



## Reti di Computer

## Reti di Computer

CODICE CORSO PG.09.02.4I.024

---

### Premessa

La rivoluzione digitale poggia su due pilastri: il primo è costituito dal computer, il secondo dalle telecomunicazioni e, in particolare, dalle telecomunicazioni digitali.

L'incontro tra telecomunicazioni e computer avviene piuttosto tardi nella storia di entrambe le tecnologie (anche se i computer esistevano da soli venti anni). I primi esperimenti in questo campo, infatti, risalgono agli anni '60. Ma questo incontro ha dato luogo ad alcune delle innovazioni più importanti nella storia della tecnologia, e specialmente negli ultimi venti anni ha impresso un enorme impulso all'industria di entrambi i settori. Oggi la convergenza tra questi due mondi è un dato acquisito, tanto che si parla comunemente di *Information and Communication Technology* (tecnologie dell'informazione e della comunicazione).

Un'area di particolare interesse in questo ambito è quella che si occupa dell'interconnessione tra computer, che spesso viene indicata con il termine *telematica*. Il termine deriva dalla composizione del prefisso *tele-* con *(infor)matica*, informatica a distanza. La telematica, infatti, si occupa della trasmissione di informazione a distanza tra sistemi informatici, mediante *reti di computer*.

Una delle caratteristiche più notevoli di cui gode l'informazione archiviata in formato digitale è la grande facilità di movimento. Un insieme di bit, infatti, può essere spostato con pochissimo dispendio di energia, a differenza di quanto avviene con l'informazione archiviata su uno dei tradizionali supporti materiali. Sfruttando questa grande mobilità dei bit, una rete telematica ci consente di trasmettere e ricevere dati da un computer ad un altro, posto che essi siano stati opportunamente collegati.

Questa capacità produce delle conseguenze molto interessanti. In primo luogo i computer, una volta collegati, possono scambiarsi dati e condividere risorse, distribuendo così il carico dell'elaborazione e dell'archiviazione delle informazioni. In secondo luogo essi, da puri strumenti di elaborazione dei dati, diventano veri e propri strumenti di comunicazione tra esseri umani.

---

### Cos'è la telecomunicazione

Telecomunicazione significa "comunicazione a distanza" (*tele-* deriva dal greco *têle*, lontano). In particolare, diciamo che siamo in presenza di un sistema di telecomunicazione se il trasferimento di informazioni nello spazio avviene mediante il trasporto di energia e non di materia (come sarebbe ad esempio nel caso del tra-

sferimento su carta). Questa precisazione consente di delimitare e descrivere in modo unitario un insieme di tecnologie (sviluppatasi a partire dalla fine del Settecento) che vanno dal telegrafo e, passando per il telefono, giungono fino alle comunicazioni satellitari. In tutti questi sistemi di comunicazione a distanza il trasferimento di informazione avviene attraverso il trasporto di flussi di energia come la corrente elettrica o le radiazioni elettromagnetiche di varia frequenza, attraverso un mezzo che può essere fisico (un cavo) o immateriale (lo spazio in cui si propagano le onde radio). Al contrario la posta richiede il trasporto fisico di "piccole porzioni di materia", le lettere.

I sistemi di telecomunicazione presentano molti vantaggi rispetto alle altre tecnologie di trasferimento delle informazioni. Pur avendo una portata molto ampia (pensiamo alle comunicazioni con le lontanissime sonde in giro per il nostro sistema solare), sono molto veloci. L'energia, infatti, viaggia molto più rapidamente della materia e, in alcune forme, è in grado di superare molti ostacoli (in particolare le onde radio a bassa frequenza). Queste caratteristiche li rendono atti alla comunicazione a distanza in tempo reale, sia in modalità unidirezionale (come la radio e la televisione) che bidirezionale (come il telefono).

---

## **Come viaggiano le informazioni**

La telecomunicazione consiste dunque nella trasmissione di informazione da una fonte A a una destinazione B, mediante il trasporto (flusso) di energia elettrica o elettromagnetica, detto *vettore* dell'informazione. Affinché questo trasporto abbia luogo sono necessarie alcune condizioni.

In primo luogo dovremo avere un apparato di trasmissione da una parte e uno di ricezione dall'altra. Inoltre, sarà necessario un canale attraverso il quale il flusso o gli impulsi di energia possano viaggiare senza subire attenuazioni o distorsioni eccessive. In secondo luogo è necessario che l'energia trasportata lungo il canale di comunicazione rappresenti l'informazione alla fonte.

Nella telecomunicazione la trasmissione di informazioni può avvenire sotto forma analogica o digitale, come descritto nel seguito.

### **La trasmissione analogica**

Alla base del concetto di analogico c'è l'idea di continuità. In modo più formale, nella trasmissione analogica si stabilisce un rapporto continuo tra il fenomeno rappresentato e il suo vettore tale che, per ogni variazione di stato nella fonte, si ha una variazione di stato nel vettore.

Per capire meglio, consideriamo l'esempio del telefono. Come noto, il suono è una vibrazione, che genera nell'aria dei movimenti ondulatori in qualche modo simili a quelli della superficie marina. Quando parliamo al telefono queste vibrazioni, o onde sonore, arrivano al microfono della cornetta, che è in grado di convertirle in variazioni di potenziale elettrico; queste generano a loro volta una corrente variabile lungo il filo, che giunge fino all'altro apparecchio, dove avviene il

processo inverso (Figura 1). Si noti che ogni variazione di frequenza delle onde sonore è direttamente proporzionale ad una variazione di potenziale elettrico: esattamente come vogliono i principi della trasmissione analogica.

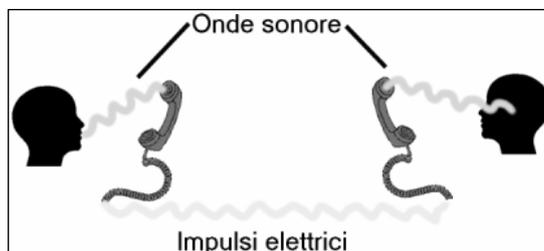


Figura 1 - La trasmissione analogica

Anche la radio e la televisione tradizionale usano un sistema di trasmissione analogica, che mette in corrispondenza diretta i suoni e la luce catturati da microfono e telecamere con le onde elettromagnetiche inviate dalle antenne. Naturalmente il processo di conversione è molto più complicato. Infatti, in questi casi bisogna trasmettere contemporaneamente nello stesso canale di trasmissione elettromagnetico vibrazioni sonore o emissioni di luce che hanno diverse frequenze ed intensità. Si fa ricorso dunque a tecniche come la *modulazione di ampiezza* e la *modulazione di frequenza*, che consentono di trasmettere una maggiore quantità di segnali su un singolo canale di trasmissione.

### La trasmissione digitale

La trasmissione digitale consiste proprio nella trasmissione di informazioni in formato digitale, cioè nella trasmissione di bit. In questo caso le informazioni della fonte, che possono essere già in formato digitale, oppure che vanno digitalizzate al momento della trasmissione, sono veicolate in forma di bit. Ogni bit viene codificato mediante uno o più impulsi discreti e discontinui del vettore, che sono denominati elementi del segnale. Naturalmente allo zero corrisponde una codifica ed all'uno ne corrisponde un'altra. Dal punto di vista pratico si possono utilizzare diversi generi di segnali: due livelli distinti di tensione elettrica, oppure due frequenze di emissione elettromagnetica, o ancora due impulsi luminosi emessi da un laser. Dipende ovviamente dal sistema di trasmissione che viene utilizzato.

Esistono diversi modi in cui viene effettuata la codifica dei bit alla fonte mediante gli elementi del segnale. Nel caso più semplice, ad ogni bit corrisponde un singolo segnale: allo zero corrisponde un livello basso di tensione elettrica, e all'uno un livello alto. Tuttavia, una simile codifica può facilmente generare errori, dovuti ad esempio a interferenze elettriche che trasformano i segnali corrispondenti a uno in zero e viceversa. Per questa ragione nei sistemi di telecomunicazione digitale reali si usano schemi più complessi che associano coppie o triple di elementi del segnale ad ogni bit. Questi sistemi di codifica più complessi presentano infatti dei vantaggi in termini di capacità di ricostruzione del segnale e di individuazione e controllo degli errori di trasmissione.

Una delle caratteristiche più rilevanti di un sistema di trasmissione digitale è la *velocità di trasmissione*, ovvero la quantità di informazione digitale che un canale è

in grado di trasmettere nell'unità di tempo. Poiché l'unità di misura dell'informazione in formato digitale è il bit, allora la grandezza della velocità di trasmissione si misura in *bps* (*bit al secondo*). La velocità di trasmissione di un canale digitale è proporzionale all'ampiezza dell'intervallo di frequenze elettriche o elettromagnetiche che vi possono essere veicolate, detta *larghezza di banda*. Per questo spesso i due termini sono usati in modo intercambiabile.

I sistemi di trasmissione digitale hanno iniziato a diffondersi solo negli ultimi tre decenni, ma oggi stanno progressivamente sostituendo i tradizionali canali analogici in tutte le aree delle telecomunicazioni. Le ragioni di questa migrazione sono molteplici. In primo luogo i costi delle tecnologie digitali sono diminuiti con un ritmo assai sostenuto, rendendo economicamente appetibile la conversione dei vecchi impianti. In secondo luogo l'enorme diffusione dei computer prima nelle tradizionali aree commerciali e scientifiche, e poi nel mercato di massa, ha posto all'ordine del giorno l'integrazione di tutte le tecnologie in un'unica piattaforma digitale. In terzo luogo, la trasmissione digitale delle informazioni consente una maggiore efficienza e qualità nella comunicazione, poiché è meno soggetta ai disturbi che si possono verificare lungo il canale di trasmissione e, soprattutto, perché consente di utilizzare una serie di tecniche per la correzione degli errori. Infine, la trasmissione digitale garantisce una sicurezza e una riservatezza quasi assoluta della comunicazione, poiché le informazioni digitali possono essere facilmente sottoposte a processi di cifratura che ne impediscono l'intercettazione.

## **Modulazione e codifica**

È possibile utilizzare un sistema di trasmissione digitale per inviare informazione analogica alla fonte e viceversa. In effetti, questo tipo di transizioni avviene assai spesso nelle attuali reti di telecomunicazione. Ad esempio, la linea telefonica adotta in gran parte un sistema di trasmissione misto, digitale tra le centrali e analogico da queste all'utenza.

Per rendere possibile il passaggio da informazioni analogiche a digitali, o viceversa, è necessario eseguire una conversione dei segnali. La conversione da digitale ad analogico si chiama *modulazione/demodulazione*. In sostanza si tratta di modificare (o modulare) alcuni parametri del segnale che trasporta l'informazione (detto portante) in modo tale da codificare opportunamente gli 1 e gli 0 della fonte. Alla destinazione avviene il processo inverso, che permette di estrarre dal segnale modulato la codifica binaria originale.

Purtroppo un segnale modulato che viaggia a lungo una linea è soggetto a notevoli interferenze, il che pone un limite alla quantità di bit che può essere trasmessa nell'unità di tempo lungo il canale. I primi apparecchi in grado di svolgere l'operazione di modulazione e demodulazione risalgono ai primordi della telematica, intorno alla fine degli anni cinquanta. Essi furono battezzati *modem* (contrattendo i due termini) e non superavano i 300 bps. I modem attuali più veloci sono riusciti a raggiungere la velocità di 56 Kbps, anche se tale velocità è teorica, e soprattutto può essere raggiunta solo in un verso di trasmissione. Siamo infatti ai limiti fisici che questa tecnologia è in grado di conseguire.

---

## **Telecomunicazioni e computer: reti di computer**

L'incontro tra il mondo dei computer e quello delle telecomunicazioni risale alla prima metà degli anni sessanta, periodo in cui comincia a diffondersi l'esigenza di condividere le risorse informatiche.

Un primo passo in questa direzione era stata la diffusione dei terminali remoti, collegati ad un computer centrale attraverso dei cavi. Ma in questo caso non si trattava di condivisione. I terminali erano infatti delle semplici unità di input e output (monitor e tastiera), che non avevano nulla da condividere: tutto il carico di elaborazione e di archiviazione dei dati gravava sull'elaboratore centrale.

Per ottenere una vera e propria condivisione era necessario far comunicare tra loro un insieme di computer, e fare in modo che i dati potessero viaggiare da uno all'altro, ed essere elaborati. Si trattava insomma di realizzare una sorta di rete, ai cui nodi fossero collocati degli elaboratori elettronici autonomi.

### **Le reti di computer: cosa sono e a che servono**

Un computer è una macchina in grado di manipolare informazione rappresentata in forma digitale. Durante il normale funzionamento, i bit viaggiano incessantemente e velocemente tra le varie componenti interne di un computer, attraverso dei canali detti bus: dalla memoria alla CPU; dalla CPU alla scheda grafica; dalla scheda grafica, trasformati in segnali analogici, fuori, verso il monitor.

Una rete di computer estende questa "capacità di circolazione" dei bit per consentire la trasmissione di informazione in formato digitale tra diversi computer. I vantaggi apportati da questo collegamento sono molteplici. Un computer che fa parte di una rete può accedere alle risorse (programmi e/o dati) residenti su altri computer, oppure utilizzare alcune periferiche (stampanti, fax) a essi collegate. È persino possibile realizzare dei "programmi modulari", i cui componenti sono eseguiti su computer diversi collegati mediante una rete. In genere questo tipo di applicazioni si basano sulla cosiddetta architettura client-server.

Come avviene per il singolo computer, anche una rete ha componenti fisiche, l'hardware, e componenti logiche, il software. Le componenti hardware di una rete sono costituite (oltre che dai computer, ovviamente) dai canali e dagli apparati di trasmissione mediante i quali i computer vengono fisicamente collegati, e lungo i quali viaggiano i segnali della comunicazione. Tali canali possono essere cavi di varia natura (cavi metallici, fibre ottiche) o sistemi di radiocomunicazione (ponti radio a microonde, antenne e satelliti). In genere una rete di computer vera e propria adotta dei sistemi di comunicazione integralmente digitali. Non di rado, tuttavia, vengono usate anche infrastrutture analogiche, come la rete telefonica, associate a dispositivi di modulazione e demodulazione (modem).

Le componenti logiche di una rete telematica sono invece i programmi di gestione del collegamento e del traffico dei dati, tecnicamente denominati *protocolli*. Essi

svolgono diverse funzioni, che vanno dall'*instradamento* dei dati tra i vari nodi di una rete, alla correzione degli errori di trasmissione.

## Tipi di rete

Nel corso degli anni sono stati sviluppati diversi sistemi per realizzare e gestire la comunicazione tra computer. Di conseguenza esistono diversi tipi di rete, ognuna con i suoi protocolli e le sue infrastrutture hardware. Si parla dunque di rete Ethernet, di rete Token Ring, di rete ATM, ecc.

Ma nell'ambito della telematica vengono adottati anche dei criteri più generali per classificare le reti di computer. Una delle distinzioni più comuni è basata sull'*estensione fisica* della rete. Da questo punto di vista si distinguono due classi: *rete locale*, o LAN (da Local Area Network), e *rete geografica*, o WAN (da Wide Area Network).

Una *rete locale*, è una rete dall'estensione limitata (che non supera le poche centinaia di metri) e che in genere è collocata interamente dentro un solo edificio. Si tratta delle reti che vengono utilizzate negli uffici, nelle aule attrezzate delle scuole, nei centri di ricerca e nelle università al fine di condividere risorse e di scambiarsi messaggi. Talvolta una rete locale si estende su aree più vaste, spesso collegandosi ad altre reti locali: in questo caso si parla di reti dipartimentali. La tecnologia più diffusa per realizzare LAN si chiama *Ethernet*.

Una rete geografica, invece, è una rete distribuita su distanze molto grandi. Queste reti connettono computer, o più spesso intere reti locali, collocati ad esempio nelle varie filiali di una banca, o nelle differenti sedi di un'azienda. Possono coprire aree che vanno dai pochi chilometri di un'area metropolitana (in questo caso sono dette *MAN*, Metropolitan Area Network) fino alle distanze intercontinentali delle grandi reti aziendali e di *Internet*, la rete geografica per eccellenza.

Un altro criterio di classificazione delle reti di computer riguarda la forma o *topologia* delle reti. Da questa forma dipende anche il modo in cui i bit viaggiano da un nodo all'altro. Da questo punto di vista si distinguono generalmente le seguenti categorie di rete: reti *punto a punto* (dette anche a maglie o distribuite), reti *a stella*, reti *a bus*, reti *gerarchiche*, reti *ad anello* (Figura 2).

Le *reti punto a punto* sono reti in cui ogni singolo nodo è collegato con molti altri nodi, al limite con tutti (quest'ultima topologia fornisce la massima efficienza, ma rende estremamente complicata e costosa l'aggiunta di nuovi nodi alla rete). I messaggi vengono inoltrati da un nodo all'altro scegliendo uno dei molti percorsi disponibili e la scelta del percorso può avvenire in modo dinamico, secondo le condizioni di traffico della rete. Si noti che, grazie alla ridondanza dei collegamenti tra i nodi, le reti punto a punto offrono un alto livello di affidabilità. Infatti l'interruzione di un collegamento o la rottura di un nodo non pregiudica la funzionalità complessiva del sistema. Per questo motivo la topologia distribuita si presta anche come modello per grandi reti geografiche con moltissimi nodi.

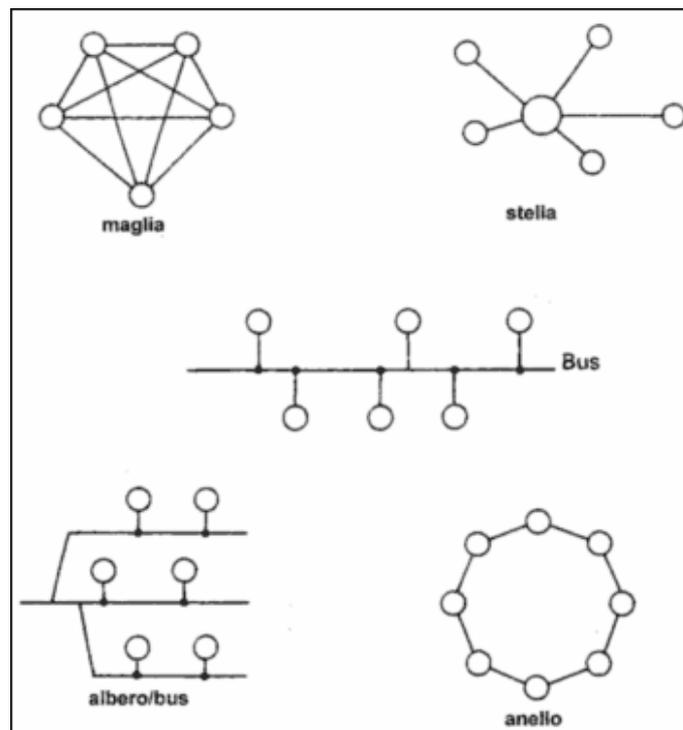


Figura 2 - Diverse topologie di rete telematica. Nota che le reti a maglia sono oggi meglio conosciute come *reti punto a punto*

Le *reti a stella*, come la definizione lascia supporre, sono basate su un nodo centrale (detto *hub*) al quale sono connessi tutti gli altri nodi periferici. La comunicazione tra due nodi viene mediata sempre dal nodo centrale. Questo tipo di configurazione è utilizzato spesso nelle reti locali. Uno *switch* si comporta in modo simile a un hub ma è in grado di sfruttare meglio la banda della rete, riducendo i tempi di latenza.

Nelle *reti a bus* tutti i nodi sono collegati a un cavo lineare (*bus*), come gli affluenti di un fiume, mediante delle diramazioni cui sono collegati i computer. In alcuni casi le reti a bus possono avere come diramazioni dei bus secondari, assumendo una topologia ad albero. In questo tipo di rete tutti i nodi condividono un medesimo canale di trasmissione, ed inoltre ogni messaggio viaggia sempre in tutte le direzioni. Questo comporta dei notevoli problemi di controllo della trasmissione, e comunque limita l'uso della topologia alla realizzazione di reti locali, dove il numero di nodi è limitato. Una dei sistemi migliori per gestire questi problemi è alla base della tecnologia Ethernet.

Le *reti ad anello* infine, sono costituite da una serie di nodi interconnessi in modo da formare un anello chiuso. In queste reti i dati viaggiano sempre nella stessa direzione finché non giungono al nodo destinazione. Questo limita i problemi di congestione ma rende meno efficiente l'utilizzo della rete (ogni nodo rifiuta nuovi messaggi finché non ha terminato di ritrasmettere il precedente) e soprattutto può generare dei dati che circolano indefinitamente lungo l'anello. Per evitare queste

evenienze sono state sviluppate diverse tecnologie, delle quali la più efficiente è la rete *token ring*, che ha avuto una discreta diffusione nell'ambito delle reti locali.

---

## Dove viaggiano le informazioni

Affinché le informazioni codificate possano viaggiare lungo una rete telematica, o più in generale lungo un qualsiasi sistema di telecomunicazione, è necessario un mezzo di trasmissione che colleghi il trasmettitore ed il ricevitore. Tale mezzo può essere un cavo metallico (normalmente in rame) su cui viaggia una corrente elettrica, una fibra ottica che conduce un impulso luminoso, o un'onda elettromagnetica che viaggia attraverso l'etere. Ciascuna di queste soluzioni presenta vantaggi e svantaggi, sia dal punto di vista tecnico (larghezza di banda, resistenza ai disturbi, distanza massima raggiungibile) sia in termini di costi e manutenzione.

## I mezzi di trasmissione

Il più diffuso mezzo di trasmissione è la coppia intrecciata di cavi, o *doppino* ritorto (Figura 3). Si tratta di una coppia di fili in materiale conduttore (in genere il rame) intrecciati l'uno con l'altro in modo tale da ridurre gli effetti delle interferenze. Questa soluzione è adottata sia in applicazioni telematiche, sia nei tratti delle reti telefoniche pubbliche che arrivano fino all'utente.



Figura 3 - Schema di doppino

Purtroppo la coppia intrecciata è molto sensibile al rumore e questo ne limita sia la larghezza di banda, che la lunghezza massima oltre la quale il segnale diventa inutilizzabile. Per distanze di poche centinaia di metri si possono raggiungere velocità massime di 10 Mbps. Su distanze maggiori le prestazioni diminuiscono notevolmente: i cavi della rete telefonica che collegano le utenze alle centraline con tratti non superiori al paio di chilometri possono arrivare fino a 8 Mbps, ma solo in una direzione, e solo grazie allo sfruttamento intensivo delle tecniche di compressione dei dati. Naturalmente prestazioni migliori possono essere ottenute usando in un unico cavo una serie di doppini: ad esempio la rete *Fast Ethernet*, un'evoluzione della tradizionale rete Ethernet, usa un cavo composto da 4 coppie su cui riesce sviluppare una banda passante di 100Mbit (Figura 4).



Figura 4 - Un cavo a coppia intrecciata per reti Ethernet e Fast Ethernet

Un altro mezzo di trasmissione molto diffuso sia nelle reti locali di computer sia nella televisione via cavo, è il *cavo coassiale* (Figura 5). Si tratta di un cavo rotondo composta da vari strati: al centro c'è un filo di rame ricoperto da uno strato di materiale isolante, a sua volta rivestito da un conduttore a maglia, il tutto all'interno di una guaina isolante. Rispetto al doppino, questo tipo di cavo presenta una maggiore resistenza al rumore, ed offre un'ampiezza di banda più elevata: si va dai 140 Mbps su distanze brevi ai 20 o 30 Mbps per tratti di alcune centinaia di metri.

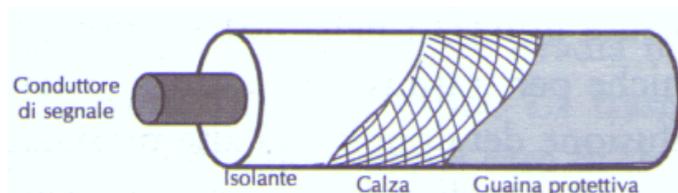


Figura 5 - Schema di un cavo coassiale

I mezzi di trasmissione che abbiamo visto finora veicolano i segnali sotto forma di corrente elettrica. Ma l'elettricità non è il solo veicolo possibile per il trasferimento di segnali. Sotto molti punti di vista sono assai più efficienti le radiazioni elettromagnetiche. In particolare due sono i tipi di radiazioni elettromagnetiche usate nei sistemi di comunicazione telematica.

La prima è la luce visibile, che viene utilizzata nelle *fibre ottiche*. Come il termine lascia immaginare, le fibre ottiche si basano sulla conduzione di impulsi di luce. Possiamo immaginare una fibra ottica come un sottilissimo tunnel (della dimensione di un capello!) rivestito di specchi, in grado di intrappolare un fascio di luce e di condurlo, attraverso una sequenza di riflessioni, da un capo ad un altro.

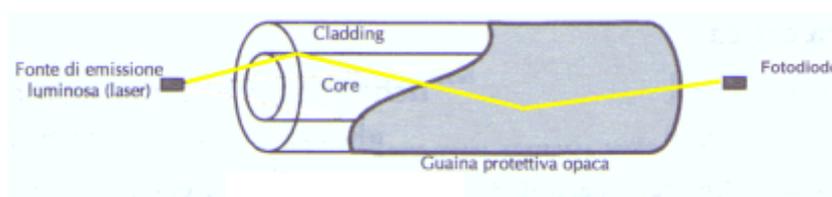


Figura 6 - Schema del funzionamento di una fibra ottica

Una fibra ottica è composta da un nucleo in vetro o plastica con un alto indice di rifrazione (detto *core*) rivestito da un materiale con un indice di rifrazione leggermente minore (detto *cladding*), il tutto ricoperto da un materiale opaco che isola la fibra dalla luce esterna (Figura 6). In queste condizioni tutti i raggi di luce che colpiscono il confine tra i due mezzi con un angolo inferiore a un certo valore vengono riflessi. Gli impulsi luminosi, emessi da un laser, viaggiano dunque dentro la fibra a "zigzag" fino al capo opposto dove sono raccolti da un sensore detto fotodiodo (una specie di cellula fotoelettrica) e trasformati in impulsi elettrici.

I vantaggi apportati da questa tecnologia, messa a punto solo negli anni 70 (sebbene i principi fossero già noti sin dagli anni 50), sono enormi. A differenza dei cavi metallici, una fibra ottica può trasportare enormi quantità di informazioni co-

dificate mediante impulsi di luce per lunghissime distanze. Oggi la banda passante di una singola fibra dello spessore di un capello arriva fino a 2,5 Gbit al secondo. E naturalmente i cavi in fibra ottica che vengono realizzati in pratica sono composti da un fascio di numerose fibre. Per avere un'idea della quantità di informazioni che possono passare attraverso tali canali di telecomunicazione, si consideri che una banda passante di 1,7 Gbps permette di trasmettere un milione di conversazioni telefoniche contemporanee. E in sede sperimentale sono state sviluppate delle fibre che arrivano alla velocità di 100 Gbps.

Con questi numeri la fibra ottica si candida ad essere il mezzo di trasmissione ideale, ma ci sono delle controindicazioni: i costi di installazione, in particolare nel caso dell'ultimo miglio, cioè dei tratti di linea che collegano gli utenti finali alla rete. Una possibile soluzione potrebbe venire da un mezzo di trasmissione già ampiamente adottato nell'ambito delle telecomunicazioni: le *onde radio*, che non hanno bisogno di essere trasmesse all'interno di cavi, poiché possono viaggiare per lunghe distanze attraverso lo spazio. Grazie a questa caratteristica le onde radio rappresentano oggi il veicolo preferenziale del sistema delle telecomunicazioni mondiali: radio, telefonia mobile e in parte anche telefonia fissa si basano appunto sulla trasmissione di onde radio a varia frequenza. Non deve stupire dunque che esse possano essere usate anche per collegare tra loro computer.

I sistemi di telecomunicazione a onde radio sono basati su diverse tecnologie, a seconda delle esigenze che debbono soddisfare. I collegamenti terrestri per distanze non molto elevate (ad esempio tra due edifici non distanti) adottano antenne paraboliche a microonde di bassa potenza, in grado di creare un cosiddetto "ponte radio". Per distanze geografiche invece sono necessari apparati di trasmissione assai più potenti e costosi. La necessità di impianti molto potenti è determinata anche dai forti disturbi cui sono soggetti i segnali radio che viaggiano lungo la superficie terrestre. Un problema di cui non soffrono le trasmissioni radio satellitari. Un satellite artificiale per telecomunicazioni è in effetti una stazione ripetitrice a microonde, in grado di ricevere e trasmettere verso molte stazioni sulla superficie. In genere tali satelliti sono posti su un'orbita detta geostazionaria, a circa 36.000 Km di altezza. Tale orbita consente di assumere la medesima velocità angolare di rotazione della terra e al tempo di bilanciare l'attrazione gravitazionale: ne consegue che il satellite rimane "parcheggiato" su una perpendicolare, ed è in grado di funzionare da ripetitore per una determinata area del pianeta.

I satelliti geostazionari vengono utilizzati nell'ambito delle telecomunicazioni con tecnologie analogiche sin dagli anni 60. Da circa dieci anni è in atto una massiccia transizione verso le comunicazioni satellitari digitali, che coinvolge in primo luogo la televisione, e che potrebbe in futuro costituire la base per una infrastruttura telematica planetaria. Già oggi è possibile la ricezione di dati mediante una semplice antenna parabolica (identica a quelle adoperata per la televisione satellitare) con una velocità di 400 o 500 Kbps. Tuttavia il processo inverso è ancora impossibile. Infatti per inviare un segnale a microonde verso un satellite geostazionario è necessario sviluppare una notevole potenza (e di conseguenza utilizzare un'antenna parabolica con un diametro dell'ordine delle decine di metri).



Figura 7 - La comunicazione satellitare

Una soluzione potrebbe venire dall'uso di una rete di satelliti a bassa quota (inferiore ai 50 Km). In primo luogo i costi di lancio per questi satelliti sono assai minori rispetto a quelli richiesti per mandare qualcosa a migliaia di chilometri di altezza. Inoltre la loro vicinanza alla superficie permette di ridurre notevolmente la potenza necessaria per l'invio di segnali, e dunque consentirebbe la diffusione di apparati ricetrasmittenti domestici. L'unica difficoltà è costituita dalla necessità di cambiare satellite appena il precedente esce dallo specchio di visibilità, poiché le basse orbite non sono geostazionarie. Tuttavia, tecnologie di sincronizzazione simili sono oggi ampiamente utilizzate nelle radiocomunicazioni terrestri (ad esempio nelle reti telefoniche cellulari) e non dovrebbero esserci difficoltà eccessive ad estenderle alla comunicazione satellitare. Molti operatori nell'industria delle informazioni e delle telecomunicazioni hanno mostrato un notevole interesse verso questo sistema di trasmissione, e diversi progetti sono stati avviati in questa direzione.

### **Interfacce tra rete e computer**

Abbiamo detto che una rete telematica è fisicamente costituita da un insieme di computer e da una infrastruttura di comunicazione. Ma per far funzionare il tutto c'è bisogno di un terzo elemento: dei dispositivi di interfaccia che consentano la connessione di ciascun computer ai corrispondenti terminali della rete.

Le interfacce di rete variano in relazione al particolare tipo di mezzo di trasmissione che si sta utilizzando. La più semplice interfaccia di rete è il *modem* (Figura 8). Come abbiamo già avuto modo di vedere, il modem è un dispositivo che permette di collegare due computer mediante una normale linea analogica, come quella telefonica. Poiché i computer rappresentano l'informazione in formato digitale, essi non possono utilizzare direttamente una linea analogica come canale di trasmissione.

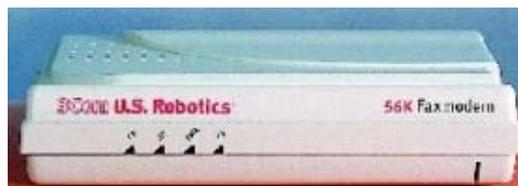


Figura 8 - La vista anteriore di un modem esterno

Il modem rende possibile questa comunicazione trasformando il flusso di segnali digitali in un flusso di segnali analogici e viceversa mediante i processi di “modulazione” e “demodulazione”. Ovviamente, per collegare in questo modo due computer occorre dotarli entrambi di un modem. Il flusso di bit in uscita dal computer trasmittente passa attraverso il modem, dove viene trasformato in un segnale analogico. Quando arriva al modem del computer ricevente, il segnale analogico subisce il trattamento inverso, ritrasformandosi in una catena di bit, che il computer può tranquillamente manipolare.

A causa dei limiti intrinseci alla comunicazione analogica su doppino ritorto la velocità di trasmissione di un modem non può essere troppo alta. Attualmente i migliori permettono di ricevere dati con una banda passante teorica di 56 Kbps, e di inviare a 32 Kbps. I limiti di velocità dei modem sono bilanciati dalla opportunità che essi offrono di collegare un computer ad una rete sfruttando l’infrastruttura telefonica, l’unica rete ad avere una diffusione capillare, fino alle abitazioni private.

Per raggiungere velocità più elevate è necessario utilizzare un sistema interamente digitale, come ISDN che arriva fino a 128 Kbps o DSL (Digital Subscriber Line), l’ultimo sviluppo sull’infrastruttura esistente di doppino telefonico, che arriva a diversi Mbits. In particolare, in Italia, si è diffusa la DSL asimmetrica, nota come ADSL, dove la velocità in download e in upload non coincidono. Ad esempio, le prime offerte prevedevano 640 Kbits in download e 256 Kbits in upload.



Figura 9 - Scheda di rete dotata di vari tipi di porte

Se invece si deve collegare un computer in modo permanente a una rete digitale ad alta velocità (locale o geografica) è necessario utilizzare una *scheda di rete* (Figura 9), che va inserita in uno degli slot di espansione della piastra madre, in modo simile alle schede che controllano il video. Sulla parte esterna è dotata di speciali prese, nelle quali vanno inserite le spine (o plug) dei cavi di collegamento.

---

## Software di rete

Il problema principale in un processo di comunicazione è la definizione di un linguaggio comune ai diversi attori in gioco, che, nel nostro caso, sono in primo luogo i computer. E i computer, come noto, pur usando tutti lo stesso alfabeto - il codice binario - “parlano” spesso linguaggi differenti e incompatibili: computer diversi usano sistemi operativi, codici di caratteri, strutture di dati, che possono es-

sere anche molto diversi. Per permettere la comunicazione tra l'uno e l'altro è necessario definire delle regole condivise da tutti. Questa funzione, nell'ambito della telematica, viene svolta dai *protocolli*, che definiscono le regole con cui per manipolare e inviare i bit tra i computer collegati in una rete, in modo indipendente da ambienti operativi ed architetture hardware di tali computer. In particolare essi devono svolgere le seguenti funzioni:

- utilizzare in modo efficiente il mezzo di trasmissione della rete;
- gestire l'istadamento (routing), ovvero l'invio dei dati da un computer all'altro;
- garantire con la massima sicurezza il buon fine della comunicazione ed effettuare il controllo e la soluzione di eventuali errori;
- permettere il funzionamento di servizi di rete di alto livello, utilizzabili dall'utente (ad esempio lo scambio file, o l'invio e la ricezione di messaggi di posta elettronica).

Come si vede si tratta di funzioni diverse che si collocano su vari livelli gerarchici: per instradare i dati occorre sapere inviare segnali codificati attraverso i cavi; per controllare che un certo messaggio sia arrivato a destinazione integro, ed eventualmente correggere gli errori, bisogna prima far viaggiare il messaggio da un nodo all'altro. Per questa ragione i protocolli sono spesso suddivisi in vari livelli operativi, a formare una sorta di pila di servizi. Ogni strato si occupa delle sue mansioni e li passa allo strato seguente nella gerarchia. Naturalmente, questo "passamano" procede in un verso al momento dell'invio, e nell'altro al momento della ricezione.

A ogni strato di servizi di rete corrisponde un determinato software che deve essere installato su ogni computer interconnesso. Naturalmente non tutti gli strati devono essere presenti su tutti i computer: alcune funzioni possono essere delegate interamente ad un singolo nodo, o alcuni servizi di alto livello possono essere assenti da uno o più nodi.

Come abbiamo già detto, esistono diversi tipi di rete, che adottano protocolli diversi. Spesso è possibile far comunicare reti diverse usando dei sistemi di contatto (*gateway*), in grado di "parlare" entrambi i protocolli, oppure costruendo sopra i protocolli originari degli ulteriori protocolli di interconnessione. È quanto avviene nel caso della più famosa rete di computer oggi esistente, la rete Internet.

---

## Internet

Fino a pochi anni fa, le reti di computer erano argomento specialistico per studenti e cultori di informatica, e la loro trattazione non compariva nemmeno nei manuali universitari di informatica generale. Ma oggi proprio intorno alla prodigiosa espansione di Internet ruota gran parte della rivoluzione digitale.

Dal punto di vista tecnico, Internet è un rete di reti (una inter-rete, in inglese *internet*), che collega in tutto il mondo migliaia di reti, basate su tecnologie e infrastrutture diverse (Figura 10), grazie ad un insieme di protocolli comune denominato *TCP/IP* (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). I computer collegati a Internet in modo permanente ed attraverso delle linee di trasmissione dedicate vengono detti *host*. Oltre agli *host* veri e propri, moltissimi computer si connettono alla rete in modo temporaneo tramite collegamenti su linee telefoniche commutate (sia analogiche sia digitali), effettuati in genere da utenti domestici.

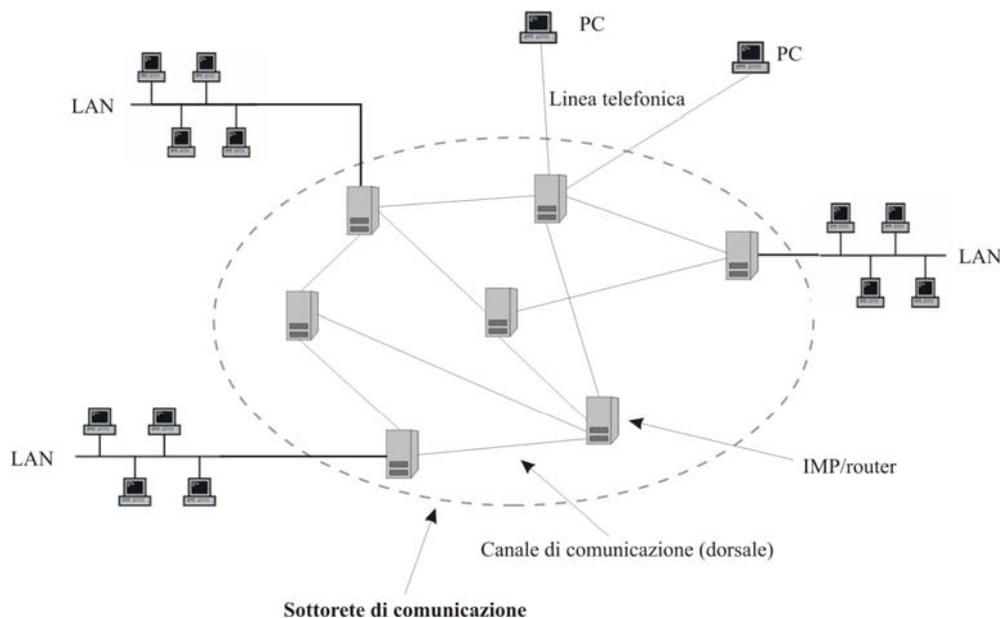


Figura 10 – Struttura esemplificata di Internet

I principi teorici e le tecnologie su cui si fonda Internet, ma anche le norme e i valori a cui si sono ispirati i suoi creatori, ne hanno permesso uno sviluppo decentrato che ha portato alla creazione di uno spazio di comunicazione planetario. Oggi la rete collega milioni di computer distribuiti su tutto il pianeta, che quotidianamente si scambiano miliardi di bit di informazioni, e che vengono utilizzati da decine di milioni di persone per lavorare, studiare, fare acquisti, giocare. Le stime numeriche relative alla diffusione della rete vanno prese con estrema cautela. Ma, anche se accogliessimo le ipotesi più riduttive, Internet è il mezzo di comunicazione che si è diffuso più rapidamente nella storia dell'umanità.

### Come funziona Internet

Il successo di Internet e la sua diffusione sono dovuti in buona misura alle tecnologie su cui si basa. Poiché si tratta di tecnologie molto importanti, che hanno profondamente influenzato lo sviluppo delle telecomunicazioni, è importante cercare di capirne i tratti fondamentali.

Cominciamo con il concetto di interconnessione tra reti fisiche diverse. Abbiamo detto che Internet è una rete di reti telematiche. Per capire meglio che cosa si intende con questa affermazione utilizziamo una similitudine con una infrastruttura

che ci è molto più familiare: la rete ferroviaria. Possiamo dire che, in prima approssimazione, ciascuna sottorete che è parte di Internet è assimilabile ad una rete ferroviaria nazionale, e che Internet stessa può essere assimilata al sistema ferroviario mondiale. Si noti che affinché i treni possano passare da una rete nazionale a un'altra, è necessario che esse condividano le norme di costruzione dei binari (ad esempio lo scartamento, cioè la distanza tra i binari) e che gli enti ferroviari si accordino sugli orari in cui far passare i treni e così via: sono insomma necessarie delle norme comuni, dei protocolli.

Un altro aspetto importante di Internet è la sua topologia distribuita e la conseguente molteplicità di percorsi che i dati possono fare per arrivare da un nodo A a un nodo B. Per afferrare questo aspetto, torniamo alla nostra metafora ferroviaria. Diciamo che le stazioni corrispondono ai nodi della rete. Ogni stazione di media grandezza è in genere collegata a più di una stazione, come ogni host di Internet è connesso con più host (naturalmente non tutti lo sono, come avviene per le stazioni ferroviarie). In questo modo se un viaggiatore volesse andare da Roma a Torino potrebbe prendere la linea che passa lungo la costa Tirrenica attraverso le stazioni di Grosseto, Livorno, Pisa e Genova; ma se i posti sul treno fossero esauriti potrebbe passare per Milano lungo la linea che passa per Firenze e Bologna, e di lì andare a Torino. Potremmo complicare ulteriormente, se necessario, l'articolazione del viaggio. Internet funziona sullo stesso principio ma ha una struttura immensamente più complessa di quella di una rete ferroviaria e decisamente molto più trafficata. Su Internet è come se i treni transitassero senza soluzione di continuità, il che rende estremamente probabile l'intasamento di una linea e la conseguente ricerca di una strada alternativa per far giungere il passeggero a destinazione. Quindi può capitare che un dato prima di arrivare al destinatario faccia il giro di mezzo mondo!

Ma come fanno i computer delegati allo smistamento dei dati a trovare la strada giusta per ogni messaggio? A questo fine viene impiegato uno schema di indirizzamento dei computer collegati in rete. Ogni host è dotato di un suo indirizzo univoco, costituito da una sequenza di quattro numeri da 1 a 255; ad esempio 151.100.4.2. La struttura di questo indirizzo viene usata per trovare la strada giusta. Per capire meglio lo schema di indirizzamento di Internet basta pensare alla struttura di un normale indirizzo postale. Lo scriviamo come nei paesi anglosassoni, con il numero civico prima: 2, Vicolo Stretto, Roma, Italia. Pensiamo ora al sistema postale: quando imbuciamo una lettera questa arriva all'ufficio postale locale; se la lettera ha un indirizzo di competenza di un altro ufficio postale cittadino, sarà inviata a quell'ufficio postale, che si occuperà di recapitarla al destinatario. Naturalmente l'ufficio postale locale non conosce gli indirizzi di tutti gli altri uffici postali locali del mondo. Se una lettera è indirizzata ad esempio in Francia, l'ufficio locale la spedisce prima all'ufficio nazionale delle poste, che a sua volta manderà tutta la corrispondenza indirizzata alla Francia al suo omologo francese, il quale farà procedere la nostra lettera verso l'ufficio postale locale, che infine la recapiterà al destinatario. Anche su Internet esistono degli host particolari, detti IMP (Interface Message Processor) e meglio noti come *router* (cfr. Figura

11), che fanno le veci degli uffici postali, e si preoccupano di smistare i messaggi da un computer all'altro leggendo l'indirizzo di ciascun messaggio.

Ma i messaggi su Internet, a differenza delle lettere postali, non viaggiano tutti interi. Infatti essi vengono divisi in pacchetti, i quali vengono spediti autonomamente sulla rete. Ciascun pacchetto che fa parte di un determinato messaggio viene segnato con un numero d'ordine. Così quando arriverà a destinazione l'host potrà ricomporre il messaggio originario rimettendo in ordine tutti i pacchetti. Si noti che i singoli pacchetti possono anche prendere strade diverse, e che possono arrivare in un ordine diverso da quello originario. A sovrintendere alle operazioni di indirizzamento dei computer e di instradamento e segmentazione dei messaggi su Internet sono i protocolli TCP/IP.

La modalità di invio dei messaggi in blocchi (pacchetti) lungo una rete telematica si chiama commutazione di pacchetto. Infatti, "commutazione" è il termine tecnico usato per indicare il trasferimento di informazioni lungo una rete da un nodo all'altro. La commutazione di pacchetto si oppone ad un altro sistema di trasmissione: la commutazione di circuito. Nella commutazione di circuito ogni volta che un nodo A comunica con un nodo B, occupa interamente il tratto della linea di collegamento finché l'intero messaggio non è passato. Il sistema telefonico è un tipico esempio di rete a commutazione di circuito: finché stiamo parlando con qualcuno nessuna altra conversazione può passare per quel tratto di circuito.

La commutazione di pacchetto si adatta molto bene al traffico dei dati su una *rete con topologia distribuita* come è Internet. Essa infatti è molto efficiente nella gestione delle infrastrutture della rete, poiché consente di usare lo stesso tratto di cavo fisico per far passare molte comunicazioni diverse contemporaneamente, sia che provengano da più persone che operano sullo stesso computer, sia che provengano da più computer collegati a quel tratto di rete. Mai nessuno occuperà un certo tratto di rete fisica per intero, come invece avviene nella commutazione di circuito. Naturalmente tale efficienza è dovuta anche al fatto che nella comunicazione dati, normalmente, non è necessario avere una comunicazione in tempo reale, e gli eventuali ritardi di trasmissione non sono rilevanti.

Oggi i vantaggi di questo modo di commutazione per il trasferimento di dati in formato digitale è universalmente riconosciuto e tutte le tecnologie telematiche di recente concezione lo hanno adottato. Ma trenta anni fa, quando i primi pionieri della telematica ne elaborarono i principi teorici e ne implementarono il primo esempio funzionante, furono trattati come visionari o incompetenti dal grande establishment delle telecomunicazioni.