

# INDICE

## Rappresentazione ed elaborazione dei dati

DISPOSITIVI ELETTRONICI: TRANSISTOR E GATE BOOLEANI

La tecnologia VLSI

Memorie elettroniche

DISPOSITIVI MAGNETICI: I DISCHI

OTTICA: LASER E DISCHI OTTICI

LEGGE DI MOORE

IL LINGUAGGIO BINARIO

## Rappresentazione ed elaborazione dei dati

La rappresentazione dei dati può avvenire sostanzialmente in due modi:

**Analogico:** modalità basata sull'impiego di dispositivi che realizzano una grandezza fisica che può variare in modo continuo (per esempio una tensione elettrica); esiste un'*analogia* diretta tra i valori della grandezza adottata e i dati da rappresentare. Tuttavia il rumore impedisce una precisione infinita nella valutazione di una variabile fisica.

**Digitale:** modalità con la quale ogni dato viene codificato impiegando entità distinte individualmente, discrete e organizzate in modo opportuno (per es. cifre numeriche); *digit* = cifra. L'immunità al rumore è più alta perché è di solito più difficile cambiare lo stato di un elemento discreto "isolato".

Nel prossimo paragrafo accenneremo alle tecniche utilizzate per rappresentare digitalmente i dati. In questo contesto vedremo in che modo le leggi fisiche fondamentali e le potenti tecnologie consentono la rappresentazione e l'elaborazione dei dati in modo digitale binario.

### DISPOSITIVI ELETTRONICI: TRANSISTOR E GATE BOOLEANI

Alla base dell'elettronica vi sono le proprietà dell'elettrone. Un elettrone è una particella elementare, cioè non ulteriormente scomponibile, dotato di carica elettrica (negativa).

Nei metalli basta una piccola azione esercitata da parte di alcune cariche elettriche per far sì che gli elettroni si stacchino dai propri atomi e si muovano liberamente. Così, in un filo di metallo, gli elettroni sono liberi di muoversi nella direzione del filo se a uno dei capi del filo vengono presentate delle cariche negative (degli altri elettroni). E proprio la presenza di un flusso continuo di elettroni, ovvero di *corrente elettrica*, sono alla base dei sistemi elettronici binari.

Ogni componente hardware di un computer è costituito essenzialmente da circuiti elettrici ovvero da transistor (fatti di materiale semiconduttore) connessi tra loro da fili di metallo (alluminio o rame): i fili elettrici.

Per costruire i dispositivi elettronici viene utilizzato un semiconduttore, il silicio, poiché questo materiale fornisce la possibilità di costruire elementi di dimensioni ridottissime e non conduce facilmente gli elettroni come i metalli ma presenta una certa inerzia alla conduzione, occorre cioè fornire una certa energia agli elettroni perché si possano liberare.

Un transistor è un apparato a cui sono connessi tre fili: uno di ingresso (input) e due di uscita (output) ed agisce come una specie di interruttore elettrico controllato elettronicamente.

Nella pratica un transistor regola l'eventuale passaggio di elettroni attraverso i fili di output, definendo così un segnale elettronico binario (1 se passano elettroni, 0 se non passano).

Nel dettaglio le lettere binarie sono rappresentate nei fili dai due stati fisici seguenti: per convenzione il filo trasporta e/o memorizza la lettera 0 se il suo potenziale elettrico è  $V_{DD} = 0$  volt, la lettera 1 se il suo potenziale elettrico è  $V_{DD} = 3$  volt (cinque anni fa era  $V_{DD} = 5$  volt e fra qualche anno sarà  $V_{DD} = 2,5$  volt; la riduzione di tale intensità viene ricercata sostanzialmente per questioni di velocità e consumo di energia).

Il segnale elettronico di un transistor può essere usato per comandare un altro transistor e ottenere un nuovo segnale elettronico che possiamo utilizzare per comandare un altro transistor e così via. L'insieme di questi interruttori elettronici che si comandano a vicenda viene detto circuito elettronico o gate booleano.

L'hardware di una macchina è costituito per lo più da circuiti digitali binari, ovvero da circuiti elettrici ottenuti collegando opportunamente alcuni transistor ed in cui gli stati fisici possibili sono soltanto due (quelli già descritti). In questo contesto i transistor permettono di manipolare tali

informazioni “binarie”, mentre i fili elettrici le memorizzano oppure le trasportano da un transistor all’altro.

**Questo è il punto di contatto tra hardware e software:**

**l’hardware è costituito da fili elettrici, il software dallo stato fisico dei fili elettrici.**

Esistono due tipi di transistor:

Transistor di tipo NPN      filo di input 0 → fili di output sconnessi  
                                               filo di input 1 → fili di output connessi



Transistor di tipo PNP      filo di input 0 → fili di output connessi  
                                               filo di input 1 → fili di output sconnessi



Vi sono infinite possibilità di costruzione di circuiti elettronici ma solo alcune sono fondamentali. I circuiti di base sono quelli che computano i connettivi logici fondamentali NOT, AND, OR, in quanto permettono di calcolare tutte le funzioni binarie di variabili binarie.

Il connettivo NOT è rappresentato dalla seguente tavola di verità

| x | NOT(x) |
|---|--------|
| 0 | 1      |
| 1 | 0      |

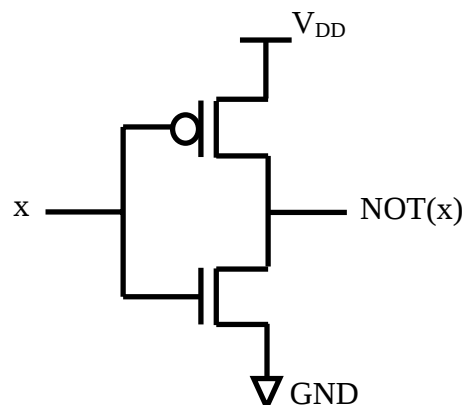
Il connettivo AND rappresenta la congiunzione ed è una funzione di due variabili definita dalla seguente tavola di verità

| x | y | AND(x, y) |
|---|---|-----------|
| 0 | 0 | 0         |
| 0 | 1 | 0         |
| 1 | 0 | 0         |
| 1 | 1 | 1         |

Il connettivo OR rappresenta la disgiunzione ed è una funzione di due variabili definita dalla seguente tavola di verità

| x | y | OR(x, y) |
|---|---|----------|
| 0 | 0 | 0        |
| 0 | 1 | 1        |
| 1 | 0 | 1        |
| 1 | 1 | 1        |

Di seguito illustriamo brevemente un esempio di gate booleano, detto “inverter”, della tecnologia CMOS (Complementary Metal Oxyde Semiconductor) utilizzato per computare il connettivo logico NOT.



Il circuito “inverter” è costituito da due transistor: uno di tipo PNP ed uno di tipo NPN. Gli input dei due transistor sono connessi che trasporta il valore di input  $x$  (che può essere 0 o 1). L’output di sopra del transistor PNP (quello sopra in figura) è a  $V_{DD}$  volts (valore binario 1), l’output di sotto del transistor NPN (quello sotto in figura) è a GND volts (valore binario 0). Gli altri due fili di output, ovvero l’output di sotto del transistor PNP e l’output di sopra del transistor NPN, sono connessi tra loro in un filo che trasporta il filo di output NOT( $x$ ).

Se l’input  $x$  è 0 il transistor PNP ha i suoi fili di output connessi mentre il transistor NPN ha i suoi fili di output sconnessi, quindi l’output dell’inverter è connesso con l’output di sopra del transistor PNP e quindi è al suo stesso potenziale elettrico  $V_{DD}$  ovvero trasporta il valore binario 1.

Se invece l’input  $x$  è 1 il transistor NPN ha i suoi fili di output connessi mentre il transistor PNP ha i suoi fili di output sconnessi, quindi l’output dell’inverter è connesso con l’output di sotto del transistor NPN e quindi è al suo stesso potenziale elettrico GND ovvero trasporta il valore binario 0.

### La tecnologia VLSI

Tutti i più moderni computer sono realizzati con una tecnologia che prende il nome di VLSI (Very Large scale Integration) che permette di miniaturizzare i circuiti elettrici.

In VLSI tutti i circuiti elettrici costituenti la logica di un computer sono suddivisi in vari pezzettini rettangolari di silicio detti chip (cioè patatine, per lo spessore sottile che li caratterizza e per la particolare tecnica con cui vengono ricavati tagliando delle fettine da una barra di silicio purissimo) connessi tra loro da fili elettrici e situati su un circuito stampato o scheda (circuit board o scheda madre). Ogni chip può contenere all’incirca fino a 34 milioni di transistor ed ha dimensioni fino a  $1,5\text{ cm}^2$ . La più piccola forma che può essere delineata su un chip ha una grandezza di  $0,18\text{ }\mu\text{m}$  (1 micron = 1 milionesimo di metro). Tale parametro tende a diminuire con lo sviluppo della tecnologia VLSI e sono già allo studio processor prodotti con un processo inferiore: l’ultima frontiera è sullo studio di processi a  $0,11\text{ }\mu\text{m}$ .



Essendo molto piccoli i transistor coniugano bene alcune esigenze: da un lato rispondono velocemente ai “comandi” impartiti, così sono capaci di interrompere il flusso di elettroni nel giro di qualche milionesimo di secondo, dall’altro consumano pochissima energia per funzionare.

### Memorie elettroniche

La memorizzazione di informazioni binarie si può ottenere con dispositivi elettronici che assomigliano a dei piccolissimi secchielli, dette celle, contenenti elettroni. La fase in cui la cella di memoria viene caricata viene detta scrittura della memoria. La carica accumulata nella cella viene utilizzata nella fase di lettura della memoria.

La velocità con cui è possibile caricare una cella di memoria di questo tipo è di poche decine di milionesimi di secondo e anche se può sembrare una velocità enorme è uno dei limiti principali dei computer moderni. Infatti la velocità di interruzione di un transistor è di pochi milionesimi di secondo e quindi la memoria impiega un tempo decine di volte maggiore.

Sono state comunque create memorie elettroniche più complesse e più veloci. Esse sono costruite con due transistor che si comandano reciprocamente. Se il primo conduce corrente comanda al secondo di condurre, quindi questo a sua volta conduce e manda cariche positive al primo. I due transistor si bloccano reciprocamente in questo stato indefinitamente memorizzando l’ultimo segnale binario che è stato loro trasmesso. Insieme i due transistor formano una cella di memoria molto veloce che viene chiamata *flip-flop*.

Naturalmente il costo di questo tipo di memoria è molto maggiore del primo tipo a ‘secchiello’ in quanto composta da molti più elementi e viene utilizzata per le memorie interne all’unità di calcolo dell’elaboratore.

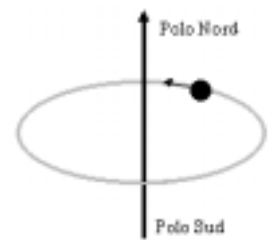
Un terzo tipo di memorie elettroniche è la memoria ROM (Read Only Memory). La ROM consiste di celle di memoria che si possono solo leggere e sono normalmente costituite da un filo di piccolissime dimensioni che può essere bruciato oppure no. L'informazione binaria viene ad essere il fatto che passi o meno corrente nella cella: se il filo non è stato bruciato passa corrente e quindi l'informazione binaria contenuta sarà 1, se il filo è stato bruciato non passa corrente e l'informazione è 0.

## DISPOSITIVI MAGNETICI: I DISCHI

Il magnetismo è la proprietà di alcune sostanze di orientare frammenti di ferro. Diciamo brevemente cosa si intende per campo elettrico e per campo magnetico. Un campo elettrico è un sistema di forze esercitato da una o più cariche elettriche capace di influenzare altre cariche nelle vicinanze, così anche un campo magnetico è un sistema di forze capace di esercitare la sua influenza in una certa regione di spazio.

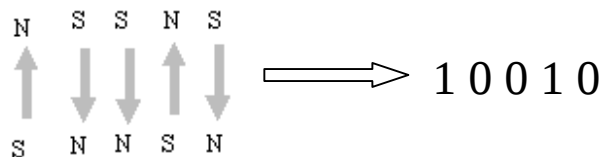
Vi è una stretta connessione tra le proprietà elettriche e le proprietà magnetiche: la variazione di un campo elettrico produce un campo magnetico, la variazione di un campo magnetico produce un campo elettrico. In termini qualitativi queste sono proprio le due leggi fondamentali dell'elettromagnetismo.

Un campo magnetico è caratterizzato da una direzione. Negli atomi la rotazione degli elettroni attorno al nucleo genera dei campi magnetici, ciascuno con una certa direzione nello spazio, ovvero con un polo sud ed un polo nord. La direzione dei campi dipende dal verso di percorrenza degli elettroni.



In natura è possibile costruire piccoli magneti, ovvero dispositivi magnetizzati, usando dei materiali detti ferromagnetici.

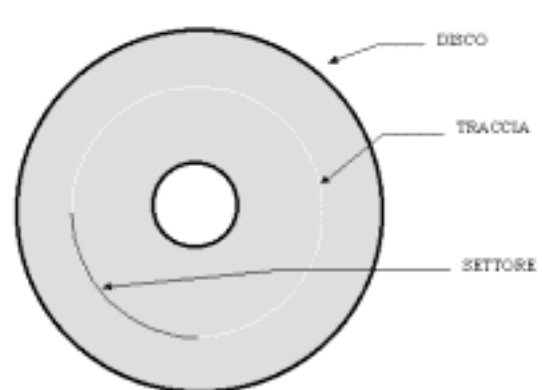
Nei dispositivi magnetici digitali vi sono dei piccoli magneti che vengono fatti orientare in una direzione od in quella opposta (cioè facendo ruotare le particelle in una delle due direzioni) ottenendo così due diversi orientamenti interpretabili come segnale binario, in altri termini a ciascuno si può associare un bit di informazione. Una magnetizzazione verso l'alto (come in figura) darà un segnale binario 1, una magnetizzazione verso il basso darà un segnale binario 0.



Dato che non è possibile costruire interruttori magnetici, cioè sistemi magnetici che producano la variazione di un segnale magnetico, i segnali binari magnetici non vengono utilizzati per l'elaborazione dell'informazione digitale: è necessario trasformare un segnale digitale magnetico in uno elettronico prima di poterlo elaborare.

I segnali binari magnetici vengono utilizzati solo per la memorizzazione, infatti è possibile ottenere la magnetizzazione di zone molto piccole e conservare la direzione dei campi magnetici (nei materiali ferromagnetici) per molti anni.

Da notare che i magnetini contigui, eventualmente orientati in modo opposto, non si influenzano in quanto il campo magnetico diminuisce col cubo



della distanza (a differenza del campo elettrico o di quello gravitazionale che diminuiscono col quadrato della distanza).

Nei moderni calcolatori l'informazione digitale magnetica viene depositata su dischi in continua rotazione. Su questi dischi la testina di lettura e di scrittura è libera di muoversi a distanze diverse dal centro del disco percorrendo cerchi più o meno ampi detti *tracce*. Su ogni traccia di un disco vengono memorizzati moltissimi bit, è quindi necessario suddividere una traccia in tante parti chiamate settori.

Il settore è un blocco di bit che viene letto e scritto contemporaneamente. Infatti su di un disco non conviene leggere il singolo bit ma il gruppo di bit compreso in un settore. Questa tecnica condiziona, tra l'altro, l'intero funzionamento del calcolatore.

## OTTICA: LASER E DISCHI OTTICI

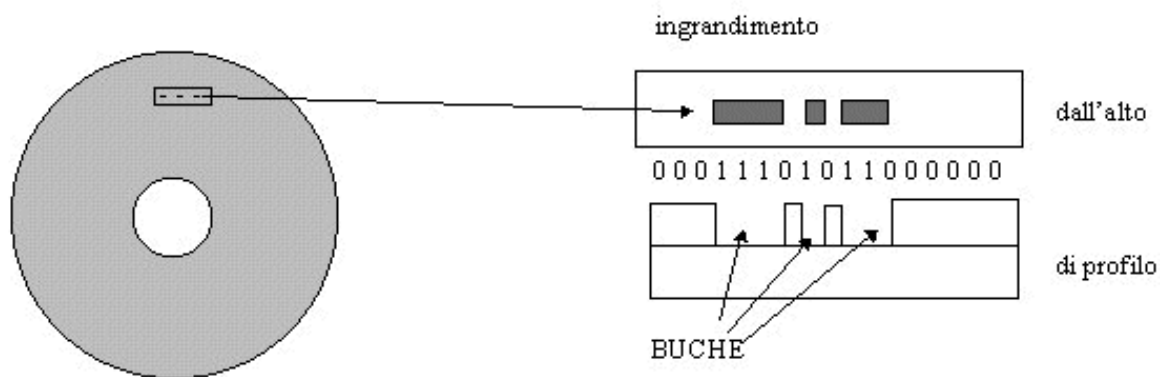
Una delle forme più semplici di rappresentazione binaria è quella ottica.

La luce è un'onda elettromagnetica senza peso ma può essere considerata comunque composta da particelle (quanti di luce o fotoni).

Naturalmente la luce non può essere facilmente conservata, cioè conservata in un luogo, ma può essere usata per cambiare lo stato di un altro dispositivo binario di tipo elettronico. Sappiamo infatti che la luce può essere assorbita da un elettrone. Un elettrone la cui energia aumenta per effetto del fotone assorbito può rendersi libero del legame con i protoni del nucleo ed essere quindi libero di muoversi e produrre un flusso di corrente.

I dispositivi ottici per eccellenza sono oggi dei dischi sui quali l'elemento binario è di fatto una piccola buca scavata da un laser nella stagnola racchiusa nella plastica del disco.

Se esiste una buca lo stato dell'elemento binario è 1 se la buca non è stata fatta lo stato è 0. Naturalmente nel CD le buche sono disposte lungo un percorso a spirale che viene letto da un fascio luminoso molto sottile prodotto da un laser a bassa potenza. Durante la riproduzione il fascio luminoso percorre la spirale se incontra una buca non viene riflesso, se invece la buca non c'è il fascio viene riflesso. In questo modo la presenza o meno della riflessione rappresenta un sistema binario il cui stato può essere rilevato da un sensore di luce che trasforma il segnale luminoso binario in un sistema elettrico binario.



Anche nel caso di segnali ottici si ha dunque la trasformazione in segnali elettronici prima di poter essere elaborati. Sono quindi difficilmente costruibili calcolatori ottici.

## LEGGE DI MOORE

Nel 1965 Gordon Moore elaborò una tesi analizzando il trend evolutivo dei chip. Oggi, fatte le debite correzioni, questa legge afferma che:

*“ogni chip ha una capacità circa doppia rispetto al suo predecessore e ogni 18-24 mesi nasce una nuova generazione di chip”.*

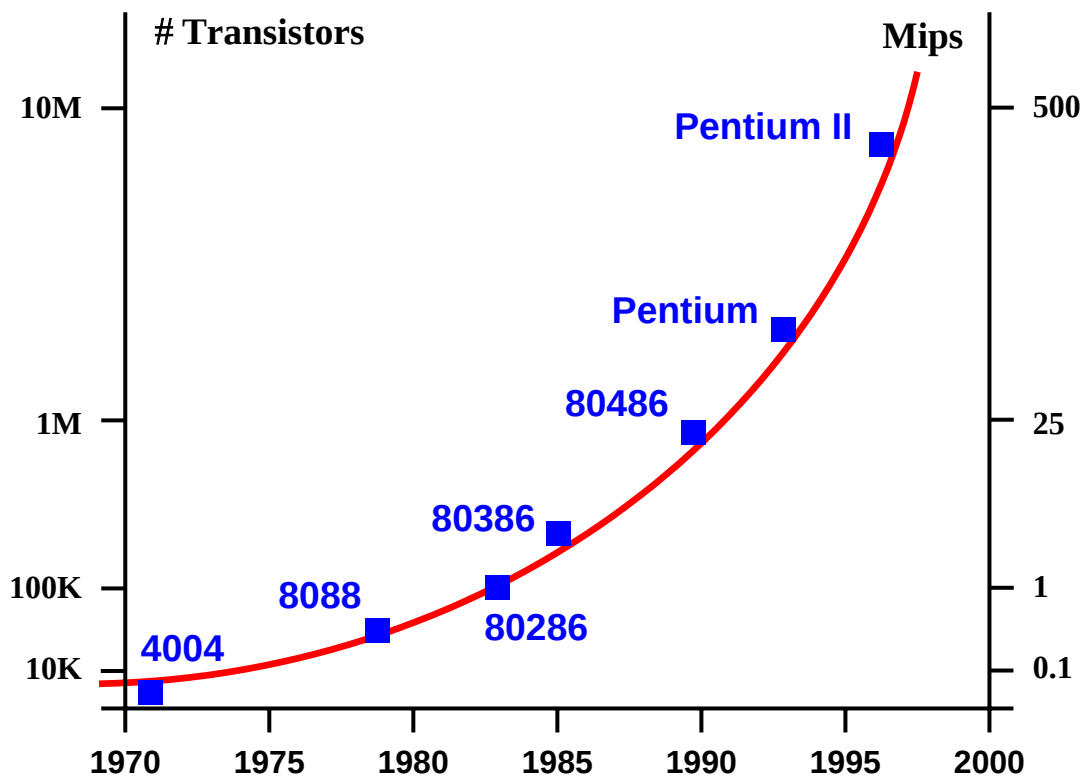
Questa legge, come si vede dal grafico riportato, è applicabile con discreta precisione ai processori e può quindi essere considerata un buon strumento di pianificazione per le industrie microelettroniche.

Vi sono due corollari significativi della legge di Moore:

Corollario di Machrone: “il computer che vuoi (o che ti dicono che devi assolutamente comperare) costa sempre la stessa cifra nonostante gli anni passino”.

Corollario di Rock: “l’ammontare degli investimenti che vanno impiegati per costruire semiconduttori raddoppia ogni quattro anni”.

Il primo corollario sta forse un po’ crollando perchè ormai con un PC “economico”, da mille euro, si possono fare benissimo tutte le applicazioni a livello Office e si può navigare in rete senza particolari problemi. Il secondo corollario può contribuire a spiegare con quale misura aumentano oggi gli investimenti delle industrie di processori, che hanno bisogno di capitali sempre maggiori per portare avanti i loro progetti, e quanto dunque è necessario in termini di investimenti per rispettare la crescita ipotizzata da Moore.



# Intel ha annunciato il transistor più piccolo del mondo che conferma la previsione sul raddoppio della potenza dei pc

Chip 7 volte più veloci: resiste la legge di Moore

di RICCARDO STAGLIANO' (La Repubblica) – 12 dicembre 2000

ROMA - Se il vecchio Gordon Moore si fosse sbagliato, adesso il giornale elettronico che state leggendo non esisterebbe e non saremmo qui a raccontarvi le "magnifiche sorti e progressive" dell'era digitale. E invece la previsione del cofondatore dell'Intel sul "raddoppio, ogni anno, della capacità di calcolo dei microprocessori" ha sostanzialmente tenuto - consentendo ai pc di diventare sempre più potenti, piccoli ed economici - e continuerà a farlo anche nei prossimi 5-10 anni.

Questo, almeno, hanno assicurato ieri, a San Francisco, gli ingegneri dell'Intel in occasione della presentazione del **transistor più piccolo del mondo che misura 30 nanometri** (ovvero 30 miliardesimi di metro) **e costituirà la base per nuovi chip che potranno contenerne ciascuno sino a 400 milioni e "gireranno" alla sconcertante velocità di 10 GigaHertz.** Per farsi un'idea della scala dell'evoluzione basti pensare alle attuali specifiche del più veloce nato di casa Intel, il Pentium 4, che contiene 42 milioni di transistor e ha una frequenza di 1,5 GigaHertz.

"Cosa si riuscirà a fare con computer dai motori così potenti è ancora difficile prevedere", spiega l'ingegner Mario Guarnone, business development manager di Intel Italia, "ma le potenzialità sono enormi: ad esempio si potranno tradurre conversazioni da una lingua all'altra in tempo reale o setacciare, a velocità oggi inimmaginabili, banche dati molto complesse rintracciando al volo l'informazione che ci serve".

Ma l'aumento di velocità non va inteso in maniera lineare, come quello delle automobili. "Non significa necessariamente - prosegue Guarnone - che i pc, passando da 1,5 a 10 Ghz, eseguiranno le medesime operazioni con una rapidità 7 volte superiore, perché una buona parte della potenza supplementare viene assorbita da funzioni che prima non era nemmeno possibile compiere", come la visualizzazione di video a risoluzioni altissime, la resa della grafica e altri calcoli particolarmente pesanti.

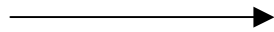
**Ma l'affermazione di ieri, in California, è importante soprattutto per la conferma della validità della "legge di Moore", ignota al grande pubblico ma essenziale per lo sviluppo della società internettiana. A più riprese, negli anni, la sua tenuta era stata messa in dubbio.**

Nel 1965, quando Moore l'aveva enunciata, aveva parlato di raddoppio ogni 12 mesi. Con il passare del tempo l'ottimismo aveva dovuto essere ritoccato al ribasso e l'arco di tempo era passato a 18 mesi. Oggi, nella pagina che il sito dell'Intel le dedica, si parla di "un trend avveratosi in maniera rimarcabilmente accurata" ma spostando l'intervallo ogni 18-24 mesi. **Si diceva che i transistor non avrebbero potuto continuare a rimpicciolirsi all'infinito, che si sarebbe raggiunta una barriera fisica che avrebbe smentito la legge. Per altri due lustri, almeno, non sarà così** e i pc del Natale 2001 faranno sembrare - come al solito - quelli delle imminenti festività delle ansimanti caffettiere.

## IL LINGUAGGIO BINARIO

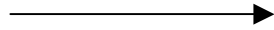


Lingua



Codice

Lettera



Bit



Per motivi tecnologici i dati manipolati e memorizzati in un computer sono gestiti da dispositivi che possono presentarsi in due stati distinti. Ai due stati sono convenzionalmente associati i valori 0, 1:

### BIT = Binary digiT (cifra binaria)

La corrispondenza tra la nostra lingua ed il codice macchina binario avviene assegnando ai nostri Caratteri una sequenza ordinata di bit, ovvero il Byte. Dunque sebbene il bit rappresenta l'unità di misura di base, è il byte ad esprimere più compiutamente una misura sulla quantità di dati.

Le altre unità di misura sono:

1 byte = 8 bits =  $2^3$  bits

1 Kilobyte = 1024 bytes =  $2^{10}$  bytes =  $2^{13}$  bits

1 Megabyte = 1024 Kilobytes =  $2^{10}$  Kilobytes =  $2^{20}$  bytes =  $2^{23}$  bits

1 Gigabyte = 1024 Megabytes =  $2^{10}$  Megabytes =  $2^{30}$  bytes =  $2^{33}$  bits

1 Terabyte = 1024 Gigabytes =  $2^{10}$  Gigabytes =  $2^{40}$  bytes =  $2^{43}$  bits

La rappresentazione dei caratteri all'interno dell'elaboratore deve essere standardizzata per permettere la comunicazione "nella stessa lingua". L'ampiezza di un set di caratteri utilizzabili dipende dalla lunghezza massima delle sequenze di bit utilizzate per la loro rappresentazione.

L'ASCII (American Standard Code for Information Interchange) è un alfabeto molto diffuso ed è codificato di norma su 7 bit, l'alfabeto ha quindi una disponibilità di  $2^7 = 128$  caratteri di cui 32 riservati ai simboli di comando, con un ultimo bit, l'ottavo, dedicato al controllo di parità (il numero degli 1 deve essere dispari). Dunque nella codifica ASCII: 1 carattere  $\rightarrow$  1 byte. La tabella che segue evidenzia la codifica ASCII: ad esempio il numero 6 viene codificato con 011, 0110 ed il bit di parità 1, dunque 6  $\rightarrow$  01101101.

| ASCII<br>"ridotto" | 000 | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0000               | NUL | DLE | SP  | 0   | @   | P   | '   | p   |
| 0001               | SOH | DC1 | !   | 1   | A   | Q   | a   | q   |
| 0010               | TSX | DC2 | ,,  | 2   | B   | R   | b   | r   |
| 0011               | ETX | DC3 | #   | 3   | C   | S   | c   | s   |
| 0100               | EOT | DC4 | \$  | 4   | D   | T   | d   | t   |
| 0101               | ENQ | NAK | %   | 5   | E   | U   | e   | u   |
| 0110               | ACK | SYN | &   | 6   | F   | V   | f   | v   |
| 0111               | BEL | ETB | '   | 7   | G   | W   | g   | x   |
| 1000               | BS  | CAN | (   | 8   | H   | X   | h   | y   |
| 1001               | HT  | EM  | )   | 9   | I   | Y   | i   | w   |
| 1010               | LF  | SUB | *   | :   | J   | Z   | j   | z   |
| 1011               | VT  | ESC | +   | ;   | K   | [   | k   | {   |
| 1100               | FF  | FS  | ,   | <   | L   | \   | l   |     |
| 1101               | CR  | GS  | -   | =   | M   | ]   | m   | }   |
| 1110               | SO  | RS  | .   | >   | N   | ^   | n   | ~   |
| 1111               | SI  | US  | /   | ?   | O   | _   | o   | DEL |

(Significato dei simboli di comando: DEL = cancellare; EOF = fine della trasmissione;  
LF = spaziatura verticale, CR = ritorno carrello; SP = spazio intermedio; ecc.)

Questo alfabeto permette di inserire tutti i tipi di carattere maiuscoli e minuscoli ma non i caratteri dei vari paesi. La soluzione più diffusa attualmente é quella a 8 bit (ASCII esteso) che contiene 256 configurazioni binarie per cui si possono rappresentare ulteriori caratteri (metafonie, ulteriori caratteri speciali).

Il supporto fisico principale con cui questi dati vengono memorizzati é il disco magnetico. Il supporto fisico con cui questi dati vengono memorizzati durante l'utilizzo da parte dell'elaboratore é la memoria elettronica. Il supporto fisico con cui queste informazioni vengono elaborate é l'insieme di interruttori elettronici con cui é costruito l'elaboratore.

Nei moderni sistemi operativi vengono usate sequenze a 16 bit in modo da avere  $2^{16} = 65536$  possibili simboli da rappresentare (si possono rappresentare anche i particolari caratteri delle varie lingue, come ad esempio gli ideogrammi giapponesi). Questo nuovo standard viene detto UNICODE.

## ESERCIZI

Quanti caratteri ASCII posso immagazzinare in 1 MEGA ?

Soluzione: 1 Mega =  $2^{20}$  byte = 1.048.576 byte → posso immagazzinare 1.048.576 caratteri ASCII

Se un file è composto da 1100 caratteri, di quanto memoria ho bisogno per “salvarlo”?

Soluzione: 1100 byte.

Qual è la rappresentazione in codice ASCII “ridotto” del numero binario 1101110101111101?

Trasformiamo il numero dalla rappresentazione binaria a quella decimale:

$$2^{15} + 2^{14} + 2^{12} + 2^{11} + 2^{10} + 2^8 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^0 =$$

$$= 32768 + 16384 + 4096 + 2048 + 1024 + 256 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 1 = 56701$$

Ora, utilizzando il codice ASCII si ha:

56701 → 01101011 | 01101101 | 01101110 | 01100001 | 01100010