

Laboratorio di INFORMATICA di BASE

TEORIA ELEMENTARE
DELL' INFORMAZIONE

di Renato Agati

INDICE

1 Introduzione

2 La didattica della Teoria elementare dell'Informazione

2.1 Prerequisiti, competenze, obiettivi

2.2 Il piano di lavoro

3 La trasmissione dell'informazione

3.1 La comunicazione

3.2 Mezzi trasmissivi fisici

3.3 Velocità di trasmissione

3.4 La larghezza di banda

3.5 I protocolli di comunicazione

3.6 Codificazione

3.7 Controllo degli errori

4 La trasmissione dei segnali

4.1 Segnali analogici e digitali

4.2 Trasmissione su canali analogici

4.3 Trasmissione su canali digitali

5 La rete locale

5.1 Tipologie di rete

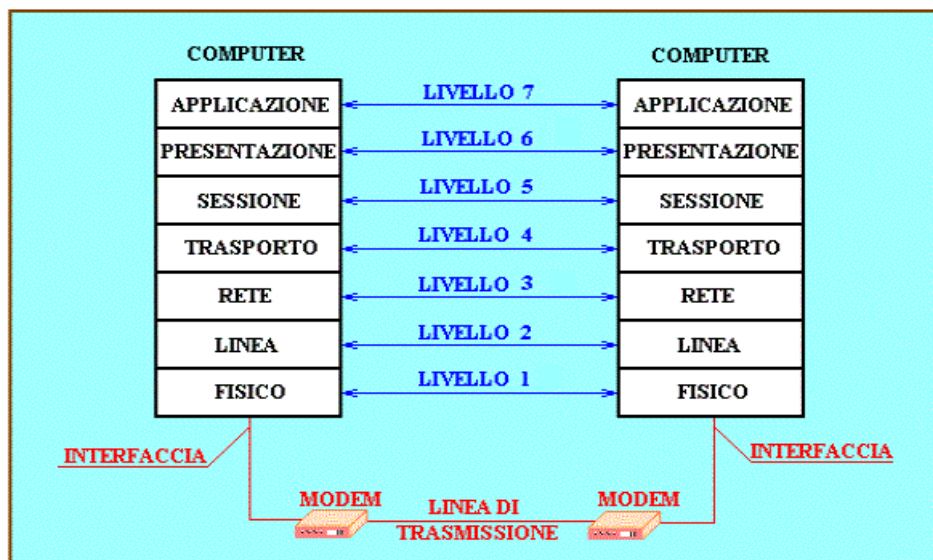
5.2 Trasmissione e controllo errori in una LAN: il CSMA/CD

1 INTRODUZIONE

Due computer (o, in generale, due dispositivi elettronici) possono comunicare tra loro scambiandosi dati in forma digitale, come sequenze di bit 0 e 1. Affinché ciò accada, occorre avere:

- una linea di trasmissione che collega i due computer e su cui transitano i dati;
- due dispositivi di interfaccia, uno per ciascun computer, che permettano di passare i dati dai computer alla linea di trasmissione, e viceversa;
- un software di comunicazione installato sui due computer, affinché possano dialogare tra loro.

La linea che trasporta i dati di solito è una connessione fisica (per esempio un doppino telefonico o un cavo di fibre ottiche), ma è anche possibile una trasmissione “senza fili”, per esempio tramite lo scambio di segnali radio.



In questo trattato vedremo cosa vuol dire trasmettere informazioni e come avviene la trasmissione di dati attraverso differenti canali di comunicazione.

E' stato voluto dare un taglio più trasversale che verticale, affrontando i vari argomenti senza scendere in dettagli tecnici: tale schema risulta essere più vicino a una programmazione didattica dove ogni argomento potrà essere ampliato in maniera più o meno approfondita in base al corso di studio.

2 La didattica della Teoria elementare dell'Informazione

2.1 Prerequisiti, obiettivi, competenze

Una valida sessione didattica sulla Teoria elementare dell'informazione prevede, come **prerequisiti**:

- Conoscenza del sistema di numerazione binario;
- Concetto di dati
- Concetto di segnale elettrico e livelli elettrici

Gli **obiettivi** della sessione sono i seguenti:

- Individuare caratteristiche dei diversi tipi di mezzi di comunicazione, con relativi vantaggi e svantaggi ;
- Comprendere e fornire esempi di trasmissione sincrona e asincrona;
- Comprendere e fornire esempi di trasmissione simplex, half duplex e full duplex;

Le **competenze** da raggiungere sono:

- Comprendere un processo di comunicazione;
- Spiegare i principi della teoria elementare dell'informazione;
- Conoscere le varie modalità di trasmissione dati.

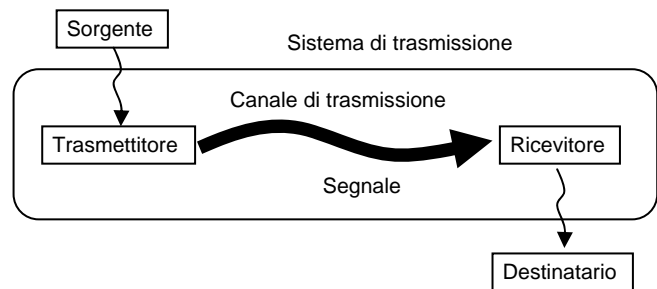
3 La trasmissione dell'informazione

3.1 La comunicazione

La comunicazione è il processo attraverso il quale due soggetti comunicanti (individui umani o dispositivi fisici) si scambiano informazioni sotto forma di messaggi.

Nella sua versione più semplice, un sistema di comunicazione può essere schematizzato come nella figura seguente:

la sorgente dell'informazione emette un messaggio, costituito da una successione di simboli; il trasmettitore converte questo messaggio in un segnale e lo invia lungo il canale di trasmissione che collega il trasmettitore con il ricevitore. Il ricevitore è complementare al trasmettitore: riceve il segnale e lo converte in un messaggio, passandolo poi al destinatario.



La comunicazione può essere:

- **sincrona**
quando i clock della sorgente e del destinatario vengono messi in fase grazie a caratteri di sincronismo che vengono inviati all'inizio della trasmissione, poi ad ogni blocco di caratteri trasmessi e infine alla fine della trasmissione.
- **asincrona**
quando i clock della sorgente e del destinatario non sono agganciati in fase e la sincronizzazione avviene tramite l'invio di un segnale di sincronismo ad ogni carattere.

La comunicazione può anche essere:

- **unicast**
quando il destinatario è uno solo
- **multicast**
quando i destinatari sono più di uno
- **broadcast**
quando i destinatari sono tutti

La comunicazione inoltre può essere:

- **simplex**
La comunicazione avviene solamente da sorgente a destinatario, e non viceversa.
- **half duplex**
La comunicazione può avvenire da sorgente a destinatario e viceversa, ma uno alla volta.
- **full duplex**
Sorgente e destinatario possono sia trasmettere che ricevere, contemporaneamente.

3.2 Mezzi trasmissivi fisici

Un sistema di comunicazione ha bisogno di un canale di trasmissione.

Tipicamente esso è basato su materiali metallici di rame, in quanto buon conduttore elettrico: con questo materiale sono costruiti i doppini telefonici e i cavi coassiali.

Recentemente sono state introdotte anche le fibre ottiche e le onde radio.

Vediamo le caratteristiche dei differenti mezzi.

Doppino (o Twisted Pair – TP)

Costituito da due conduttori di rame, intrecciati a forma elicoidale per aumentare l'immunità ai disturbi. Il cavo può essere costituito da più doppini.

Possiamo avere cavi:

- **UTP** – Unshielded Twisted Pair – Il cavo non è schermato
- **FTP** – Foiled Twisted Pair – Il cavo ha un'unica schermatura.
- **STP** – Shielded Twisted Pair – Ogni doppino presente nel cavo ha una sua propria schermatura.

Cavo coassiale

Costituito da un conduttore centrale in rame circondato da uno strato isolante a sua volta avvolto in una calza metallica che fa da schermo, non viene più utilizzato per le sue dimensioni e rigidità che rendono difficile ed onerosa la messa in opera.

Fibra ottica

La fibra ottica è costituita da un sottile filo realizzato con materiale vetroso o plastica (nylon), in grado di propagare segnali di luce.

Il trasmettitore è costituito da una sorgente luminosa (LED o laser) che converte il segnale elettrico in segnale luminoso.

Il ricevitore è costituito da un fotodiodo che converte il segnale luminoso in segnale elettrico.

I vantaggi offerti dalla fibra ottica sono l'elevata velocità di trasmissione e l'immunità a disturbi elettromagnetici.

Wireless

Le reti Wireless – senza fili – utilizzano onde elettromagnetiche che viaggiano nello spazio alla velocità della luce. La gamma di frequenza utilizzata per trasmettere informazioni tra computer è quella delle microonde, ed in particolare la banda è quella compresa tra 2400 e 2483 MHz.

3.3 Velocità di trasmissione

La velocità di trasmissione indica quanti bit vengono trasmessi in un secondo e dipende principalmente dal canale di trasmissione.

Nella trasmissione seriale che utilizza la porta RS232, la velocità massima non supera i 19200bps.

In un collegamento di rete (LAN) si può arrivare a 100Mbps e a 1 Gbps.

3.4 La larghezza di banda

Un fattore importante che determina la velocità di trasferimento dei dati è la larghezza di banda della linea usata per trasmettere i segnali. La larghezza di banda determina, in pratica, la quantità massima di bit che la linea può trasmettere in 1 secondo.

3.5 I protocolli di comunicazione

Si chiama protocollo di comunicazione un insieme di regole che assicurano che la trasmissione e la ricezione dei dati siano ordinate e accurate.

In particolare, il protocollo stabilisce come identificare in modo univoco i computer nella rete e come trasferire le informazioni tra di loro.

Quando due computer usano lo stesso protocollo di comunicazione, ognuno sarà in grado di interpretare i messaggi che gli arrivano dall'altro.

3.6 Codificazione

Affinché il destinatario possa comprendere il messaggio ricevuto, è necessario che i messaggi siano codificati e che trasmettitore e ricevitore utilizzino la stessa codificazione.

Per codice si intende un insieme di parole, di determinata lunghezza, appartenenti ad un determinato alfabeto.

I codici di sorgente più utilizzati sono:

- **Codice BCD (Binary-Coded Decimal)**

Basato sulla numerazione binaria, codifica ciascuna delle 10 cifre decimali in rappresentazione binaria a 4 bit. La codifica di un numero in base 10 avviene cifra per cifra, convertendo quindi in binario con 4 bit ciascuna cifra del numero.

- **Codice ASCII (American Standard Code for Information Interchange)**

Nella versione standard è un codice a 7 bit con i quali è possibile codificare 128 simboli diversi. Vengono così codificati sia caratteri riproducibili (quelli visualizzabili sullo schermo) sia caratteri non riproducibili, o di controllo.

- **Codici ISO 8859**

Famiglia costituita da 14 diversi codici a 8 bit, ciascuno in grado di rappresentare 256 caratteri.

I primi 128 caratteri sono equivalenti a quelli della codifica ASCII; seguono poi 32 caratteri di controllo e 96 caratteri specifici di diverse lingue.

- **Codice Unicode**

Con l'avvento di internet, del Web e della posta elettronica è emersa l'esigenza di poter gestire tutti i simboli utilizzati nei vari paesi del mondo.

Nasce così il consorzio Unicode che definisce un sistema che consente lo scambio, l'elaborazione e la visualizzazione di testi scritti nelle diverse lingue del mondo moderno.

Lo standard Unicode (o Unicode Worldwide Character Standard) oggi contiene 34168 caratteri supportati da 24 lingue diverse.

3.7 Controllo degli errori

In ogni processo di comunicazione, il canale di trasmissione è soggetto a disturbi o rumori che possono portare ad un'alterazione del messaggio tale da renderlo incomprensibile da parte del destinatario.

Sono stati quindi definite particolari codifiche che permettono al ricevitore di stabilire se il messaggio ricevuto è corretto o errato.

In particolare, esistono codici di rilevazione e codici di correzione (o autocorrettori).

I codici rivelatori di errori più utilizzati sono:

- **Codice a controllo di peso o controllo di parità (parity check)**
Utilizzato principalmente nella trasmissione seriale (sia asincrona che sincrona), aggiunge ad ogni parola un bit di controllo, come bit più significativo, che rende pari (o dispari) il peso di ogni parola formata da $n+1$ bit.
- **Codice ciclico di ridondanza (CRC)**
Il CRC si basa sul fatto che i bit che formano il messaggio possono essere considerati come i coefficienti di un polinomio in x di grado $n-1$.
Considerando tale polinomio $T(x)$ e un polinomio $G(x)$ di grado inferiore e avente il termine noto uguale a 1, si procede alla divisione di $T(x)$ per $G(x)$ e si calcola il resto.
Il messaggio inviato conterrà $T(x)$, $G(x)$ e il resto: il ricevitore eseguirà nuovamente la divisione $T(x)$ per $G(x)$ e calcolerà il resto, confrontandolo con quello ricevuto nel messaggio. Se i resti non coincidono, vuol dire che il messaggio ricevuto è errato.
- **Somma di controllo (Checksum)**
La tecnica del checksum consiste nell'elaborare i bit del messaggio secondo algoritmi standard e trasmettere il blocco di controllo ottenuto in coda al messaggio stesso.

I tre codici visti sono validi quando la trasmissione è half-duplex o full-duplex, quando cioè il ricevitore può comunicare al trasmettitore la corretta o errata ricezione del messaggio.

Se la trasmissione è di tipo simplex, bisogna ricorrere a **codici autocorrettori** in grado non solo di rilevare l'errore, ma anche di individuare la posizione del bit errato e correggerlo (attraverso un'operazione di negazione del bit stesso).

4 La trasmissione dei segnali

4.1 Segnali analogici e digitali

Prima di affrontare le varie modalità di trasmissione di segnali tra due o più dispositivi elettronici (ed in particolare tra computer), è necessario parlare di segnali analogici e segnali digitali.

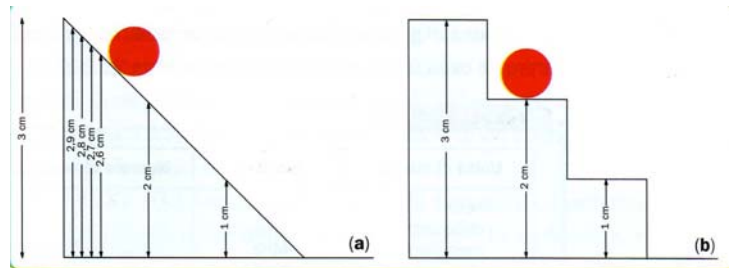
Un **segnale analogico** è un segnale che varia nel tempo con continuità, senza salti, e può essere rappresentato graficamente mediante una linea curva continua.

Un **segnale digitale** è un segnale che varia nel tempo non continuità, bensì a “scatti”, essendo rappresentabile in forma numerica.

Per meglio comprendere la differenza tra segnali analogici e segnali digitali si può fare l'esempio di una pallina che parte da un'altezza di 3 cm per raggiungere il suolo.

Se la pallina scivola lungo un piano inclinato, non ci sono salti e assume, man mano che scende, tutti gli infiniti valori compresi tra 3 e 0 centimetri.

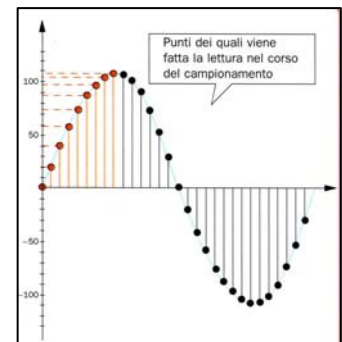
Se invece di scivolare, la pallina salta sui gradini di una scala alti 1 cm, essa passa da 3 cm direttamente a 2 cm, senza assumere alcuna posizione intermedia.



Il caso del piano inclinato corrisponde al segnale in forma **analogica**, quello della scala al segnale in forma **digitale**.

Un segnale analogico può essere trasformato in digitale: questa fase si chiama **campionamento**.

Il procedimento è il seguente: si fanno delle letture del segnale ad intervalli regolari e molto brevi, memorizzando nella forma digitale non tutti i punti dell'onda ma solo quelli in corrispondenza di tali intervalli. Per ognuno di questi punti viene memorizzato un numero che rappresenta il valore dell'ampiezza corrispondente. Questi numeri, trasformati in base 2, rappresentano il segnale digitale.



Con il procedimento inverso, partendo cioè dal segnale digitale, è possibile ricostruire l'andamento dell'onda in forma analogica.



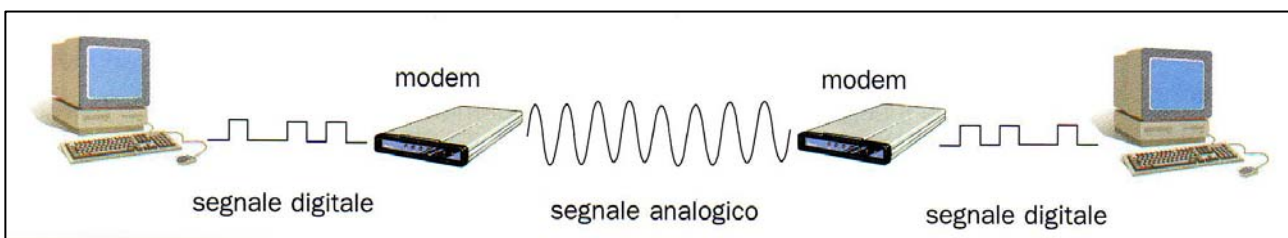
4.2 Trasmissione su canali analogici

Uno dei metodi per far comunicare tra loro computer, separati da grandi distanze, è quello di utilizzare i cavi telefonici già presenti nelle abitazioni.

La rete telefonica però è stata creata per trasmettere il suono della voce (segnale analogico) e non per trasmettere informazioni (segnali digitali).

Per trasmettere i dati del computer, che sono rappresentati in forma digitale, essi devono essere trasformati in segnali analogici per poter essere trasmessi attraverso la linea telefonica e, successivamente, ritrasformati in segnali digitali dal computer ricevente.

Per effettuare la trasformazione del segnale da digitale ad analogico e viceversa si ricorre ad un dispositivo chiamato **modem** (modulatore-demodulatore). Il modem del computer che trasmette trasforma i segnali digitali in segnali analogici che possono viaggiare sulle linee telefoniche (modulazione). Il modem del computer che riceve trasforma di nuovo il segnale analogico in digitale (demodulazione).



Due elementi importanti nella trasmissione sono la sicurezza da errori e la velocità di trasmissione.

Gli errori di trasmissione possono verificarsi principalmente a causa di attenuazione del segnale analogico o per disturbi presenti sulla rete telefonica ("rumore").

La velocità di un modem è il massimo numero di bit che esso può trasmettere o ricevere in un secondo e si misura di solito in bps (bit per secondo).

Oggi le linee telefoniche (basate su due cavi in rame – doppino telefonico) sono gestite da due tipi di centrali telefoniche: quelle analogiche e le più moderne digitali.

Qualora la propria linea telefonica sia gestita da una centrale analogica, la velocità massima di trasmissione e ricezione dati è di 56 kbps; se invece è presente una centrale telefonica digitale, si possono utilizzare tecnologie ISDN (Integrated Services Digital Network) e/o ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Loop) che hanno velocità superiori (da 128kbps di una connessione ISDN a oltre 4 Mbps dell'ADSL) e consentono il contemporaneo traffico di "voce".

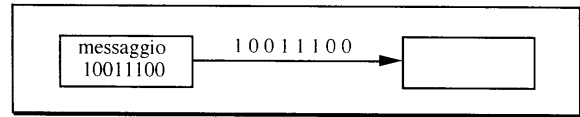
Nella tabella seguente si può notare come il tempo di trasferimento di dati si riduca notevolmente all'aumentare della velocità di trasmissione.

tipo di dati da trasferire	dimensione in kilobyte	modem a 56 kbps	linea ISDN a 128 kbps	linea ADSL a 640 kbps
una pagina di testo	3	< 1 secondo	< 1 secondo	<< 1 secondo
un'immagine	50	7 secondi	3 secondi	< 1 secondo
un brano musicale	1000	2 minuti e mezzo	1 minuto	13 secondi
un breve filmato	10 000	24 minuti	10 minuti	2 minuti

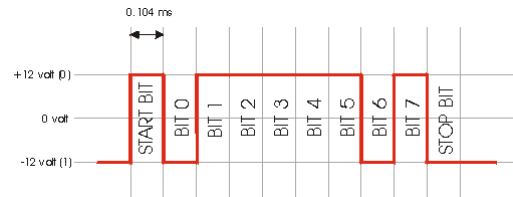
4.3 Trasmissione su canali digitali

La trasmissione seriale

Nel caso più semplice, se vogliamo trasferire dati da un personal computer a un altro che si trova nella stessa stanza, come linea di trasmissione è sufficiente un cavo che collega le porte seriali dei due computer. In tal caso i bit vengono trasmessi in serie, cioè uno dietro l'altro "in fila indiana", ovvero bit per bit.



In pratica, il byte che costituisce la parola viene scomposto in 8 bit, ai quali vengono aggiunti (sia in testa che in coda) altri due bit di start e stop più un eventuale terzo bit detto di parità utilizzato per individuare eventuali errori di trasmissione dovuti a disturbi di linea.



La trasmissione può essere full-duplex o half-duplex: nel primo caso sono consentite la trasmissione e la ricezione simultaneamente, nel secondo caso si ha una sola trasmissione per volta, in una sola direzione.

Via software è possibile definire e configurare alcuni parametri per adattare la trasmissione alle proprie necessità. Precisamente è possibile agire su:

- **baud rate**
indica la velocità di trasmissione dei bit. La velocità minima consentita è di 300Bit/sec., fino a un massimo di 115000 bps.
- **numero di bit**
consente di scegliere di inviare tutti gli 8 bit del carattere da trasmettere, o solo i primi 7 escludendo il più significativo. Si potranno in questo modo inviare solo i primi 128 caratteri della tabella ASCII.
- **parità**
con l'opzione parità è possibile aggiungere ad ogni invio di carattere un bit che indica se il primo bit del carattere è pari o dispari. Questa soluzione consente di individuare eventuali errori di trasmissione.
- **bit di stop**
per marcare la fine del treno di bit del carattere viene aggiunto in coda il bit di stop. E' possibile aggiungerne 1, 2 o 1.5.

I canali di trasmissione seriale

Di seguito è riportato un elenco di porte fisiche utilizzate per una trasmissione seriale. Esse si differenziano per caratteristiche elettriche e protocolli di trasmissione dei dati.

- **RS232**
Porta seriale. Utilizzata in genere in modalità Full Duplex. La velocità massima reale è di 19200 baud (bit per secondo). I collegamenti non possono superare i 5 metri di distanza, pena disturbi e attenuazioni che genererebbero errori di trasmissione.
Se la porta RS232 è dotata di circuito "current loop", si può arrivare a 20 metri di distanza.

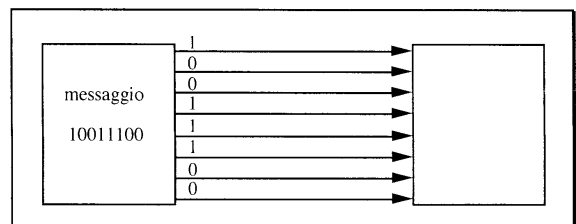
- **RS422**
Utilizzato prevalentemente in ambito industriale, lo standard RS422 consente collegamenti fino a 200 metri e presenta una buona immunità ai disturbi. La trasmissione è half duplex
- **RS485**
Come l'RS422, però può utilizzare 4 fili per una trasmissione full duplex.
- **USB e FireWire**
I dispositivi di ultima generazione sono equipaggiati con nuove porte di comunicazione, la porta USB (Universal Serial Bus) e la porta IEEE 1394, meglio nota come FireWire. Queste porte possono essere utilizzate per collegare due computer che si trovano nella stessa stanza, analogamente alla connessione via porta seriale RS232, offrendo però il vantaggio di una velocità di trasmissione superiore. La trasmissione attraverso la porta USB può raggiungere, infatti, i 400Mbps (Fast-USB o USB versione 2), anche se nella realtà la velocità si aggira intorno ai 100 Mbps.

L'utilizzo della porta FireWire invece consente di trasferire dati alla velocità di 480Mbps. Questa porta, introdotta dalla Apple Computer, è nata con il principale scopo di far comunicare videocamere digitali e computer per il trasferimento di file video e di comandi. Il primo costruttore di apparecchiature video ad adottare la porta firewire è stata la Sony (che ha utilizzato il nome di porta i-Link).

La trasmissione parallela

Analoga alla connessione seriale, si differenzia da essa per il fatto che i dati vengono inviati sotto forma di byte, avendo a disposizione 8 fili.

Per utilizzare la porta parallela bisogna accertarsi che essa sia configurata (attraverso il BIOS del sistema) in modalità ECP-ECC, modalità che definiscono la bidirezionalità della porta.



5 La rete locale

5.1 Tipologie di rete

La rete locale è un'architettura che mette in comunicazione due o più computer indipendenti, affinché possano comunicare tra di loro e condividere risorse (periferiche di memorizzazione, di stampa, programmi applicativi, file), utilizzando un canale fisico ad alta velocità e con basso tasso di errore.

In base alle dimensioni fisiche della rete possiamo avere:

- **LAN** (Local Area Network)
Quando i computer si trovano fisicamente dentro un'area delimitata.
- **MAN** (Metropolitan Area Network)
Quando i computer si trovano in più edifici, tipicamente nell'ambito della stessa area urbana
- **WAN** (Wide Area Network)
Quando i computer possono trovarsi in qualunque area geografica.

Per una rete locale è possibile adottare diverse configurazioni:

- nello schema **peer-to-peer** ("da pari a pari") non c'è un vero e proprio server: tutte le postazioni di lavoro condividono i propri dischi, le proprie stampanti e così via; questa configurazione è usata spesso, per esempio, nelle aule informatiche delle scuole
- nello schema **client-server** il processore del server esegue alcune applicazioni (progettate specificamente per la rete) e distribuisce i risultati alle postazioni di lavoro, che invece eseguono autonomamente altre elaborazioni; questo è lo schema applicato quando ci si collega a Internet

Esiste ancora un'altra architettura di rete, dove il server è responsabile di tutta l'elaborazione dei dati, a cui gli utenti accedono tramite terminali "stupidi" collegati alla rete, privi di processore e di disco fisso propri; in questo tipo di architettura il server è chiamato Host ed è, ovviamente, un computer molto potente (come un mainframe).

Questo tipo di sistema è usato spesso, per esempio, nelle banche o negli uffici postali.

5.2 Trasmissione e controllo errori in una LAN: il CSMA/CD

In una LAN Ethernet, le informazioni sono trasmesse sotto forma d'impulsi che si propagano a partire dalla stazione emittente raggiungendo tutte le stazioni collegate lungo il cavo e che ascoltano tutto quello che passa cercando di scoprire se è indirizzato a loro.

Ogni messaggio in transito sulla rete (detto *frame*) reca al proprio interno l'indirizzo di origine e quello di destinazione: ogni macchina lo copia in una piccola porzione di memoria di cui dispone nella scheda d'interfaccia, legge l'indirizzo di destinazione e, se non coincide con il proprio, lo scarta.

Con questo meccanismo, assicurandosi che una sola macchina alla volta abbia la possibilità di trasmettere mentre tutte le altre sono in ascolto, si costruisce in modo semplice una rete a cui è facile aggiungere altre stazioni, visto che ogni nuova stazione riceve automaticamente tutto quello che transita sul cavo e diventa immediatamente parte del gruppo di lavoro, acquistando anche la facoltà di trasmettere ogni volta che la linea è libera.

In una LAN però l'accesso alla rete è multiplo, ovvero tutte le stazioni collegate hanno la stessa facoltà di trasmettere e se due stazioni trasmettono contemporaneamente, è inevitabile che la

trasmissione della prima collide con quella della seconda provocando l'ingarbugliamento del segnale e quindi l'impossibilità di riconoscere i bit che vi erano contenuti.

Se non esistesse nessun sistema che segnalasse l'avvenuta collisione, le due stazioni continuerebbero a trasmettere i rispettivi messaggi per intero, nella convinzione che questi arriveranno a buon fine.

Nella rete Ethernet, non esistendo un arbitro degli accessi, è stato introdotto un meccanismo in base al quale le singole stazioni di lavoro si "autodisciplinano", astenendosi dal trasmettere quando qualcun'altra lo sta già facendo.

Questo sistema prende il nome di **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection* - accesso multiplo a rilevazione di portante con segnalazione di collisione).

Il CSMA/CD è una delle classi di protocollo che utilizzano l'accesso casuale o tecniche di gestione dei conflitti. Tali tecniche vennero utilizzate per la prima volta in un pacchetto sperimentale con distribuzione via radio chiamato ALOHA, sviluppato dall'Università delle Hawaii nei primi anni '70.

Esaminiamo come viene gestito l'accesso al mezzo trasmissivo:

- **Carrier sense**

La stazione origine prima di trasmettere ascolta il mezzo trasmissivo : se un segnale di portante è assente vuol dire che il mezzo è occupato: la stazione attende evitando collisioni ed inviando un frame solo quando il mezzo è libero (presenza di portante).

- **Multiple access**

Può avvenire che due o più stazioni rilevino contemporaneamente la portante e quindi trasmettano simultaneamente causando una collisione.

- **Collision detection**

Oltre ad ascoltare prima di trasmettere, una stazione continua ad ascoltare anche durante il tempo di invio del frame. Se due o più stazioni hanno incominciato a trasmettere in un intervallo di tempo sufficientemente breve, si ha una collisione. Quando questo accade, le stazioni di trasmissione rilevano immediatamente la collisione, cessano di trasmettere ed inviano un breve segnale di interruzione. Il segnale di collisione, detto jamming (o ingorgo), assicura che tutte le stazioni della rete rilevino la collisione. Ogni stazione, a seguito di una interruzione, attende in maniera esponenziale e, se la portante è libera, ricomincia la trasmissione del suo frame.

L'attesa esponenziale funziona in questo modo: gli adattatori aspettano un tempo casuale entro un valore massimo d . Se viene generata nuovamente una collisione il valore d viene raddoppiato, così fino a che questo è sufficientemente grande. Questa tecnica, chiamata **recessione binaria esponenziale**, è stata introdotta perché se altri adattatori sono contemporaneamente in attesa, tutti tenterebbero di trasmettere simultaneamente provocando altre collisioni.