

Il sistema telefonico

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;
- è illegale, praticamente in tutti i paesi, stendere cavi sul suolo pubblico.

Purtroppo il sistema telefonico, o *rete pubblica telefonica commutata*, è nato e si è evoluto in funzione delle esigenze della fonia, anche se recentemente sta diventando sempre più adatto al traffico dati, grazie ai nuovi mezzi trasmissivi quali le fibre ottiche.

A titolo di esempio, si consideri la seguente tabella:

	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

Ossia, vi sono 11 ordini di grandezza di differenza: la stessa differenza che c'è tra il costo del Progetto Apollo e quello di un biglietto dell'autobus.

Struttura generale

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 quindi nacquero le società telefoniche (la prima fu la Bell) che aprirono *uffici di commutazione* nei quali un operatore smistava le chiamate fra i vari apparecchi. Questi non erano più collegati direttamente fra loro ma erano tutti connessi a un ufficio di commutazione.

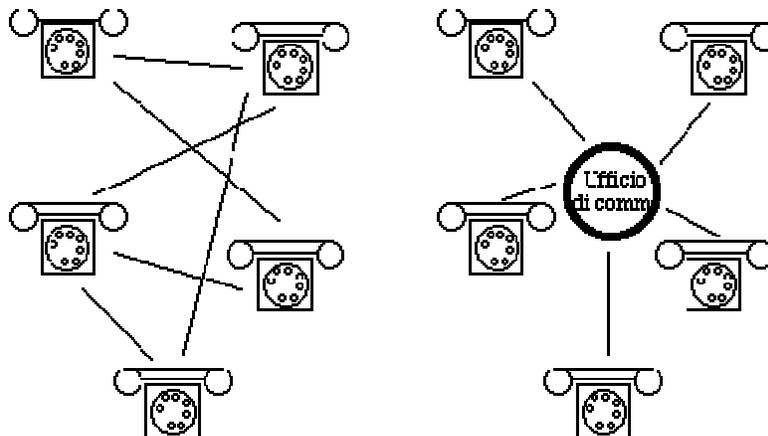


Figura 2-6: Nascita del sistema telefonico

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 la gerarchia si arrestò su cinque livelli (1890).

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.

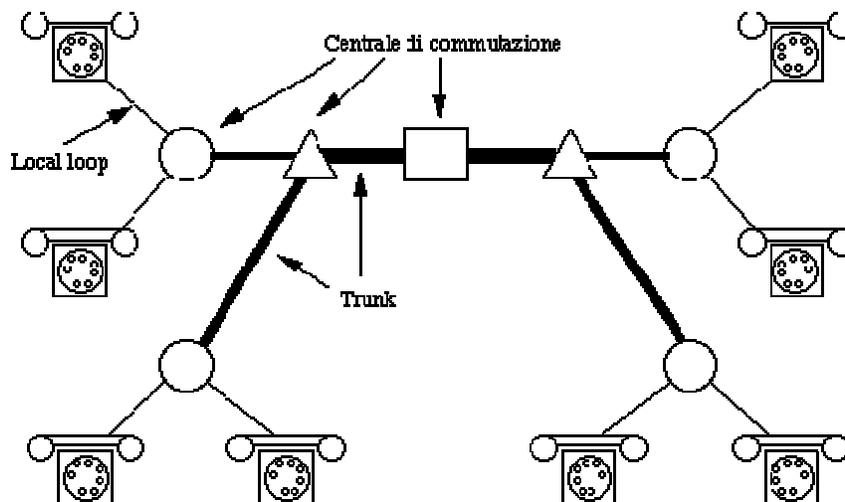


Figura 2-7: Struttura gerarchica del sistema telefonico

Al posto degli operatori vi sono delle **centrali di commutazione**, una volta elettromeccaniche 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).

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

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

Ormai quasi ovunque le centrali di commutazioni 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.

Il local loop

Ricordiamo che il local loop trasporta un segnale analogico con una larghezza di banda di 3 kHz (0-3 kHz). Dunque, per trasmettere dati digitali, essi devono essere trasformati in analogici da un'apparecchio detto **modem**. Quindi vengono ritrasformati in digitali nella centralina di commutazione da un apparecchio detto **codec**, (cosa che succede anche alle conversazioni telefoniche), e quindi subiscono le conversioni inverse sul local loop di destinazione.

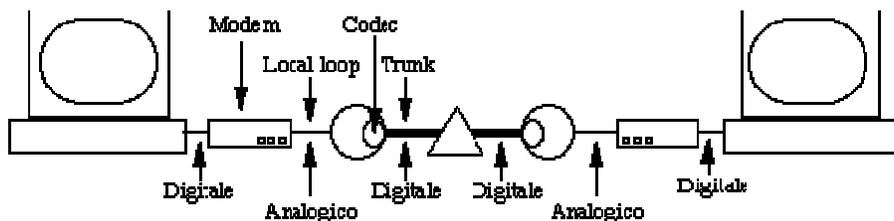


Figura 2-8: Trasmissione dati sul local loop

Ovviamente ciò non è l'ideale, ma bisogna accontentarsi.

Ricordiamo che:

- le linee di trasmissione inducono attenuazione e distorsione (ed in più, specialmente sul local loop, sono soggette a disturbi);
- la trasmissione digitale genera onde quadre, che hanno un'ampio spettro di frequenze.

Quindi, se si trasmette un segnale digitale sul local loop, a causa della banda ridotta si deve usare una bassissima velocità di trasmissione. Per evitare questo inconveniente, si usa un segnale sinusoidale (quindi analogico) nella banda fra 1 e 2 kHz, detto **portante**, che viene opportunamente modulato (variando nel tempo le sue caratteristiche) per trasmettere le informazioni.

Le principali tecniche di modulazione sono le seguenti:

- **modulazione di ampiezza**: si varia l'ampiezza;
- **modulazione di frequenza**: si varia la frequenza;
- **modulazione di fase**: si varia la fase (cioè il "ritardo" rispetto al segnale originale).

Il modem accetta in ingresso un segnale digitale e produce in uscita una portante analogica opportunamente modulata. Ora, poiché la banda passante (e quindi la velocità di segnalazione) è limitata a 3 kHz, sappiamo che non si possono trasmettere più di 6 Kbps (per il teorema di Nyquist) se il segnale è a due valori. Per raggiungere velocità superiori si deve riuscire ad aumentare il numero dei possibili valori trasmessi. Ciò si ottiene usando in modo combinato le tecniche di modulazione sopra viste.

Ad esempio, modulando opportunamente sia ampiezza che fase si possono rappresentare 16 valori diversi, quindi si possono ottenere 4 bit per baud. Dunque, su una linea a 2.400 baud (tipici del local loop), si può trasmettere alla velocità di 9.600 bps.

I diagrammi che definiscono i punti (nello spazio a coordinate polari ampiezza - fase) corrispondenti a valori validi del segnale da trasmettere si chiamano **constellation pattern**. Quello sopra citato è definito nello standard **V.32**, emesso da ITU. E' un esempio di standard per il livello fisico.

Un altro constellation pattern è definito nello standard **V.32 bis**, per velocità di 14.400 bps su linea a 2.400 baud. Esso utilizza 64 punti per trasmettere 6 bit per baud.

Infine, il **V.34** viaggia a 28.800 bps, quindi trasmette 12 bit per baud. Si deve notare che con questi due standard possono sorgere problemi se la linea telefonica è più rumorosa del normale (teorema di Shannon).

Un'ulteriore modo per aumentare le prestazioni è ricorrere a meccanismi di **compressione dei dati** prima di trasmetterli. In tal modo, a parità di velocità, si inviano più informazioni.

Due standard importanti per la compressione dei dati sono :

V.42 bis, emesso da ITU;

MNP 5, standard de facto (Microcom Network Protocol).

Infine, per consentire una trasmissione contemporanea nei due sensi (**full-duplex**), ci sono due tecniche :

- suddividere la banda in due sottobande, una per ogni direzione; così però si dimezza la velocità. Questa tecnica è tipica degli standard per le velocità più basse, ad esempio V.21 per 300 bps;
- cancellazione dell'eco: ogni modem sfrutta l'intera banda e cancella in ricezione gli effetti della propria trasmissione.

Altri esempi di protocollo per il livello fisico sono quelli che stabiliscono le caratteristiche dell'interfaccia fra elaboratori (**DTE, Data Terminal Equipment**) e modem (**DCE, Data Circuit-terminating Equipment**), in termini:

- meccanici;
- elettrici;
- funzionali;
- procedurali.

Ad esempio, lo standard **RS-232-C** ed il molto simile **V.24** del CCITT caratterizzano:

- specifiche meccaniche: connettore a 25 pin con tutte le dimensioni specificate;
- specifiche elettriche:
 - valore 1 corrisponde a un segnale minore di -3 Volt;
 - valore 0 corrisponde a un segnale maggiore di +4 Volt;
 - data rate fino a 20 Kbps, lunghezza fino a 20 metri;
- specifiche funzionali: quali circuiti (trasmit, receive, clear to send, ecc.) sono collegati a quali pin;
- specifiche procedurali: costituiscono il protocollo nel vero senso della parola, cioè le coppie azione/reazione fra DTE e DCE.

Vi sono molte attività di sperimentazione e tentativi di standardizzazione per superare il collo di bottiglia del local loop.

Tutte però richiedono :

- eliminazione del filtro a 3 kHz;
- local loop non troppo lunghi e con doppino di buona qualità (quindi, non tutti gli utenti potranno usufruirne).

Le principali proposte sono le seguenti:

- **cable modem** (velocità di 30 Mbps): si connette l'elaboratore al cavo coassiale fornito da un gestore di Cable TV. Il problema principale è che il cavo viene condiviso da molti utenti.
- **ASDL (Asymmetric Digital Subscriber Line)**: velocità in ingresso 9 Mbps, in uscita 640 Kbps. Fornisce in casa un attacco ad alta velocità verso il sistema telefonico, ottenuto eliminando i filtri e usando più di un doppino. La banda non è condivisa con altri utenti.