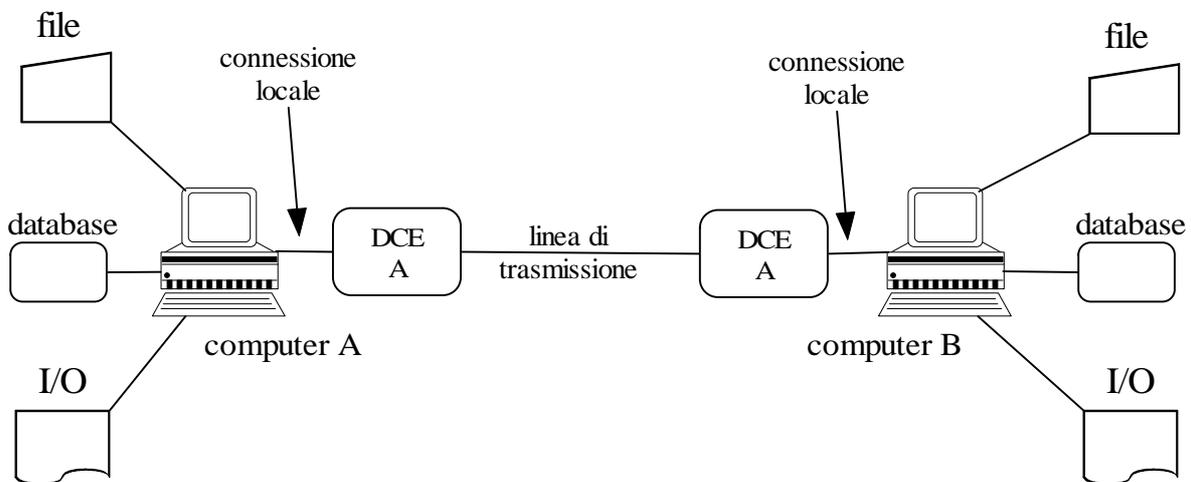


Figura 3 - Struttura dettagliata di una rete di due computer collegati mediante una linea trasmissiva

Il computer A e tutte le risorse (file - database - I/O) ad esso connesse costituisce il DTE A, mentre il computer B, con le proprie risorse, costituisce il DTE B. Come evidenziato dalla figura, ciascun DTE è collegato alla **linea di trasmissione** mediante un apposito dispositivo, che prende il nome di **Data Circuit-Terminating Equipment** (brevemente DCE): quando la linea di trasmissione è la normale linea telefonica, il DCE è un normale **modem**.

Nello schema appena tracciato si evidenziano sia connessioni logiche sia connessioni fisiche:

- il termine "logico" significa, in questo contesto, che i DTE non sono coinvolti con gli aspetti fisici della trasmissione: l'applicazione A1 ha solo bisogno di inviare una richiesta di READ corredata

da un qualcosa (il cosiddetto *identificatore*) che consenta di individuare, nel computer B, i dati richiesti; ovviamente, la controparte B1 deve essere in grado di interpretare correttamente la richiesta di READ in modo da preparare la risposta; questi sono appunto gli *aspetti logici* della connessione;

- l'effettivo scambio di dati avviene poi sfruttando il *collegamento fisico*, costituito dalla linea di connessione tra i due DCE, dai due DCE stessi e dalle due linee che collegano ciascun DCE col proprio computer.

Le *interfacce comunicative* dei due DTE, ossia organi e programmi responsabili, rispettivamente, degli aspetti fisici e logici della trasmissione, dialogano tra loro mediante l'uso di *protocolli*: un **protocollo** è una serie di norme, convenzioni e tecniche per lo scambio di dati, di comandi e di informazioni di controllo tra due DTE.

Come vedremo meglio in seguito, con l'introduzione del *modello ISO/OSI*, esistono molti **livelli** di protocolli: si va dal livello più basso, che regola semplicemente il modo di trasmettere i segnali binari sulla linea, al livello più alto, che invece indica come interpretare dati e comandi *a livello applicativo*, passando per una serie variabile di ulteriori livelli. Al giorno d'oggi, molte organizzazioni desiderano usare interfacce e protocolli comuni e standardizzati, al fine di avere la maggiore capacità di interconnessione possibile.

RETI “PUNTO-A-PUNTO”, “MULTIPUNTO” E “BROADCAST”

Partiamo da una semplice definizione: un *circuito fisico* è detto **punto-a-punto** quando collega due soli DTE.

La figura seguente mostra un esempio di circuito punto-a-punto:

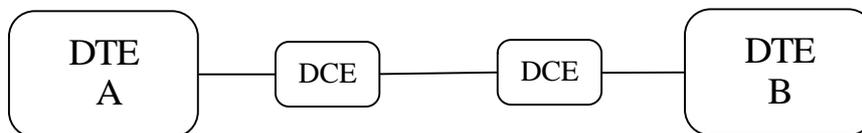


Figura 4 - Circuito fisico punto-a-punto

Il collegamento punto-a-punto è spesso utilizzato nella connessione tra due computer oppure in quella tra un computer ed un terminale. I principali vantaggi di questa configurazione sono i seguenti:

- **semplicità di gestione**: quello che viene trasmesso da un DTE è sempre diretto all'altro;
- **tempi di attesa nulli**: il DTE che deve trasmettere trova sempre il circuito disponibile, per cui può trasmettere ogni volta che ne ha bisogno.

Ci sono però anche degli svantaggi, legati essenzialmente alla linea di collegamento:

- in primo luogo, il costo della linea, specie se essa corre su una distanza notevole, può diventare elevato;
- inoltre, una organizzazione che volesse collegare, al proprio mainframe, 10.000 terminali con questa tecnica, dovrebbe provvedere a installare 10.000 linee di collegamento

Al fine di ridurre i costi complessivi della linea, si può invece pensare alla configurazione *multipunto*: un circuito fisico **multipunto** consiste nel mettere più di due DTE sulla stessa linea.

La figura seguente mostra una configurazione multipunto con un numero imprecisato di DTE:

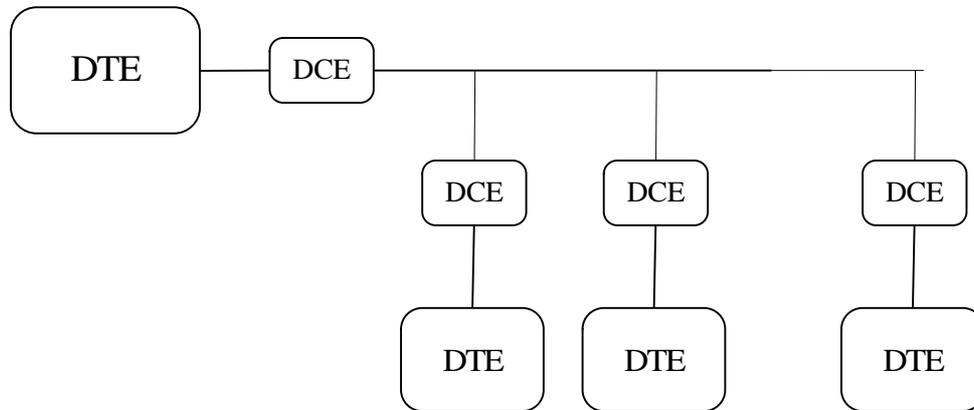


Figura 5 - Circuito fisico multipunto

La configurazione prevede dunque un *DTE principale*, le cui funzioni saranno chiare tra un attimo, collegato, tramite il proprio DCE e tramite una sola linea di comunicazione, ad un numero N di altri *DTE secondari*, ciascuno dotato del proprio DCE.

Il problema principale della configurazione multipunto è che può nascere una **contesa**, ossia una situazione in cui più di un DTE ha bisogno di usare la linea per trasmettere il proprio messaggio.

Questo problema nasce dal fatto che la linea di trasmissione è in grado di trasmettere solo un messaggio alla volta in ciascun senso di direzione: ciò significa che, al massimo, ci può essere un messaggio in corso di trasmissione in un senso e un altro messaggio in corso di trasmissione nel senso opposto. Ciò comporta che un DTE che voglia trasmettere, possa trovare la linea già occupata e debba perciò attendere che essa si liberi. Dal punto di vista dell'utente, questo significa tempi di trasmissione superiori rispetto alla configurazione punto-a-punto, visto che, in quel caso, il canale di trasmissione non può mai risultare occupato. Possiamo esprimerci dicendo che **il tempo medio di attesa**, per il generico utente della rete, è nullo nella configurazione punto-a-punto, mentre non è nullo in quella multipunto.

La gestione di una rete con la configurazione multipunto è dunque piuttosto complessa. E' necessaria la presenza di "qualcuno" che regoli la conversazione sul circuito fisico, ossia che stabilisca, sulla base di precise regole, quale stazione possa trasmettere in un determinato momento. Questo "qualcuno" è ovviamente uno dei DTE connessi alla rete e prende perciò il nome di **master**: come si nota nella figura 5, esso è normalmente situato ad un estremo della linea e costituito da un computer. Gli altri DTE collegati sono detti invece **slave** e possono comunicare solo dietro autorizzazione del master.

Il master deve dunque svolgere un lavoro ulteriore rispetto ai normali compiti applicativi e puramente trasmissivi: esso deve dedicare risorse per gestire in modo opportuno l'assegnazione del diritto a trasmettere sulla linea.

I principali limiti della configurazione multipunto sono i seguenti:

- **limiti tecnici:** ogni “*derivazione intermedia*”, ossia ogni DTE che viene inserito nella linea, comporta un degrado delle caratteristiche elettriche del segnale trasmesso: infatti, quanto più lungo è il percorso che il segnale deve percorrere, tanto maggiori sono i disturbi (e quindi le distorsioni) e le attenuazioni cui è soggetto; ecco perché esistono dei limiti normativi al numero dei DTE collegabili in multipunto;
- **limiti funzionali:** dato che esiste una logica di scelta, rappresentata da un preciso protocollo, è possibile collegare, sulla linea multipunto, solo terminali che adottino lo stesso protocollo;
- **limiti applicativi:** al crescere del numero di terminali collegati, cresce il traffico sulla linea e quindi, mediamente, cresce anche il *tempo di attesa*; questo è un altro motivo che obbliga a limitare il numero di terminali, in funzione del carico globale trasmesso e dei tempi di risposta tipici delle applicazioni utilizzate.

Un altro aspetto negativo della configurazione multipunto è che, se si dovesse guastare il DTE master, ciò comporterebbe automaticamente un blocco dell'intera rete.

All'opposto delle reti multipunto e punto-a-punto si collocano le cosiddette **reti broadcast**: queste sono dotate di un unico canale di comunicazione che è condiviso da tutti gli elaboratori. Brevi messaggi (spesso chiamati *pacchetti*) inviati da un elaboratore sono ricevuti da tutti gli altri elaboratori. Un indirizzo all'interno del pacchetto specifica il destinatario.

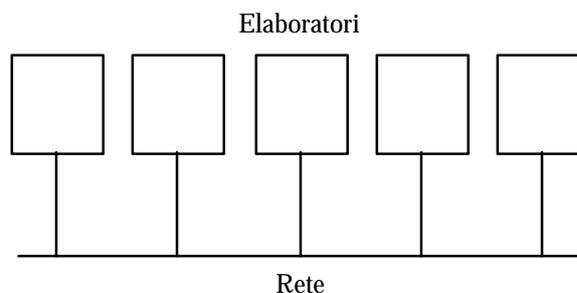


Figura 6 - Schema logico di una rete broadcast

Quando un elaboratore riceve un pacchetto, esamina l'indirizzo di destinazione; se questo coincide col proprio indirizzo, il pacchetto viene elaborato, altrimenti viene ignorato.

Le reti broadcast, in genere, consentono anche di inviare un pacchetto a tutti gli elaboratori, usando un opportuno indirizzo. Si parla in questo caso di **broadcasting** (si pensi alla diffusione radio-televisiva). In tal caso tutti prendono in considerazione il pacchetto.

Un'altra possibilità è inviare il pacchetto ad un sottoinsieme degli elaboratori: si parla in questo caso di **multicasting** e succede che solo gli elaboratori del suddetto sottoinsieme prendono in considerazione il pacchetto, che invece viene ignorato dagli altri. In ciascun pacchetto è presente un bit che indica che si tratta di una trasmissione in multicasting, mentre i rimanenti bit contengono l'indirizzo del gruppo destinatario ed ovviamente i dati. In particolare, il bit che indica o meno il multicasting appartiene allo stesso campo contenente l'indirizzo: se N sono i bit di tale campo, quindi, solo N-1 sono riservati all'indirizzo vero e proprio.

FLUSSI TRASMISSIVI E CIRCUITI FISICI

Il flusso trasmissivo, lunga una linea di comunicazione, può avvenire in solo 3 modi diversi, che andiamo a descrivere.

Il caso più semplice è quello della trasmissione **simplex**: i dati viaggiano, in questo caso, in una sola direzione. Esempi classici di flussi simplex sono le trasmissioni radio-televisive e le reti di comunicazione delle agenzie stampa.

Generalmente, il flusso trasmissivo di tipo simplex non viene utilizzato per la comunicazione dei dati, anche quando il flusso è unidirezionale: il motivo è che, nella comunicazione dei dati, è assolutamente necessario il *controllo della correttezza della ricezione*; questo controllo è possibile solo se l'utente, una volta ricevuti i dati inviati dalla sorgente, può a sua volta inviare alla sorgente un messaggio che indichi la corretta ricezione o, in caso contrario, che richieda la *ritrasmissione*.

Nella trasmissione **half-duplex**, invece, i dati possono viaggiare in entrambe le direzioni, ma non contemporaneamente. E' il modo classico di operare dei *terminali conversazionali*, che prevede l'invio di una richiesta, la ricezione della risposta e, sulla base di quest'ultima, l'invio di una ulteriore richiesta e così via.

Il modo più completo e anche più complesso è quello della trasmissione **full-duplex**: in questo caso, i dati possono viaggiare contemporaneamente, in entrambe le direzioni. Esempio classico è il colloquio tra due sistemi descritto nei primi paragrafi del capitolo: mentre si trasmette un certo file in una direzione, ne viene trasmesso un altro nella direzione opposta. Osserviamo che *il flusso full-duplex è particolarmente indicato per le reti a configurazione multipunto*: infatti, se la linea di trasmissione è di tipo full-duplex, è possibile che il *DTE master* riceva una richiesta da un *DTE slave* e, contemporaneamente, invii una risposta ad un altro *DTE slave*.

E' bene, a questo punto, sottolineare una cosa: spesso si confondono i flussi half-duplex e full-duplex con le caratteristiche fisiche del circuito usato per la trasmissione: si dice, per esempio, che la trasmissione half-duplex si realizza su un *circuito a due fili* (la classica linea telefonica), con un filo per i dati e l'altro per il ritorno elettrico, mentre si dice che il flusso full-duplex richiede il doppio **doppino telefonico**, ossia 4 fili, di cui due per i dati (uno in un senso e uno nell'altro) e due per i rispettivi ritorni elettrici.

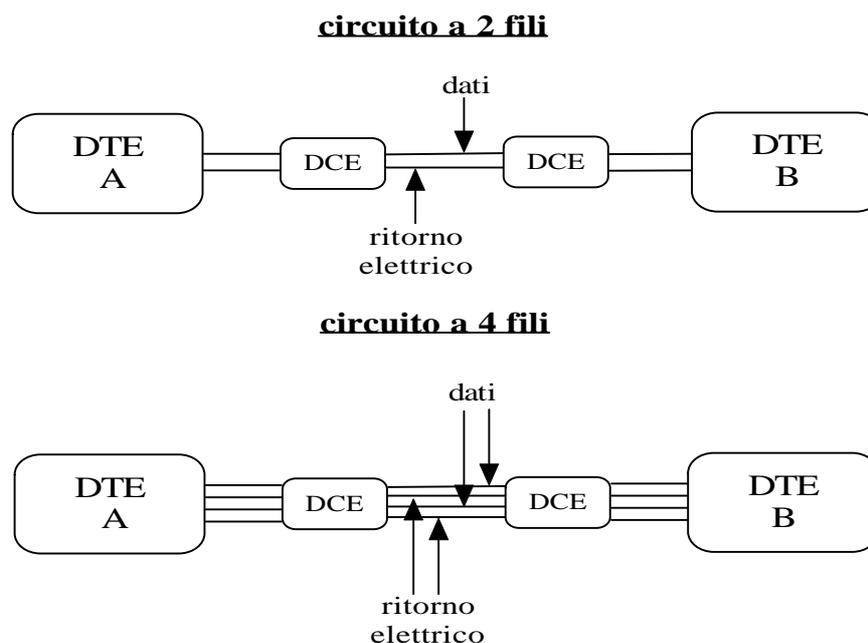


Figura 7 - Circuiti fisici a 2 fili (singolo doppino telefonico) e 4 fili (doppio doppino telefonico)

Ora, queste affermazioni sono vere, ma è altrettanto vero che *la trasmissione full-duplex è possibile anche sul circuito a due fili, ossia sul singolo doppino telefonico*. L'unica cosa da osservare è che la trasmissione full-duplex con un doppino telefonico risulta senz'altro più lenta di quella con 2 doppini telefonici.

Ad ogni modo, l'attuale tecnologia dei modem permette la comunicazione full-duplex, sui circuiti a due fili, con velocità ormai accettabili.

Il tipo di linea fisica (a 2 o a 4 cavi) dipende comunque dalle esigenze:

- quando la connessione avviene tramite un normale *circuito telefonico commutato*, di cui si parlerà tra breve, allora si fa uso del collegamento a due fili;
- quando, invece, la linea è permanente (si parla di *linea dedicata* o *leased* e se ne parlerà tra breve), allora il collegamento può essere effettuato sia con 2 fili sia anche con 4.

NODI DI COMMUTAZIONE

Nelle reti che collegano molti sistemi è spesso presente un elemento che ancora non abbiamo incontrato e che prende il nome di *Data Switching Equipment* (brevemente **DSE**), che in italiano possiamo tradurre con *nodo di commutazione*: un **nodo di commutazione** è un *nodo intermedio della rete, senza alcuna funzione di supporto diretto agli utenti, la cui principale funzione è quella di commutare (switch) il traffico tra due o più DTE non direttamente collegati tra loro*.

Per capirci meglio, consideriamo quanto rappresentato nella figura seguente:

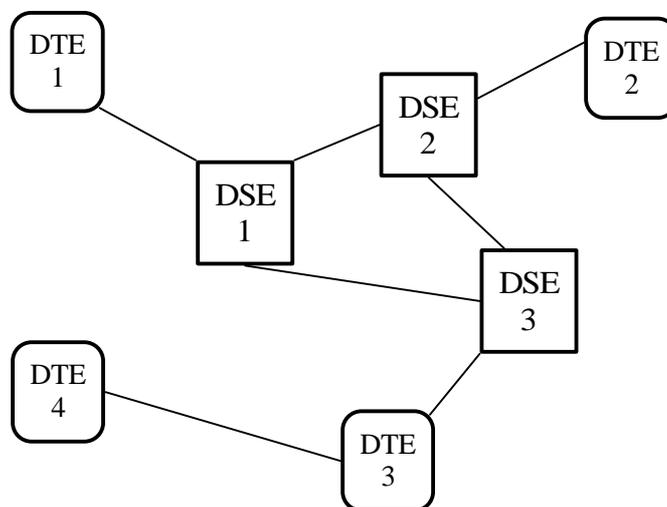


Figura 8 - Schema di una rete con nodi intermedi di commutazione

Abbiamo una rete composta da quattro DTE e da tre DSE: la funzione di questi DSE è, come detto, quella di consentire il collegamento tra due o più DTE non direttamente collegati tra loro. Per esempio, supponiamo che il DTE numero 1 voglia entrare in comunicazione con il DTE numero 3: per fare questo, esso invia la propria richiesta al DSE cui è collegato; questo DSE, a sua volta, trasmette la richiesta al DSE collegato al DTE numero 3 o, se necessario, ad un ulteriore DSE. In definitiva, la comunicazione tra il DTE 1 ed il DTE 3 è resa possibile attraverso i DSE 1 e 3.

Sulla base di opportuni criteri e di adeguate informazioni di servizio, un DSE sceglie dunque la strada (detta **percorso di rete**) che i messaggi devono seguire per arrivare alla loro destinazione: per esempio, nell'esempio fatto, il DSE 1 può collegarsi direttamente al DSE 3 per arrivare al DTE 3, ma può anche collegarsi con il DSE 2 il quale si collega a sua volta con il DSE 3. Per esempio, il DSE 1 potrebbe optare per questa seconda scelta nel caso in cui la linea di comunicazione con il DSE 3 fosse interrotta o malfunzionante.

In generale, oltre al problema delle linee malfunzionanti, può anche essere risolto, con la tecnica dei DSE, il problema dei nodi intermedi o delle linee troppo cariche di lavoro: questo problema rientra nel vasto campo del cosiddetto **controllo della congestione**, di cui si dirà in seguito.

Per avere un termine pratico di confronto, un DSE è analogo, dal punto di vista delle funzioni assolte, alle normali *centrali di commutazione* della **rete telefonica pubblica** oppure alle centrali telefoniche private (note con l'acronimo **PABX**, che sta per *Private Automated Branch eXchange*).

TOPOLOGIE DI RETE

Partiamo ancora una volta da una definizione: *prende il nome di **topologia di rete** la configurazione geometrica dei collegamenti tra i vari componenti della rete.*

Esistono vari tipi di topologie, la scelta dei quali è legata al conseguimento di alcuni obiettivi fondamentali:

- in primo luogo, è necessario assicurare la massima affidabilità complessiva della rete, rispettando, ovviamente, alcuni vincoli economici; *affidabilità della rete* significa diverse cose: ad esempio, significa trovare delle possibili strade alternative tra due DTE quando la strada normalmente percorsa (che può essere per esempio quella più breve) viene interrotta a causa del malfunzionamento di qualche componente intermedio (linea, DSE o altro) o a causa di un intervento di manutenzione della stessa; significa anche buona qualità della trasmissione, ossia numero di errori più basso possibile e la presenza di strumenti e procedure per risolvere le situazioni di errore. L'affidabilità della rete è spesso tenuta sotto controllo da strumenti (software e sistemi) che si dice svolgono funzioni di **Network Management**, ossia appunto *gestione della rete*;
- in secondo luogo, è necessario consentire un alto rendimento complessivo della rete, intendendo con questo, tra le altre cose, tempi di risposta sufficientemente brevi. Il **rendimento complessivo** della rete si può misurare in *transazioni elaborate nell'unità di tempo*. Esso dipende da una serie di fattori:
 - * numero e tipo di sistemi collegati;
 - * capacità di parallelismo dei sistemi, ossia capacità di elaborare, nello stesso tempo, più di una transazione;
 - * portata della linea di trasmissione o delle linee di trasmissione;
 - * numero di linee di trasmissione;
 - * capacità di parallelismo di trasmissione in rete.

In particolare, è importante il cosiddetto **tempo di risposta**, ossia l'intervallo di tempo che intercorre tra l'istante in cui una data applicazione fa richiesta di dati e l'istante in cui tali dati arrivano effettivamente all'applicazione. Questo tempo di risposta è somma di una serie di tempi:

- * *tempo di input* (tempo necessario perché l'applicazione generi la richiesta e la invii sulla linea)
- * *tempo di trasmissione in un senso* (tempo necessario perché la richiesta giunga al destinatario)
- * *tempo di elaborazione* (tempo richiesto dal destinatario per rendere disponibili i dati richiesti e inviarli sulla linea)
- * *tempo di trasmissione in senso opposto* (tempo necessario perché i dati giungano alla stazione che ne ha fatto richiesta)
- * *tempo di output* (tempo necessario perché i dati siano effettivamente a disposizione dell'applicazione cui necessitano).

Questo tempo di risposta dipende dai seguenti fattori:

- * caratteristiche dell'applicazione che richiede i servizi della rete;
 - * tipo di terminale;
 - * portata e carico delle linee utilizzate;
 - * numero di componenti di rete attraversati.
- Infine, l'ultimo obiettivo da perseguire in una rete è quello di minimizzare i costi di rete, facendo in modo, per esempio, che il numero complessivo delle linee sia minimo (il che si può ottenere facendo ricorso a *collegamenti commutati* nel caso di terminali con basso carico trasmissivo e a *collegamenti permanenti* solo per le locazioni che interscambiano un alto volume di dati).

Sulla base di questi obiettivi la topologia della rete che si intende realizzare va scelta tra quelle elencate di seguito, che sono le più comuni. Anticipiamo che le topologie di rete saranno dettagliatamente esaminate in seguito, nel capitolo sulle LAN (*Local Area Network*).

Rete gerarchica (o ad albero)

Questo tipo di configurazione è quella più comune e può essere rappresentata graficamente nel modo seguente:

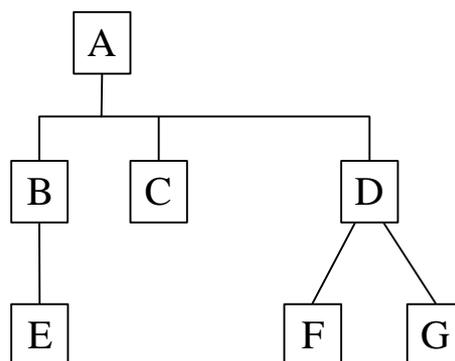


Figura 9 - Topologia di rete ad albero

Il traffico di dati va dai sistemi (o dai terminali) dei livelli più bassi verso i sistemi intermedi o verso il sistema del livello più alto. Quest'ultimo è in genere il sistema più potente dell'intera struttura, visto che deve provvedere alle richieste di tutta la rete. Spesso, esso è responsabile della gestione completa della rete, ma è anche possibile che ci sia un cooperazione, per la gestione ed il

controllo della rete, tra il sistema principale e alcuni o tutti i sistemi del livello immediatamente inferiore: per esempio, a tali sistemi di livello inferiore possono essere affidati compiti gestionali specifici oppure limitati ad una specifica sottorete.

Per quanto riguarda le applicazioni residenti nei vari sistemi, ce ne sono alcune che interessano la generalità o quasi degli utenti nel sistema di livello più alto (nel senso che sono accessibili solo da questi), mentre altre applicazioni sono interesse sempre più locale man mano che si scende nella gerarchia.

La topologia a rete presenta fundamentalmente i seguenti inconvenienti:

- il sistema principale, se è sovraccarico di lavoro, può diventare un collo di bottiglia per l'intera rete, il che comporta un rallentamento dei servizi per tutti gli utenti;
- inoltre, la caduta del sistema principale rende inoltre inutilizzabile l'intera rete.

A quest'ultimo inconveniente si può però ovviare adottando un **sistema di back-up**: bisogna cioè mettere in grado uno o più altri sistemi della rete di svolgere le stesse funzioni del sistema principale nel momento in cui questo dovesse venire a mancare.

Rete a stella

La configurazione a stella è simile a quella ad albero, con la fondamentale differenza che non c'è alcuna distribuzione funzionale, ossia non ci sono livelli diversi: in altre parole, tutte le funzioni riguardanti gli utenti periferici sono realizzate nel nodo centrale.

Lo schema è dunque il seguente:

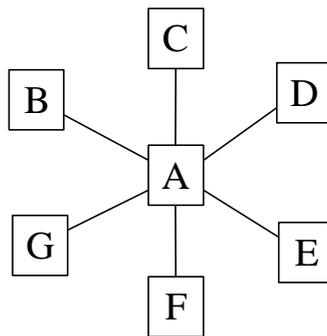


Figura 10 - Topologia di rete a stella

Questa topologia presenta, accentuati, gli stessi pregi e difetti della struttura ad albero.

Rete a dorsale

Questa configurazione è diventata popolare in quanto è adottata dalle reti locali di tipo **Ethernet**, delle quali si parlerà in seguito. La caratteristica è che c'è un unico cavo che collega tutte le stazioni, come nello schema seguente:

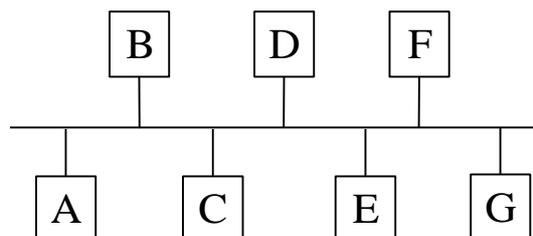


Figura 11 - Topologia di rete a dorsale

La trasmissione di una stazione viene ricevuta da tutte le altre. In qualche modo, è l'analogo del bus che viene usato nelle architetture dei moderni calcolatori: il *bus* è l'insieme di cavi elettrici che mettono in comunicazione tutti i dispositivi (CPU, memoria, periferiche) da cui il calcolatore è costituito.

Il vantaggio fondamentale della *configurazione a dorsale* è nel software per l'accesso, il quale, nel caso di rete locale, è davvero molto semplice.

I principali inconvenienti sono invece i seguenti:

- i potenziali problemi di prestazioni dovuti al fatto che unico cavo serve tutte le stazioni;
- una eventuale interruzione del cavo mette fuori uso l'intera rete;
- la mancanza di punti di concentrazione rende difficoltosa l'individuazione di eventuali punti di malfunzionamento.

Topologia ad anello (ring)

Questa configurazione è stata resa popolare dalle **LAN** (che sta per *Local Area Network*) di tipo *Token-Ring*. Essa è schematizzata nella figura seguente:

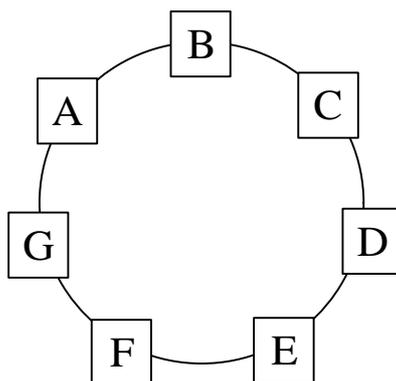


Figura 12 - Topologia di rete ad anello

La trasmissione è in questo caso unidirezionale (i dati viaggiano cioè solo in un senso), ma, essendo l'anello un circuito chiuso su se stesso, è possibile inviare un messaggio da qualsiasi stazione verso qualsiasi altra.

Un importante pregio di questa topologia è che apre ottime prospettive per l'utilizzo della **fibra ottica**.

Topologia a maglia

Quest'ultima topologia consiste nel collegare le varie stazioni con diversi circuiti, ad esempio come indicato nella figura seguente:

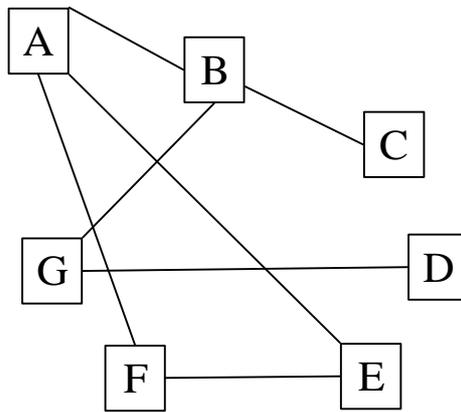


Figura 13 - Topologia di rete a maglia

Una topologia di questo tipo assicura buone prestazioni in quanto il traffico viene ripartito sui vari percorsi. Inoltre, essa conferisce una elevata affidabilità all'intera struttura, proprio grazie alla presenza di *percorsi multipli*.

Allo stesso tempo, però, i costi dei collegamenti possono anche essere elevati ed inoltre la gestione della struttura è chiaramente più complessa rispetto agli altri casi esaminati.

COLLEGAMENTI COMMUTATI: LA RETE TELEFONICA PUBBLICA

Tutte le topologie di rete esaminate nel paragrafo hanno una caratteristica comune: ognuna di esse presuppone l'esistenza di collegamenti permanenti tra le stazioni collegate. Tuttavia, il collegamento tra due stazioni, specie quando esse devono scambiare un numero modesto di informazioni, è spesso di tipo *commutato*: un collegamento tra due stazioni si dice di tipo **commutato** quando la connessione fisica tra le due stazioni viene attivata solo quando necessario.

I collegamenti di tipo commutato vengono effettuati tipicamente tramite le normali **linee telefoniche pubbliche**.

Lo schema della figura seguente mostra la struttura di base della **rete telefonica pubblica**, con riferimento a due sole città, indicate con A e B:

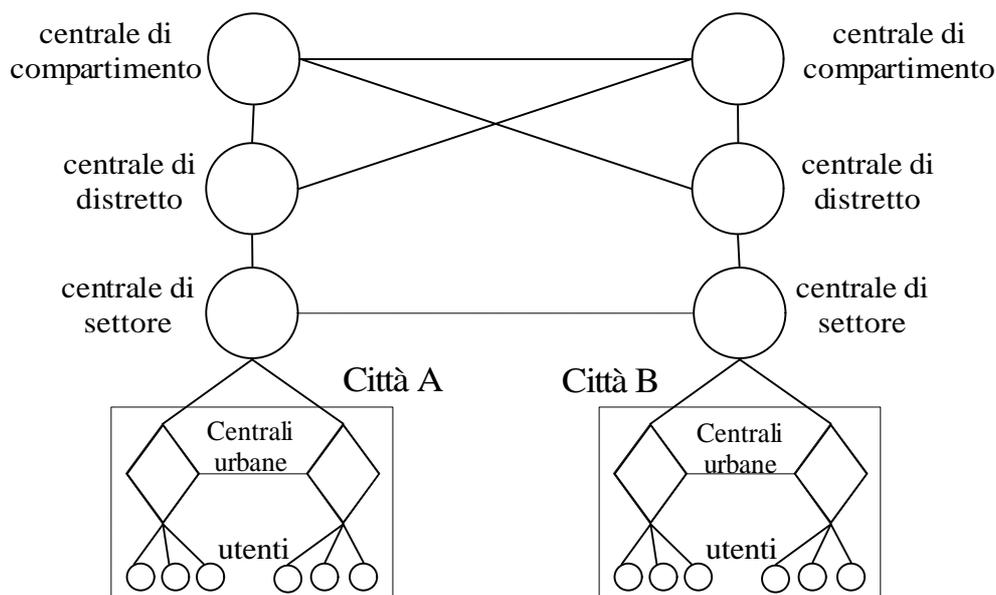


Figura 14 - Schema semplificato della rete telefonica pubblica

Ciascun **telefono utente** è collegato, mediante un *doppino telefonico*, alla cosiddetta **centrale urbana**. Le possibilità sono due:

- la prima è che l'utente chiami un altro utente della stessa città: in questo caso, al momento della chiamata, la centrale urbana (da sola o eventualmente in collaborazione con altre centrali urbane) attiva la connessione tra i due utenti, mantenendola finché uno dei due interlocutori non si scollega;
- la seconda possibilità è invece che l'utente chiami, tramite opportuno **prefisso**, un utente di un altro **compartimento**: in questo caso, la chiamata arriva alla centrale urbana e da questa viene inoltrata verso il livello superiore, ossia verso la **centrale di settore**, e da qui eventualmente ancora più su verso la **centrale di distretto** e poi la **centrale di compartimento**, fino a che non si trova un collegamento trasversale.

Naturalmente, non è detto che la chiamata arrivi fino alla centrale compartimento: se già la centrale di settore è in grado di attivare la connessione richiesta, allora la chiamata non va oltre, mentre invece, se la centrale di settore non dispone di un canale telefonico disponibile, allora la chiamata continua a risalire nella gerarchia.

La connessione tra i due utenti si realizza solo nel momento in cui viene trovata una strada completa tra chiamante e chiamato, mentre invece viene respinta se, in quel momento, tutte le strade possibili sono già occupate (nel quale caso si parla di **rete sovraccarica**¹).

Da notare che *una chiamata verso un utente molto distante coinvolge più di una centrale e quindi diverse linee di collegamento*. Questo è il motivo fondamentale per cui il ritmo degli scatti del contatore cresce all'aumentare della distanza tra utente chiamante e utente chiamato.

I meccanismi prima elencati valgono ovviamente sia nel caso delle normali conversazioni telefoniche, sia anche nel caso di connessione commutata per lo scambio di dati. E' possibile tuttavia, per le apparecchiature dati, chiedere a **TELECOM ITALIA** l'installazione di un **collegamento permanente** (o *dedicato* o *leased*, tutti sinonimi), ossia di un circuito fisico ad uso esclusivo delle due stazioni interessate.

In effetti, il sistema telefonico riveste un ruolo centrale per le comunicazioni a distanza fra computer, per vari motivi:

- sarebbe proibitivo in termini di costi connettere, con appositi cavi, apparecchiature distanti centinaia di km o più, per cui diventa molto comodo appoggiarsi ad una cablatura già esistente;
- è illegale, praticamente in tutti i paesi, stendere cavi sul suolo pubblico.

Purtroppo il sistema telefonico pubblico è nato e si è evoluto in funzione delle esigenze della *fonia* e solo recentemente sta diventando realmente adatto al traffico dati, grazie ai nuovi mezzi trasmissivi quali le fibre ottiche.

A titolo di esempio, si consideri la seguente tabella:

¹ Il dimensionamento della rete viene chiaramente fatto in modo da garantire una probabilità di rete sovraccarica che non superi un massimo valore tollerabile. In altre parole, si fa in modo che il generico utente, richiedendo servizio alla rete (appunto per telefonare), trovi la rete stessa disponibile per un numero sufficientemente alto di volte (ad esempio 95 volte su 100).

	Data rate	Tasso di errore
Cavo fra 2 computer	$10^7 - 10^8$ bps	1 su $10^{12} - 10^{13}$
Linea telefonica	$10^4 - 10^5$ bps	1 su 10^5

Come si nota, le prestazioni della linea telefonica, in termini di velocità di trasmissione (*data rate*²) e di tasso di errore (inteso come numero medio di errori su ogni gruppo di N bit), sono di diversi ordini di grandezza peggiori rispetto a quelle di un normale cavo usato per connettere 2 computer.

Struttura generale della rete telefonica pubblica

Vediamo qualche dettaglio tecnico in più sulla rete telefonica pubblica.

Agli albori della telefonia (il brevetto di *Alexander Graham Bell* è del 1876) i telefoni si vendevano a coppie e gli acquirenti si preoccupavano di stendere il cavo (uno solo, con ritorno via terra) per collegarli. Le città divennero ben presto un groviglio di cavi e nacquero così le *società telefoniche* (la prima fu la **Bell Telephone**), le quali aprirono i cosiddetti **uffici di commutazione** : qui c'era un operatore che smistava le chiamate fra i vari apparecchi. Tali apparecchi, quindi, non erano più collegati direttamente fra loro, ma erano tutti connessi a un ufficio di commutazione.

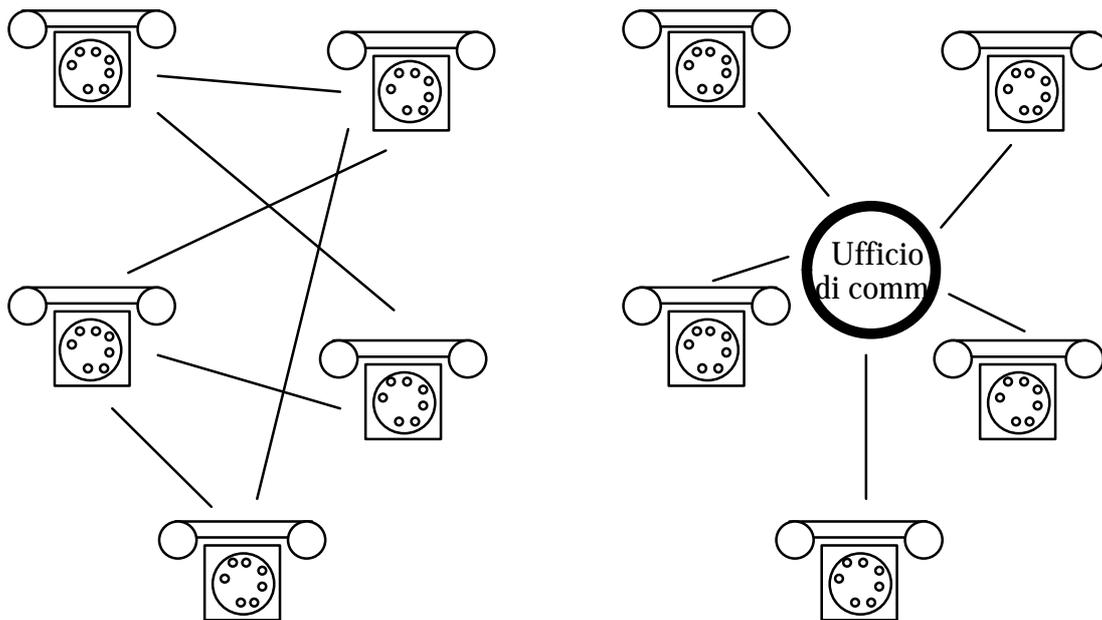


Figura 15 - Nascita del sistema telefonico

Poiché gli uffici di commutazione nascevano come funghi, si ripropose lo stesso problema per il loro collegamento. Quindi vennero creati gli uffici di commutazione di secondo livello, e poi di terzo; alla fine (nel 1890) la gerarchia si arrestò su cinque livelli.

Tale tipo di struttura gerarchica è anche oggi alla base dei sistemi telefonici in tutto il mondo, con variazioni legate essenzialmente alle dimensioni dei vari sistemi. Attualmente ogni sistema telefonico è organizzato in una **gerarchia multilivello** con elevata ridondanza, come già visto prima.

² Di questa grandezza si parlerà in seguito: anticipiamo, però, che si tratta del numero di bit inviati in linea in 1 secondo.

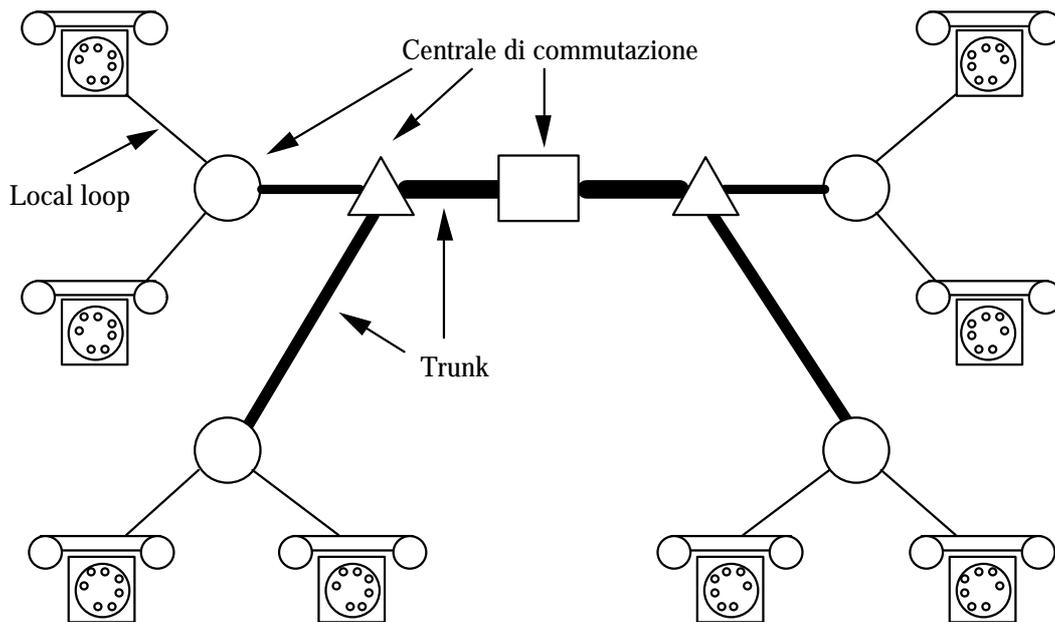


Figura 16 - Struttura gerarchica del sistema telefonico

Al posto degli operatori vi sono delle **centrali di commutazione**, una volta *elettromeccaniche* (con tutti i problemi di rumore ed interferenza elettromagnetica derivanti dal movimento degli organi meccanici) ed oggi quasi tutte *digitali*.

Il **local loop**, cioè il collegamento dal telefono alla più vicina centrale di commutazione, è ancora oggi basato su *doppino telefonico* e può avere una lunghezza da 1 a 10 km. Trasporta un segnale analogico dotato di una banda molto modesta (3 kHz), pari alla banda del *segnale telefonico*³.

Per le altre connessioni (**trunk**) si usano molti altri mezzi:

- cavi coassiali;
- microonde;
- fibre ottiche, ormai molto diffuse.

Ormai quasi ovunque le centrali di commutazione sono digitali e le linee che le collegano trasportano segnali digitali. I vantaggi principali sono i seguenti:

- è più facile ricostruire periodicamente il segnale senza introdurre errori (solo pochi valori);
- è più facile mescolare voce, dati, video e altri tipi di traffico;
- sono possibili *data rate* più alti usando le linee esistenti.

³ Ricordiamo che è più sensato parlare di *segnale vocale di qualità telefonica*: infatti, ciò che viene trasmesso sul doppino telefonico non è altro che il segnale emesso dall'utente mentre parla, filtrato però delle componenti spettrali che non sono necessarie. La scelta delle componenti spettrali da trasmettere e di quelle inutili è semplice: si trasmette solo quello che serve a due scopi fondamentali, vale a dire l'individuazione del proprio interlocutore e la compressione di ciò che esso sta dicendo.

COLLEGAMENTI COMMUTATI E PERMANENTI

Come già accennato, il collegamento di due stazioni, tramite linea telefonica, può essere di due tipi: di *tipo commutato* o di *tipo permanente*.

Un collegamento di tipo **permanente** consiste nell'affittare, a uso esclusivo, la linea che collega le due stazioni; questa linea può passare, oltre che attraverso centrali di commutazione pubblica, anche attraverso DSE (nodi di commutazione) privati. I maggiori vantaggi di questa scelta sono i seguenti:

- in primo luogo, la trasmissione è di buona e costante qualità⁴;
- inoltre, viene evitata la fase di chiamata, con conseguente velocizzazione della procedura;
- infine, viene soprattutto eliminato il *rischio di connessione bloccata*, cosa che invece è sempre possibile nelle linee a commutazione, specialmente nei momenti in cui le centrali pubbliche di commutazione sono sovraccariche di lavoro.

Lo svantaggio fondamentale delle connessioni permanenti è il costo: è per questo che questa scelta può essere conveniente nel caso di elevati scambi di informazioni e, soprattutto, di brevi distanze (dato che i canoni di affitto crescono, a scaglioni, al crescere delle distanze).

L'altra possibilità è una connessione di tipo **commutato** (o *switched*): in questo caso, è previsto l'utilizzo di una linea, appunto, commutata che in genere è quella telefonica. La fase di trasmissione viene questa volta preceduta da una *fase di chiamata* della stazione remota, così come avviene per una normale conversazione telefonica. Nel caso di bassi carichi trasmissivi, si tratta senz'altro della soluzione economicamente più vantaggiosa, dato che si pagano al gestore (che è la TELECOM ITALIA) solo il costo degli scatti derivanti dal collegamento (scatti che, poi, dipendono sia dalla durata sia dalla distanza del collegamento).

Ci sono però da tenere in conto alcuni svantaggi:

- in primo luogo, la necessità di perdere un po' di tempo per la fase iniziale di chiamata;
- in secondo luogo, la qualità della linea è sempre imprevedibile e generalmente mediocre, visto soprattutto che si tratta di una linea progettata per la comunicazione vocale e non specificamente per la trasmissione dati⁵;
- la velocità di trasmissione utilizzabile non è alta e comunque non quanto quella di una linea dedicata;
- c'è la probabilità che la chiamata venga respinta in caso di rete congestionata;
- infine, c'è la possibilità di disturbi sulla linea, disturbi che, se nella trasmissione vocale sono ampiamente tollerabili, in quella di dati lo sono molto meno.

⁴ Un parametro fondamentale, per la caratterizzazione delle prestazioni di una rete di computer, è la cosiddetta **QOS**, che sta appunto per *Quality of Service*. L'ideale sarebbe una QOS alta e costante nel tempo.

⁵ Questo è però un problema che le recenti tecnologie hanno ampiamente risolto, permettendo la trasmissione dati, su doppino telefonico, a velocità decisamente elevate.

VELOCITÀ DI TRASMISSIONE

Quando avviene uno scambio di dati tra due computer, tali dati viaggiano sulla linea in forma di valori binari, ossia di sequenze di valori (i cosiddetti **bit**, che sta per *Binary digIT*, ossia “cifra binaria”) 0 ed 1. Per esempio, la sequenza 11000001 rappresenta la lettera “A” secondo il **codice EBCDIC** adottato dalla IBM.

I bit vengono ovviamente trasmessi uno alla volta: da un punto di vista fisico, è possibile trasmettere una cifra binaria, su una linea telefonica, semplicemente alternando, tra due valori (che rappresentano i valori 0 ed 1), il voltaggio della corrente passante oppure interrompendo o meno la segnalazione o la direzione del flusso di corrente.

Ad ogni modo, a prescindere dal tipo di segnalazione binaria usata, una linea è caratterizzata dalla sua *portata*: si definisce **portata** di una linea il numero di bit al secondo (brevemente **bps**) che è possibile immettere su di essa.

Per esempio, supponiamo di avere un terminale capace di trasmettere a 4800 bps sulla linea cui è collegato: ciò significa che il terminale può inviare 4800 bit al secondo sulla linea. Allora, se il messaggio da trasmettere è lungo complessivamente 9600 bit, è chiaro che saranno necessari $9600/4800=2$ secondi perché tale messaggio venga trasmesso.

E' chiaro che *maggiore è la portata trasmissiva di una linea, più veloce è la trasmissione dei vari messaggi*. Questo è il motivo per cui spesso si confondono, impropriamente, i termini “portata” della linea con la “velocità” della linea stessa.

I valori di portata per le normali linee telefoniche sono diversi a seconda che la linea sia commutata o dedicata o che si tratti di una linea di speciale qualità:

- le normali linee commutate vanno da un minimo di 600bps ad un massimo che attualmente è di 57600 bps;
- le linee dedicate raggiungono valori di 64000 bps e superiori;
- le linee espressamente progettate per la trasmissione digitale (tipicamente le *fibre ottiche*) sono in grado di arrivare anche a 2M bps e sono previsti ulteriori incrementi.

Tuttavia, anche il valore di 2M bps è molto basso se confrontato con quello delle comuni **LAN** (reti locali), senza poi considerare, ovviamente, le connessioni dirette tra un sistema e i suoi dispositivi.

I motivi per cui ci sono questi differenti valori di portata (o velocità) sono molteplici: sicuramente, le linee telefoniche, essendo progettate per la voce, presentano un tasso di disturbo che normalmente non è dannoso per la trasmissione vocale, mentre è causa di errori molto frequenti nella trasmissione binaria. E' per questo che vengono progettate **linee di qualità speciale**, adatte per la trasmissione digitale.

Ad ogni modo, si tenga presente che i segnali si degradano sempre, mentre si propagano nei mezzi trasmissivi, rispetto al segnale originario. Questo degrado, se supera un certo valore, rende il segnale originario irricognoscibile e porta quindi ad errori di trasmissione. I motivi fisici del degrado sono molteplici: citiamo la distanza della comunicazione, la velocità trasmissiva ed il tipo di conduttore usato.

Ecco dunque che è *consigliabile limitare, specialmente sulle lunghe distanze, la velocità trasmissiva*.

Grazie alla introduzione della fibra ottica al posto del normale cavo conduttore in rame, si è ottenuta una riduzione del degrado del segnale e si possono perciò raggiungere maggiori velocità di trasmissione.

Questa tecnica prende il nome di **Frequency Division Multiplexing** (brevemente **FDM**), ossia *multiplazione (dei canali) a divisione di frequenza*. Si tratta della stessa tecnica utilizzata per le trasmissioni radio-televisive: in quel caso, il mezzo trasmissivo è un **ponte radio** (o, tutt'al più, un cavo coassiale o una fibra ottica per i *servizi via cavo*) ed è l'apparecchio sintonizzatore (la TV o la radio) che si sintonizza sulla frequenza appropriata, in modo da selezionare il programma trasmesso su quella frequenza.

Naturalmente, una volta arrivati alla centrale urbana di destinazione, i segnali sonori delle conversazioni telefoniche che sono state traslate per consentirne la trasmissione, vengono riportati alla banda di frequenze naturali (la cosiddetta **banda base**) in modo da poter essere inoltrate ai rispettivi telefoni destinatari.

SPETTRO DELLE FREQUENZE DELLE RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE

Da quanto detto nel paragrafo precedente, si intuisce che, usando la *tecnica FDM*, quanto maggiore è la cosiddetta **ampiezza di banda** del mezzo trasmissivo (ossia l'intervallo di frequenze che esso può tollerare per la trasmissione), tanto maggiore è il numero delle conversazioni telefoniche che possono essere trasmesse contemporaneamente su tale mezzo. Nella seguente tabella vengono elencate le ampiezze di banda tipiche dei principali mezzi trasmissivi usati al giorno d'oggi:

Range di frequenze (Hz)	Sigla	Uso principale
10^3	-	Canali telefonici
10^4	VLF	Canali telefonici speciali
10^5	LF	Cavi coassiali sottomarini
10^6	MF	Cavi coassiali terrestri (trasmissione dati ad alta velocità)
10^7	HF	Cavi coassiali terrestri e onde corte
10^8	VHF	Cavi coassiali terrestri, diffusione TV e radio VHF
10^9	UHF	Diffusione TV UHF
10^{10}	SHF	Guide d'onda e microonde
10^{11}	EHF	Guide d'onda elicoidali
$10^{12} - 10^{13}$	-	Trasmissione a raggi infrarossi su brevi distanze
$10^{14} - 10^{15}$	-	Fibre ottiche
$10^{19} - 10^{23}$	-	Raggi X e raggi gamma

Consideriamo, ad esempio, le **fibre ottiche**: il *range di frequenza* tipico delle fibre ottiche è di 10^{14} Hz; considerando 4000 Hz per ogni comunicazione vocale (il che non è in contraddizione con il valore di 3300 Hz prima riportato, visto che tra due canali vocali multipli si lascia sempre un intervallo di frequenze non utilizzate, al fine di evitare interferenze reciproche), il rapporto tra 10^{14} e 4000 è uguale a 25 miliardi, il che significa che sarebbe teoricamente possibile trasmettere contemporaneamente, su un solo cavo a fibra ottica, 25 miliardi di comunicazioni vocali. Attualmente, non si è ancora arrivati allo sfruttamento completo delle potenzialità di questa tecnologia, ma si stanno comunque facendo grossi passi avanti.

Nelle normali reti per la trasmissione dati, l'ampiezza di banda dei mezzi trasmissivi è uno dei fattori che limitano le capacità trasmissive complessive delle reti stesse. Altri fattori limitanti sono anche la potenza del segnale trasmesso, generalmente molto bassa, e i disturbi alla trasmissione.

I disturbi sono dovuti a svariate cause:

- intanto, c'è un disturbo di fondo continuo e ineliminabile che prende il nome di **rumore bianco** (in quanto ha *spettro di potenza* costante) e che è dovuto semplicemente al movimento degli elettroni nel mezzo trasmissivo;
- ci sono poi le variazioni elettromagnetiche indotte dall'esterno sul cavo trasmissivo: per esempio, un motore elettrico in funzione vicino al cavo, variazioni elettromagnetiche dell'atmosfera, un fulmine e cose di questo tipo;
- altri disturbi ancora sono dovuti ai componenti di base della rete: per esempio, nelle vecchie *centrali telefoniche elettromeccaniche*, i disturbi provenivano proprio dal movimento continuo degli organi meccanici che effettuavano la commutazione;
- è anche possibile che due conversazioni diverse possano interferire una con l'altra, dando origine al fenomeno della cosiddetta **diafonia**: succede cioè che su un dato circuito telefonico si travasi il contenuto comunicativo di un altro circuito;
- infine, le caratteristiche elettriche del segnale che si propaga (ampiezza, fase e frequenza) vengono sempre in qualche modo alterate durante la trasmissione, a causa della non-idealità del mezzo trasmissivo; l'entità della alterazione dipende da vari fattori, tra cui citiamo il tipo di cavo, la distanza del collegamento, la velocità di trasmissione e l'ambiente attraversato. In generale, in ricezione, l'ampiezza è diminuita e la fase è cambiata, mentre la frequenza sostanzialmente non cambia.

TRASMISSIONE DIGITALE E MODULAZIONE

All'inizio del capitolo abbiamo detto che una rete di computer è costituita da due o più DTE collegati tra loro al fine di scambiarsi informazioni e condividere risorse: *la comunicazione tra due DTE avviene dunque scambiando dati digitali*.

Il **flusso trasmissivo digitale** è continuo e ripetitivo così come quello analogico. Tuttavia, presenta una differenza fondamentale rispetto a quest'ultimo: *mentre un **segnale analogico** può assumere tutti i possibili valori entro un intervallo prestabilito, un **segnale digitale** assume solo 2 valori discreti corrispondenti ai valori binari da trasmettere⁹*.

Questi valori discreti si ottengono facendo variare, nel modo quanto più brusco possibile, il valore del segnale da un livello all'altro. Uno schema ideale di segnale digitale è quello della figura seguente:

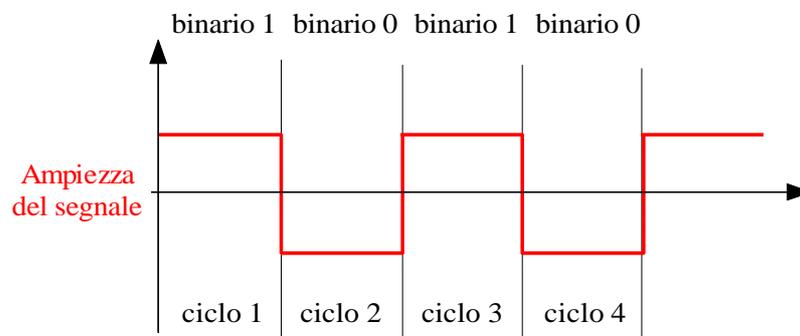


Figura 18 - Esempio di segnale digitale ideale (onda quadra)

⁹ In generale, un **segnale numerico** è un segnale che può assumere un numero finito (discreto) di valori all'interno di un dato intervallo; un segnale digitale è quindi un caso particolare di un segnale numerico, dato che i valori assumibili sono solo 2.

Si tratta, cioè, di un'onda quadra che oscilla tra due valori: il valore "alto" corrisponde al valore binario 1, mentre il valore "basso" corrisponde al valore binario 0. Ovviamente, si è usato l'aggettivo *ideale* in quanto le transizioni tra un livello all'altro, nella realtà, non sono mai così brusche, ma avvengono sempre con una certa pendenza non nulla: l'impossibilità di renderle così brusche deriva sia dai limiti fisici dei dispositivi deputati a generare tali segnali sia anche dagli arrotondamenti dovuti ai disturbi dei quali si parlava nel paragrafo precedente e dovuti alle caratteristiche non ideali dei mezzi di trasmissione.

Nel caso della trasmissione digitale su linee telefoniche, cioè su linee non espressamente progettato per il transito di segnali digitali, è necessario ricorrere ad un particolare DCE che sia in grado di adattare la sequenza dei segnali digitali alle caratteristiche della trasmissione analogica, ossia, in definitiva, alle caratteristiche della linea da utilizzare: questo particolare DCE è il già citato **modem**.

Il termine *modem* è la contrazione di "*MOD*ulatore/*DEM*odulatore" e questo indica quali siano le funzioni principali del modem: supponiamo di avere due DTE collegati tra loro attraverso una linea di trasmissione; ciascun DTE è collegato alla linea mediante il proprio modem, come nella figura seguente:

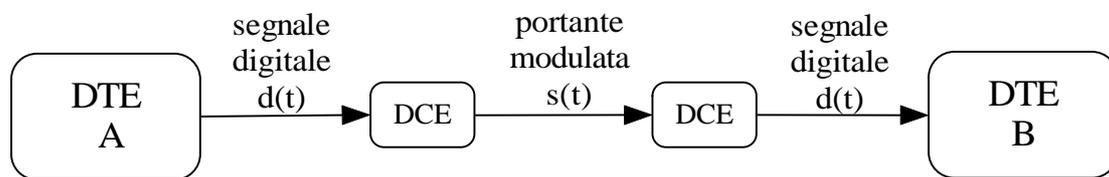


Figura 19 - Schema della trasmissione digitale con portante modulata

Supponiamo che il DTE A voglia inviare un messaggio al DTE B; si procede allora nel modo seguente:

- il DTE A invia il messaggio, sotto forma di segnale digitale, al proprio modem;
- il modem "*modula*" un segnale continuo sinusoidale, che prende il nome di **portante**, in modo che esso riproduca, istante per istante, le caratteristiche del segnale digitale emesso dal DTE A;
- la **portante modulata** generata dal modem A viene inviata sulla linea e giunge quindi al modem B;
- il modem B si comporta in modo inverso al modem A, nel senso che **demodula** il segnale, ossia ne tira fuori il segnale digitale emesso dal DTE A, e lo invia quindi al DTE B.

Abbiamo usato l'espressione *modulare una portante sinusoidale*. Vediamo di capire meglio di cosa si tratta. Con il termine **portante** noi indichiamo un segnale continuo che generalmente è di tipo sinusoidale, ossia un segnale del tipo

$$c(t) = A_C \cos(\omega t + \varphi)$$

Modulare questa portante in base al segnale digitale $d(t)$ emesso dal DTE A significa variare una delle caratteristiche di questa portante (ampiezza A_C , frequenza $\omega/2\pi$ o fase φ) in modo proporzionale, in ciascun istante, al valore assunto, in quell'istante, da $d(t)$. A seconda di quale caratteristica venga variata, noi abbiamo 3 possibili casi di modulazione:

- si parla di **modulazione di ampiezza** quando è l'ampiezza della portante che viene fatta variare in modo proporzionale al valore di $d(t)$; il segnale modulato (o "portante modulata") generato dal modulatore è in questo caso del tipo

$$s(t) = d(t)A_c \cos(\omega t + \varphi)$$

In tal modo, se $d(t)$ è un segnale che oscilla tra i valori $+1$ e -1 , allora l'ampiezza di $s(t)$ oscilla tra $+A_c$ e $-A_c$;

- si parla invece di **modulazione di frequenza** quando è la frequenza della portante che viene fatta variare in modo proporzionale al valore di $d(t)$; se, per esempio, la frequenza della portante è di 2400 Hz (il che significa che l'onda portante compie 2400 oscillazioni al secondo), modulare secondo $d(t)$ significa, per esempio, fare in modo che essa scenda al valore 1800 Hz quando il valore di $d(t)$ è 0 e salga al valore 3000 Hz quando il valore è 1; in tal modo, il modem che riceve la portante modulata $s(t)$, estrae il valore 0 se, ad un passaggio, misura una frequenza di 1800 Hz, mentre estrae il valore 1 se la frequenza rilevata è di 3000 Hz;
- si parla infine di **modulazione di fase** quando è la fase della portante che viene fatta variare in modo proporzionale al valore di $d(t)$.

Le tecniche di modulazione possono coinvolgere segnali modulanti sia di tipo analogico sia di tipo digitale, dove ricordiamo ancora che per **segnale analogico** intendiamo un segnale che può assumere qualsiasi valore all'interno di un certo intervallo, mentre per **segnale digitale** intendiamo sempre un segnale analogico, che però può assumere solo due diversi valori. Quando il segnale modulante è di tipo digitale (per cui siamo nell'ambito della **modulazione digitale**), mentre la modulazione d'ampiezza (**ASK**) può essere fatta con soli due livelli di discontinuità, la modulazione di fase (**PSK**) e la modulazione di frequenza (**FSK**) permettono di scegliere più livelli di discontinuità. Senza addentrarci nella spiegazione di questa affermazione, limitiamoci a citare un esempio: nella modulazione di fase, è possibile fare in modo che la fase della portante modulata assuma 4 diversi valori: a 4 diversi valori è possibile associare 4 diverse combinazioni di 2 bit (precisamente 00, 01, 10 e 11), il che significa che viene aumentato il numero di bit che è possibile trasmettere con ogni variazione del segnale. Se i valori della fase fossero 16, ogni singola variazione del segnale in arrivo al modem ricevente corrisponderebbe a 4 bit emessi dal DTE sorgente. Questo consentirebbe di trasmettere in linea lo stesso numero di cicli al secondo, ma a ciascun ciclo sarebbero associati 4 bit, il che significa che la velocità di trasmissione (in bps) diventa 4 volte più grande.

In generale, se n sono i livelli possibili (per la fase o per la frequenza), la quantità $\log_2 n$ rappresenta il numero di bit che è possibile trasmettere con un'unica variazione del segnale.

In effetti, le maggiori velocità che si ottengono attualmente su linee analogiche sono quasi sempre dovute alla perfezionata tecnologia dei modem in grado di trasmettere su livelli multipli.

SINCRONIZZAZIONE

Consideriamo ancora una volta due DTE che, ciascuno mediante il proprio DCE, sono collegati tra loro tramite una linea di comunicazione. Il problema della **sincronizzazione** dei due sistemi DTE/DCE verte essenzialmente su due aspetti:

- in primo luogo, nella fase iniziale della comunicazione, è necessario avvertire il sistema ricevente che un **blocco** (ossia una sequenza di bit) sta per arrivare; in questo modo, il sistema ricevente si prepara a ricevere il blocco in modo poi da ricostruire l'intero messaggio inviato dal sistema sorgente; la fase di **sincronizzazione iniziale** è diversa a secondo del protocollo di linea utilizzato (e di cui si parlerà in seguito);
- in secondo luogo, è necessario segnalare, al sistema ricevente, il tempo di attesa, durante la trasmissione, per una nuova informazione (cioè per un nuovo blocco di bit): in questo modo, si mantengono sincronizzati gli **orologi interni** (*clock*) dei due sistemi. Nei collegamenti a brevissima distanza, il collegamento tra due unità viene generalmente realizzato mediante diversi fili: uno o più fili sono per i dati, mentre un solo filo è dedicato appunto alla **temporizzazione**. Sulle lunghe distanze, invece, la cosa diventa anti-economica, per cui il filo utilizzato è comunque uno solo: ciò significa che esso deve servire sia a comunicare i dati veri e propri sia alla sincronizzazione. A tale scopo, le tecniche di trasmissione utilizzate sono molteplici.

Viene da chiedersi cosa succede se i due sistemi vanno **fuori sincronismo**: nella maggior parte dei casi, capita che la mancata rilevazione, da parte del sistema ricevente, sia limitata ad un solo bit; tuttavia, anche questa semplice condizione di errore può provocare un errore consistente: infatti, trattandosi di dati codificati, è possibile che l'intero messaggio venga stravolto rispetto al suo significato originario. Per esempio, supponiamo che il messaggio che il sistema A trasmette al sistema B sia di 10 caratteri, ossia di 80 bit secondo il codice ASCII (8 bit per carattere): se un bit di un ottetto non viene rilevato in ricezione, l'apparecchiatura ricevente completa l'ottetto in questione con il primo bit dell'ottetto successivo, stravolgendo perciò tutti gli ottetti a partire da quello cui è mancato il primo bit.

Proprio per questi motivi, è necessario che la codifica dei bit trasmessi in linea adotti accorgimenti atti ad evitare il più possibile una situazione come quella ipotizzata.

ATTIVAZIONE DI UNA CONNESSIONE COMMUTATA

Quando si effettua una comunicazione mediante una linea commutata, è possibile fare uso di procedure di *chiamata* e di *risposta* sia manuali sia automatiche. Vediamo allora quali sono i casi possibili.

Chiamata manuale e risposta manuale: questa situazione è quella che si ha quando ad entrambe le estremità della linea è presente un operatore. Innanzitutto, è necessario che entrambi i modem abbiano un **dispositivo di commutazione voce-dati**: questo dispositivo, se impostato sulla modalità voce, permette la normale comunicazione in fonìa, mentre invece, se impostato sulla modalità date, permette lo scambio di dati. Funziona allora in questo modo: supponiamo che l'operatore al terminale A prenda l'iniziativa di chiamare il terminale B: allora, esso imposta il commutatore del modem su "voce" e compone il numero di telefono del modem collegato al terminale B; viene quindi attivata la connessione tramite la rete telefonica pubblica e viene avviata la suoneria del modem B; a questo punto, l'operatore al terminale B commuta a sua volta il modem su "voce", in modo da poter colloquiare con l'altro operatore. A questo punto, se entrambi gli operatori commutano il proprio modem su "dati", il circuito viene a sua volta commutato da voce a dati: vengono perciò inserite nel circuito le due stazioni dati, mentre vengono disinseriti i due telefoni. La trasmissione dati può adesso iniziare. I limiti di una configurazione di questo tipo sono evidenti: occorre la presenza, a entrambi gli estremi, di un operatore ogni volta che si vuole effettuare il collegamento.

Chiamata manuale e risposta automatica: in questo caso, mentre alla postazione sorgente è presente un operatore, alla postazione ricevente è sistemato un **dispositivo di risposta automatica** (o “*auto-answer*”). Funzione in questo modo: una volta inoltrata la chiamata, manualmente, da parte dell’operatore A, questa chiamata giunge alla postazione B, dove il modem, tramite il suddetto dispositivo di autoanswer, commuta automaticamente da voce a dati e consente, automaticamente, la trasmissione dei dati. Nell’effettuare la commutazione, il modem ricevente invia un sibilo al modem chiamante, in modo che l’operatore commuti a sua volta da voce a dati.

Chiamata automatica e risposta automatica: questa volta, nella postazione chiamante è presente, oltre al modem, un **dispositivo di chiamata automatica** (o “*autocall*”) collegato al modem stesso (nel caso i due dispositivi siano integrati uno nell’altro, si parla di **dispositivo di auto-dial**). Il funzionamento è il seguente: quando si rende necessaria una comunicazione, il software che ne ha bisogno ricerca, in memoria, il numero del terminale cui ha bisogno di collegarsi e ne invia le cifre all’unità di autocall (brevemente **ACU**); questa non fa altro che effettuare la chiamata emettendo sulla linea telefonica i corrispondenti toni acustici. Una volta realizzata la connessione, la ACU si disattiva e viene quindi attivato il modem: se il sistema ricevente è dotato di dispositivo di auto-answer, l’intera procedura diventa automatica.

ALTRI COMPONENTI DI RETE

Fino ad ora abbiamo esaminato velocemente i principali organi che costituiscono una rete di trasmissione dati e principi fondamentali secondo cui operano. Passiamo adesso in rapida rassegna altri organi spesso presenti (ma non indispensabili) nelle reti di computer.

Front-end processor: il compito principale di questo organo (chiamato anche “*Communication Controller degli host*”) è quello di sollevare il computer principale della rete (il cosiddetto **host**) dai compiti prettamente trasmissivi. L’insieme dei compiti assegnati al front-end processor non è molto vasto, ma si tratta di compiti che vengono svolti molto frequentemente e su molte linee e che quindi comportano, in assenza di questo organo, il rallentamento dell’ host. Per esempio, il front-end processor può avere la responsabilità dell’effettiva trasmissione su 200 o 300 linee o anche più; oppure, potrebbe avere compiti di rilevazione degli errori di trasmissione e di eventuali provvedimenti di ripristino, da eseguire senza “disturbare” l’ host.

Multiplicatore: questo organo serve a ottimizzare il rendimento di una determinata linea e si occupa di convogliare su di essa il flusso di dati provenienti da terminali diversi. Esso può usare tecniche di moltiplicazione di tipo FDM (esaminata in precedenza) o TDM (Time Division Multiplexing, se ne parlerà più avanti) ed è ovvio che è necessaria la presenza, all’altro capo della linea, di un organo che si comporti nel modo opposto, ossia che “demultipli” il flusso di altrettante linee separate in uscita.

Cluster controller: questo organo ha gli stessi compiti del moltiplicatore, con la differenza che non richiede la presenza del “demultiplicatore” all’altro capo della linea; infatti, il funzionamento è il seguente: l’ host dialoga direttamente con il cluster controller e gli invia tutti i messaggi destinati ai terminali collegati; il cluster controller riceve questi messaggi, li memorizza nei **buffer** (aree di memoria) dedicati ai singoli terminali e provvede all’inoltro successivo. Ovviamente, il funzionamento è speculare dalla parte opposta, nel senso che tutti i terminali inviano i propri messaggi al cluster controller, il quale li conserva nei rispettivi buffer e li invia successivamente all’ host.

Altre unità presenti in una rete per la trasmissione dati sono le seguenti:

- il **PABX**, ossia una centrale telefonica privata che può essere a volte usata per connettere i terminali di dati;
- il DCE necessario per il collegamento su linee a trasmissione digitale;
- le già citate “**autocall unit**”, per effettuare in modo automatico le procedure di chiamata e connessione, e le “**auto-answer unit**”, per automatizzare le procedure di risposta;
- le “**unità di cifratura/decifratura**” dei dati, aventi lo scopo di rendere “visibili” i dati solo a chi è autorizzato;
- le “**unità di compressione/decompressione**” dei dati, per ottimizzare il rendimento delle linee;
- il “**bridge**” tra due reti dello stesso tipo;
- il “**gateway**” tra due reti di tipo diverso;
- i “**convertitori di protocollo**”;
- le unità per commutare singole linee o gruppi di linee da un front-end all’altro, nel caso sia necessario riconfigurare la rete;
- le unità per il “**monitoraggio delle linee**”.

Tutte queste unità saranno ampiamente descritte nei prossimi capitoli.

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**
e-mail: sandry@iol.it
sito personale: <http://users.iol.it/sandry>
succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>