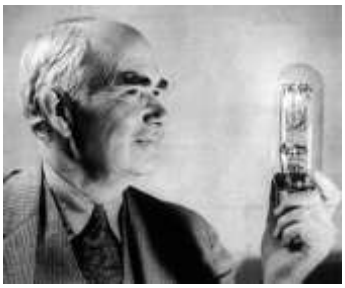
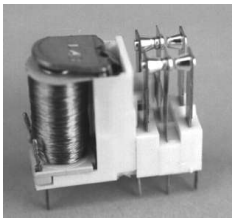
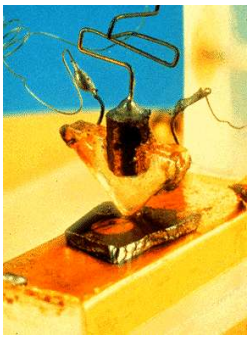
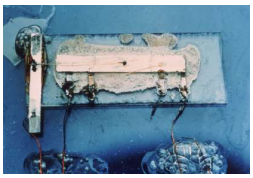
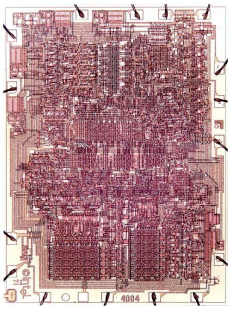
1. L'evoluzione del computer elettronico: dal relè al microprocessore

paolo.giangrandi@uniud.it



L'era elettronica

1940-50	1945-55	1955-65	1965-75	1975-oggi
zero generazione	***prima generazione***	***seconda generazione***	***terza generazione***	***quarta generazione***
				
i computer adottano dei relè elettromeccanici	i computer adottano la tecnologia delle valvole termoioniche (tubi elettronici)	i computer adottano la tecnologia dei transistor	i computer adottano la tecnologia dei primi circuiti integrati	i computer adottano la tecnologia dei circuiti integrati ad alta densità di componenti

Università degli Studi di Udine

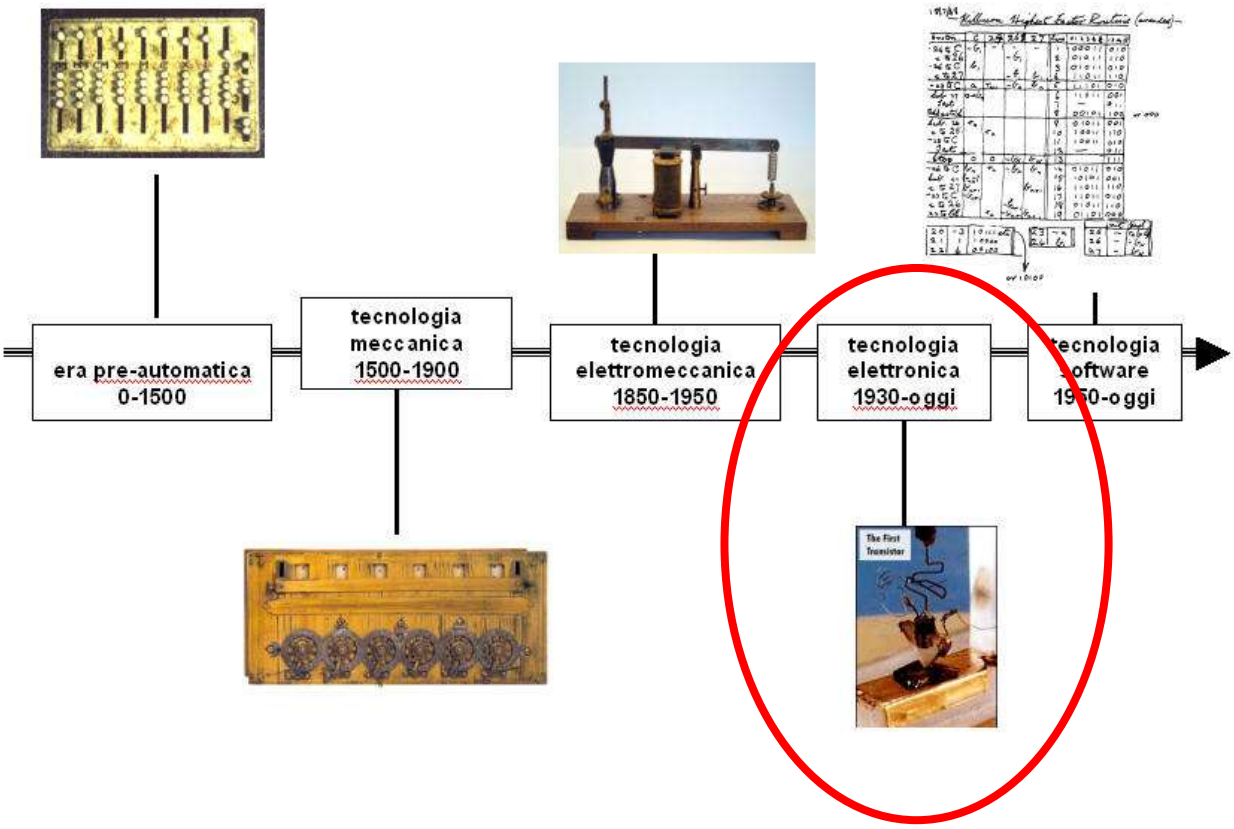
05/05/2010

Sommario

1. L'era dell'elettronica 4
1.1. Alcune grandi conquiste dell'elettronica 5
1.2. Shannon: La matematica dei circuiti digitali 11
1.3. Il momento storico nell'era del computer 24
2. Tecnologie per realizzare l'unità centrale 29
2.1. Introduzione 30
L'unità centrale di elaborazione 31
Automatizzare gli interruttori 34
Le diverse generazioni dei computer 36
Relè elettromeccanico 37
La generazione zero dei computer 40
Valvole termoioniche 42
La prima generazione di computer 46
Transistor 51
La seconda generazione di computer 57
Circuiti integrati 66
La terza generazione di computer 70
Architettura computer: terza generazione 72
Integrazione nei circuiti integrati: la legge di Moore 74
Il microprocessore 81
Cronologia processor (Wikipedia) 88
La quarta generazione di computer 97
3. Le Unità di Ingresso 100
Introduzione 101
Ingresso mediante interruttori 104
Schede perforate 108
Lettore di schede perforate 115
Perforatrice di schede 116
Nastro perforato 118
Tastiera alfanumerica 124
Mouse 126
Joystick 130
4. Le unità di uscita 133
Display binario a lampadina 134
Display digitali nixie 135
Perforatore automatico di schede 137
Stampanti 138
La carta per le stampanti 149
Monitor a tubo catodico 151
Display binari e alfanumerici a led 155
Display a cristalli liquidi 158
5. Periferiche speciali per realtà virtuale 163

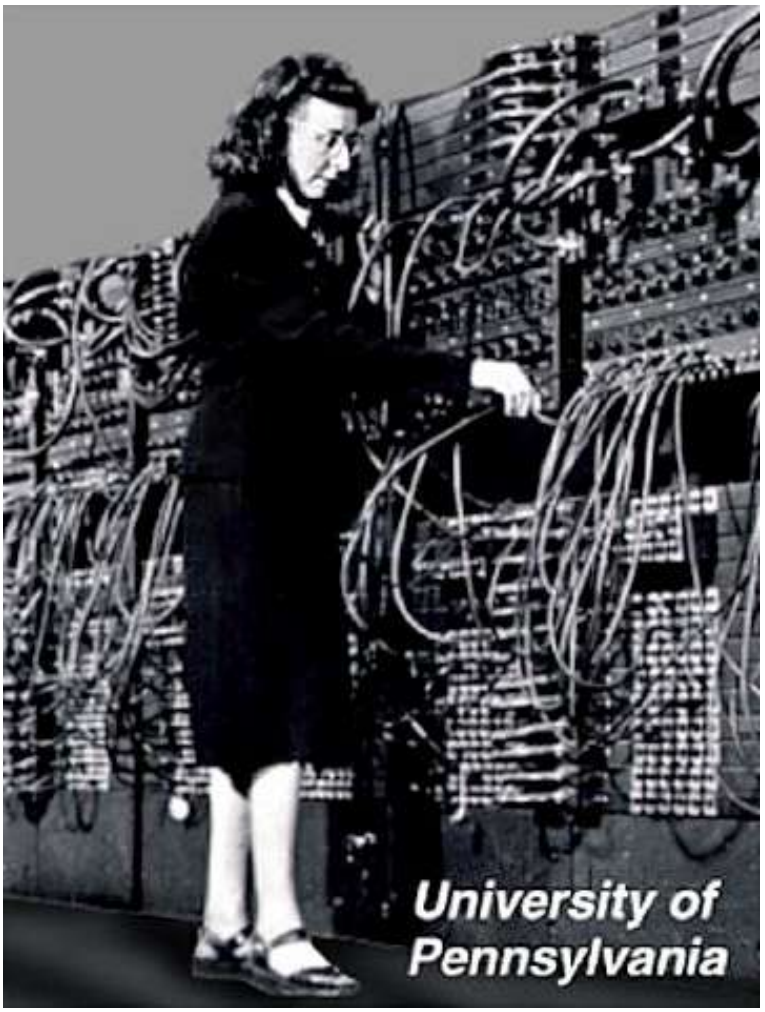
1. L'informatica attraverso la storia della scienza e della tecnica

2. Storia dell'informatica: L'evoluzione tecnologica



1. L'era dell'elettronica

Paolo Giangrandi
paolo.giangrandi@dimi.uniud.it



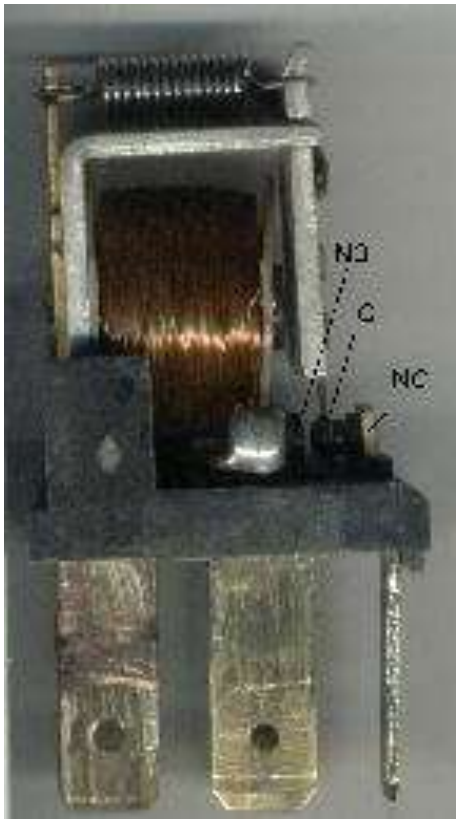
Università degli Studi di Udine

05/05/2010

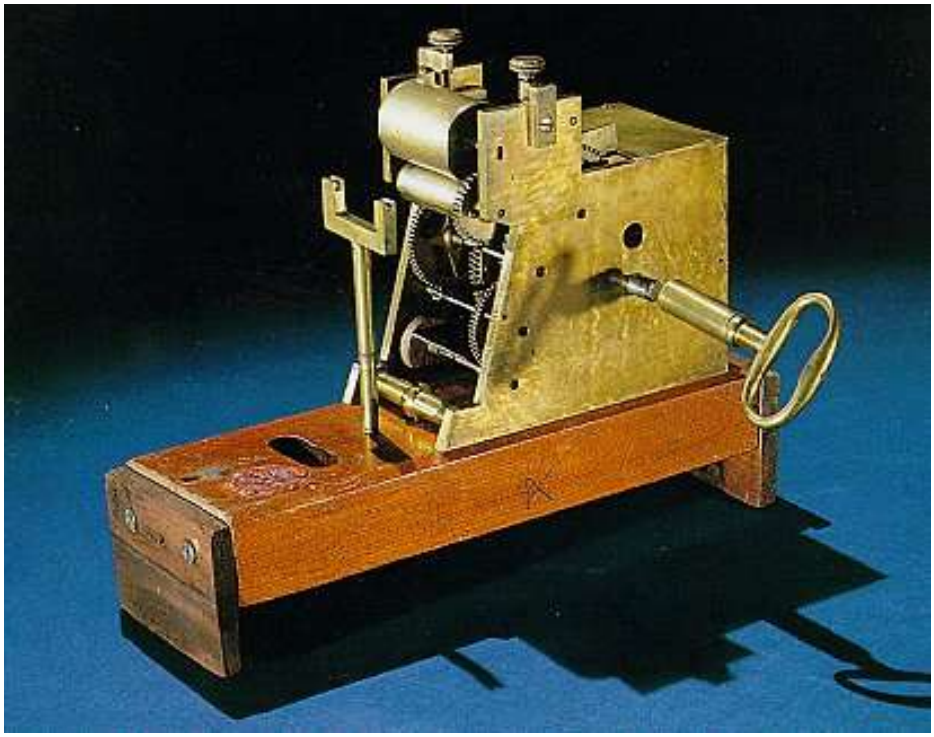
1.1. Alcune grandi conquiste dell'elettronica

Fig. Pila di A. Volta (1745-1827).

Faraday (1791-1867) e gli esperimenti sull'elettromagnetismo



Il relè, inventato nel 1835 da Joseph Henry.

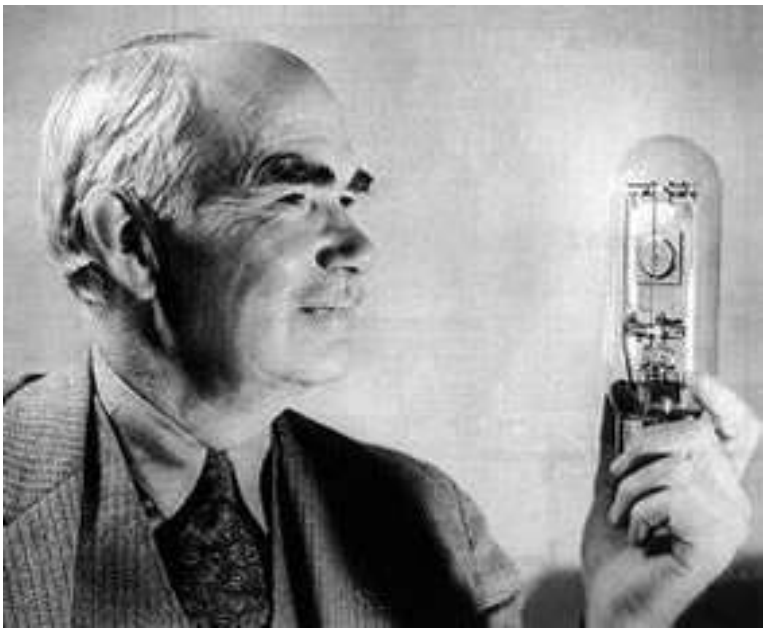


Il telegrafo Morse: 1844.

Motore elettrico: (M. Faraday e poi W. Sturgeon, 1825)

Dinamo: nel 1832 in Italia da Antonio Pacinotti.

1896: Guglielmo Marconi e la radio: Audio, video1 e video2.

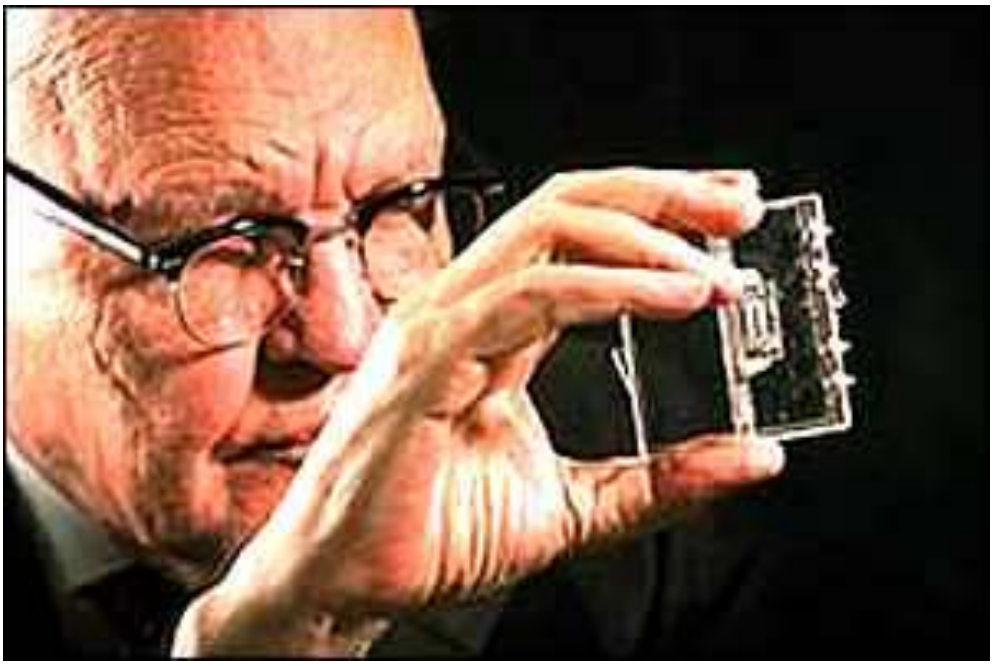


1906 : Lee de Forest inventa il triodo (Audion)

1928: Fritz Pfleumer inventa/perfeziona il registratore magnetico.

Anni ’30: invenzione della televisione

1947: W. Shockley, W. Bardeen e W. Brattain inventano il transistor.



1958: Jack Kilby inventa il circuito integrato

1.2. Shannon: La matematica dei circuiti digitali

A partire dal 1910 ci furono numerosi inventori che sperimentarono la nuova tecnologia elettromeccanica o elettronica mettendo a punto importanti idee, talvolta molto ingegnose nell'ambito del calcolo.

Nessuno di questi però cercò di studiare sistematicamente la teoria dei circuiti elettrici alla base di queste invenzioni: il primo (o, meglio, il più noto) a compiere questo passo che si sarebbe rivelato importante per lo sviluppo dei successivi computer elettronici fu **il fisico e matematico americano Claude Shannon** (1916-2002) del MIT.

Nel 1938, studiando i circuiti elettrici a relè comunemente utilizzati nelle telecomunicazioni, egli si rese conto che il loro funzionamento poteva essere descritto in termini logici utilizzando il calcolo proposizionale.

Con la tesi per il master si distinse scrivendo un importante lavoro, **A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits**, sull'uso dell'algebra di Boole per progettare e ottimizzare i circuiti elettrici di commutazione a relè. In tale lavoro Shannon trasferì le idee di Boole al mondo dei circuiti digitali facendo intuire la superiorità dell'approccio digitale rispetto a quello analogico.

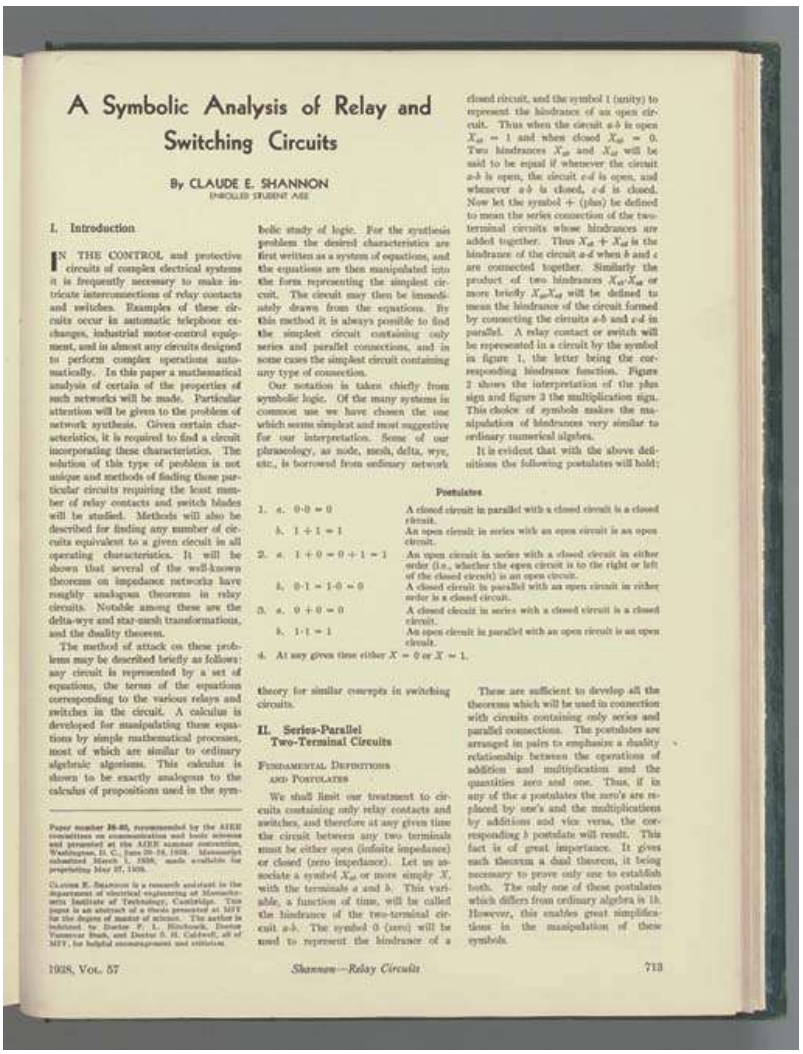
Anche se nel suo lavoro non si parla ancora di computer, ma ci si limita a menzionare complessi sistemi di controllo automatici, le idee da lui elaborate si riveleranno fondamentali alcuni anni dopo per la progettazione dei circuiti logici di calcolo caratterizzanti i computer elettronici.

VIDEO

[Video 1: Shannon]

Il contributo fondamentale di Shannon fu soprattutto quello di **introdurre un metodo sistematico per progettare reti logiche** (si parla *sintesi di reti logiche*) capaci di eseguire le operazioni logico-aritmetiche desiderate.

In un certo senso, egli mostrò come trasformare una data operazione matematica in un circuito elettrico costruito semplicemente con interruttori e relè di commutazione.



A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits

By CLAUDE E. SHANNON
ENROLLED STUDENT AIEE

I. Introduction

IN THE CONTROL and protective circuits of complex electrical systems it is frequently necessary to make intricate interconnections of relay contacts and switches. Examples of these circuits occur in automatic telephone exchanges, industrial motor-control equipment, and in almost any circuits designed to perform complex operations automatically. In this paper a mathematical analysis of certain of the properties of such networks will be made. Particular attention will be given to the problem of network synthesis. Given certain characteristics, it is required to find a circuit incorporating these characteristics. The solution of this type of problem is not unique and methods of finding those particular circuits requiring the least number of relay contacts and switch blades will be studied. Methods will also be described for finding any number of circuits equivalent to a given circuit in all operating characteristics. It will be shown that several of the well-known theorems on impedance networks have roughly analogous theorems in relay circuits. Notable among these are the delta-wye and star-mesh transformations, and the duality theorem.

The method of attack on these problems may be described briefly as follows: any circuit is represented by a set of equations, the terms of the equations corresponding to the various relays and switches in the circuit. A calculus is developed for manipulating these equations by simple mathematical processes, most of which are similar to ordinary algebraic algorisms. This calculus is shown to be exactly analogous to the calculus of propositions used in the symbolic study of logic. For the synthesis problem the desired characteristics are first written as a system of equations, and the equations are then manipulated into the form representing the simplest circuit. The circuit may then be immediately drawn from the equations. By this method it is always possible to find the simplest circuit containing only series and parallel connections, and in some cases the simplest circuit containing any type of connection.

Our notation is taken chiefly from symbolic logic. Of the many systems in common use we have chosen the one which seems simplest and most suggestive for our interpretation. Some of our phraseology, as node, mesh, delta, wye, etc., is borrowed from ordinary network theory for similar concepts in switching circuits.

II. Series-Parallel Two-Terminal Circuits

Fundamental Definitions and Postulates

We shall limit our treatment to circuits containing only relay contacts and switches, and therefore at any given time the circuit between any two terminals must be either open (infinite impedance) or closed (zero impedance). Let us associate a symbol X_{ab} or more simply X, with the terminals a and b. This variable, a function of time, will be called the hindrance of the two-terminal circuit a-b. The symbol 0 (zero) will be used to represent the hindrance of a closed circuit, and the symbol 1 (unity) to represent the hindrance of an open circuit. Thus when the circuit a-b is open $X_{ab} = 1$ and when closed $X_{ab} = 0$. Two hindrances X_{ab} and X_{cd} will be said to be equal if whenever the circuit a-b is open, the circuit c-d is open, and whenever a-b is closed, c-d is closed. Now let the symbol + (plus) be defined to mean the series connection of the two-terminal circuits whose hindrances are added together. Thus $X_{ab} + X_{cd}$ is the hindrance of the circuit a-d when b and c are connected together. Similarly the product of two hindrances $X_{ab} \cdot X_{cd}$ or more briefly $X_{ab}X_{cd}$ will be defined to mean the hindrance of the circuit formed by connecting the circuits a-b and c-d in parallel. A relay contact or switch will be represented in a circuit by the symbol in figure 1, the letter being the corresponding hindrance function. Figure 2 shows the interpretation of the plus sign and figure 3 the multiplication sign. This choice of symbols makes the manipulation of hindrances very similar to ordinary numerical algebra.

It is evident that with the above definitions the following postulates will hold:

Postulates

1.	a. $0 \cdot 0 = 0$	A closed circuit in parallel with a closed circuit is a closed circuit.
	b. $1 + 1 = 1$	An open circuit in series with an open circuit is an open circuit.
2.	a. $1 + 0 = 0 + 1 = 1$	An open circuit in series with a closed circuit in either order (i.e., whether the open circuit is to the right or left of the closed circuit) is an open circuit.
	b. $0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0$	A closed circuit in parallel with an open circuit in either order is a closed circuit.
3.	a. $0 + 0 = 0$	A closed circuit in series with a closed circuit is a closed circuit.
	b. $1 \cdot 1 = 1$	An open circuit in parallel with an open circuit is an open circuit.

4. At any given time either $X = 0$ or $X = 1$.

These are sufficient to develop all the theorems which will be used in connection with circuits containing only series and parallel connections. The postulates are arranged in pairs to emphasize a duality relationship between the operations of addition and multiplication and the quantities zero and one. Thus, if in any of the a postulates the zero's are replaced by one's and the multiplications by additions and vice versa, the corresponding b postulate will result. This fact is of great importance. It gives each theorem a dual theorem, it being necessary to prove only one to establish both. The only one of these postulates which differs from ordinary algebra is 1b. However, this enables great simplifications in the manipulation of these symbols.

Paper number 38-80, recommended by the AIEE committee on communication and basic sciences and presented at the AIEE summer convention, Washington, D. C., June 20-24, 1938. Manuscript submitted March 1, 1938; made available for preprinting May 27, 1938.

CLAUDE E. SHANNON is a research assistant in the department of electrical engineering at Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. This paper is an abstract of a thesis presented at MIT for the degree of master of science. The author is indebted to Doctor F. L. Hitchcock, Doctor Vannevar Bush, and Doctor S. H. Caldwell, all of MIT, for helpful encouragement and criticism.

1938, Vol. 57 — Shannon—Relay Circuits — 713

La prima pagina dell'articolo di Shannon dedicato all'analisi logica dei circuiti di commutazione. (da http://www.christies.com/promos/feb05/1484/overview.asp)

Nel 1948 pubblicò uno storico articolo intitolato **A Mathematical Theory of Communication**[1], probabilmente il lavoro più importante per tutta la storia della teoria dell'informazione.

L'articolo gettava **le basi teoriche della teoria dell'informazione** creando da zero una nuova disciplina.

I problemi affrontati riguardano la trasmissione dell'informazione attraverso vari tipi di canali trasmessivi e tutto il lavoro affronta queste tematiche con un approccio estremamente generale senza indipendente da apparati e dispositivi fisici del tempo.

Qualunque tipo di informazioni, testi, immagini, suoni ecc. possono essere trasmessi secondo le stesse leggi codificate in forma di 0 e 1, che prende il nome di ***bit*** (contrazione di **bi**nary digi**t**), termine suggerito dallo statistico J. Tukey e utilizzato per la prima volta proprio nell'articolo di Shannon del 1948.

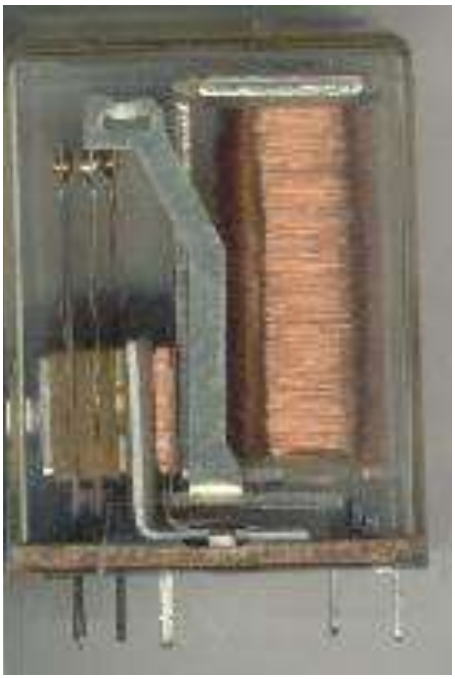
Questa cose oggi appaiono ovvie, ma allora erano del tutto nuove e soprattutto non erano chiari i limiti con cui potevano avvenire le trasmissioni di queste informazioni. **Oggi il bit costituisce un concetto atomico fondamentale per tutta l'informatica e per la teoria dell'informazione**.

---

[1] Vedere http://www-db-out.research.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/shannon1948.pdf .

Nella sua tesi di master Shannon si occupò dei circuiti di commutazione, cioè di quei circuiti elettrici automatici composti unicamente da interruttori e relè, oltre che da fili di collegamento e batterie.

Le informazioni sono rappresentate essenzialmente mediante il passaggio o non passaggio di segnali elettrici, controllati semplicemente da interruttori aperti e chiusi.



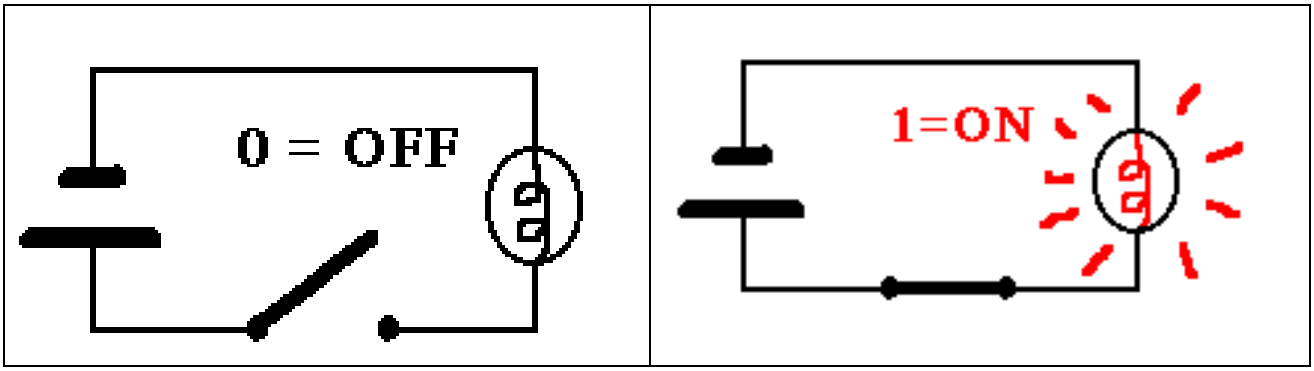
Un relè elettromeccanico.

Pochi anni più tardi l'insieme dei due possibili stati di questi circuiti verrà riconosciuta come l'informazione minimale di un sistema in grado elaborare informazioni e, come sappiamo, prenderà il nome di ***bit***.

A tale riguardo Shannon nel 1938 scriveva[2]:

> *The symbol 0 (zero) will be used to represent the hinderance of a closed circuit, and the symbol 1 (unity) to represent the hinderance of an open circuit.*

[2] E' da notare che la scelta di Shannon è opposta a quella solitamente adottata oggi: 0 circuito aperto e 1 circuito chiuso.



Circuito elementare per la rappresentazione di un bit.

Nel suo lavoro, Shannon si propose di analizzare sia il problema dell'analisi di questi circuiti sia quello della sintesi. Egli riconobbe chiaramente che il comportamento di questi circuiti poteva essere trattato matematicamente sfruttando la logica proposizionale booleana:

> *This calculus is shown to be exactly analogous to the Calculus of Propositions need in the symbolic study of logic. […] Due to this analogy any theorem of the Calculus of Propositions is also a true theorem if interpreted in terms of relay circuits.*

Anche se già altri lo avevano preceduto nel mettere in evidenza il legame esistente tra logica proposizionale e circuiti elettrici (ad esempio, il filosofo e logico americano Charles Pierce nel 1886 e Paul Ehrenfest dell'Università di S. Pietroburgo nel 1910), Shannon fu il primo a sviluppare in modo sistematico l'argomento e inoltre il suo lavoro fu il primo a ricevere l'attenzione dovuta nel settore tecnico.

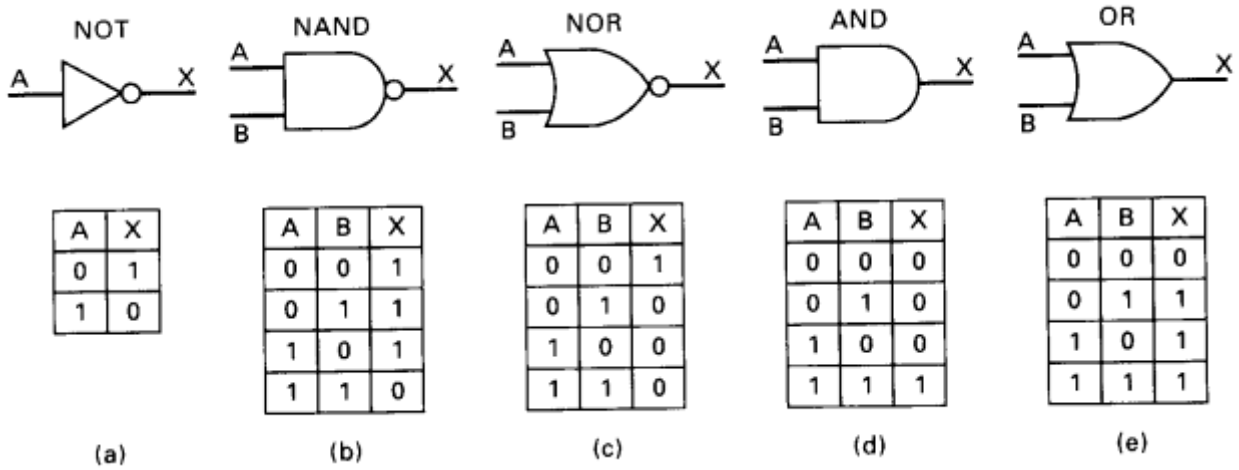
Fin dalle prime pagine egli mette subito in corrispondenza i circuiti elementari con i tre operatori booleani di base:

- due interruttori in serie possono essere interpretati come una **congiunzione logica**, indicata mediante la scrittura X · Y);
- due interruttori in parallelo corrispondono invece alla **disgiunzione logica** e vengono indicati con la scrittura X + Y; infine
- un interruttore che inverte lo stato di un segnale X d'ingresso, realizzato con un relè invertente, corrisponde alla **negazione logica** e viene indicato simbolicamente con la scrittura X'.

Oggi questi stessi circuiti di base prendono il nome di ***porte logiche***.

Esempio di circuito di commutazione con due interruttori in parallelo, indicato da Shannon con l'operatore X · Y. Oggi viene deonominata porta OR.

Il comportamento di ogni porta logica è definito in modo completo dalla ***tabella di verità*** che descrive le uscite della porta in funzione dei possibili ingressi.



A	X
0	1
1	0

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

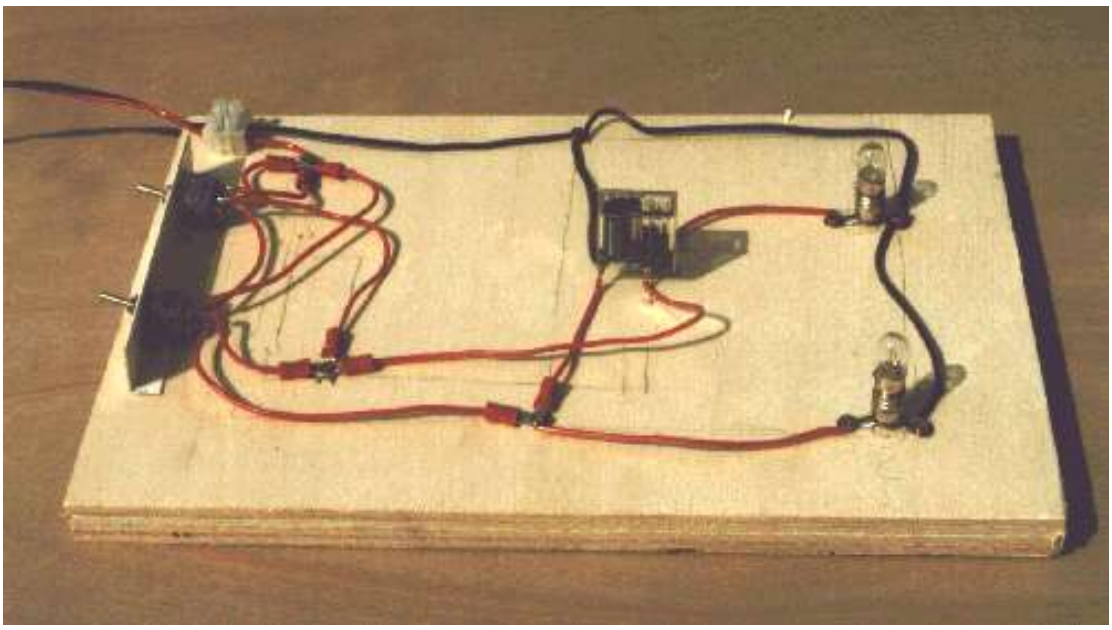
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Le porte AND e OR sono caratterizzate da due ingressi e un'uscita (operatori di tipo binario); la porta NOT (chiamata anche *inverter*) ha un solo ingresso e una sola uscita.

Ogni porta logica elabora uno o più bit secondo una determinata operazione logica. Infatti, se conveniamo di associare il valore "vero" al passaggio di corrente elettrica e il valore "falso" al non passaggio di corrente elettrica, allora i circuiti che logici elettrici costituiscono una rappresentazione concreta della logica proposizionale.



Addizionatore binario (half-adder) realizzato con un relè.

Le reti logiche hanno il compito di elaborare le informazioni rappresentate in forma binaria e vengono realizzate combinando insieme diverse porte logiche.

Il comportamento di una rete combinatoria è completamente noto se per ciascuna combinazione dei valori degli ingressi è conosciuta la corrispondente combinazione dei valori in uscita.

Ad esempio, l'operazione di somma di due bit può essere realizzata da un circuito elettronico detto ***semi-sommatore***, che presenta in ingresso i due bit da sommare e produce in uscita due bit: il risultato e il riporto.

In questo contesto, l'**aritmetica binaria è di gran lunga preferibile** a quella decimale.

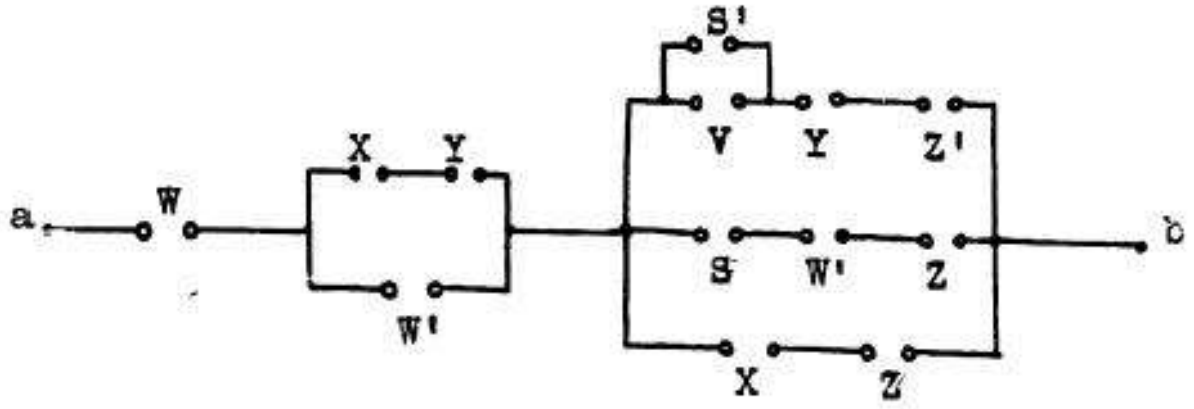
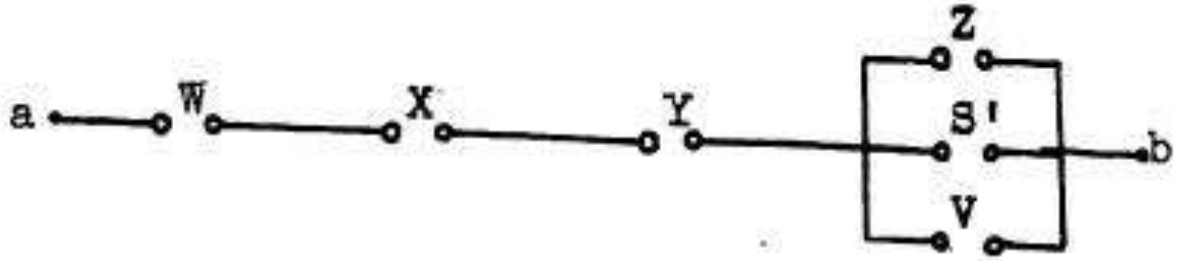


Fig. 5



Esempi di circuiti tratti dalla tesi di Shannon.

Le potenzialità di questi circuiti nell'ambito del calcolo aritmetico erano ovviamente ben chiare a Shannon e **tra i suoi esempi è incluso il progetto di un addizionatore binario** basato sulle reti logiche:

> *A circuit is to be designed that will automatically add two numbers, using only relays and switches. Although any numbering base could be used the circuit is greatly simplified by using the scale of two. Each digit is thus either 0 or 1; the number whose digits in order are* a_k, a_{k-1}, a_{k-2}, . . ., a_2, a_1, a_0 *has the value* $\sum_{j=0} a_j 2^j$.

In definitiva il lavoro di **Shannon diede avvio allo studio di tutte quelle tecniche indispensabili per progettare in modo sistematico tutti i circuiti logici** di base necessari per realizzare i circuiti di calcolo necessari per i futuri computer.

La flessibilità dei circuiti logici nell'implementazione di algoritmi è pienamente riconosciuta da Shannon che così si esprime sempre nella sua tesi di Master:

> *It is possible to perform complex mathematical operations by means of relay circuits. Numbers may be represented by the positions of relays or stepping switches, and interconnections between sets of relays can be made to represent various mathematical operations. In fact, any operation that can be completely described to the required accuracy (if numerical) in s finite number of steps using the words "if", "or", "and", etc. […] can be done automatically with relays.*
>
> *…*

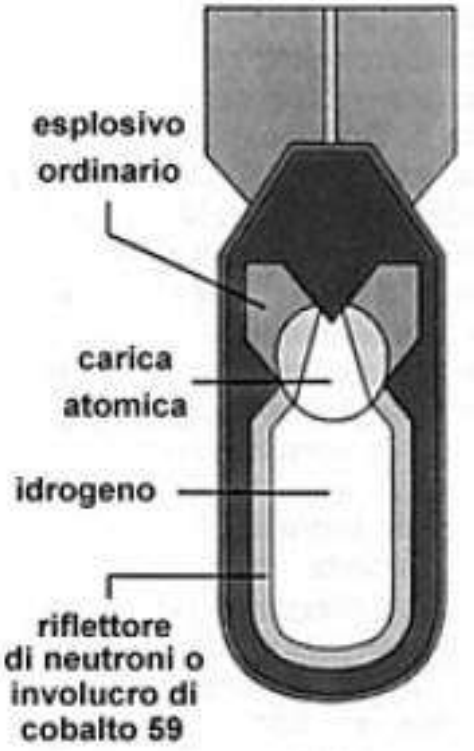
Questo aspetto costituisce un importante vantaggio rispetto alla tecnologia meccanica dove i meccanismi necessari dovevano essere inventati da zero ogni volta che si desiderava realizzare una nuova funzione matematica.

Link

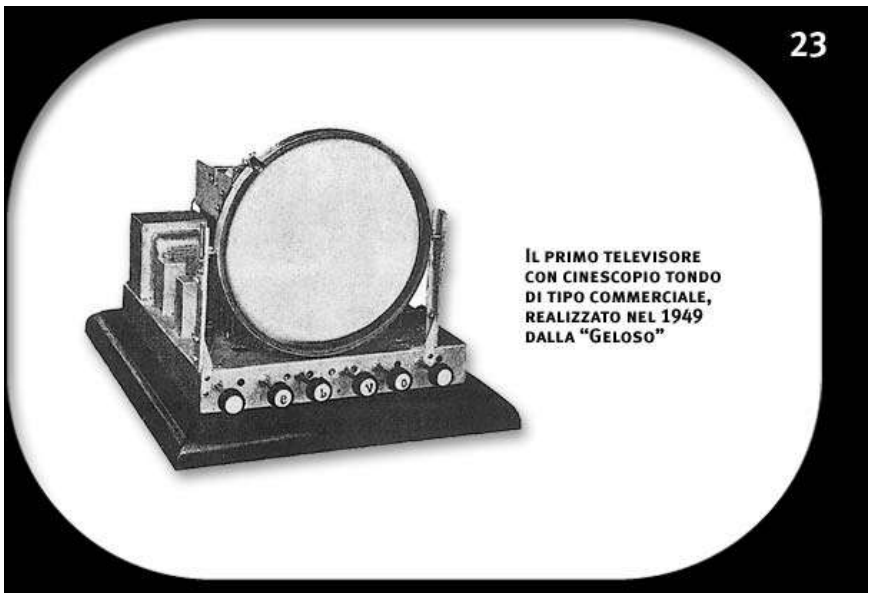
http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/index.html

1.3. Il momento storico nell'era del computer

La guerra fredda: la costruzione del muro di Berlino



Armamenti nucleari: bomba all'idrogeno

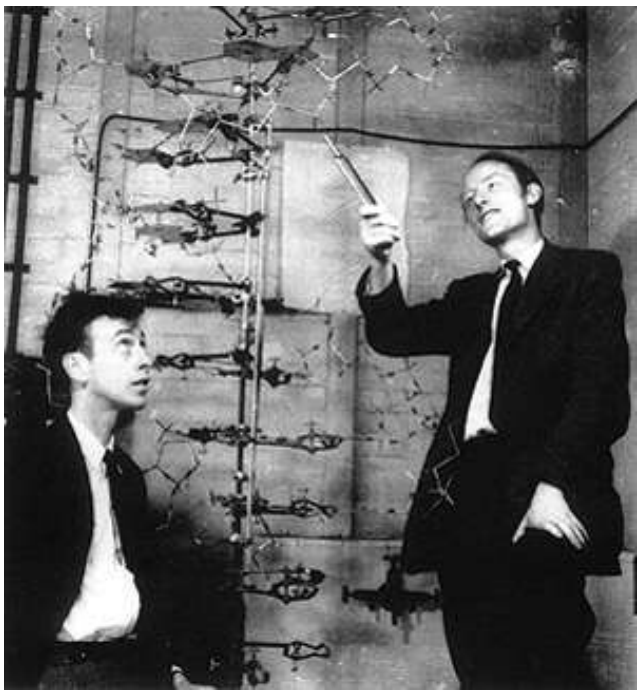


La televisione

La chimica del petrolio

Dopo la Seconda Guerra Mondiale le materie plastiche diventano uno dei materiali più utilizzati e diffusi.

Si diffondono gli elettrodomestici



La scoperta del DNA (Watson, Crick e Franklin, 1953)

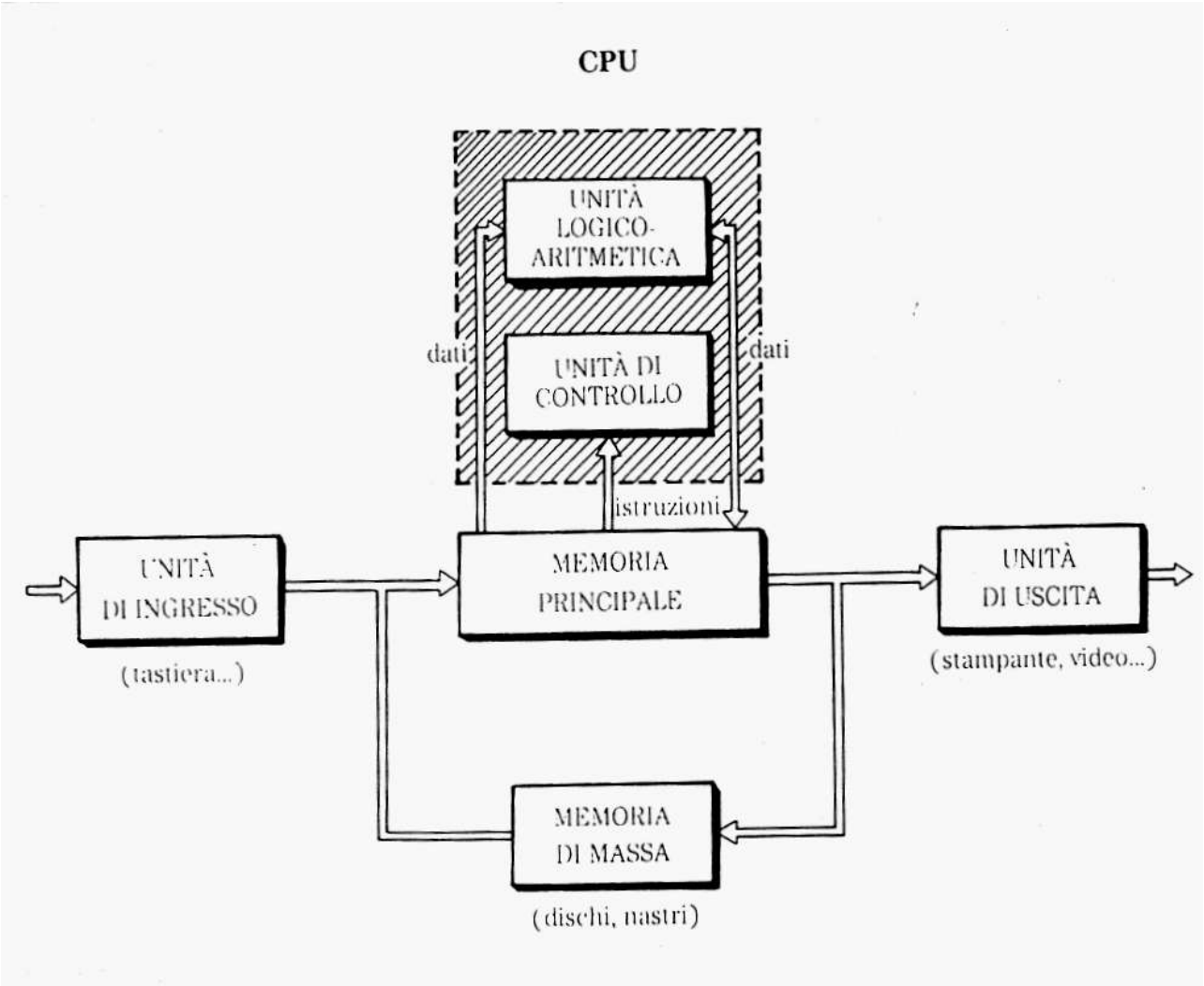
Missili intercontinentali: anni ‘50

La conquista dello spazio: Gagarin 1961

La conquista della luna: Apollo 11, 20-21 luglio 1969

2. Tecnologie per realizzare l'unità centrale

Paolo Giangrandi
giangran@dimi.uniud.it



Università degli Studi di Udine

05/05/2010

2.1. Introduzione

Uno degli aspetti più sorprendenti della rivoluzione elettronica nei computer è costituito dallo **straordinario progresso che ha caratterizzato i dispositivi elettronici in termini di velocità, affidabilità, miniaturizzazione**, ecc. in così pochi anni.

Questo miglioramento ha coinvolto non solo l'unità centrale di elaborazione (CPU) ma tutte le unità presenti nel computer.

A fronte di questo perfezionamento, sorprende invece il fatto che **l'architettura generale del computer sia rimasta sostanzialmente invariata** negli anni e che la maggior parte dei computer di oggi adotti ancora l'architettura elaborata da von Neumann nel 1945.

L'unità centrale di elaborazione

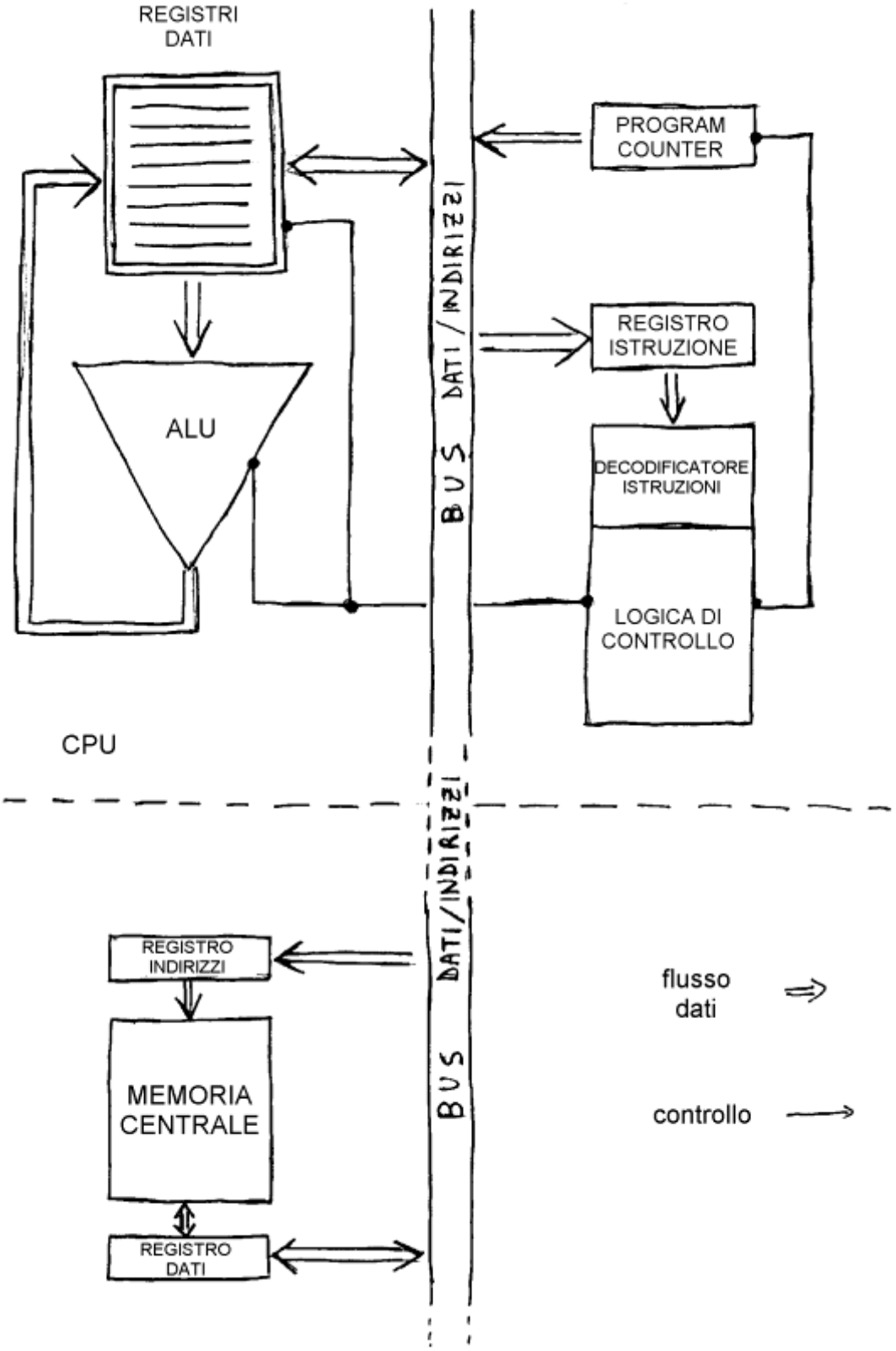


Fig. Architettura generale di una CPU.

La **CPU (Central Processing Unit)** è il componente attivo che esegue tutte le operazioni e rappresenta la parte centrale del computer. La CPU comprende alcuni componenti fondamentali:

- ***unità di controllo***, il cui compito è quello di guidare l'attività dell'intera CPU al fine di interpretare ed eseguire le istruzioni che compongono un dato programma residente nella memoria centrale; questa unità comprende a sua volta due parti fondamentali: la **logica di controllo** (ordina di prelevare le istruzioni del registro istruzioni, verifica cosa si deve fare con i dati e quindi ordina all'ALU di eseguire l'operazione richiesta) e il **decodificatore istruzioni** (decodifica le istruzioni memorizzate nel registro istruzioni ed emette i segnali di controllo necessari per eseguire tali istruzioni);

- l'***unita logico-aritmetica*** (ALU), il cui compito è quello di eseguire ciascuna delle operazioni aritmetiche o logiche richieste dall'unità di controllo;

- ***registri***, in cui vengono memorizzate le informazioni necessarie al momento dell'esecuzione di ciascuna istruzione; in particolare, il registro ***program counter*** specifica l'indirizzo in memoria centrale dell'istruzione corrente in esecuzione; il ***registro istruzione*** contiene l'istruzione corrente in esecuzione che deve essere interpretata dall'unità di controllo; i ***registri dati*** contengono gli eventuali dati su cui si deve operare;

- ***bus dati-indirizzi***, rappresenta il canale attraversa cui si muovono le informazioni (dati, indirizzi, istruzioni, ecc) tra i diversi moduli della CPU.

Un aspetto implementativo importante emerso fin dalla costruzione dei primi computer è il fatto che tutti i diversi componenti della CPU possono essere realizzati mediante lo stesso tipo di circuiti: ***le reti logiche***.

Per cui a partire dal 1945 cominciarono approfonditi studi sulla progettazione ed ottimizzazione di tale reti nell’ambito dei computer, portando avanti le idee di Shannon.

Automatizzare gli interruttori

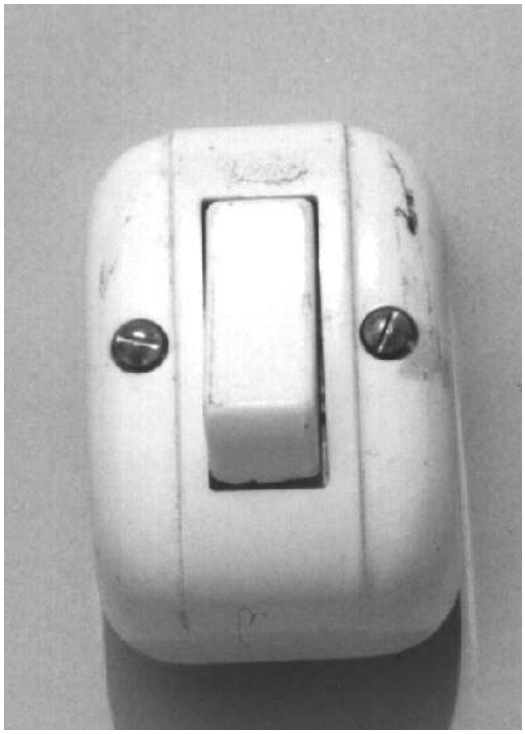


Fig. Interruttore domestico per l'illuminazione: la commutazione dell'interruttore deve essere eseguita manualmente.

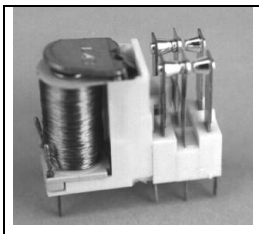
- L'interruttore di corrente elettrica costituisce il **"mattone" elementare utilizzato per manipolare le informazioni** e con esso vengono realizzate in definitiva tutte le reti logiche.

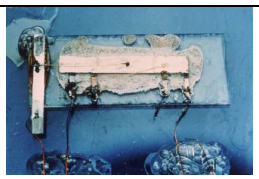
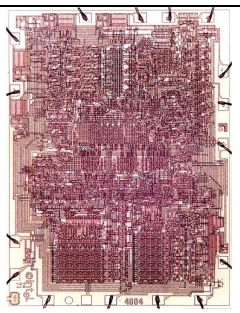
- Naturalmente, l'uso di semplici interruttori come quelli per l'illuminazione non permette di costruire le unità di elaborazione di un computer: **nell'interruttore domestico l'azione di accendere o spegnere deve essere eseguita manualmente con un dito.**

- Quello che manca ad un simile dispositivo è il **controllo automatico** mediante un segnale elettrico per fare passare l'interruttore da uno stato all'altro (*commutazione*).

Nei sei decenni che ci separano dai primi computer elettronici questo componente è cambiato parecchio determinando diverse generazioni di computer.

Le diverse generazioni dei computer



Dal punto di vista tecnologico, lo sviluppo delle unità centrali di elaborazione (CPU) viene generalmente suddiviso in cinque diverse generazioni a seconda il tipo di tecnologia impiegata per la realizzazione delle reti logiche:

- ***generazione zero***: i computer adottano ancora una tecnologia elettromeccanica;
- ***prima generazione***: i computer adottano la tecnologia delle valvole termoioniche (tubi elettronici);
- *seconda generazione*: i computer adottano la tecnologia dei transistor;
- ***terza generazione***: i computer adottano la tecnologia dei primi circuiti integrati;
- ***quarta generazione***: i computer adottano la tecnologia dei circuiti integrati ad alta densità di componenti; è questa la generazione degli attuali computer.

Relè elettromeccanico

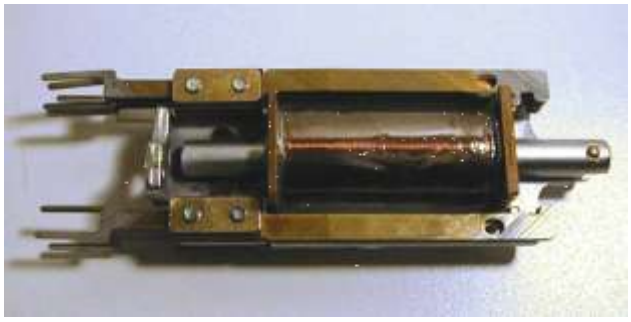


Fig. Electromechanical relays, similar to the 1950's phone relay shown here, were used in some early computing devices before vacuum tubes became more popular. (da http://www.computermuseum.li/Testpage/Relay1950.htm)

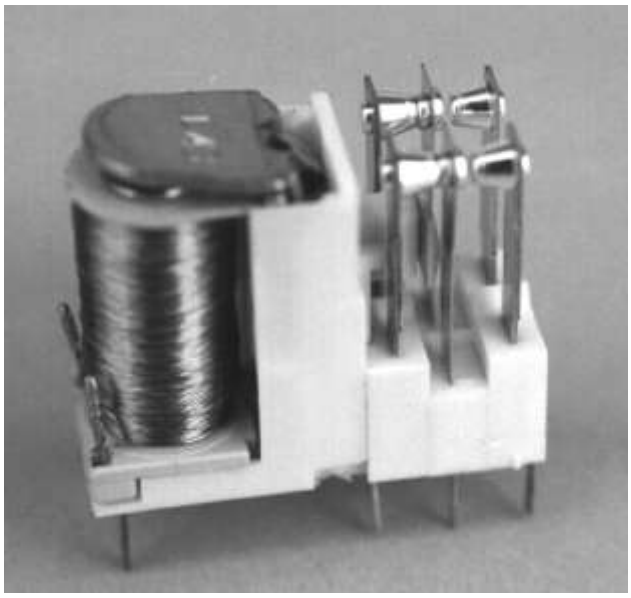
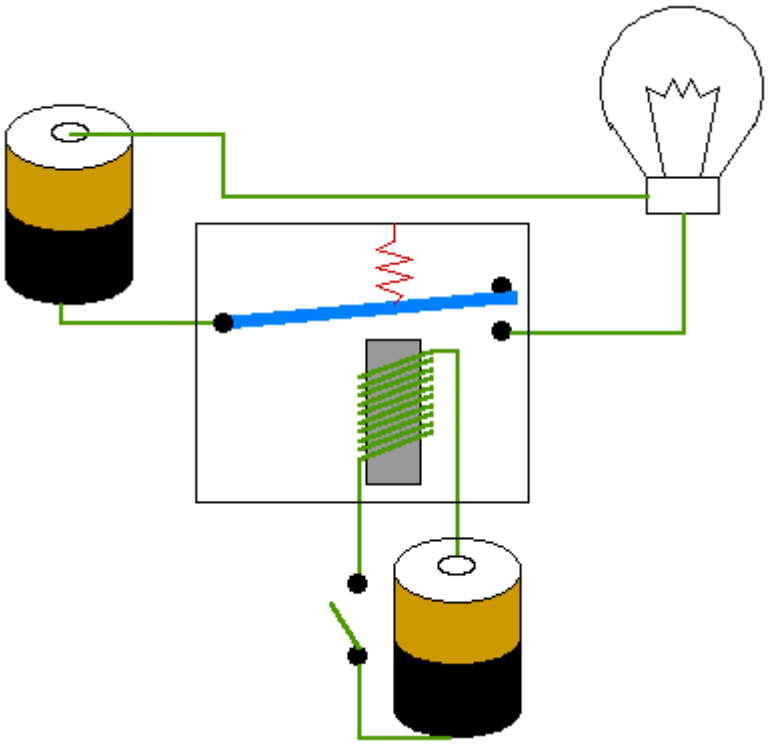
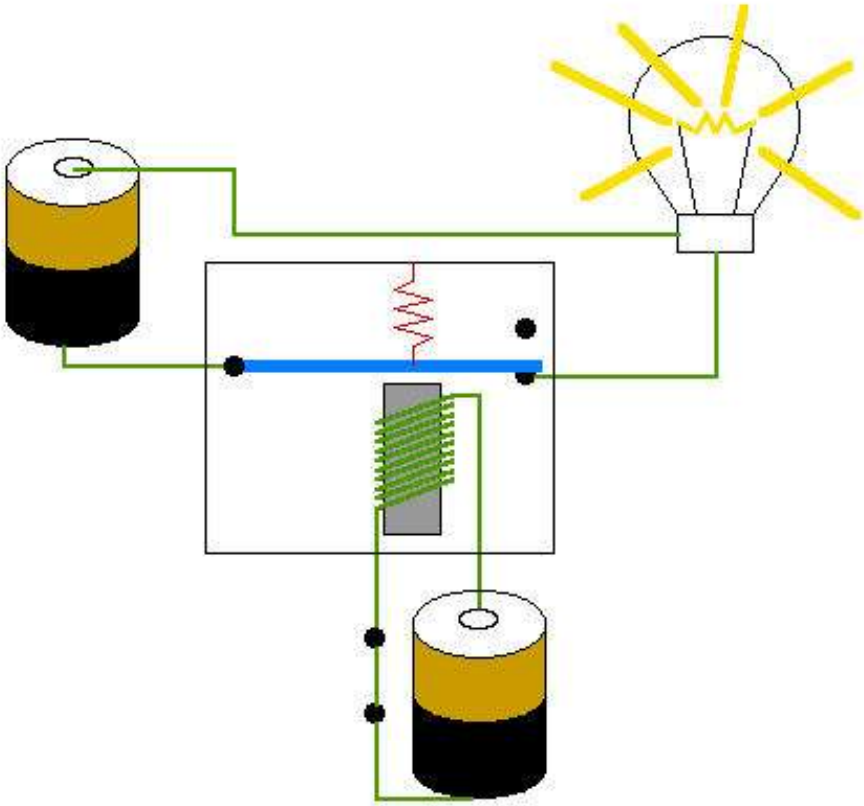


Fig. Relè elettromeccanico a due scambi.

Il **relè elettromeccanico è probabilmente il meccanismo più semplice che consente di automatizzare l'apertura e la chiusura di un interruttore** e, per questa ragione, è stato il primo componente scelto per realizzare le reti logiche nei computer.





I primi relè furono introdotti nel corso dell'Ottocento e pare siano stati inventati verso il **1835 dall'americano-scozzese Joseph Henry** (1797 – 1878). Inizialmente furono utilizzati nell'ambito della **telegrafia** per rigenerare il segnale elettrico trasmesso per lunghe distanze.

In questo dispositivo **uno o più interruttori possono essere aperti o chiusi, in dipendenza di un segnale elettrico di comando**. Nei relè elettromagnetici un'ancoretta mobile di materiale ferromagnetico viene attratta da una bobina (elettrocalamita), quando questa è percorsa da corrente, provocando lo spostamento dei contatti dell'interruttore. Quando la corrente elettrica cessa di circolare nell'elettrocalamita, una molla riporta i contatti dell'interruttore nello stato iniziali.

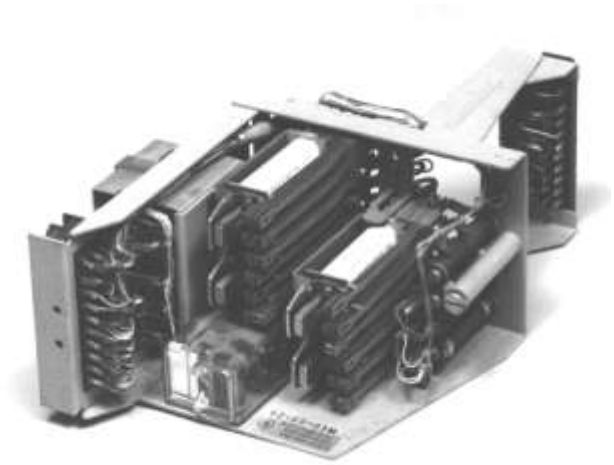


Fig. Dispositivi elettromeccanici per uso telefonico. All'inizio del 1900, i relè cominciarono ad essere ampiamente utilizzati nell'ambito della telefonia, per la commutazione delle chiamate.

La generazione zero dei computer

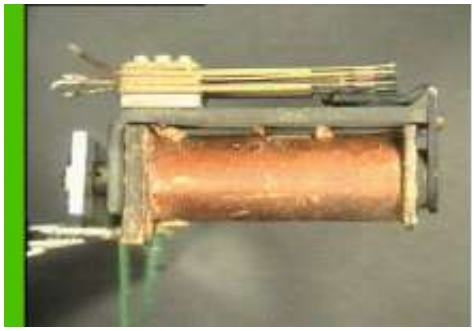
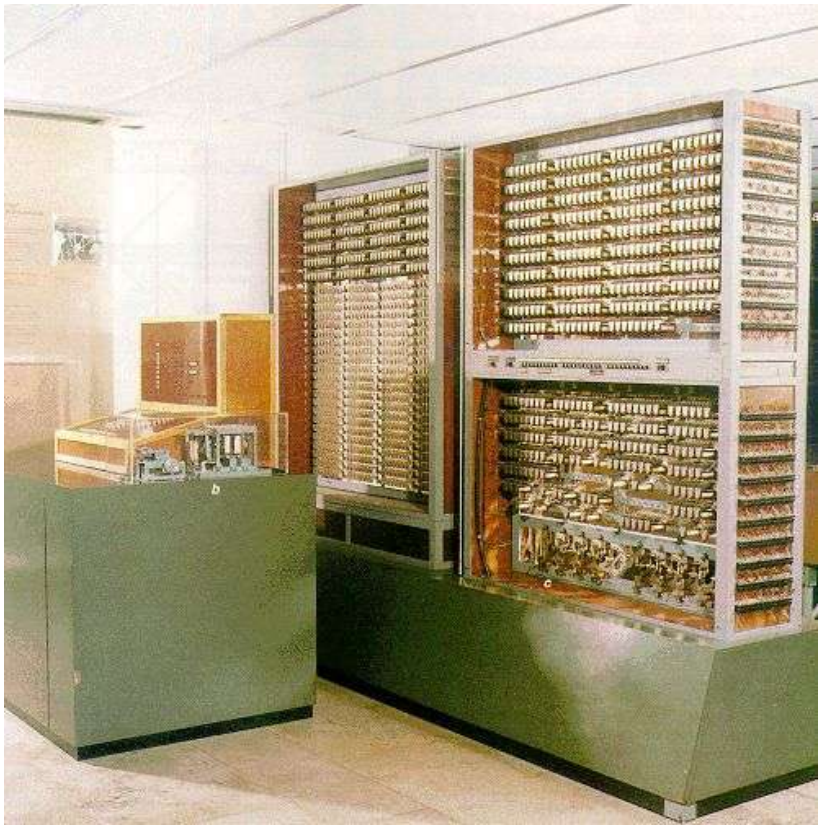


Fig. Un relè della Z3 di K. Zuse, 1941.

I primi computer (programmabili) a relè furono lo Z2 realizzato da Zuse e l'Harvard Mark 1 realizzato da Aiken, anche se già in precedenza **Torres y Quevedo** e altri avevano sperimentato l'uso dei relè in alcuni dispositivi di calcolo (non programmabili).



Il computer Z3 di K. Zuse ricostruzione (Museo di Monaco).

L’uso dei relè nei computer presentava diversi inconvenienti:

- i relè erano **relativamente lenti** a causa della presenza di parti meccaniche in movimento (il tempo di commutazione è dell’ordine del centesimo di secondo);
- macchine con una potenza di calcolo anche modesta erano di **notevoli dimensioni** a causa delle migliaia di relè necessari per il funzionamento;
- anche il **consumo di corrente elettrica** era considerevole;
- infine, l’**usura dei contatti elettrici** del relè dovuta allo scintillio rendeva ben presto inaffidabili il funzionamento delle diverse unità di calcolo.

VIDEO

[Video 3: ricostruzione Z3 e Konrad Zuse]

Valvole termoioniche

Per migliorare la velocità di calcolo dei computer i relè furono subito sostituiti dalle *valvole termoioniche* (o *tubi elettronici*), capaci di svolgere un ruolo simile. Esistono numerosi tipi di valvole con diverse funzioni.

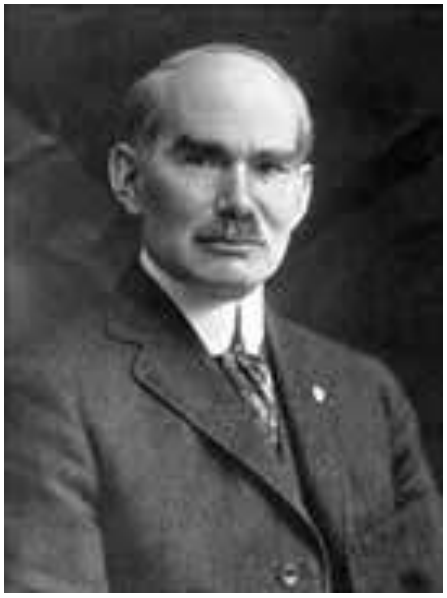


Fig. Lee De Forrest.

La prima valvola termoionica ad essere scoperta è stata il ***diodo,*** inventato dall'inglese **John Ambrose Fleming** nel 1904, con cui è possibile raddrizzare la corrente elettrica alternata.

Nel 1907, l'americano **L. de Forrest** brevettò un nuovo tipo di valvola, il ***triodo*****,** che inizialmente fu utilizzato prevalentemente come rivelatore-amplificatore negli apparecchi radioriceventi.

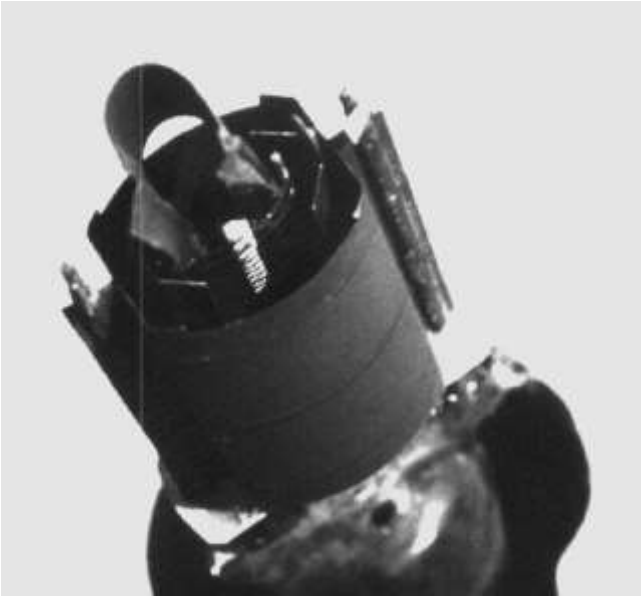
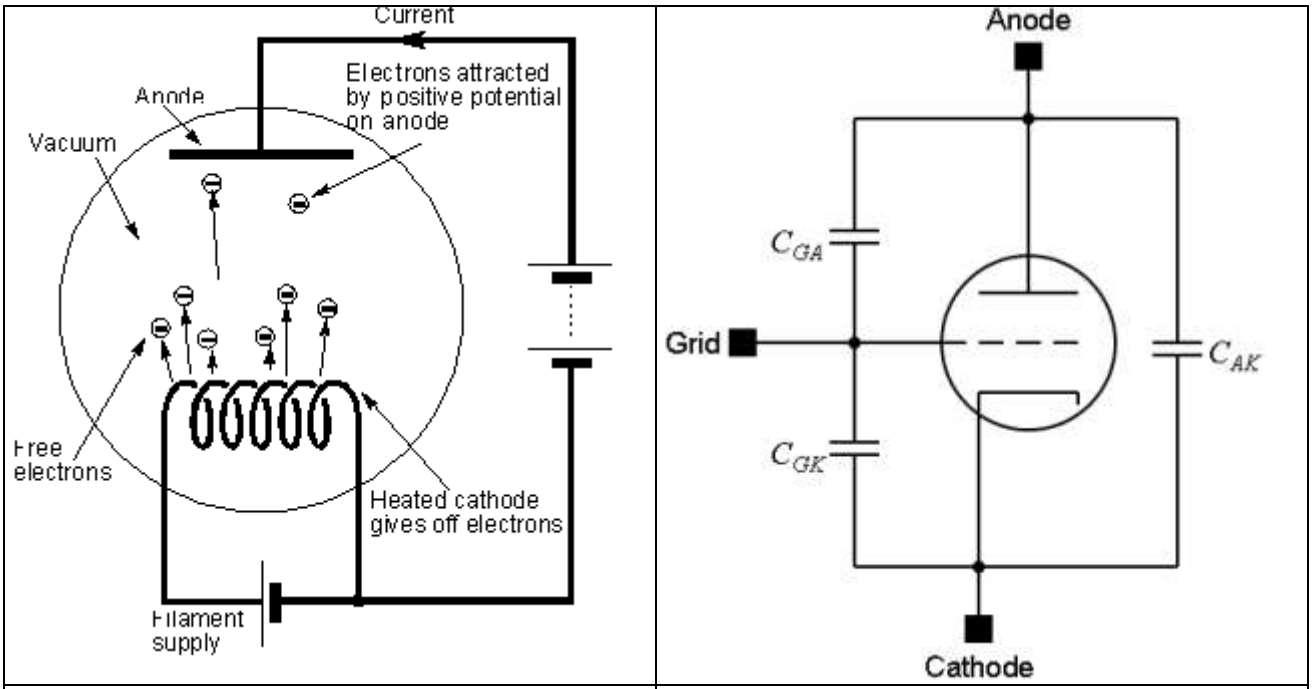


Fig. Particolare di una valvola termoionica aperta.

Il **triodo** è un tubo elettronico a tre elettrodi, che deriva dal diodo per introduzione tra il catodo e la placca, di un elettrodo, detto ***griglia di controllo***.



Diodo	**Triodo**

Il triodo può essere utilizzato come un **interruttore automatico**: con un'opportuna tensione sulla griglia è possibile attivare o disattivare la corrente elettrica tra catodo e anodo.

Fig. Una valvola dello stesso tipo (6SN7) di quelle utilizzate nell'ENIAC per la realizzazione dei flip-flop.

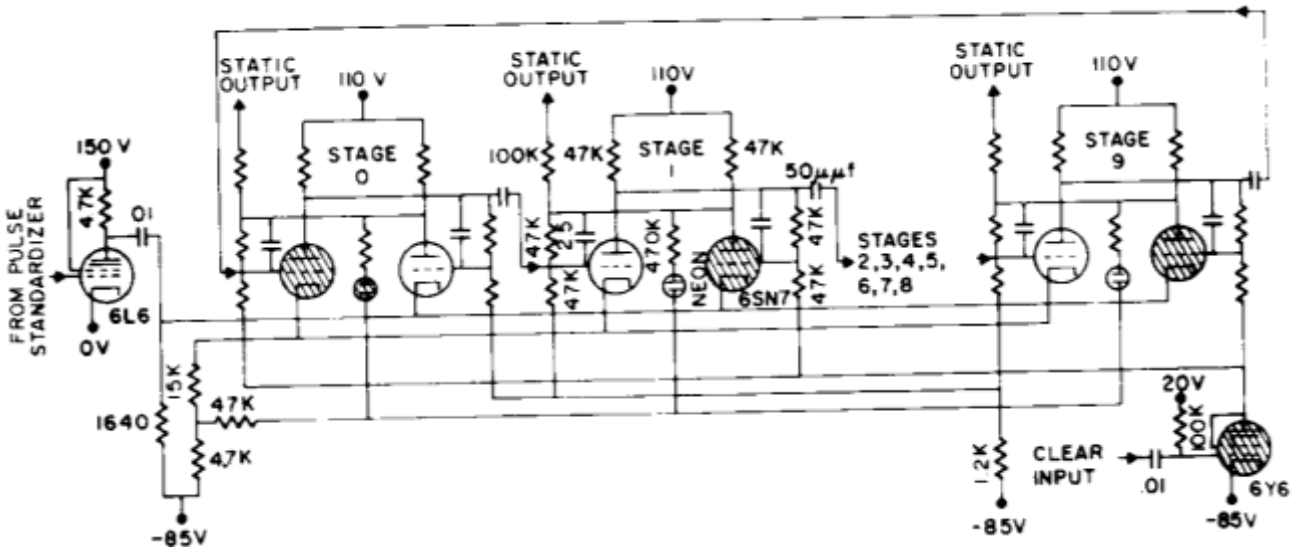


Fig. Schema del contatore decimale ad anello dell'ENIAC realizzato mediante valvole termoioniche.

Nell'ambito dei computer, il **triodo può essere utilizzato come semplice interruttore** controllato da un segnale elettrico.

La **maggiore velocità di commutazione delle valvole termoioniche** deriva dal fatto che il dispositivo non contiene parti meccaniche in movimento, ma l'apertura e la chiusura dell'interruttore è controllata dalla sola presenza della tensione elettrica sulla griglia.

Una valvola elettronica può raggiungere facilmente tempi di commutazione di 1/1.000.000 di secondo.

Link

http://www.jacmusic.com/html/articles/ericbarbour/howavacuumtubeworks.html

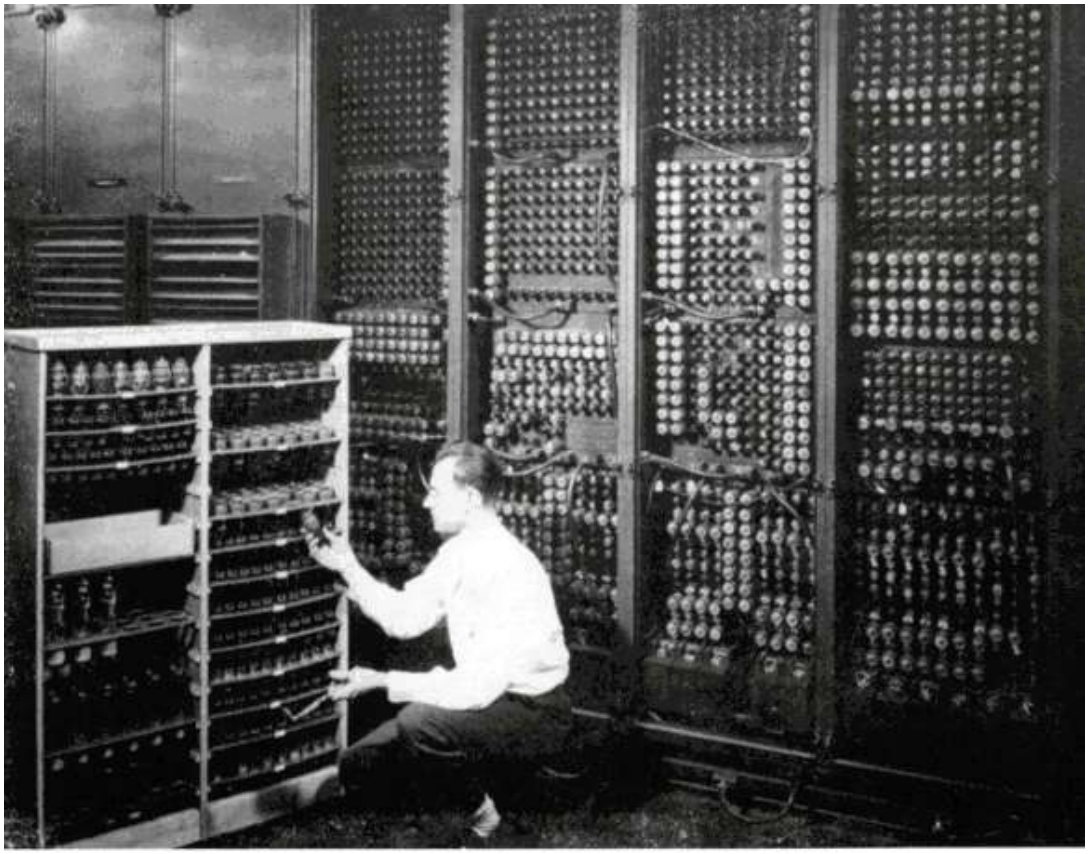
Video0: costruzione valvole

Video1: costruzione valvole

Video2: costruzione valvole

Video3: costruzione valvole

La prima generazione di computer



Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

Fig. Un tecnico addetto alla sostituzione delle valvole nel computer Eniac.

I computer a valvole costituirono un miglioramento rispetto a quelli a relè in termini di velocità di calcolo ma non in termini di spazio.

Pertanto, anche i computer a valvole (ad esempio, i computer ABC, ENIAC, EDSAC, UNIVAC, ecc.) **erano di grandi dimensioni** a causa del notevole numero di valvole impiegate. Infatti, un computer contenente migliaia di valvole poteva occupare un'intera stanza di grandi dimensioni.

Un computer a valvole era caratterizzato anche da un notevole consumo di corrente elettrica: ogni singola valvola poteva consumare infatti 5-15 watt. Infine, un grave inconveniente delle valvole termoioniche era legato alla loro scarsa affidabilità in termini di durata. Infatti, il notevole numero di valvole impiegate in un computer faceva sì che mediamente i guasti in tali macchine fossero particolarmente frequenti (talvolta a distanza di poche ore).

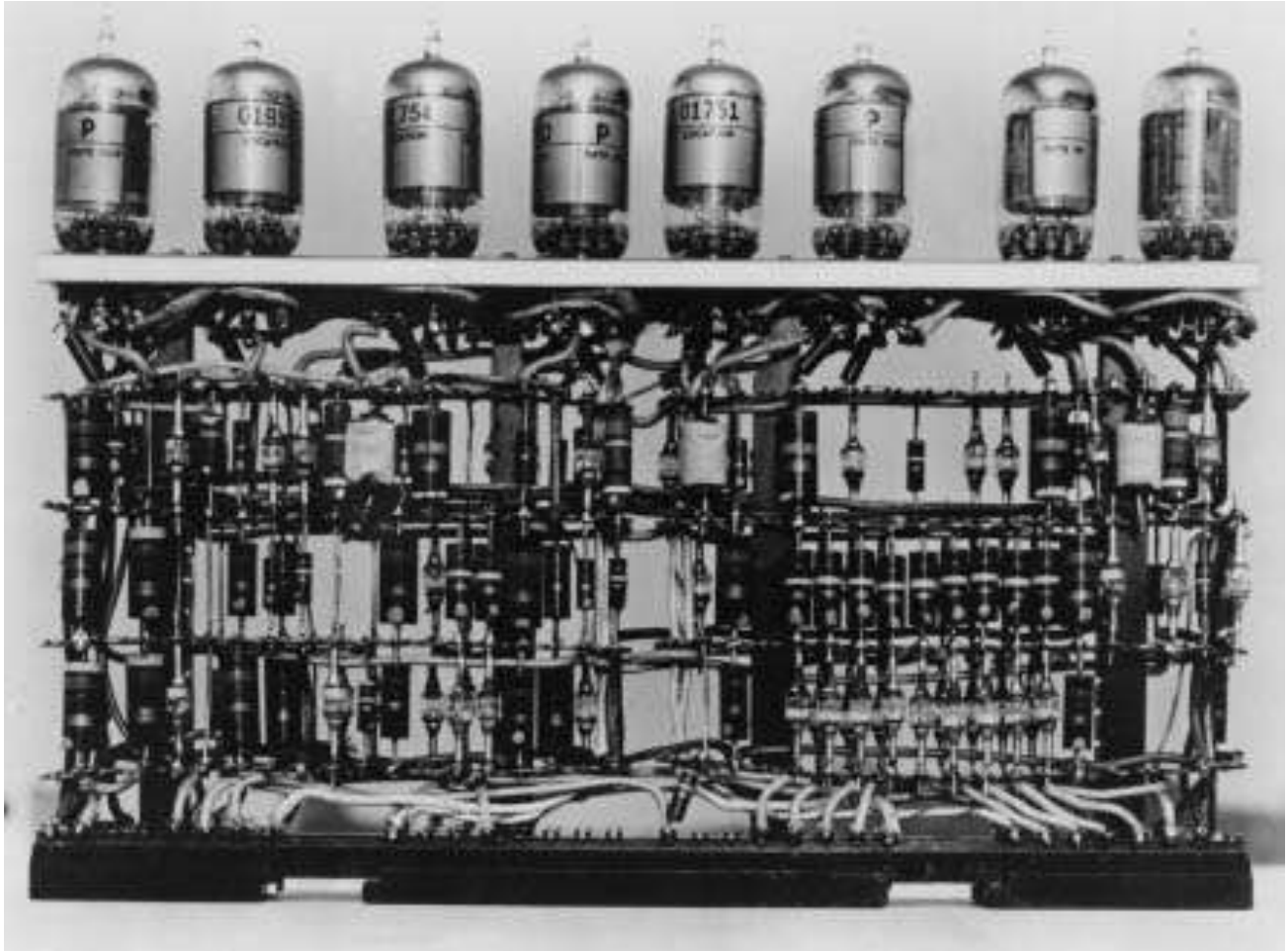


Fig. Unità a valvole del computer IBM 701 (primi anni ’50). Questo modulo era stato progettato in modo da essere facilmente sostituibile in caso di guasto.

VIDEO

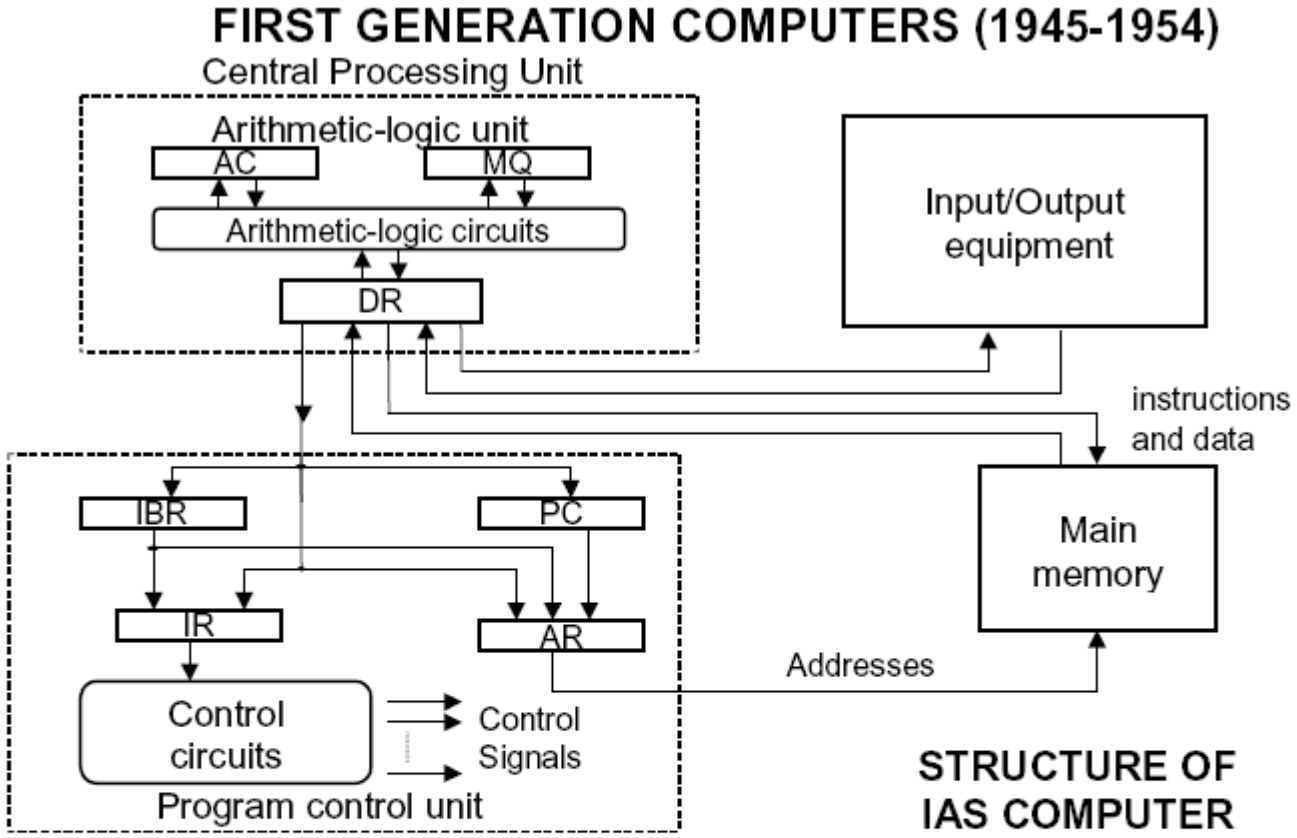
[Video 1: Eniac]

[Video 2: Eniac]

[Video 5: sostituzione di una scheda nell’Eniac]

Video 2: Console dell’IBM 701

Architettura di un computer della prima generazione



CHARACTERISTICS

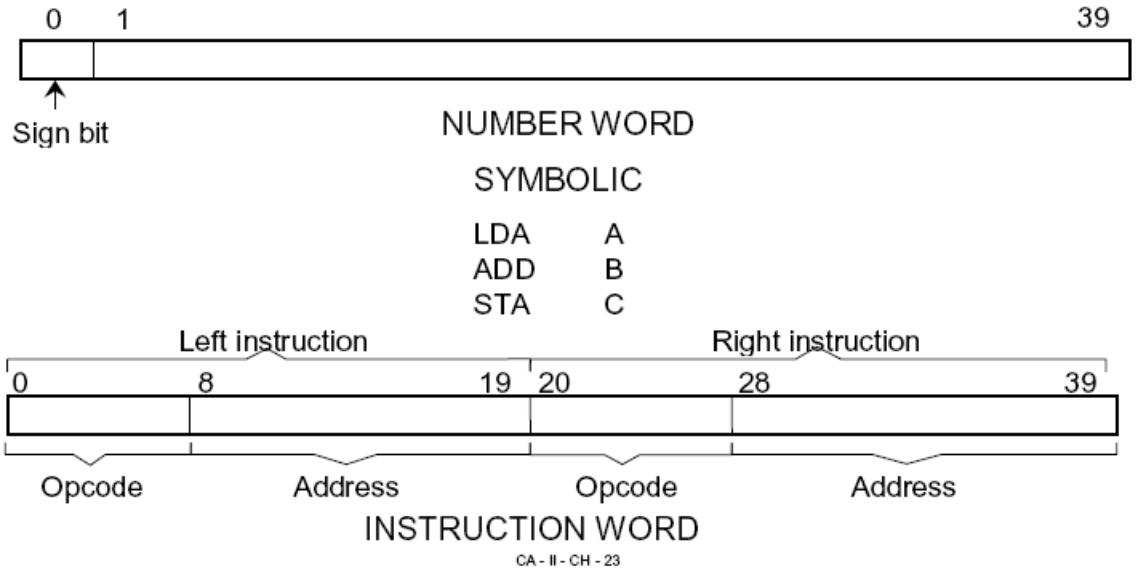
- Random Access Memory
- 1000 (2 1/2) Word
- 40 Bit Word
- One Address (OP ADDR)
- Parallel Binary Circuits
- High-speed Registers (CPU)

AC - Accumulator
MQ - Multiplexor-Quotient
DR - Data (40 Bit)
AR - Address (12 Bit)
IBR - Instruction Buffer
PC - Instruction Address (Program Counter)

CA - II - CH - 22

REGISTER TRANSFER LANGUAGE

Instruction		Comments
AC	⇦ M(100)	Transfer contents of memory location 100 to the accumulator
AC	⇦ AC + M(101)	Add the contents of memory location 101 to the contents of the accumulator and place the result in the accumulator
M(102)	⇦ AC	Store the contents of the accumulator in memory location 102



Transistor

Fig. W. Shockley, W. Bardeen e W. Brattain

Il transistor (a punte di contatto) è un dispositivo elettronico fondamentale e fu scoperto nel dicembre del 1947 da **W. Shockley, W. Bardeen e W. Brattain** presso i laboratori della Bell Telephone.

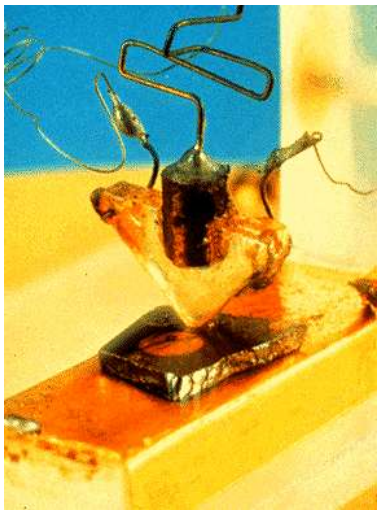
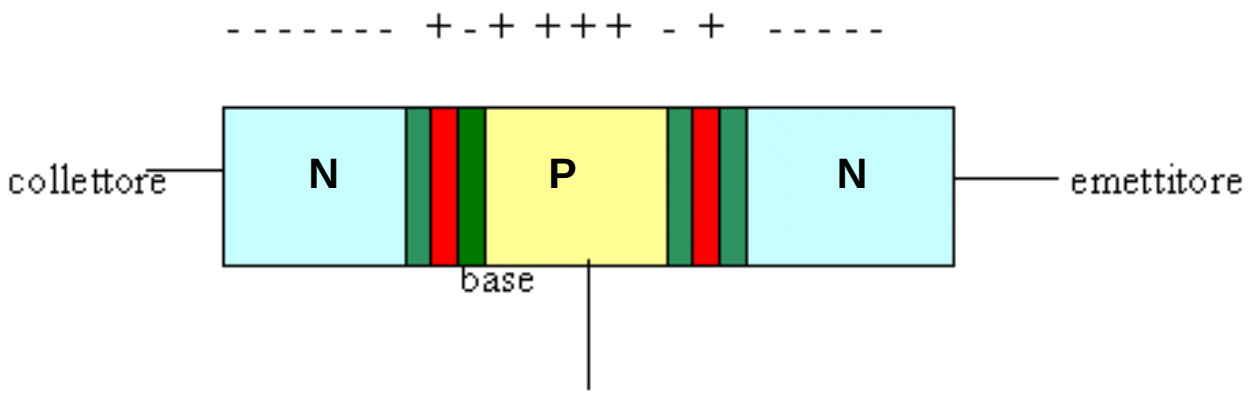
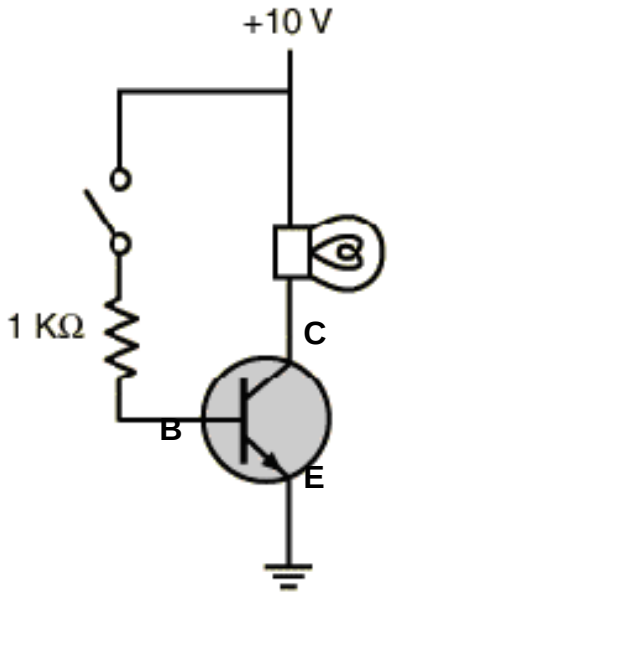
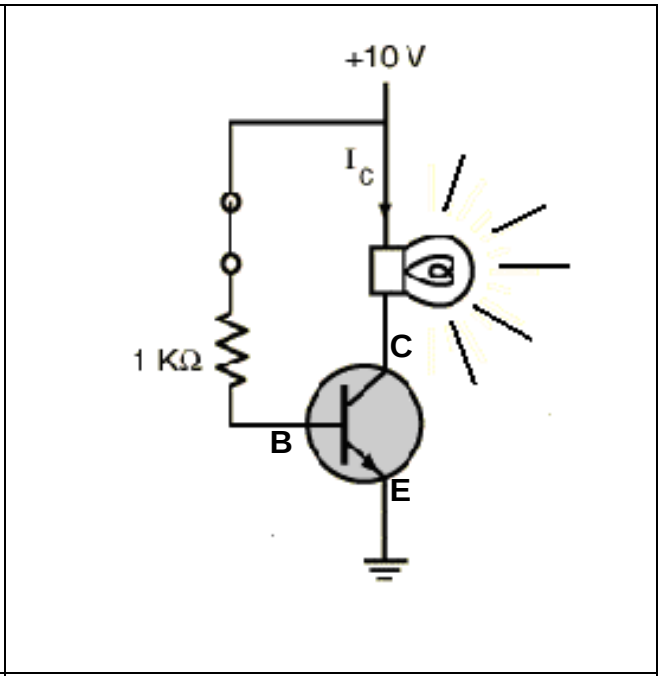
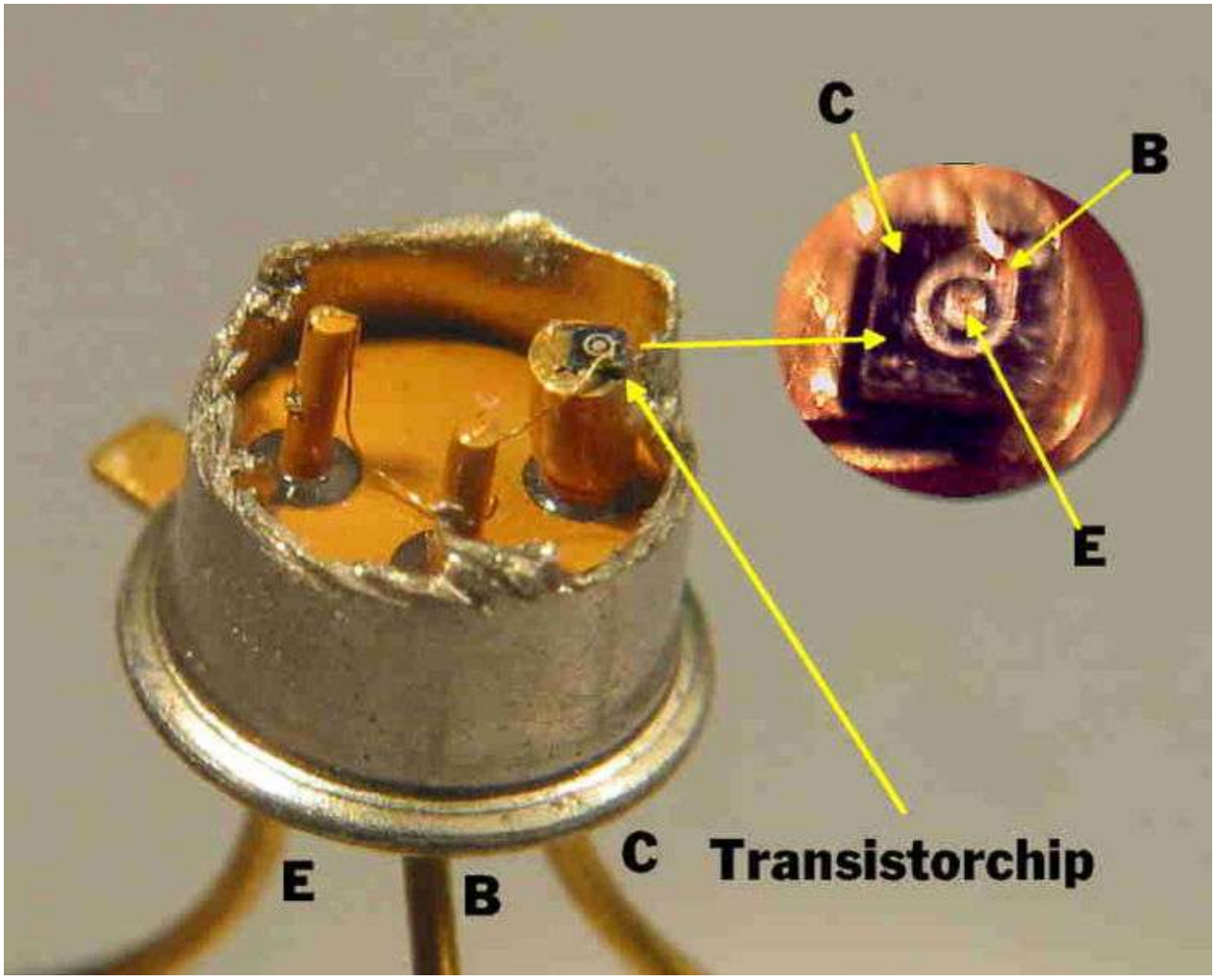


Fig. Il primo transistor realizzato nei laboratori della Bell.



	
transistor NPN	


C
B
E
E
B
C
Transistorchip

Inizialmente venne realizzato con un **cristallo di germanio**, un semiconduttore (alquanto costoso) che presenta particolari proprietà elettriche quando viene trattato con opportune sostanze.

Nel 1954 il germanio fu sostituito da Gordon Teal, della Texas Instruments con un altro semiconduttore, il silicio, molto più diffuso ed economico. Il transistor è stato poi notevolmente migliorato e **si presta a moltissime applicazioni**: amplificatore, rivelatore, convertitore di frequenza, oscillatore, interruttore elettronico nei circuiti logici, ecc.

L'introduzione del transistor **ha rivoluzionato completamente il settore elettronico** aprendo la strada a tutti i moderni dispositivi elettronici.

Il transistor venne ben presto utilizzato in sostituzione dei tubi elettronici, rispetto ai quali presenta diversi vantaggi:

- dimensioni molto inferiori che rendono possibile la realizzazione di circuiti miniaturizzati,
- potenza dissipata molto minore,
- tensione di lavoro più bassa (pochi volt contro le centinaia di volt necessari per i tubi),
- dispersione di calore molto inferiore,
- durata senza degradazione delle prestazioni praticamente illimitata,
- maggiore affidabilità,
- infine costi assai più limitati.

I primi transistor potevano facilmente raggiungere tempi di commutazione di 1/100.000.000 di secondo.

AUDIO

[Audio 4]: intervista 1 a Brattain.

[Audio 5]: intervista 2 a Brattain.

[Audio 1]: intervista 3 a Brattain

[Audio 6]: intervista a Shockley.

VIDEO

[Video 1: presentazione generale transistor]

[Video 7: presentazione generale del transistor]

[Video 5: presentazione generale del transistor]

[Video 6: intervista Shockley]

La seconda generazione di computer

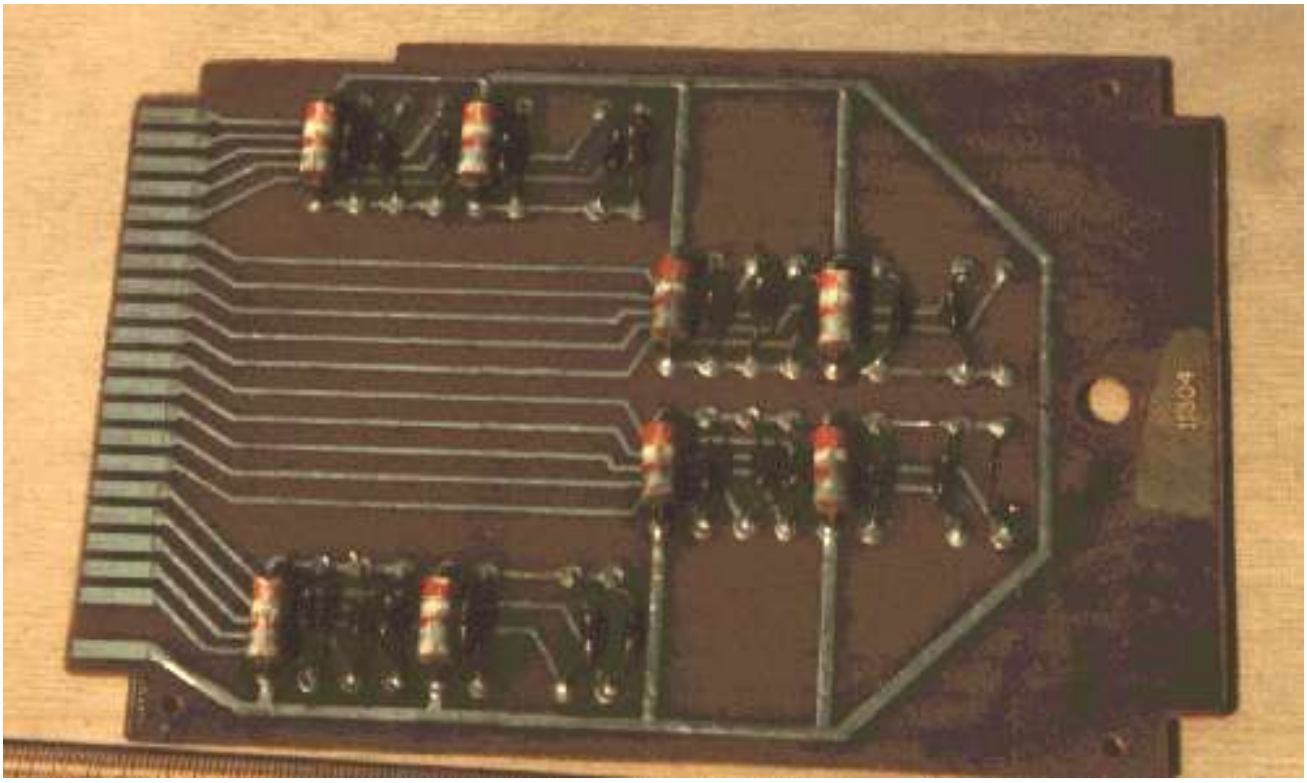


Fig. Scheda di computer con alcune porte logiche realizzate con soli diodi e resistenze - Olivetti, 1963.

Un primo passo verso la miniaturizzazione dei circuiti elettronici era derivato dall'impiego dei **diodi al germanio o a silicio (introdotti all'inizio del secolo - 1906)**, piccoli componenti elettronici (di pochi millimetri) funzionanti a basse tensioni.

L'inconveniente più grave di questi dispositivi era legato all'**impossibilità di amplificare adeguatamente i segnali elettrici** man mano che attraversano varie porte logiche con la conseguente perdita di informazione.

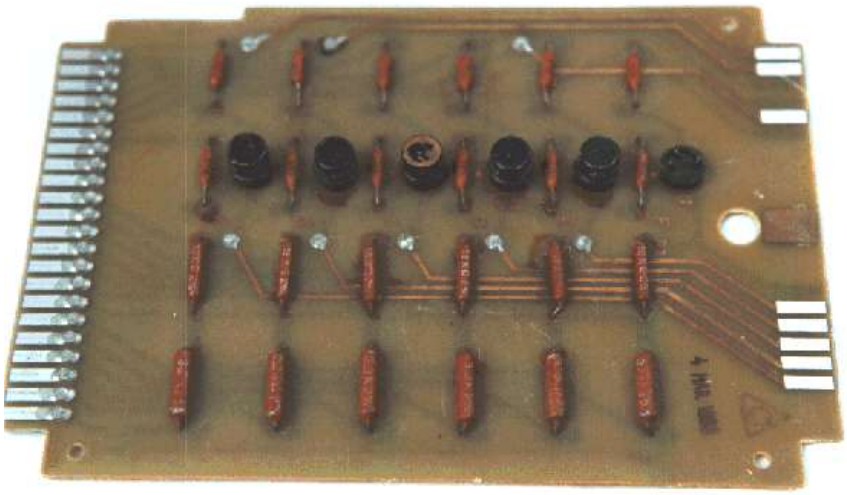


Fig. Scheda di computer con sei transistor – Olivetti, 1963.

Il problema fu risolto con l'invenzione del transistor che permise, a partire dagli anni ’50, di rendere molto più piccoli i circuiti elettronici necessari nel computer.

Fig. Il computer TRADIC presso i Bell Labs (1955).

I primi computer realizzati interamente con i transistor furono il prototipo **Computer Transistor** sviluppato presso l'Università di Manchester nel 1953 (parzialmente transistorizzato), il **TRADIC** (realizzato negli Stati Uniti presso i Bell Telephone Laboratories nel 1955), il computer inglese **Harwell CADET** operativo nel 1955, il computer giapponese **ETL Mark III** realizzato nel 1956 e il **TX-0** (realizzato presso il MIT, nel 1956).

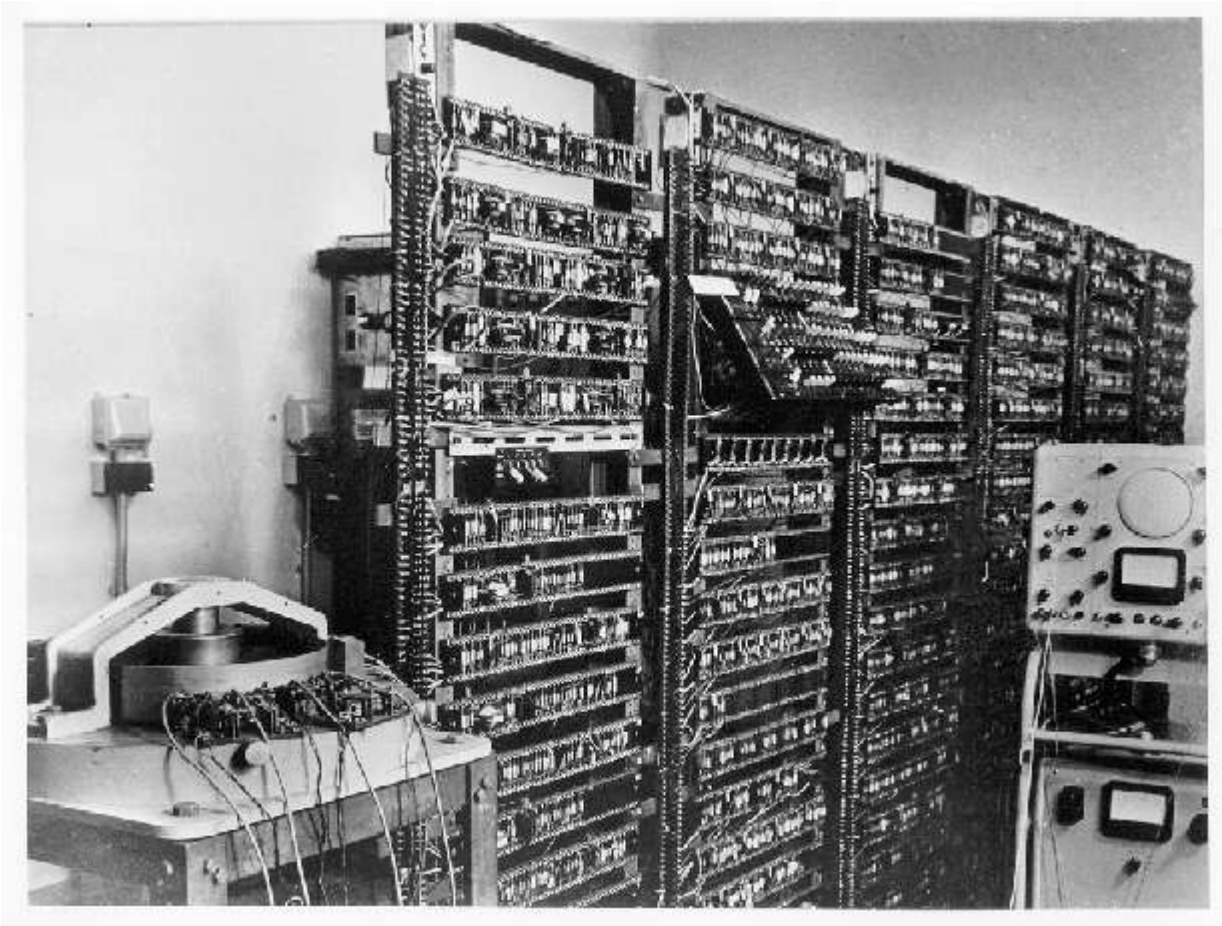


Fig. Manchester University Experimental Transistor Computer 1953.

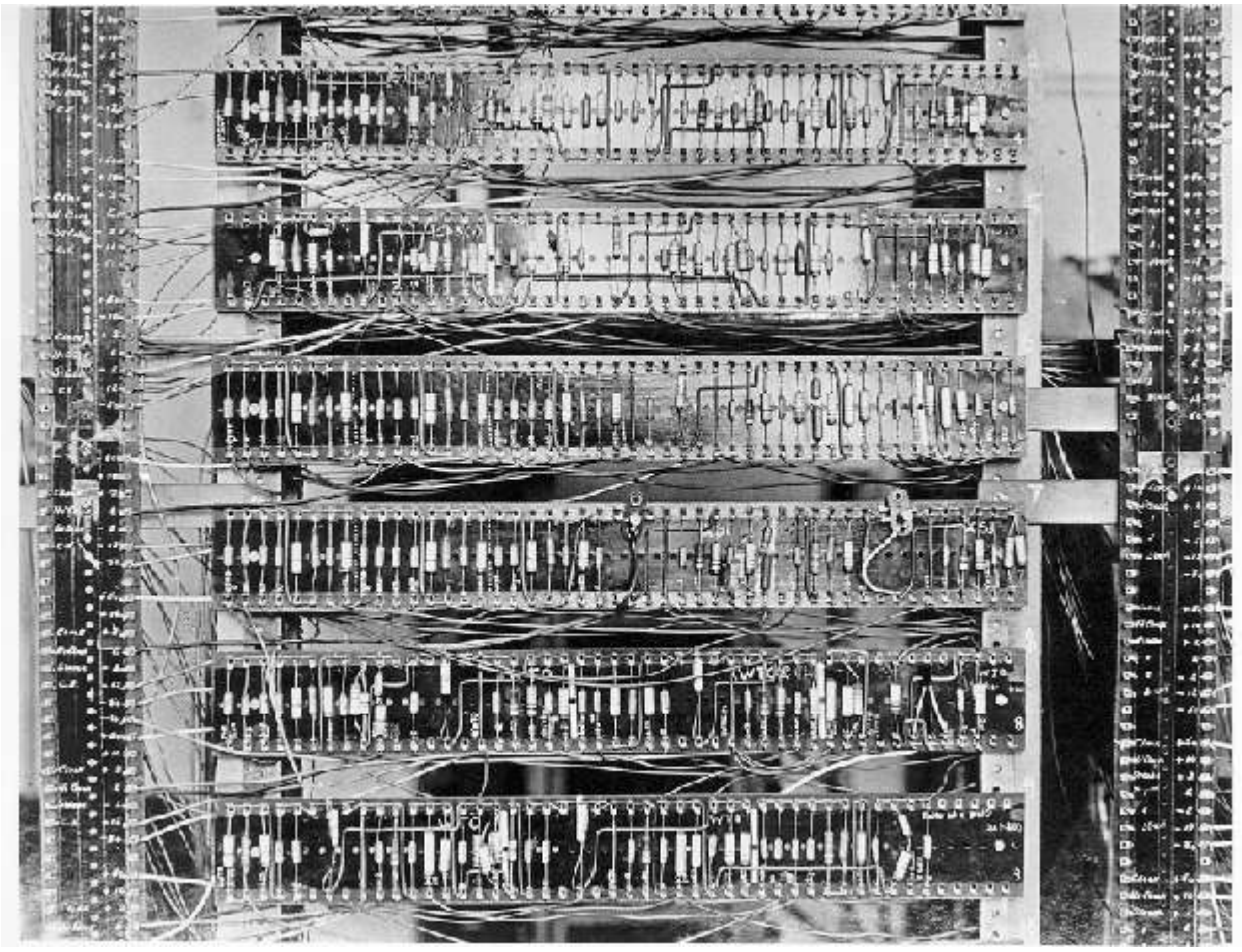


Fig. Close-up of the Experimental Transistor Computer

Fig. Computer TX-0 basato su tecnologia a transistor.

VIDEO

Video 1: alcune immagini del TX-0 (in un video lungo).

In pochi anni l'introduzione del transistor rivoluzionò i computer e **alla fine degli anni '50 i computer a valvole termoioniche erano stati rimpiazzati completamente da quelli a transistor**.

Inizialmente, su una singola scheda venivano messe solo alcune porte logiche con pochi transistor. Successivamente, si passò ad un numero sempre maggiore di porte logiche su una singola scheda.

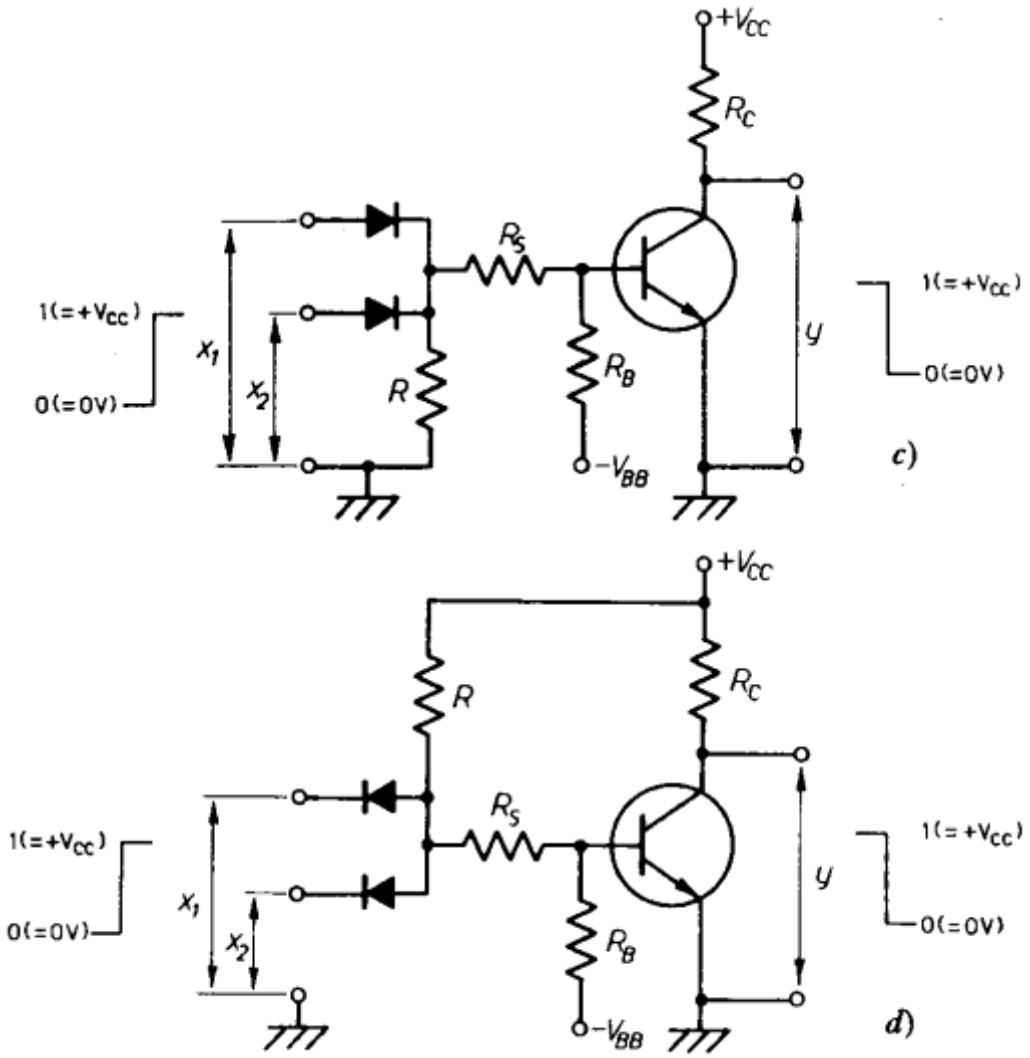


Fig. Schemi di porte logiche NOR e NAND basate sull'uso di transistor.

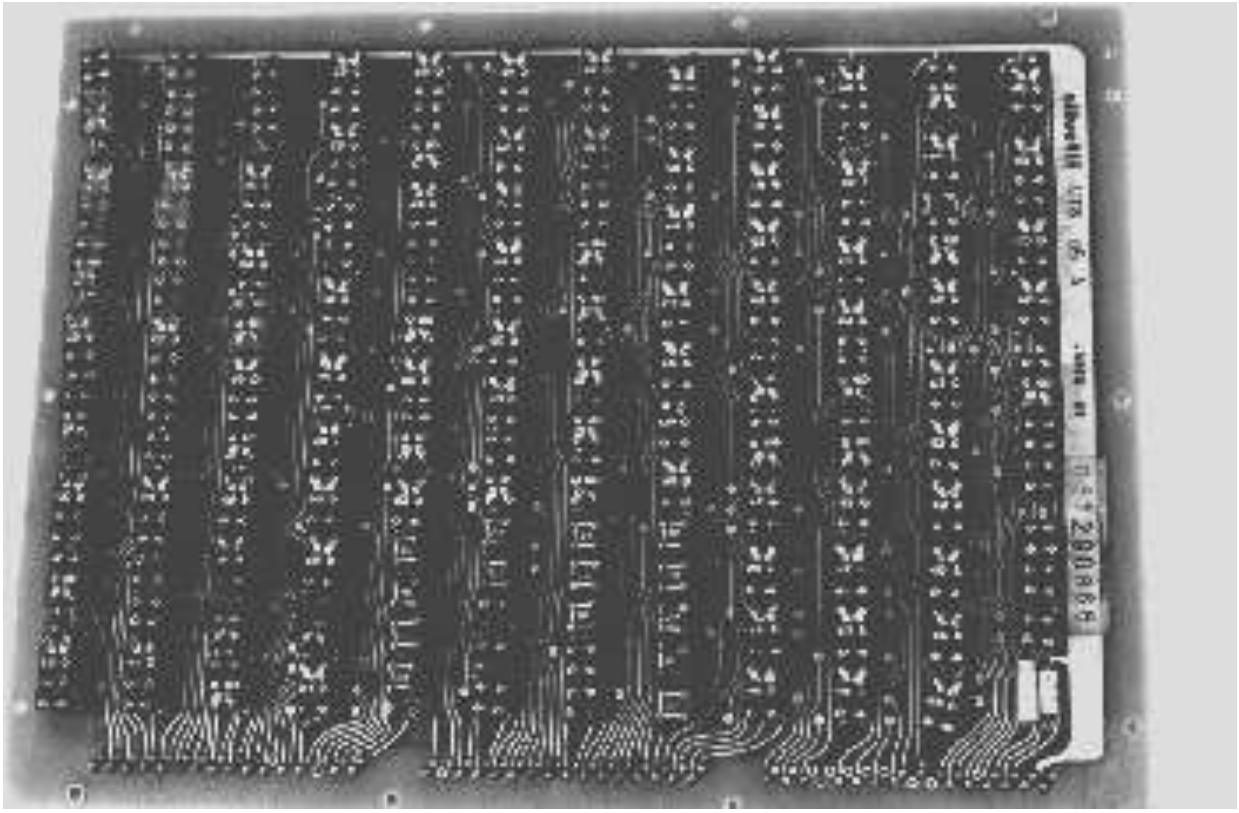


Fig. Scheda di computer con numerose porte logiche – Olivetti, 1970.

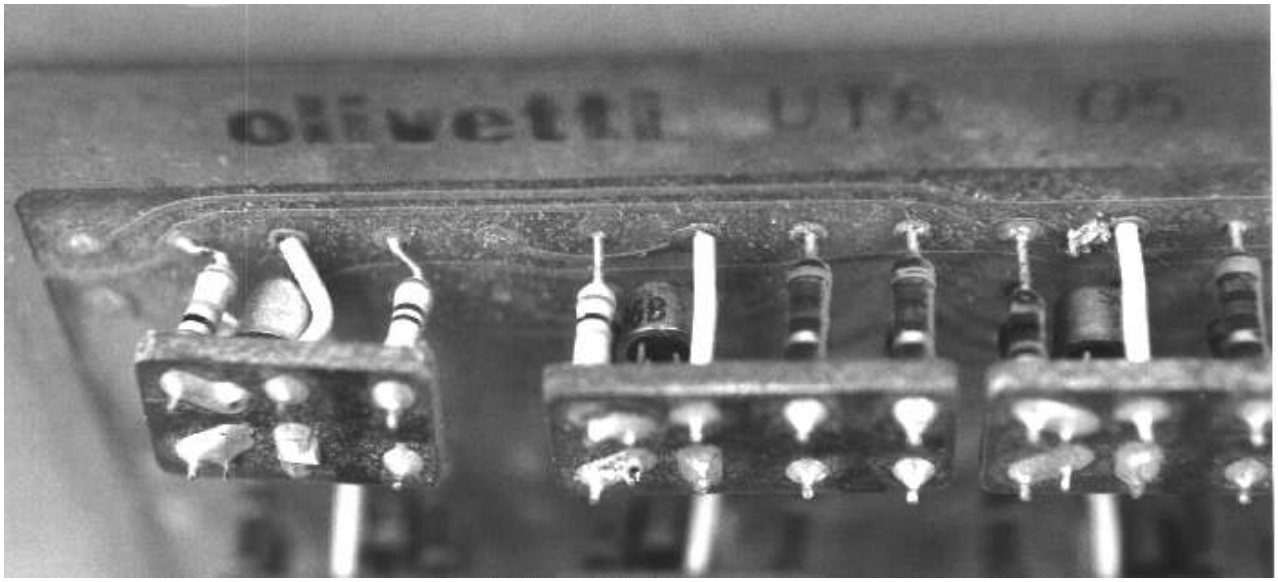
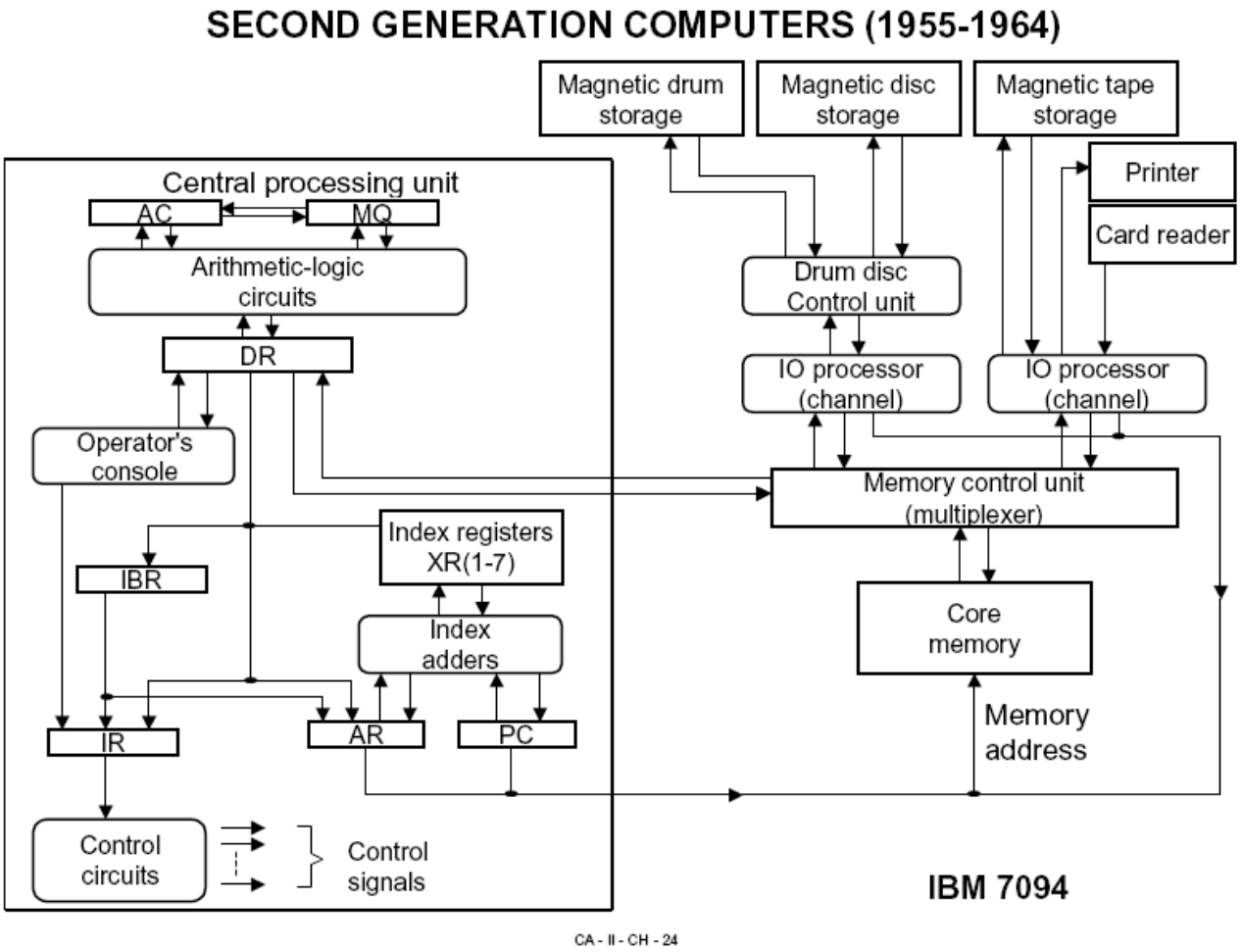
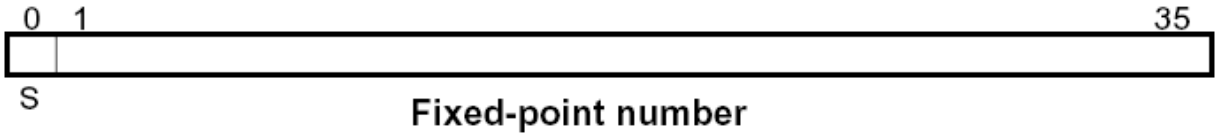


Fig. Particolare della scheda nella figura precedente: porte logiche realizzate con transistor – Olivetti, 1970.

Architettura dei computer della seconda generazione

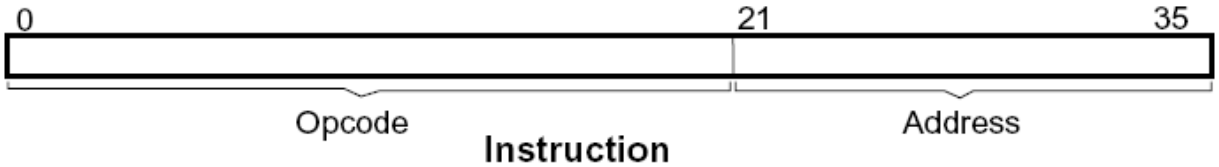


INFORMATION FORMATS OF THE IBM 7094



Fixed-point number

Floating-point number



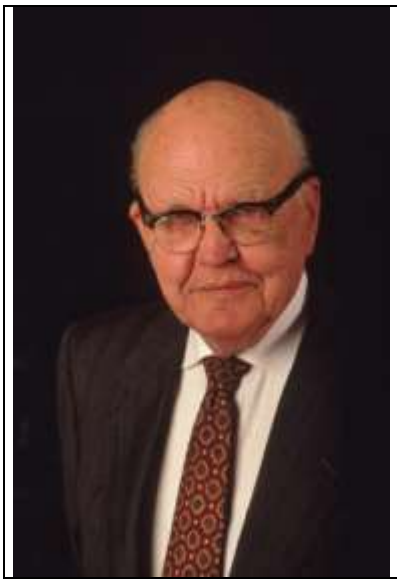
Instruction

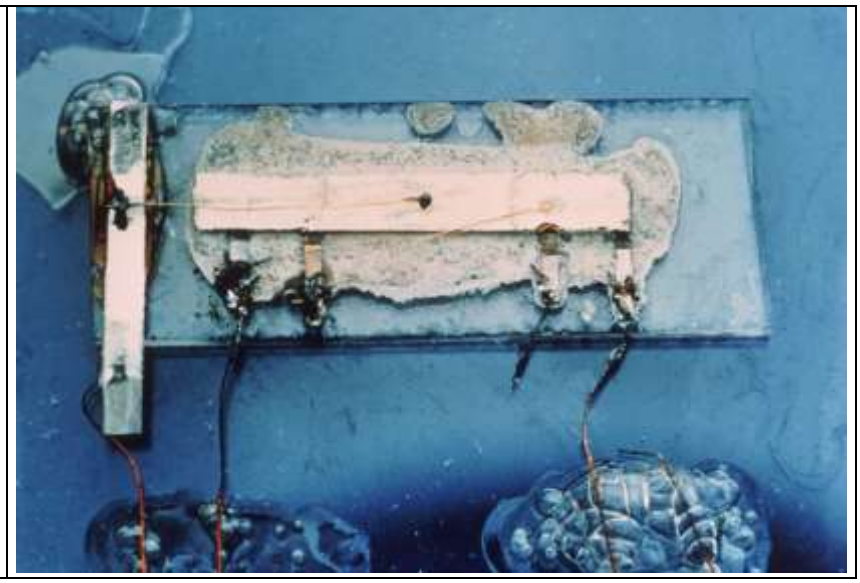
CHARACTERISTICS

Transistor technology	Batch processing
Index registers	Real time
Floating point	Multiprocessing
Subroutine linkage	Separate I/O
200 instructions	32K memory
Indirect addressing	Magnetic core memory
Interrupts	Memory interleaving
High level language	Magnetic drum

CA - II - CH - 25

Circuiti integrati





Nel 1958, l'ingegnere americano **Jack C. Kilby** della Texas Instruments aprì l'era della miniaturizzazione dei circuiti elettronici con l'invenzione del **circuito integrato**. Kilby riuscì a combinare diversi componenti elettronici (transistor, diodi, resistenze, ecc.) su una **piastrina di germanio** di dimensioni più piccole di un francobollo.

Quando nell'**estate del 1958 Kilby** cominciò ad affrontare questo problema, si rese conto che **la soluzione poteva essere trovata realizzando non solo i componenti elettronici di base (transistor, resistenze, condensatori, ecc.) utilizzando il semiconduttore, ma anche le stesse interconnessioni tra i componenti mediante il semiconduttore**. Questo portò immediatamente alla conclusione che tutto il circuito poteva essere realizzato sulla medesima piastrina di semiconduttore.

Per questa invenzione Kilby ha ricevuto il premio Nobel per la fisica nel 2000.

Successivamente nel 1959 l'americano **Robert Noyce** perfezionò le tecniche di sviluppo dei circuiti integrati. Alla fine degli anni '60 fondò (insieme a Gordon E. Moore) la **Intel**, una delle case produttrici di circuiti integrati più importante.

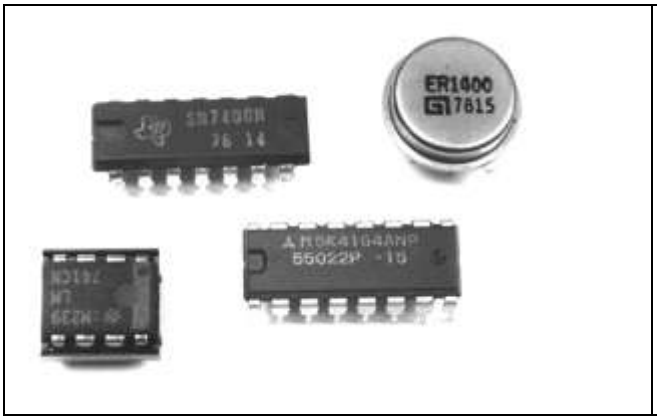
Le prime applicazioni del circuito integrato realizzate nel 1961-62 riguardarono il **sistema di guida dei missili** Minuteman e i computer per l'aeronautica militare.

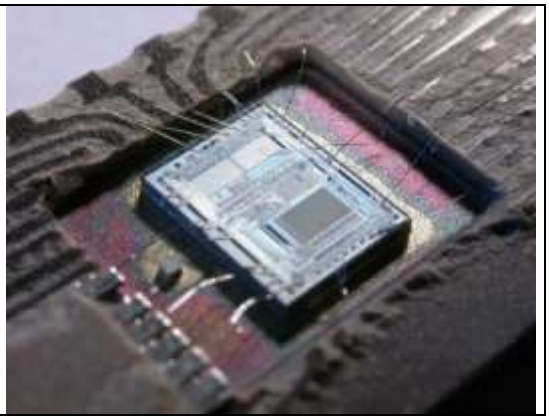
L'importanza dell'invenzione di Kilby fu riconosciuta prima nell'ambiente militare che non in quello industriale.

Più tardi Kilby ed altri realizzarono nel 1967 la prima **calcolatrice tascabile**.

L'invenzione di Kilby permise di compattare in poco spazio circuiti elettronici complessi che prima occupavano un intero armadio.

Anche la **conquista della luna** poté beneficiare dell'invenzione dei circuiti integrati sia per tutte le attrezzature di supporto a terra, sia per quelle a bordo dove gli spazi e la leggerezza ponevano limitazioni molto strette.





I primi circuiti integrati usati per realizzare computer comprendevano **solo alcune porte logiche**. Via via che il procedimento di integrazione si perfezionò, si ottennero circuiti integrati sempre più ricchi di componenti e dalle funzioni più complesse, grazie ad una **miniaturizzazione sempre più spinta**.

VIDEO

http://www.ti.com/corp/docs/kilbyctr/interview.shtml

[Video 1: Intervista 1 Kilby]

[Video 2: Intervista 2 Kilby]

[Video 3: Intervista 3 Kilby]

LINK

http://www.ti.com/corp/docs/kilbyctr/jackbuilt.shtml

http://nobelprize.org/educational_games/physics/integrated_circuit/history

http://www.appliedmaterials.com/HTMAC/animated.html

La terza generazione di computer

Fig. Computer IBM 360.

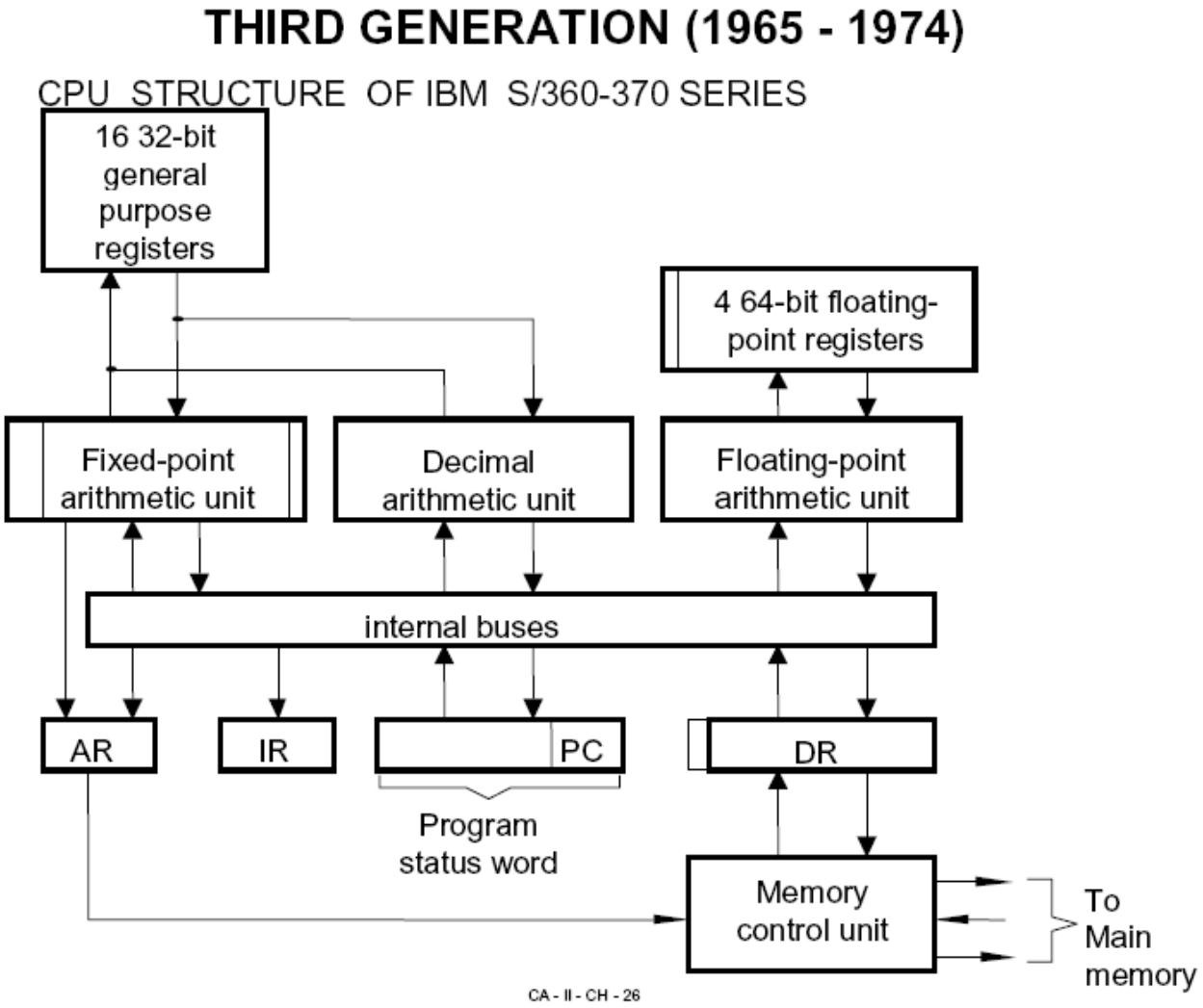
La produzione industriale dei circuiti integrati a partire dal 1961 costituisce la chiave di volta che porterà alla realizzazione di computer poco ingombranti, sempre più potenti e al tempo stesso sempre più economici.

Fig. Uno dei computer della serie Digital PDP 11.

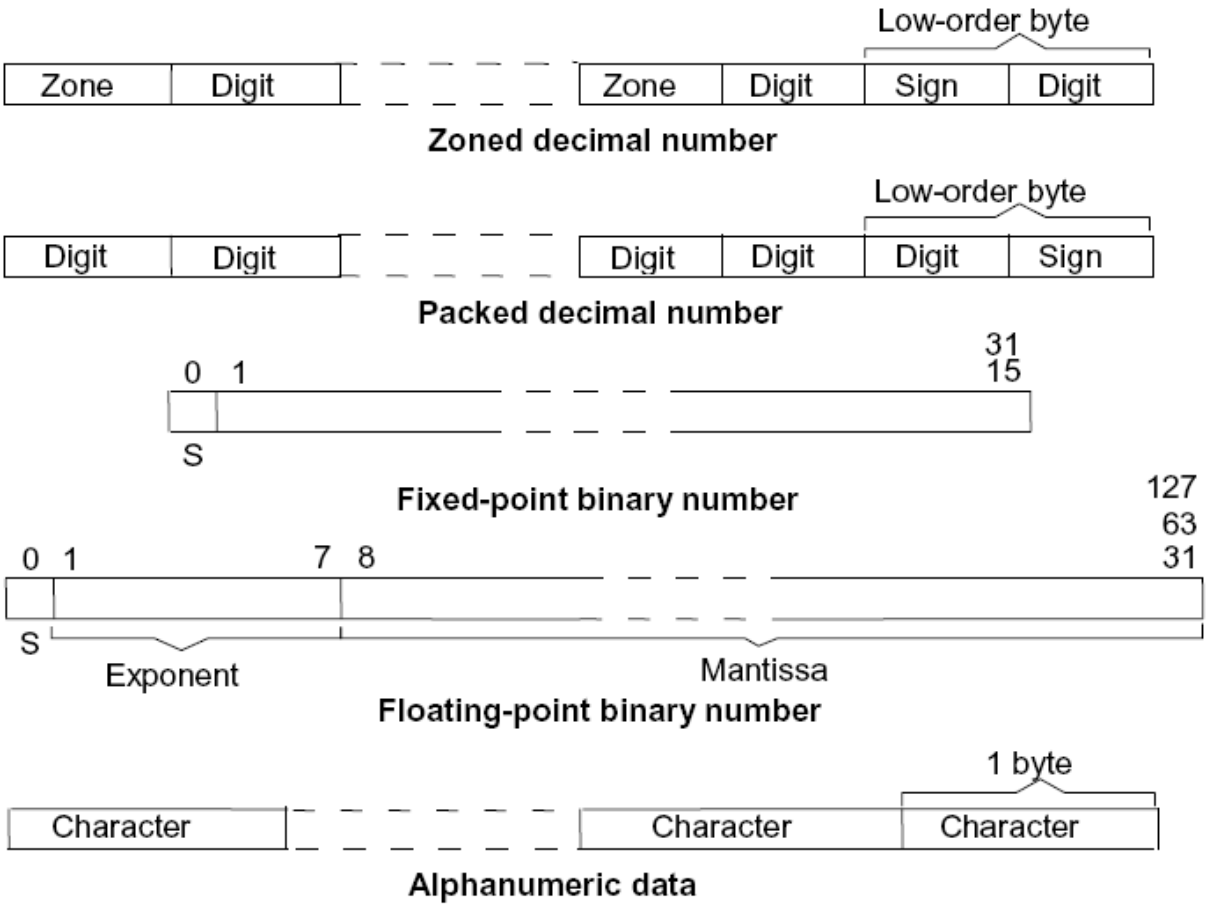
VIDEO

Video 1: mainframe IBM 360

Architettura computer: terza generazione

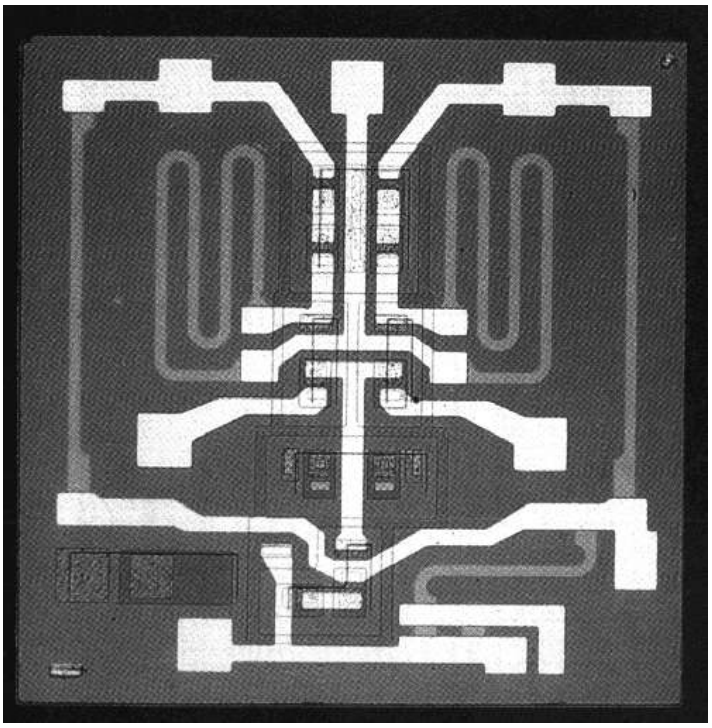


IBM S/360-370 DATA FORMATS

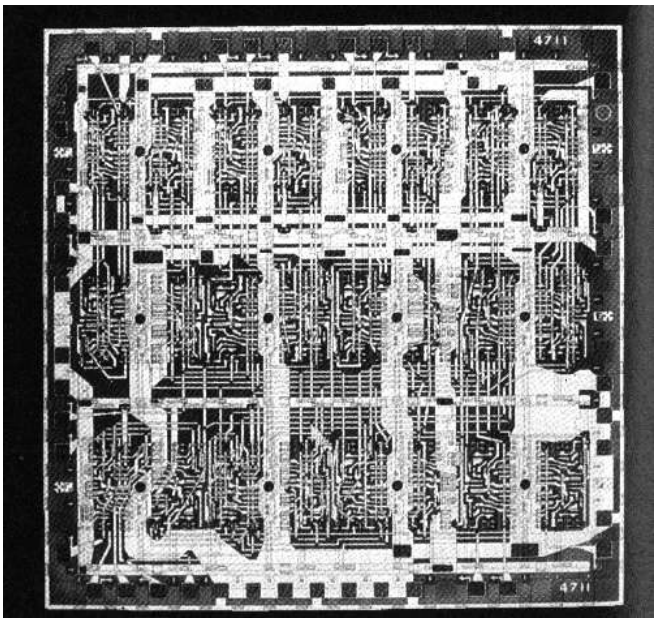


CA - II - CH - 27

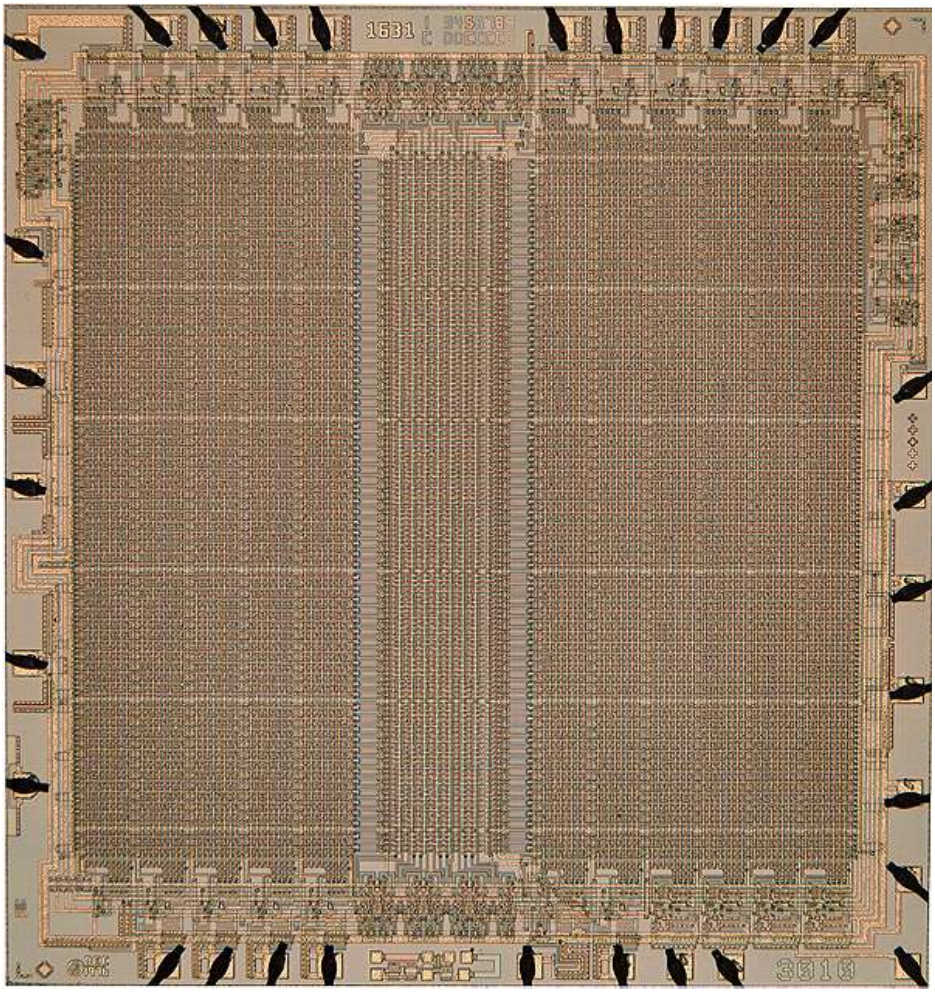
Integrazione nei circuiti integrati: la legge di Moore



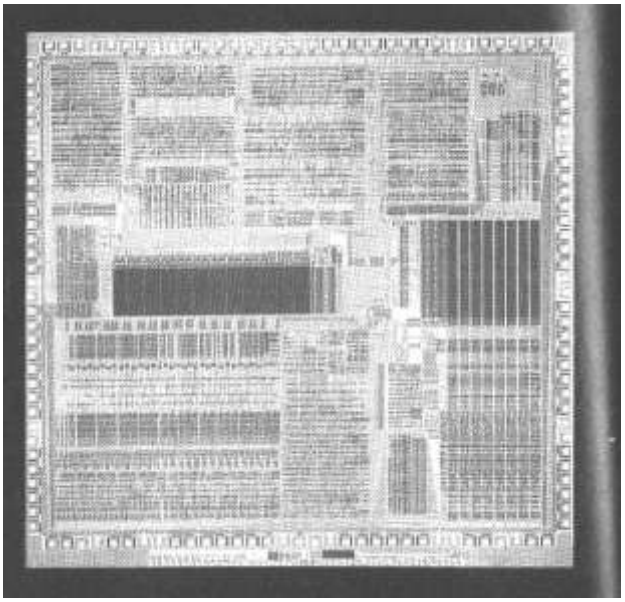
a) SSI: circuito integrato con 5 transistor (1964).



b) MSI: circuito integrato con 180 transistor (1968).

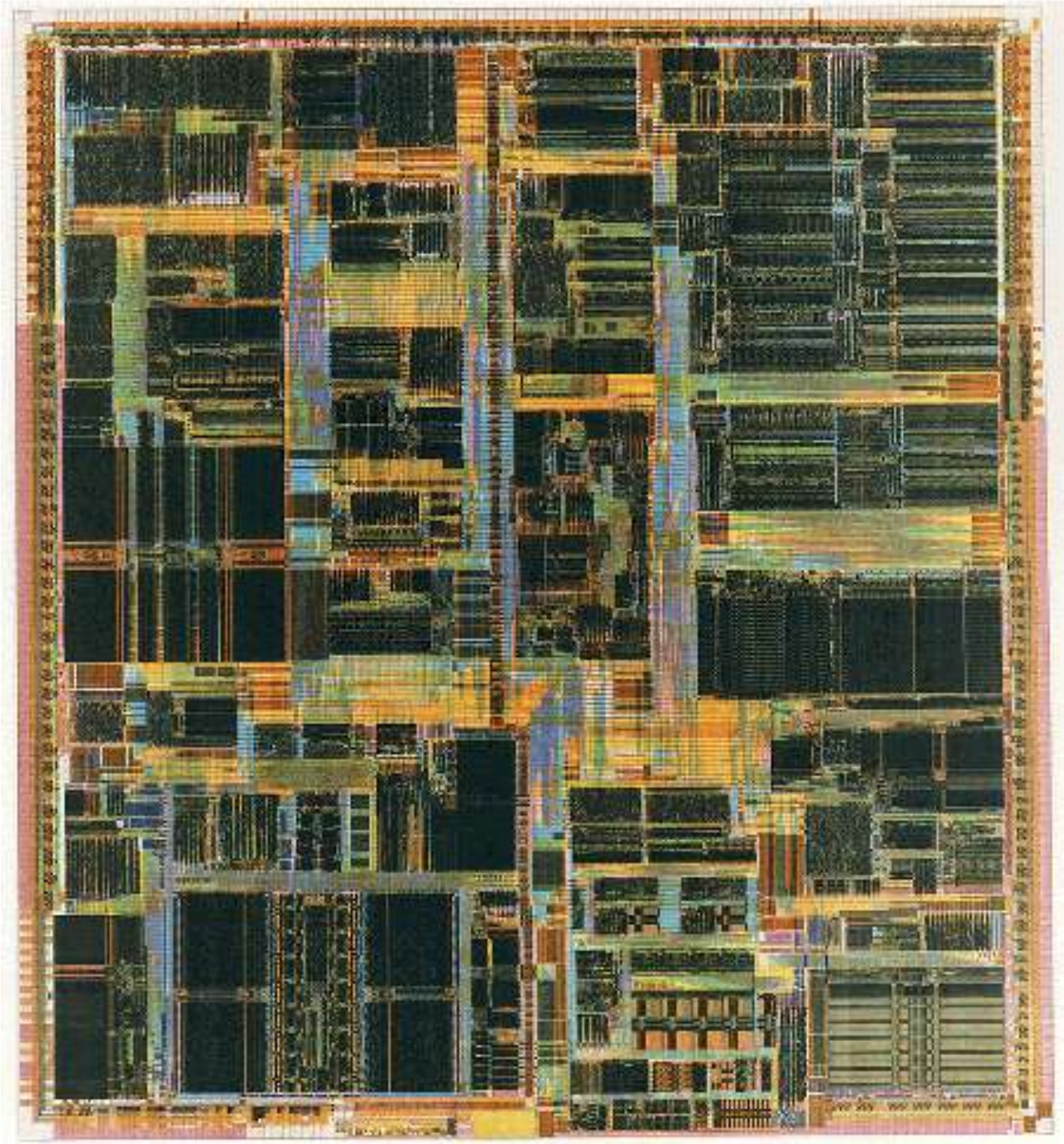


(c) LSI: circuito integrato con 10.000 transistor (1976)



(d) VLSI: circuito integrato con 132.000 transistor (circa 1988-82.

From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 1997 Intel Corporation



(e) ULSI: circuito integrato con 7.500.000 transistor (1997).

Fig. Ingrandimenti della superficie di alcuni circuiti integrati appartenenti a diverse classi di integrazione.

La **miniaturizzazione dei circuiti integrati cambiò in modo sensibile l'ordine di grandezza del numero di elementi che compongono un processore** raggiungendo livelli impensabili per le valvole termoioniche.

Nonostante le enormi difficoltà tecniche da affrontare per miniaturizzare i circuiti elettronici, il numero transistor che negli anni si è riuscito ad inserire sul chip di un singolo circuito integrato **è aumentato in modo esponenziale**.

Questa crescita esponenziale viene denominata ***legge di Moore***. Questa legge, formulata da **Gordon Moore** nel lontano 1965, afferma che **il numero di transistor inseribili su un chip raddoppia ogni 18-24 mesi**.

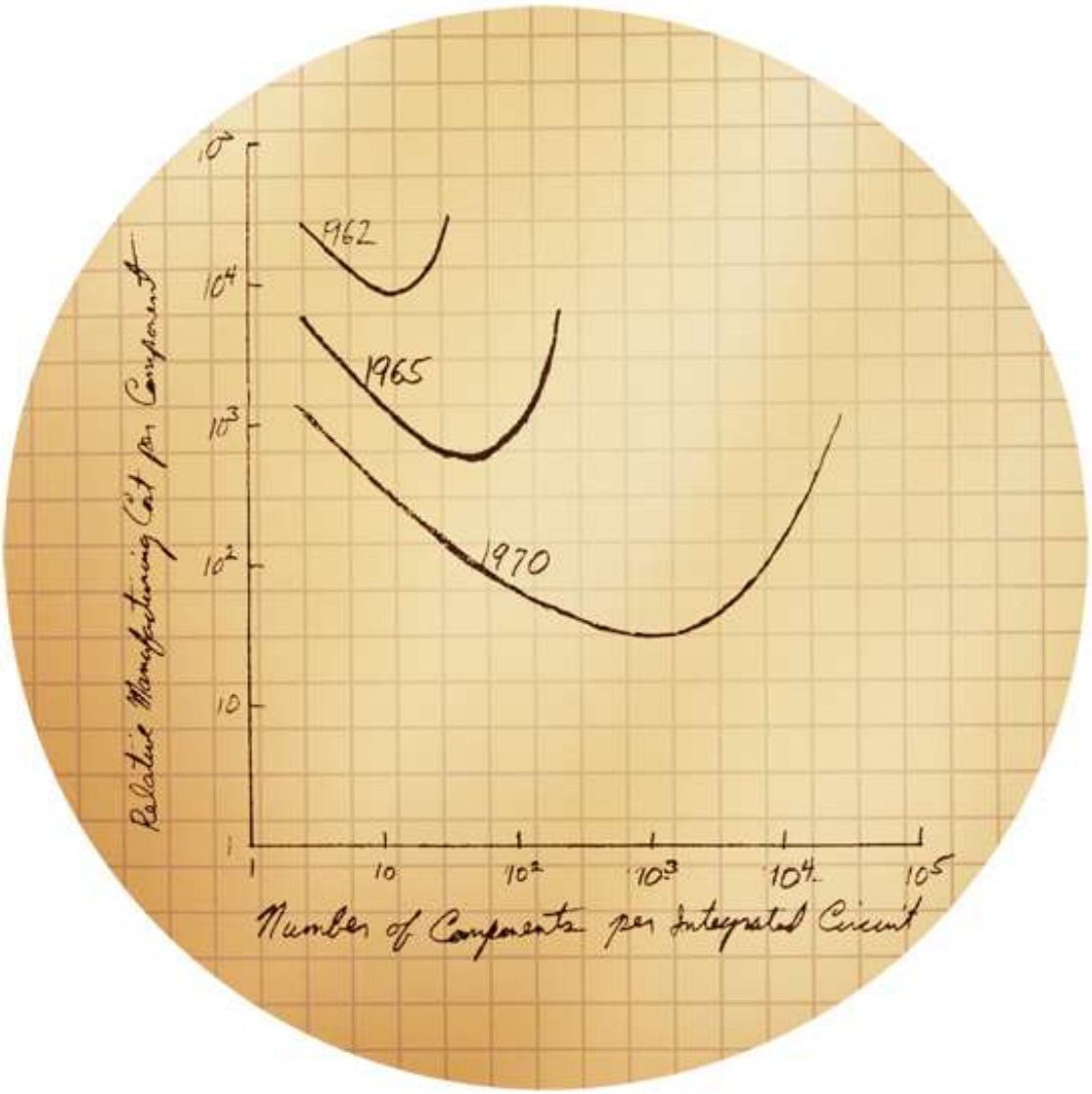


Fig. Grafico originale di Moore (1965). [da http://www.intel.com/museum/archives/history_docs/mooreslaw.htm]

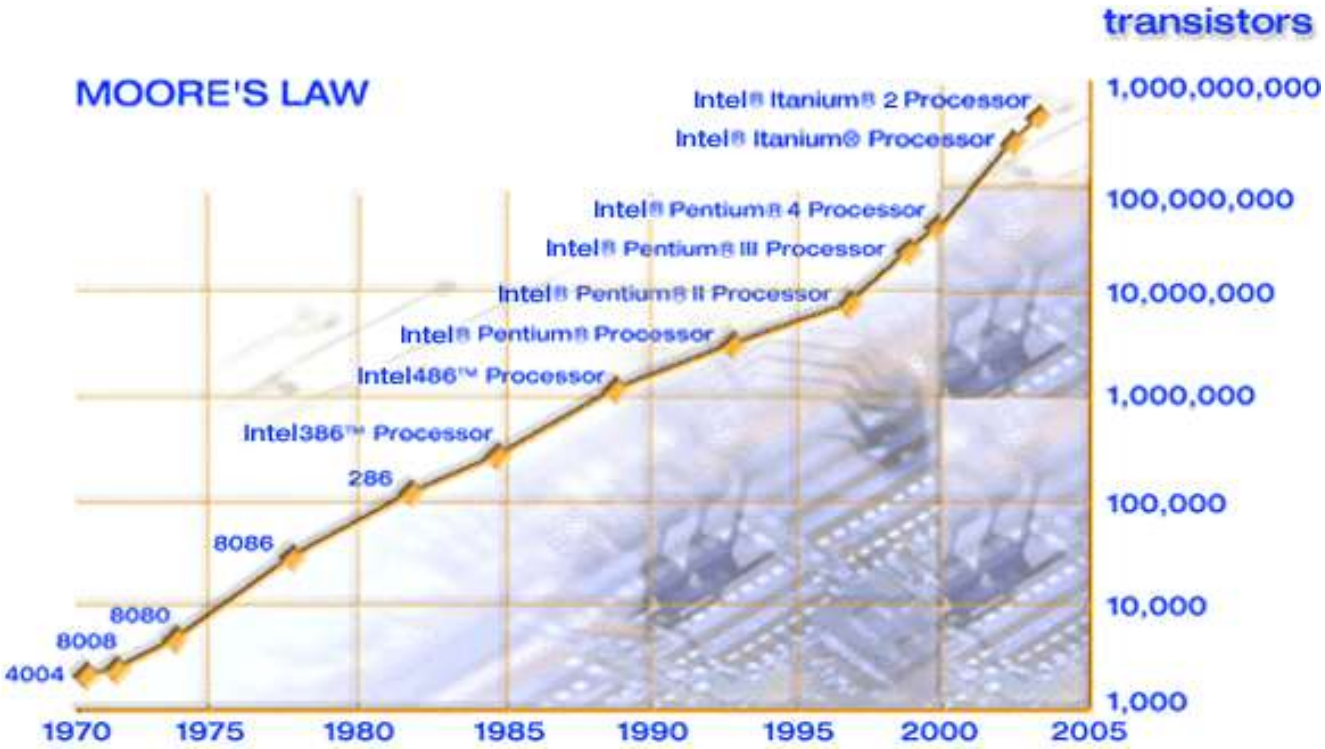
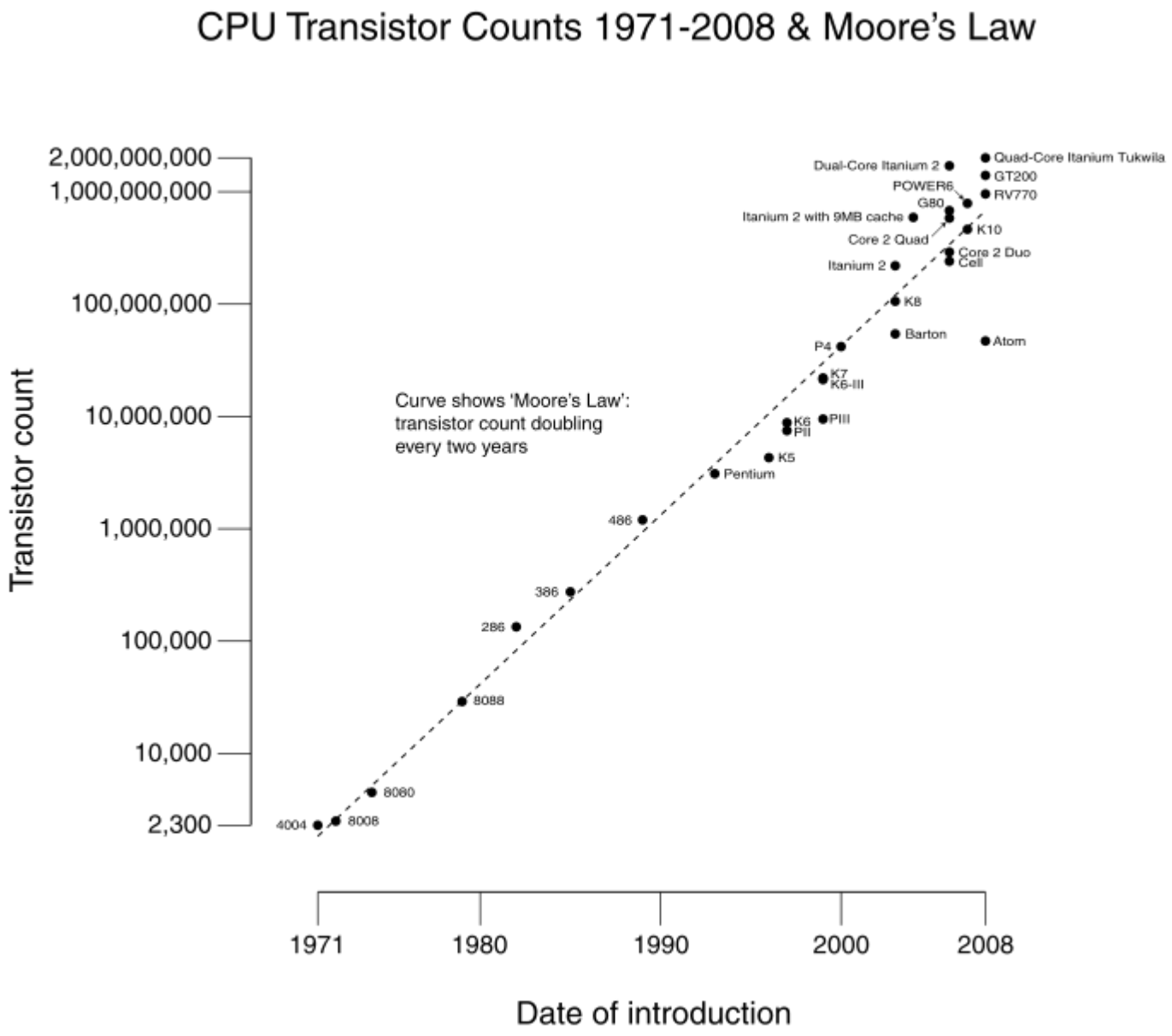


Fig. Legge di Moore.



LINK

http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_circuit

http://www.intel.com/museum/archives/history_docs/mooreslaw.htm

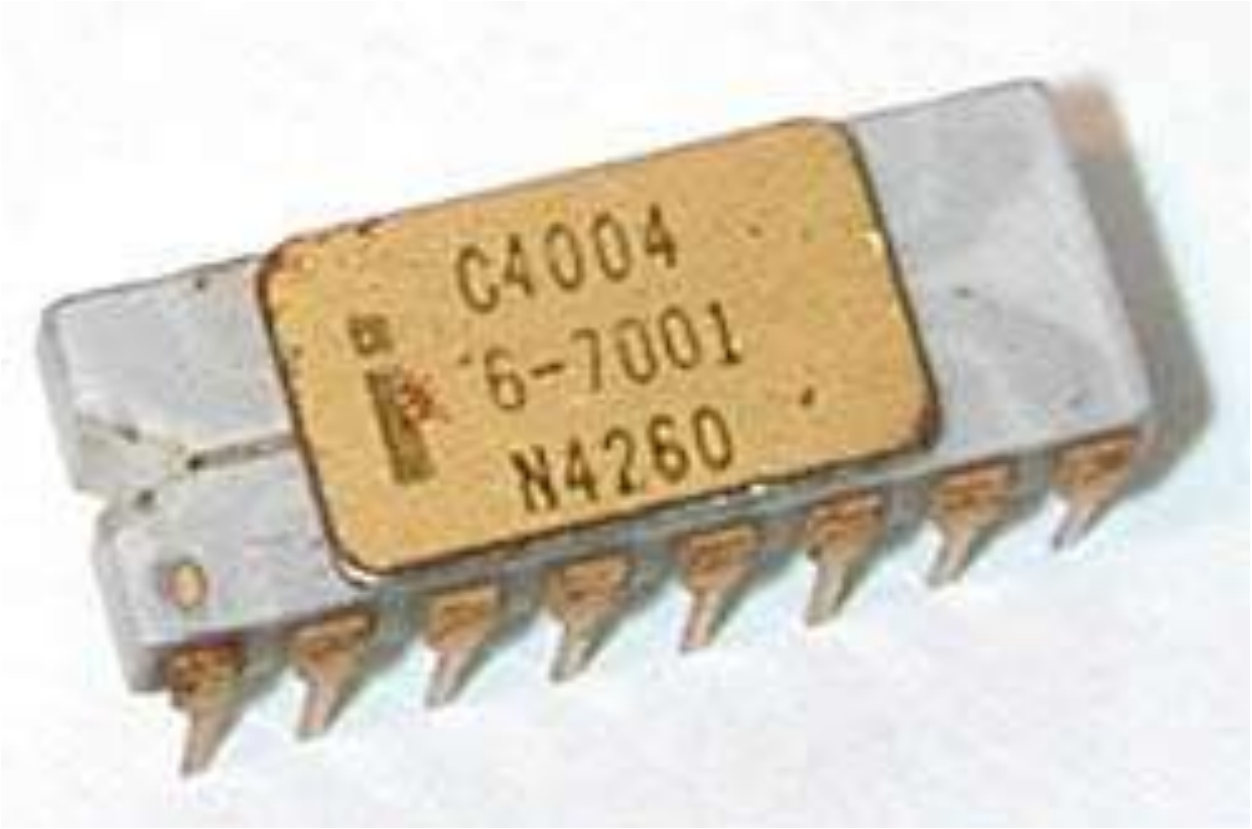
Il microprocessore

Nel 1971, tre ingegneri della Intel, **Federico Faggin (di origine italiana), Ted Hoff e Stan Mazor**, progettarono e realizzarono il primo ***microprocessore***, cioè un'intera CPU (processore) in un singolo circuito integrato.

Fino a quel momento per soddisfare le differenti richieste dei clienti (industrie di prodotti elettronici) venivano costruiti circuiti integrati diversi. I tre inventori si resero conto che era molto più economico progettare e fabbricare un unico tipo di circuito integrato "generico" e poi specializzarlo con un opportuno software memorizzato anch'esso su una memoria a circuiti integrati. In particolare realizzando come circuito integrato un'intera CPU era possibile garantirsi la massima generalità potendo eseguire qualunque funzione richiesta dai clienti.

Su una piastrina 4 × 3 mm riuscirono ad inserire **2.250 transistor**, che formavano il cuore di un intero computer in grado di elaborare in parallelo **4 bit**, con un clock di 108 kHz.

Questo microprocessore fu denominato **Intel 4004**.



La capacità di elaborazione, **60.000 operazioni al secondo**, era già superiore all'ENIAC del 1946 e ai computer dei primi anni '60 con un'unità centrale grande come un tavolo. Al microprocessore Intel 4004 seguirà nel 1972 il microprocessore 8008, a 8 bit.

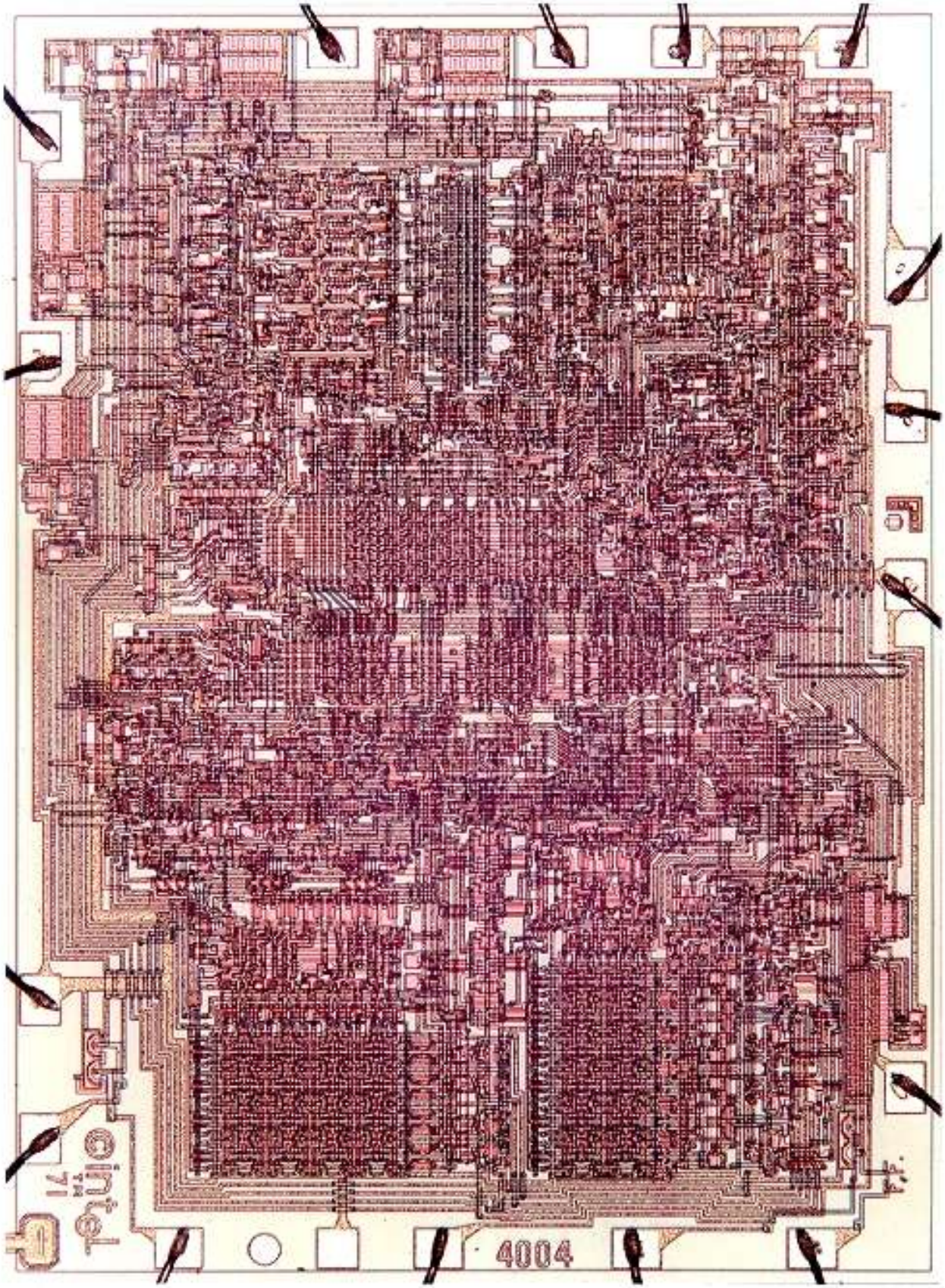


Fig. Microprocessore Intel 4004.

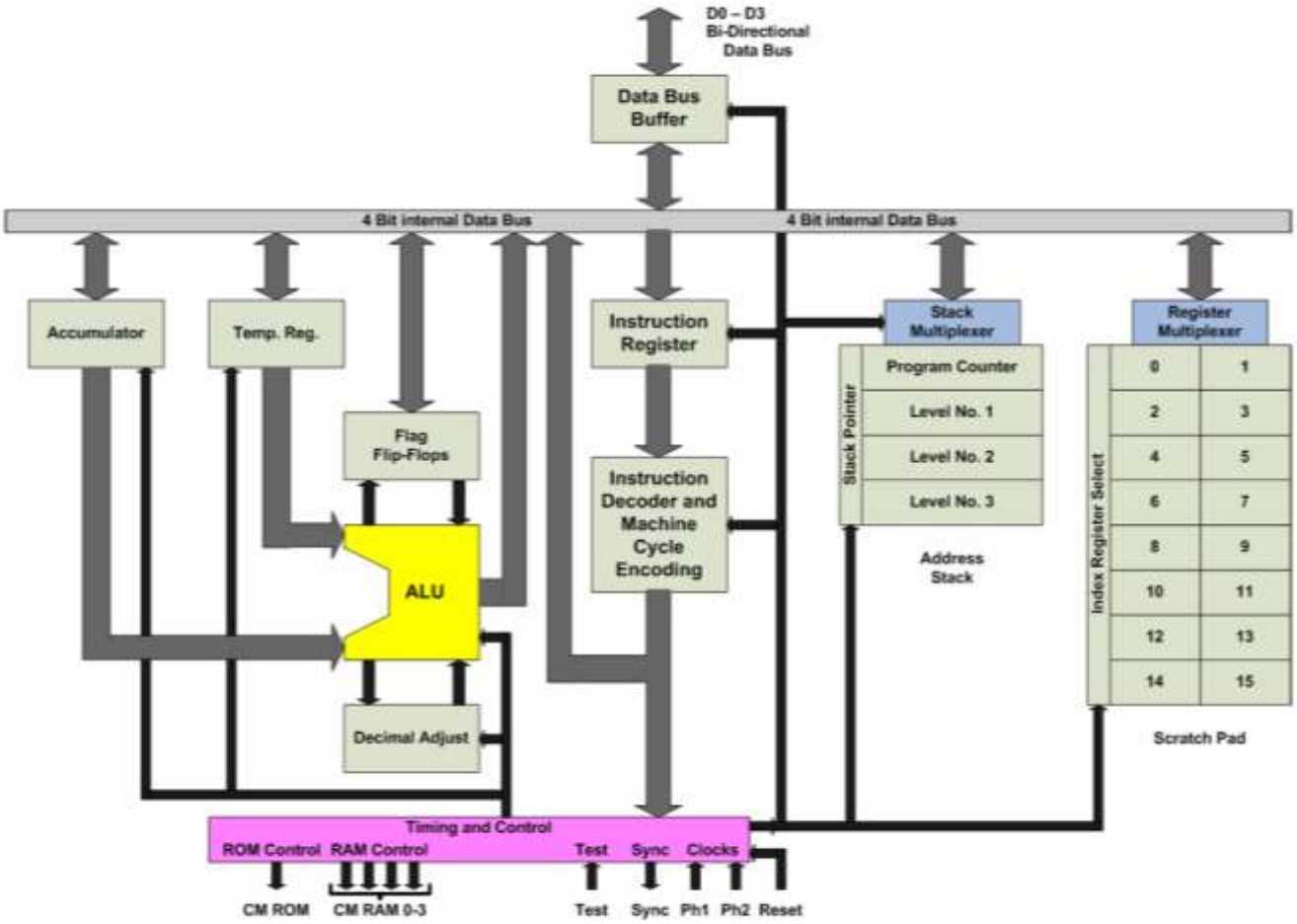


Fig. Architettura dell'Intel 4004.

Originariamente, l'**Intel 4004 era in grado di elaborare solo 4 bit**; successivamente furono realizzati microprocessori a 8 bit (ad esempio, lo Zilog Z80) e a 16 bit (ad esempio, l'Intel 80286) e poi a 64 bit.

Bisogna sottolineare che inizialmente la Intel non realizzò questi microprocessori pensando alla produzione di computer, ma semplicemente per soddisfare alle richieste specifiche di aziende di prodotti elettronici con un componente di basso costo.

Solo alcuni anni più tardi alcune case produttrici di elettronica fecero quel balzo concettuale che a noi oggi appare logico costruendo computer da vendere sul mercato.

Nel 1973, la Intel cominciò a produrre sul mercato il microprocessore 8080, nel quale erano integrati 10.000 transistor, in grado di eseguire 290.000 operazioni al secondo. Tra i concorrenti di questo chip, c'erano il Motorola 6800 e lo Zilog Z-80 che saranno annunciati nel 1976.

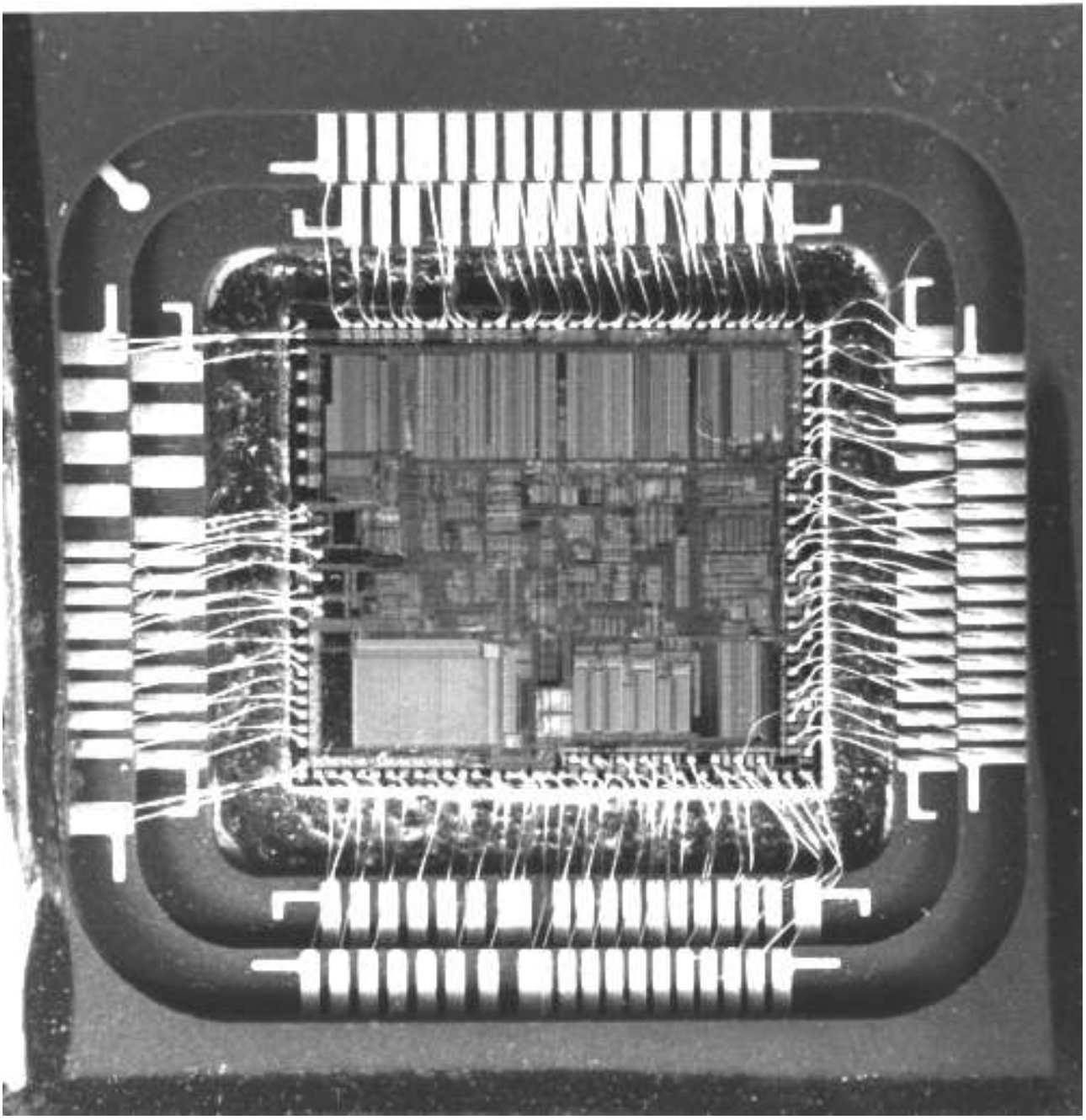


Fig. Ingrandimento Intel 80386

Tab. Tabella di sviluppo di alcuni micropocessori Intel.

microproces-sore	data	Caratteristiche
Intel 4004	1971	Registri a 4 bit, 2.300 transistor, 60.000 operazioni al secondo, clock 108 KHz, 0,06 MIPS
Intel 8008	1972	Registri a 8 bit, 3.500 transistor, clock 200 KHz, 0,06 MIPS
Intel 8080	1974	Registri a 8 bit, 6.000 transistor, 2 MHz, 0,64 MIPS
Intel 8086	1978	Registri a 16 bit, bus dei dati a 16 bit, 29.000 transistor, clock 4.77-10 MHz, 0,33 MIPS
Intel 80286	1982	Registri a 16 bit, bus dei dati a 16 bit, 134.000 transistor, clock 6-12,5 MHz, 1-3 MIPS
Intel 80386DX	1985	Registri a 32 bit, bus dei dati a 32 bit, 275.000 transistor, clock 16-33 MHz, 6-12 MIPS
Intel 80486DX	1989	Registri a 32 bit, bus dei dati a 32 bit, coprocessore matematico integrato, 1.2 milioni di transistor, clock 25-50 MHz, 20-40 MIPS
Intel Pentium	1993	Registri a 32 bit, bus dei dati a 64 bit, coprocessore matematico integrato, 3.2 milioni di transistor, 60-200 MHz, clock 100-200 MIPS
Intel Pentium II	1997	Bus dei dati a 64 bit, coprocessore integrato, 7,5 milioni di transistor, clock 200-300 MHz
Intel Pentium III	1999	24.000.000 transistor
Intel Pentium 4	2000	42.000.000 transistor
Intel® Itanium® processor	2002	220,000,000 transistor
Intel® Itanium® 2 processor	2003	410,000,000 transistor

Cronologia processor (Wikipedia)

1970s

In the 1970s the microprocessors are mostly 8-bit and manufactured with the NMOS technology.

Date	Name	Developer	Clock	Process	Transistors
1971	4004	Intel	740 kHz	10 µm	2,250 pMOS
1972	8008	Intel	500 kHz	10 µm	3,500 pMOS
1974	4040	Intel	740 kHz	10 µm	3,000 pMOS
1974	6800	Motorola	2 MHz	-	4,100
1974	8080	Intel	2 MHz	6 µm	6,000 NMOS
1974	RCA 1802	RCA	3.2 MHz	5 µm	5,000
1974	TMS1000	Texas Instruments	400 kHz	8 µm	8,000
1975	6502	MOS Technologies	1 MHz	-	4,000
1975	BPC[1]	Hewlett Packard	10 MHz	-	6,000 + ROM
1976	Z-80	Zilog	2 MHz	4 µm	8,500
1976	8085	Intel	5 MHz	3 µm	6,500
1976	TMS9900	Texas Instruments	3.3 MHz	-	8,000
1977	6100	Intersil	4 MHz	-	20,000

1978	8086	Intel	5 MHz	3 µm	29,000
1978	6801	Motorola	-	5 µm	35,000
1979	Z8000	Zilog	-	-	17,500
1979	8088	Intel	5 MHz	3 µm	29,000
1979	6809	Motorola	1 MHz	5 µm	40,000
1979	68000	Motorola	8 MHz	4 µm	68,000

This list is incomplete; you can help by expanding it.

1980s

In the 1980s the microprocessors are 16-bit and 32-bit, mostly manufactured with the CMOS technology.

Date	Name	Developer	Clock	Process	Transistors
1980	16032	National	-	-	60,000
1981	6120	Harris Corporation	10 MHz	-	20,000
1981	ROMP	IBM	10 MHz	2 µm	45,000
1981	T-11	DEC	2.5 MHz	5 µm	17,000 NMOS
1982	RISC-I[2]	UC Berkeley	1 MHz	5 µm	44,420 NMOS
1982	FOCUS	Hewlett Packard	18 MHz	1.5 µm	450,000
1982	80186	Intel	6 MHz	-	55,000
?	80C186	Intel	6 MHz	-	? CMOS

1982	80188	Intel	8 MHz	-	29,000
1982	80286	Intel	6 MHz	1.5 µm	134,000
1983	RISC-II	UC Berkeley	3 MHz	3 µm	40,760 NMOS
1983	MIPS[3]	Stanford University	2 MHz	3 µm	25,000
1984	68020	Motorola	16 MHz	2 µm	190,000
1984	32032	National	-	-	70,000
1984	V20	NEC	5 MHz	-	63,000
1985	80386	Intel	16 MHz	1.5 µm	275,000
1985	MicroVax II 78032	DEC	5 MHz	3.0 µm	125,000
1985	R2000	MIPS	8 MHz	2 µm	115,000
1988	R3000	MIPS	12 MHz	1.2 µm	120,000
1986	Z80000	Zilog	-	-	91,000
1986	SPARC	Sun	40 MHz	0.8 µm	800,000
1986	V60[4]	NEC	16 MHz	1.5 µm	375,000
1987	CVAX 78034	DEC	12.5 MHz	2.0 µm	134,000
1987	ARM2	ARM Limited	18 MHz	2 µm	25,000[5]
1987	Gmicro/200[6]	Hitachi	-	1.0 µm	730,000
1987	68030	Motorola	16 MHz	1.3 µm	273,000

1987	V70[4]	NEC	20 MHz	1.5 µm	385,000
1988	i960	Intel	10 MHz	1.5 µm	250,000
1989	VAX DC520 "Rigel"	DEC	35 MHz	1.5 µm	320,000
1989	80486	Intel	25 MHz	1 µm	1,180,000
1989	i860	Intel	25 MHz	1 µm	1,000,000

1990s

In the 1990s the microprocessors are mostly 32-bit. The external RAM speed no longer follow the microprocessor's. So two clocks appears, an external and a faster internal. The internal is the one listed here.

Date	Name	Developer	Clock	Process	Transistors (M)
1990	68040	Motorola	40 MHz	-	1.2
1990	POWER1	IBM	20-30 MHz	1.0 µm	6.9
1991	R4000	MIPS Computer Systems	100 MHz	0.8 µm	1.35
1991	NVAX	DEC	62.5-90.91 MHz	0.75 µm	1.3
1991	RSC	IBM	33 MHz	0.8 µm	1.0[7]
1992	Alpha 21064	DEC	100-200 MHz	0.75 µm	1.68
1992	microSPARC I	Sun	40-50 MHz	0.8 µm	0.8

1992	PA-7100	Hewlett Packard	100 MHz	0.80 µm	0.85[8]
1993	PowerPC 601	IBM, Motorola	50-80 MHz	0.6 µm	2.8
1993	Pentium	Intel	60-66 MHz	0.8 µm	3.1
1993	POWER2	IBM	55-71.5 MHz	0.72 µm	23
1994	68060	Motorola	50 MHz	0.6 µm	2.5
1994	Alpha 21064A	DEC	200-300 MHz	0.5 µm	2.85
1994	R4600	QED	100 - 125 MHz	0.65 µm	2.2
1994	PA-7200	Hewlett Packard	125 MHz	0.55 µm	1.26
1994	PowerPC 603	IBM, Motorola	60-120 MHz	0.5 µm	1.6
1994	PowerPC 604	IBM, Motorola	100-180 MHz	0.5 µm	3.6
1994	PA-7100LC	Hewlett Packard	100 MHz	0.75 µm	0.90
1995	Alpha 21164	DEC	266-333 MHz	0.5 µm	9.3
1995	UltraSPARC	Sun	143–167 MHz	0.47 µm	5.2
1995	SPARC64	HAL Computer Systems	101–118 MHz	0.40 µm	-
1995	Pentium Pro	Intel	150-200 MHz	0.35 µm	5.5
1996	Alpha 21164A	DEC	400-500 MHz	0.35 µm	9.7
1996	K5	AMD	75-100 MHz	0.5 µm	4.3

1996	R10000	MTI	150-250 MHz	0.35 µm	6.7
1996	R5000	QED	180 - 250 MHz	0.35 µm	3.7
1996	SPARC64 II	HAL Computer Systems	141–161 MHz	0.35 µm	-
1996	PA-8000	Hewlett-Packard	160-180 MHz	0.50 µm	3.8
1996	P2SC	IBM	150 MHz	0.29 µm	15
1997	Pentium II	Intel	233-300 MHz	0.35 µm	7.5
1997	PowerPC 620	IBM, Motorola	120-150 MHz	0.35 µm	6.9
1997	UltraSPARC IIs	Sun	250-400 MHz	0.35 µm	5.4
1997	S/390 G4	IBM	370 MHz	0.5 µm	7.8
1997	PowerPC 750	IBM, Motorola	233-366 MHz	0.26 µm	6.35
1997	K6	AMD	166-233 MHz	0.35 µm	8.8
1998	Alpha 21264	DEC	450-600 MHz	0.35 µm	15.2
1998	MIPS R12000	SGI	270-400 MHz	0.25 µm, 0.18 µm	6.9
1998	RM7000	QED	250 - 300 MHz	0.25 µm	18
1998	SPARC64 III	HAL Computer Systems	250-330 MHz	0.24 µm	17.6
1998	S/390 G5	IBM	500 MHz	0.25 µm	25

1998	PA-8500	Hewlett Packard	300-440 MHz	0.25 µm	140
1998	POWER3	IBM	200 MHz	0.25 µm	15
1999	Pentium III	Intel	450-600 MHz	0.25 µm	9.5
1999	PowerPC 7400	Motorola	350-500 MHz	0.20 µm	10.5
1999	Athlon	AMD	500-1000 MHz	0.25 µm	22

2000s

In the 2000s the microprocessors clock increase reach a ceiling because of the heat dissipation barrier. Because of this multi-core machine appears. 64-bit processors become mainstream.

Date	Name	Developer	Clock	Process	Transistors (M)
2000	Athlon XP	AMD	1.33-1.73 GHz	180 nm	37.5
2000	Pentium 4	Intel	1.3-2 GHz	180 nm	42
2000	SPARC64 IV	Fujitsu	450–810 MHz	130 nm	-
2000	z900	IBM	918 MHz	180 nm	47
2001	MIPS R14000	SGI	500-600 MHz	130 nm	7.2
2001	POWER4	IBM	1.1-1.4 GHz	90 nm	174
2001	UltraSPARC III	Sun	750-1200 MHz	130 nm	29
2001	Itanium	Intel	733-800 MHz	180 nm	25

2001	PowerPC 7450	Motorola	733-800 MHz	180 nm	33
2002	SPARC64 V	Fujitsu	1.1-1.35 GHz	130 nm	190
2002	Itanium 2	Intel	0.9-1 GHz	180 nm	410
2003	PowerPC 970	IBM	1.6-2.0 MHz	130 nm	52
2003	Pentium M	Intel	0.9-1.7 GHz	130 nm	77
2003	Opteron	AMD	1.4-2.4 GHz	130 nm	106
2004	POWER5	IBM	1.65-1.9 GHz	130 nm	276
2005	Opteron "Athens"	AMD	1.6-3.0 GHz	90 nm	114
2005	Athlon 64 X2	AMD	2-2.4 GHz	90 nm	243
2005	UltraSPARC IV	Sun	1.05-1.35 GHz	130 nm	66
2005	UltraSPARC T1	Sun	1-1.4 GHz	90 nm	300
2006	Core Duo	Intel	1.1-2.33 GHz	65 nm	151
2006	Core 2	Intel	1.06-2.67 GHz	65 nm	291
2006	Cell/B.E.	IBM, Sony, Toshiba	3.2-4.6 GHz	90 nm	241
2006	Itanium "Montecito"	Intel	1.4-1.6 GHz	90 nm	1720
2007	POWER6	IBM	3.5-4.7 GHz	65 nm	790
2007	UltraSPARC T2	Sun	1-1.4 GHz	65 nm	503
2007	Opteron "Barcelona"	AMD	1.8-3.2 GHz	65 nm	463

2008	Phenom	AMD	1.8-2.6 GHz	65 nm	450
2008	z10	IBM	4.4 GHz	65 nm	993
2008	PowerXCell 8i	IBM	2.8-4.0 GHz	65 nm	250
2008	Atom	Intel	0.8-1.6 GHz	45 nm	47
2008	Core i7	Intel	2.66-3.2 GHz	45 nm	730
2008	Opteron "Shanghai"	AMD	2.3-2.9 GHz	45 nm	751
2009	Phenom II	AMD	2.5-3.2 GHz	45 nm	758
2009	Opteron "Istanbul"	AMD	2.2-2.8 GHz	45 nm	904

2010s

Date	Name	Developer	Clock	Process	Transistors (M)
2010	POWER7	IBM	3-4.14 GHz	45 nm	1200
2010	Itanium "Tukwila"	Intel	2 GHz	65 nm	2000
2010	Opteron "Magny-cours"	AMD	1.7-2.4 GHz	45 nm	1810
2010	Xeon "Nehalem-EX"	Intel	1.73-2.66 GHz	45 nm	2300

LINK

http://www.intel4004.com/

La quarta generazione di computer

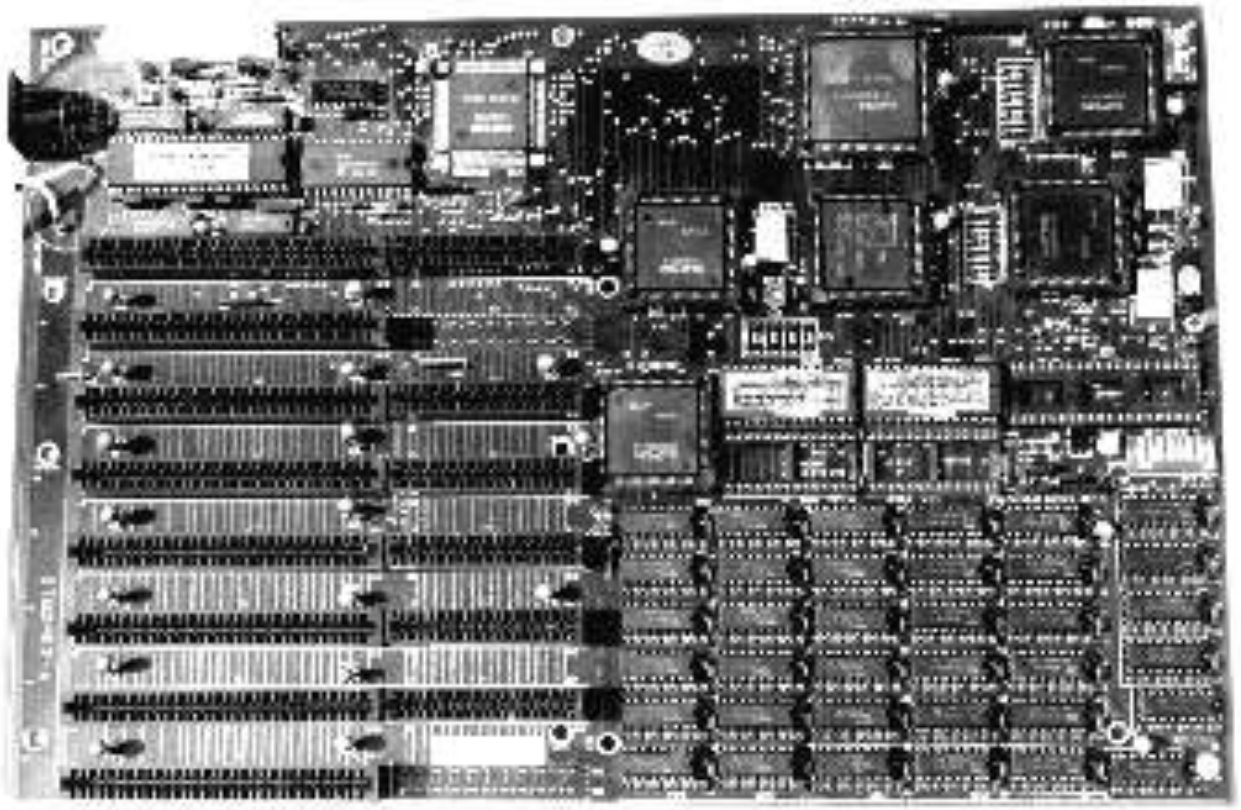
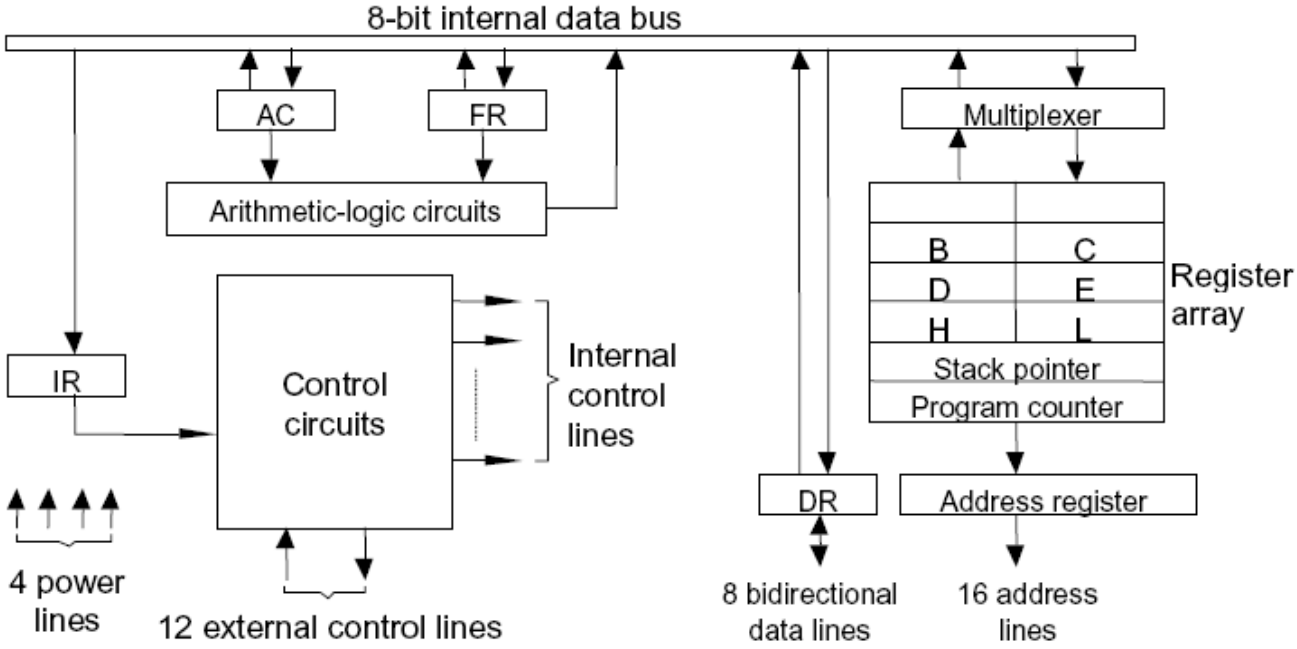


Fig. Scheda madre per microprocessore Intel 80286.

Attualmente, in un **personal computer** sia la CPU (microprocessore) sia gran parte dei dispositivi indispensabili per l'attività della CPU possono essere realizzati con la tecnologia dei circuiti integrati, i quali possono essere disposti in una singola scheda, detta ***scheda madre*.** Questa si può considerare la parte più importante di un computer.

Nella **scheda madre oltre al microprocessore e alla memoria centrale**, troviamo altre componenti che sono di supporto per il funzionamento e per la comunicazione tra le diverse unità.

INTEL 8080 MICROPROCESSOR



FR flag register (5 bits) stores: sign of operation, carry, overflow, interrupt enable, parity
IR is an instruction register
DR data register

e.g.	ADD M	AC ⇦ AC + M(H,L)	
	ADC M	AC ⇦ AC + M(H,L) + FR(C)	where FR indicates overflow (carry) bit
	DAA	decimal adjust accumulator	
	then	ADD M for binary	
		DAA for decimal	

CA - II - CH - 29

Grazie ai circuiti integrati, nel giro di un decennio le cose cambiarono radicalmente per l'uomo della strada: dapprima le calcolatrici elettroniche e poi i computer sono diventati strumenti di studio, di lavoro e di ricerca alla portata di tutti. Il personal computer ha trasformato in modo radicale la nostra società aprendo l'era dell'informatizzazione di massa.

Il primo personal computer.

VIDEO

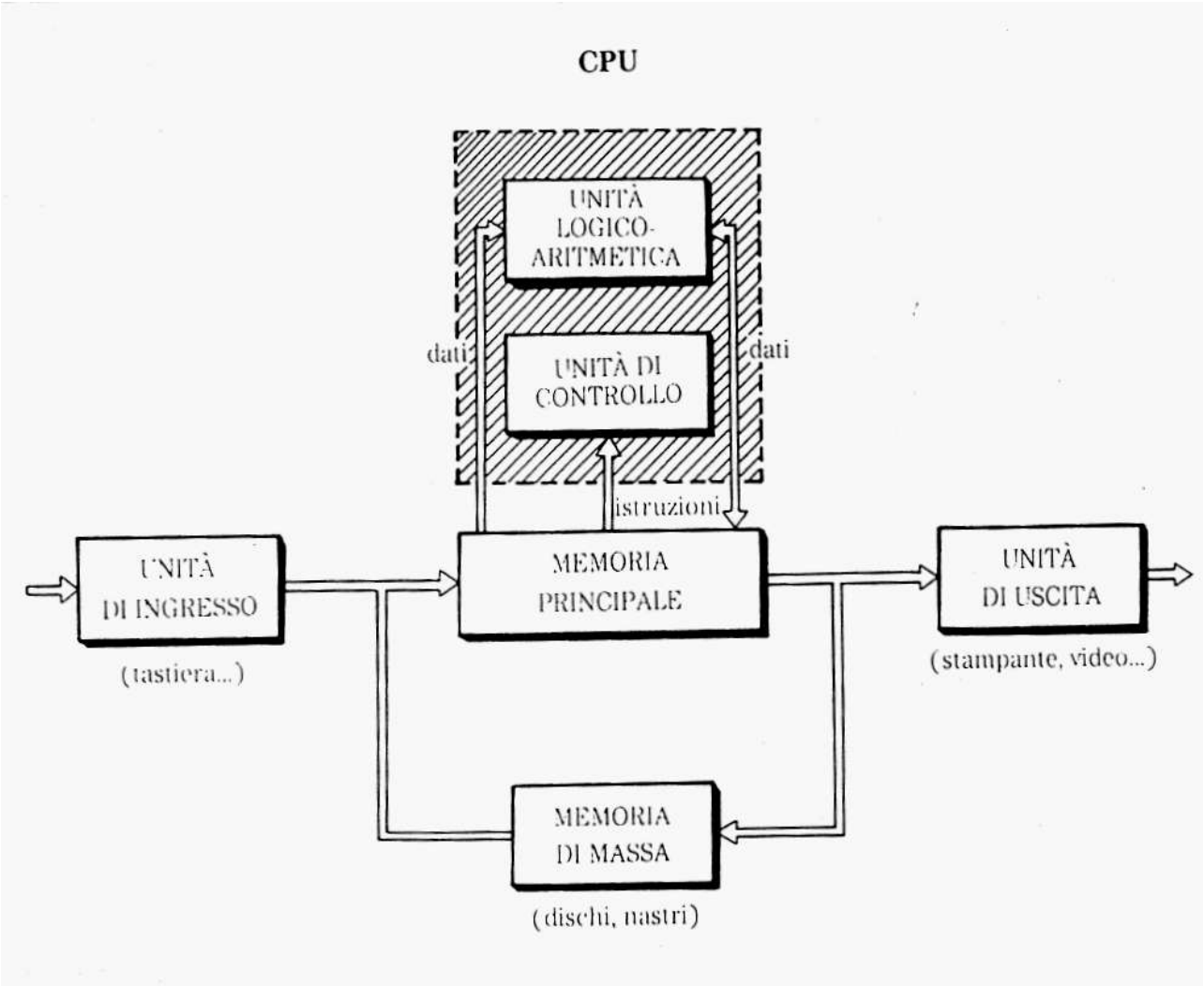
La rivoluzione dei microprocessori [http://www.krhs.net/computerscience/chistory/]

La rivoluzione dei personal computer [http://www.krhs.net/computerscience/chistory/]

Video 1: pubblicità home computer Atari

3. Le Unità di Ingresso

Paolo Giangrandi
giangran@dimi.uniud.it



Università degli Studi di Udine

05/05/2010

Introduzione

Un computer per essere adeguatamente utilizzato deve disporre anche di opportuni meccanismi per dialogare con l'utente:

- i vari dispositivi dedicati all'inserimento dei dati nel computer vengono chiamati ***unità di ingresso*** (input devices);
- i vari dispositivi dedicati alla visualizzazione, alla stampa, o più genericamente all'uscita dei dati dal computer vengono chiamati ***unità di uscita*** (output devices).

Poiché questi dispositivi non sono direttamente coinvolti nell'elaborazione centrale attuata dalla CPU, fanno parte delle unità cosiddette ***periferiche***.

Nei primi elaboratori elettronici questi dispositivi erano abbastanza primitivi poiché tutta l'attenzione dei progettisti era rivolta alla realizzazione dell'unità centrale di elaborazione e dell'unità di memoria. I pochi utilizzatori di queste macchine erano più interessati agli aspetti tecnici dei computer che ad una facile operatività.

Mano a mano che la **diffusione e la commercializzazione del computer** ha portato ad un utilizzo anche da parte delle aziende e del personale non specializzato, **è stato necessario introdurre unità di ingresso e uscita di maggiore semplicità** nell'impiego.

Oggi tutti i computer offrono numerosi dispositivi di ingresso e uscita che rendono pratico e "**amichevole" il dialogo** con questo strumento. Il computer è diventato una macchina dai molteplici usi e, oggi, può elaborare non solo dati numerici, ma anche molti altri tipi di informazioni.

Oltre alla tradizionale tastiera e al monitor per la lettura e visualizzazione di informazioni testuali, sono entrate quindi a far parte delle periferiche di ingresso e uscita dispostivi come lo **scanner** per l'acquisizione di informazioni da supporti cartacei, il **microfono** e le **casse acustiche** per le informazioni audio, il **mouse** e il **joystick** per informazioni di movimento spaziale. ecc.

La rivoluzione delle unità di ingresso e uscita non si è fermata qui, ma, nell'ambito delle ricerche sulla ***realtà virtuale***, da una ventina di anni **si sperimentano dispositivi speciali in grado di "immergere" l'utente in ambienti artificiali** riproducendo diversi effetti percettivi della realtà.

Ingresso mediante interruttori

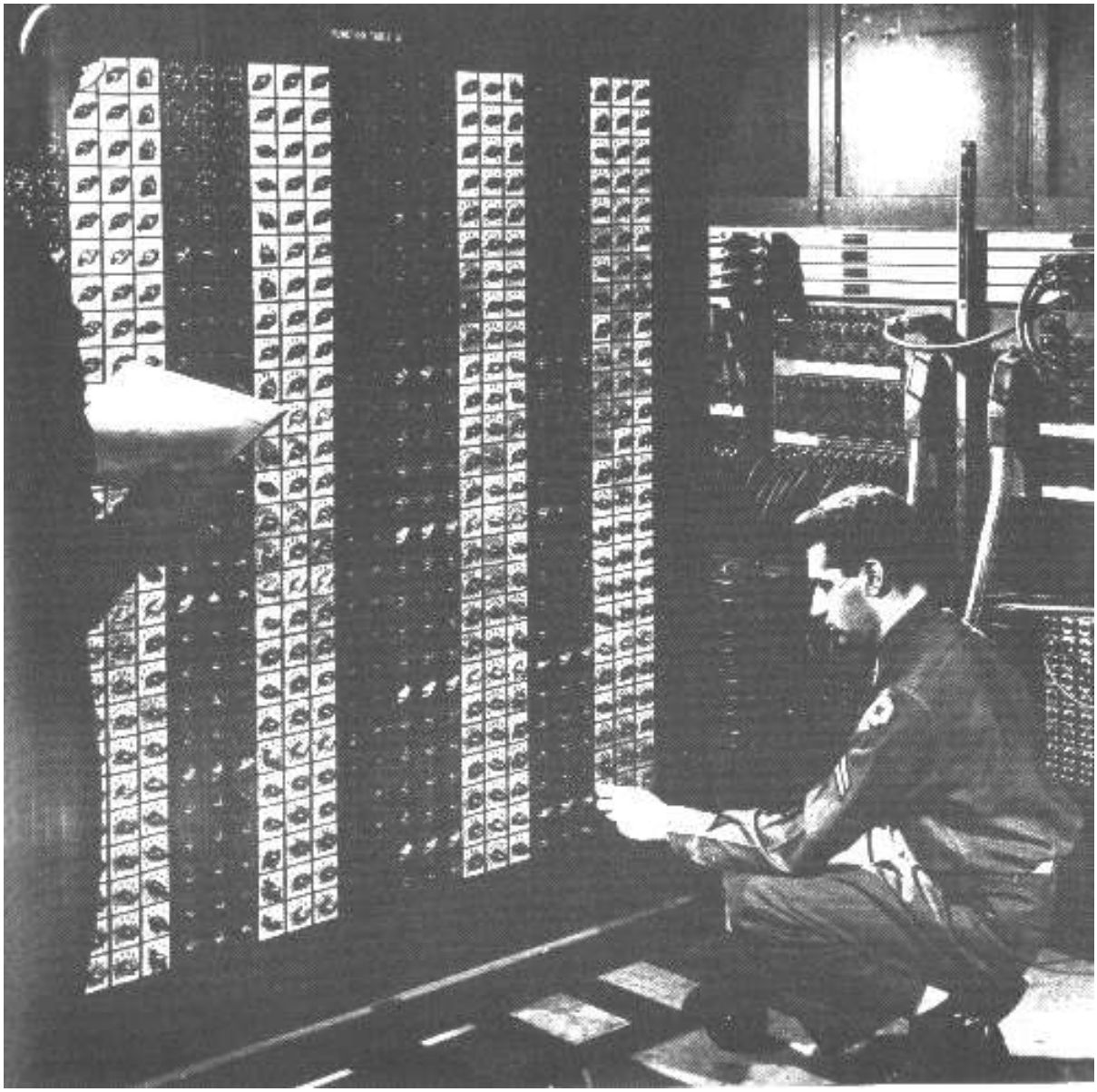


Fig. Pannello d'ingresso per l'inserimento di costanti numeriche nell'ENIAC, costituito da interruttori a rotazione.

Nei primi computer l'inserimento dei dati e del programma era assai scomodo poiché avveniva cambiando la posizione di numerosi interruttori o modificando i cavi di collegamento tra le diverse unità di calcolo.

VIDEO

[Video 1: Eniac]

Un semplice interruttore permette di inserire le informazioni solo in forma binaria e, quindi, sebbene sia molto semplice da costruire e poco costoso, è assai scomodo da usare.

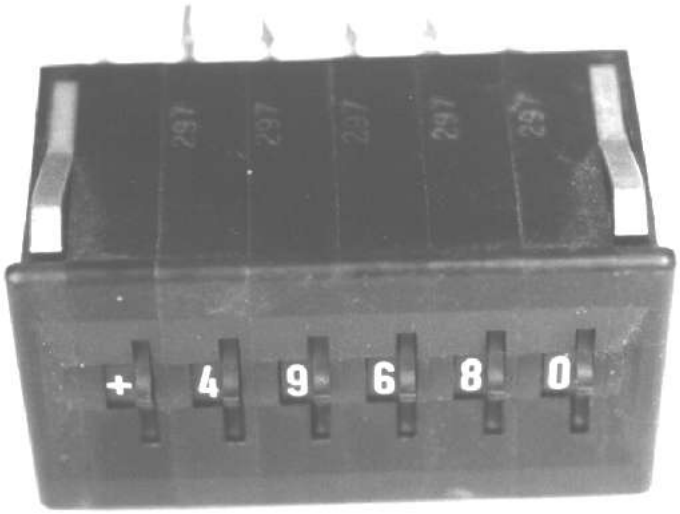


Fig. Dispositivo di ingresso per convertire numeri decimali in binario. Ogni ruota decimale aziona opportuni interruttori in modo da codificare ciascuna cifra in forma binaria.

Per facilitare l'inserimento di dati numerici venivano utilizzati anche particolari **interruttori a rotazione di tipo decimale**. Ruotando manualmente le diverse ruote su cui erano indicate le cifre era possibile inserire un numero in notazione decimale. Ogni ruota controllava minuscoli interruttori in grado di trasformare il numero decimale in segnali di tipo binario.

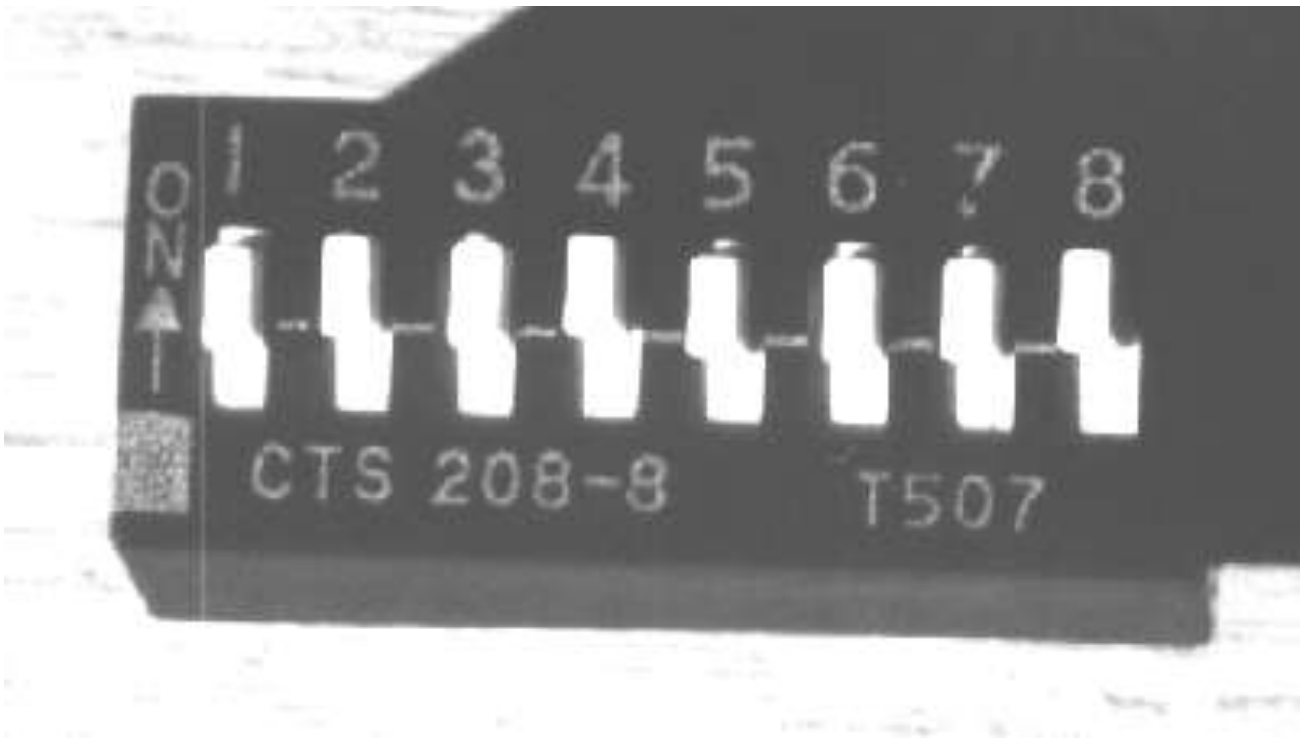


Fig. Un dip switches con 8 interruttori.

Sebbene oggi gli utenti dei computer siano abituati a sistemi di ingresso molto più raffinati degli interruttori (come, ad esempio, la tastiera e il mouse), il loro uso non è del tutto scomparso.

Attualmente gli interruttori vengono utilizzati per configurare saltuariamente i computer (o unità periferiche, come la stampante) e vengono detti ***dip switches***.

Schede perforate

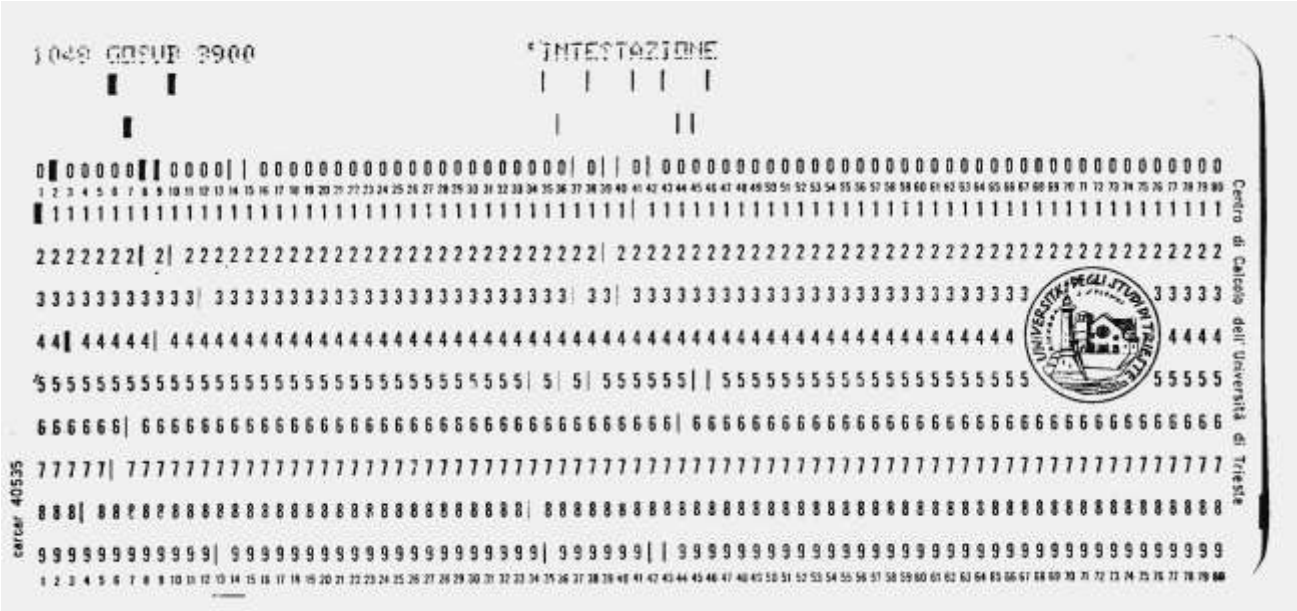


Fig. Scheda perforata.

Le schede perforate e il lettore di schede hanno rappresentato uno dei dispositivi di ingresso più comuni nei primi computer e il loro uso è durato fino alla metà degli anni '70.

La scheda perforata è un cartoncino rettangolare avente dimensioni standard (di solito mm. 187,3 * 82,5). Molto spesso uno degli angoli della scheda è smussato per consentire un facile controllo diretto dell'esatta posizione di tutte le schede in un pacco.

Ogni scheda è suddivisa in un **numero fisso di colonne e di righe** (generalmente 80 colonne e 12 righe).

In particolare, ogni scheda perforata permetteva di memorizzare una riga di testo di **80 caratteri**. **Le schede perforate potevano contenere sia istruzioni che comandi**.

Una volta ultimata la scrittura delle schede, l'inserimento del programma nel computer avveniva (in modo abbastanza veloce) mediante il ***lettore di schede***.

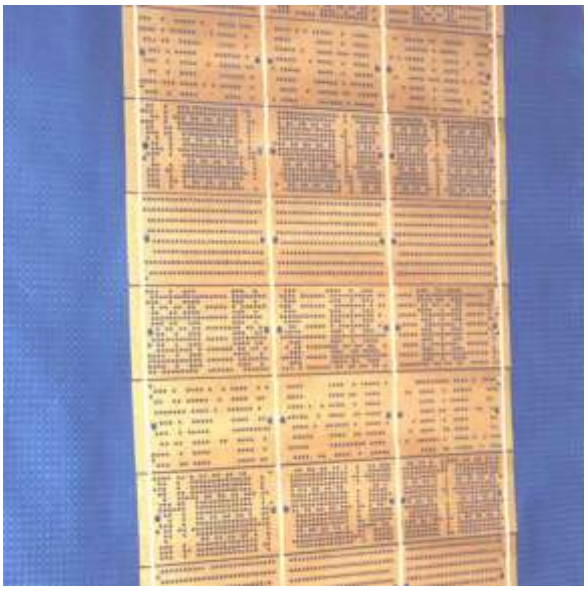


Fig Nastro di schede perforate per telaio Jacquard.

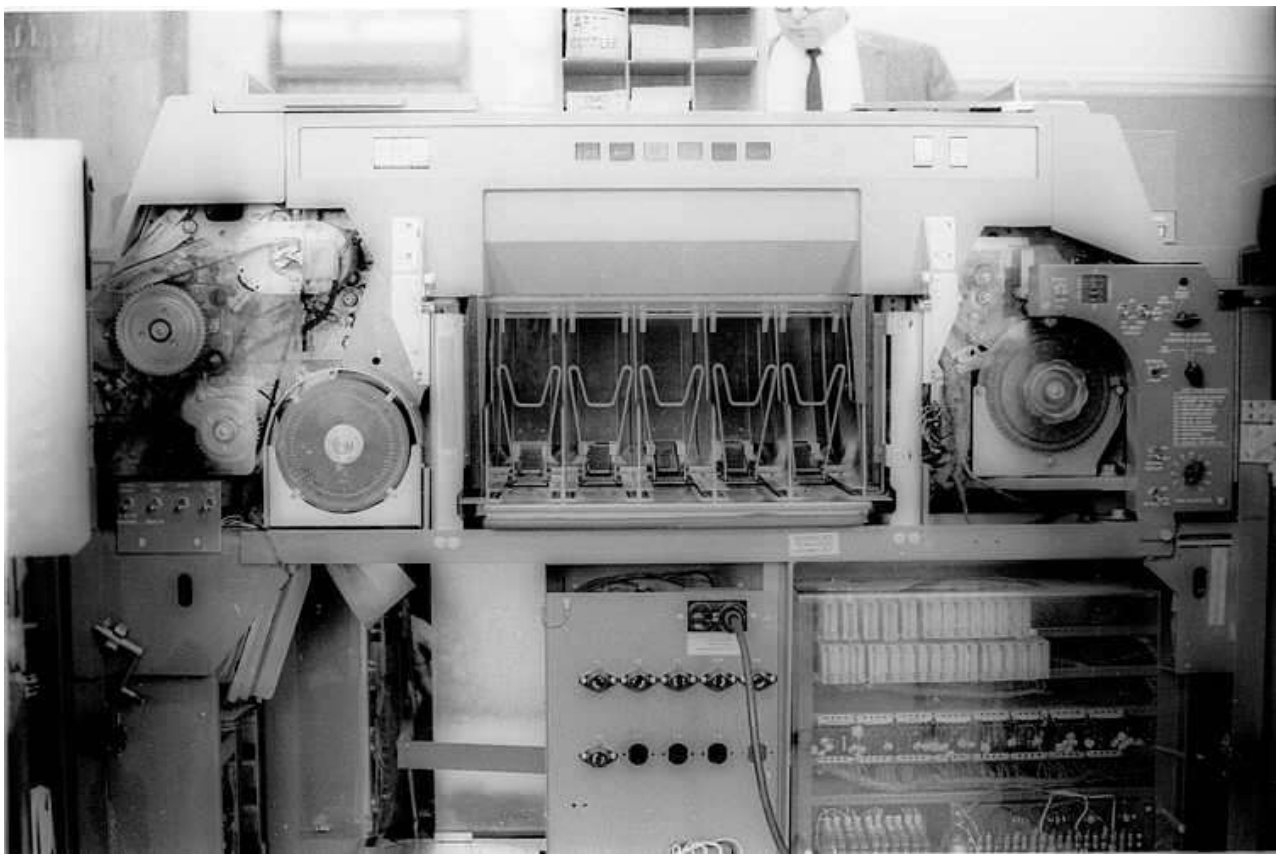
La storia delle schede perforate è molto lunga e risale all'800. Infatti, erano state introdotte e ampiamente sperimentate negli Stati Uniti da **H. Hollerith alla fine del '800** per la raccolta e gestione dei dati mediante le tabulatrici durante le **operazioni di censimento**.

Ancora prima, le schede erano state utilizzate in campo tessile per il **controllo dei telai per tessitura**, come il telaio Jacquard agli inizi dell'800.

Fig. Scheda perforata per computer Univac.

Nell'ambito dei computer, **uno dei vantaggi delle schede era quello di consentire la scrittura dei programmi off-line, cioè senza usare il computer**. Le schede potevano infatti essere preparate mediante un opportuno dispositivo (il ***perforatore di schede***) senza utilizzare direttamente il computer, cosa molto utile quando la disponibilità (temporale) del computer per ogni singolo utente era molto limitata.

Un altro vantaggio era quello della **compatibilità con la le schede meccanografiche** utilizzate fino ad allora per l'elaborazione automatica di grandi quantità di informazioni.



Nei primi sistemi, la lettura della scheda aveva luogo mediante un **contatto elettrico a spazzola**: la scheda passava tra una spazzola metallica e una superficie metallica e, pertanto, il passaggio della corrente elettrica avveniva solo in corrispondenza del foro.

Negli anni ‘30, al fine di rendere più veloce la lettura delle schede, furono introdotti i **primi lettori ad alta velocità basati sull’impiego di cellule fotoelettriche**. In questo caso, la presenza o assenza di un foro veniva determinata tramite un raggio di luce.

In presenza di una perforazione, il raggio di luce attraversa il foro la scheda e colpisce la cellula fotoelettrica, la quale genera istantaneamente un impulso elettrico che viene poi memorizzato nel computer.

righe perforate →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	0	nulla
12	A	B	C	D	E	F	G	H	I		.	]	(	<	\	+	&
11	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		$	*	)	;	'	↑	–
0	/	S	T	U	V	W	X	Y	Z	←	,	%	=	"	!		0
nulla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	[	#	@	:	>	?	0	¢

Fig. Codice Hollerith per la perforazione delle schede.

Uno dei codici di perforazione più usati per le schede è il **codice Hollerith**. Le colonne numerate sequenzialmente da 1 a 80 partendo da sinistra, mentre, delle 12 righe, soltanto le dieci inferiori (numerate da 0 a 9) vengono indicate sulla scheda. le altre due righe, chiamate convenzionalmente riga 11 e riga 12, si trovano nello spazio libero superiore alla riga 0 in posizione simmetrica delle righe 1 e 2 rispetto alla riga zero.

In ciascuna colonna della scheda può essere registrato un carattere mediante la perforazione di 1, 2, 3, o 4 fori rettangolari in posizioni (righe) opportune. La registrazione di un numero naturale compreso tra 0 e 9 può essere effettuata mediante una sola perforazione posta nella riga che porta il nome della cifra da rappresentare. La registrazione di una lettera dell'alfabeto o di altri simboli speciali, segni di interpunzione, operatori aritmetici, ecc. viene invece effet-

tuata mediante due o più perforazioni praticate nella stessa colonna.

Fig. Raccoglitore per schede perforate, 1960.

VIDEO

Video 1: Caricamento di schede perforate.

Video 2: Caricamento di schede perforate.

Video 3: lettura schede perforate

Lettore di schede perforate

Fig. Lettore di schede perforate.

Le schede perforate venivano lette automaticamente da apparecchiature chiamate “lettori di schede”.

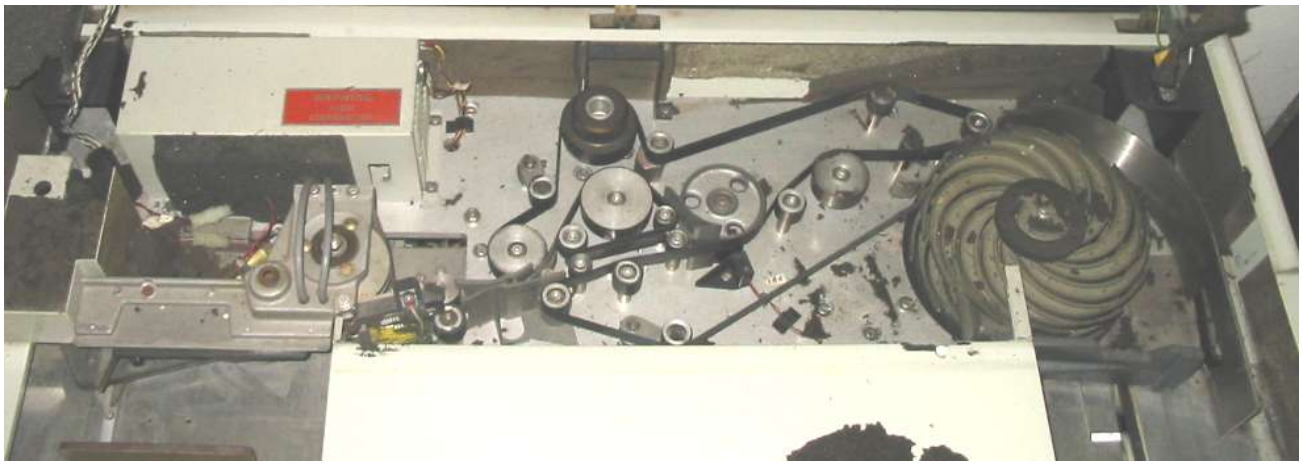


Fig. Vista interna del lettore di schede perforate.

Perforatrice di schede

Fig. Perforatrice di schede.

Per la preparazione delle schede perforate i programmatori e gli operatori avevano a disposizione le perforatrici di schede, completamente separate dal computer elettronico. Il loro uso ed il loro modo di funzionare da un punto di vista operativo, era molto simile a quello delle macchine per scrivere.

Queste apparecchiature comprendevano una tastiera, una cassetta di alimentazione, un sistema di trascinamento, un dispositivo di perforazione ed una cassetta di ricezione.

Fig. Perforatrici di schede.

In alcuni modelli era inoltre possibile fare stampare sul bordo superiore della scheda il carattere perforato nella colonna sottostante, questo al fine di consentire una lettura della scheda più agevole da parte dell'operatore ed eventualmente per confrontare i dati perforati manualmente con quelli originali presenti sui documenti trascritti per controllare di non aver commesso errori di copiatura.

Nastro perforato

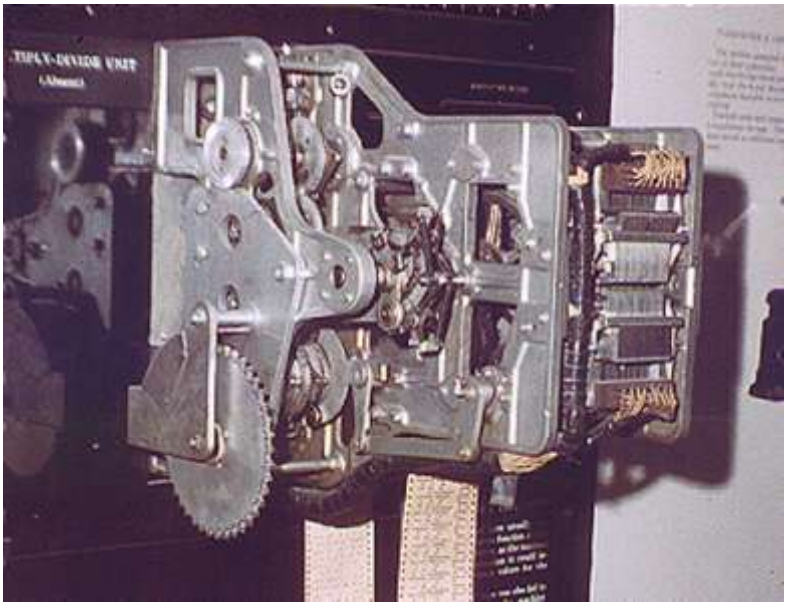


Fig. Lettore di nastri perforati del computer Harvard Mark I.

Il nastro perforato (di carta) avvolto a bobina, insieme alle schede perforate, è stato uno dei mezzi più comuni per l'inserimento di informazioni nei computer del passato.

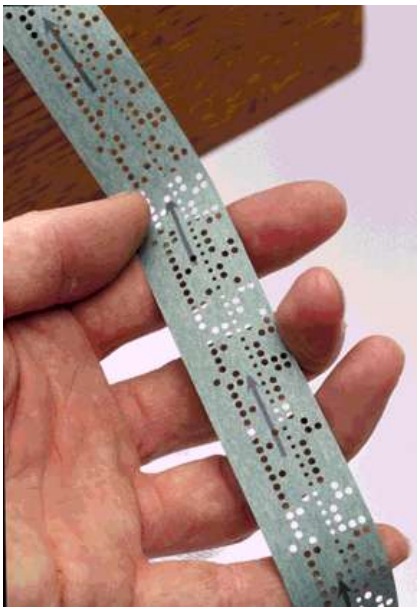


Fig. Nastro perforato di carta.

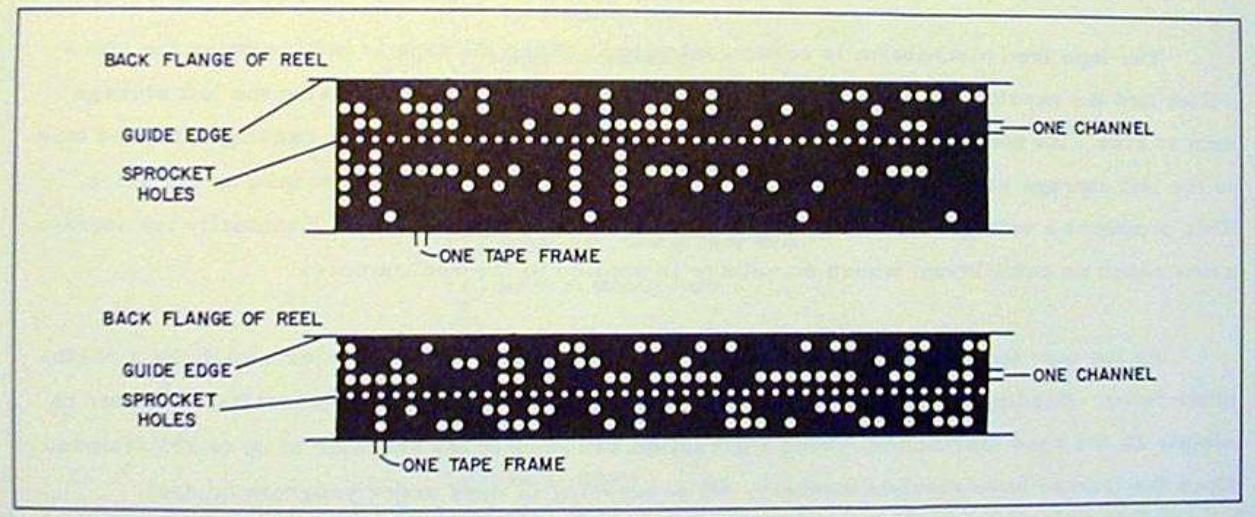
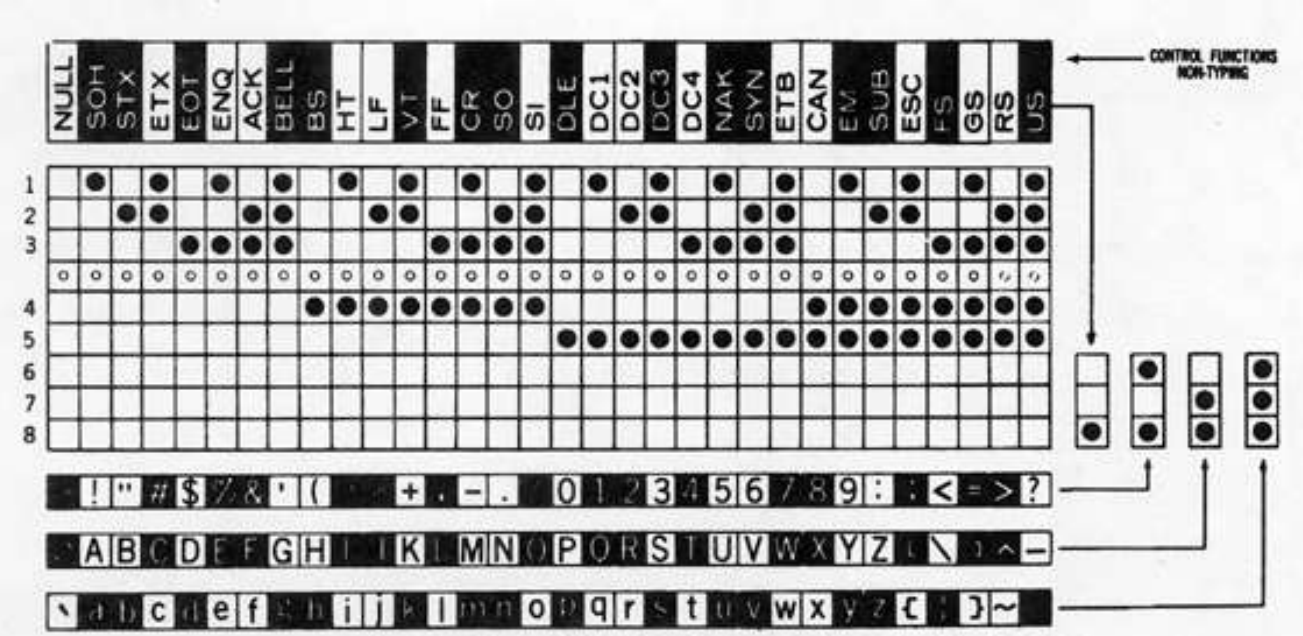


Figure 2. Eight-Channel and Five-Channel Paper Tape



AMERICAN NATIONAL STANDARD CODE FOR INFORMATION INTERCHANGE (ASCII) X3.4-1968

Il **principio di funzionamento (sia in scrittura che in lettura) è del tutto simile a quello delle schede perforate** e fino agli anni ’60 è stato ampiamente utilizzato.

Le informazioni vengono opportunamente codificate sul nastro di carta con una fila trasversale di fori.

La lettura del nastro può essere realizzata da dispositivi di tipo elettromeccanico oppure di tipo fotoelettrico.

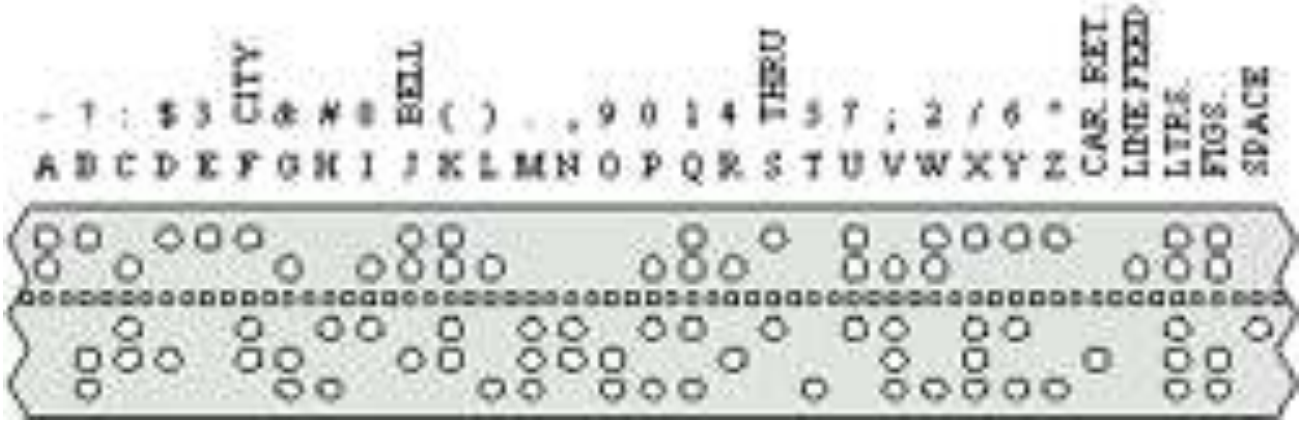


Fig. Codice di perforazione per i nastri.

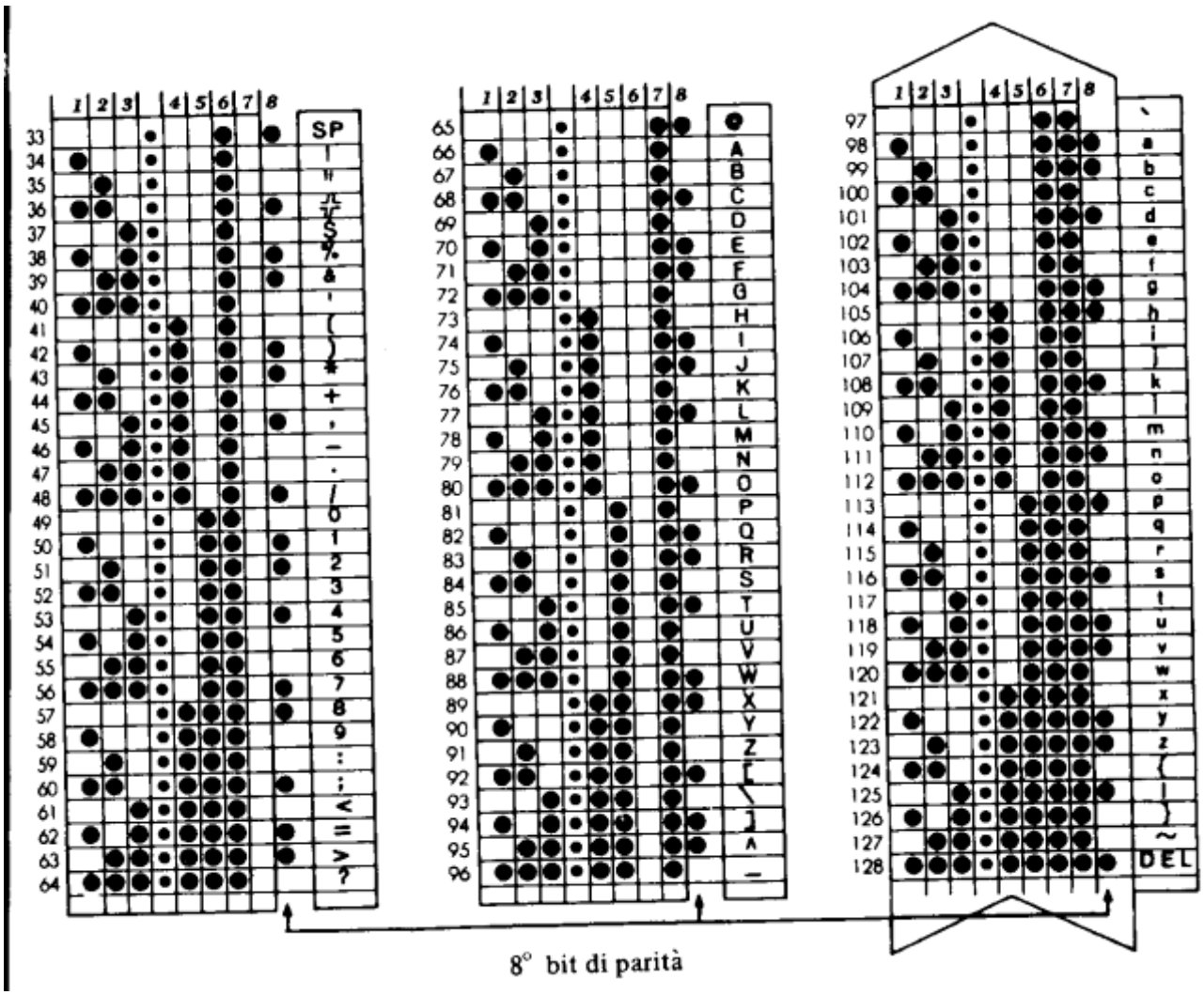


Fig. Codifica di perforazione a 7 bit per nastro perforato.

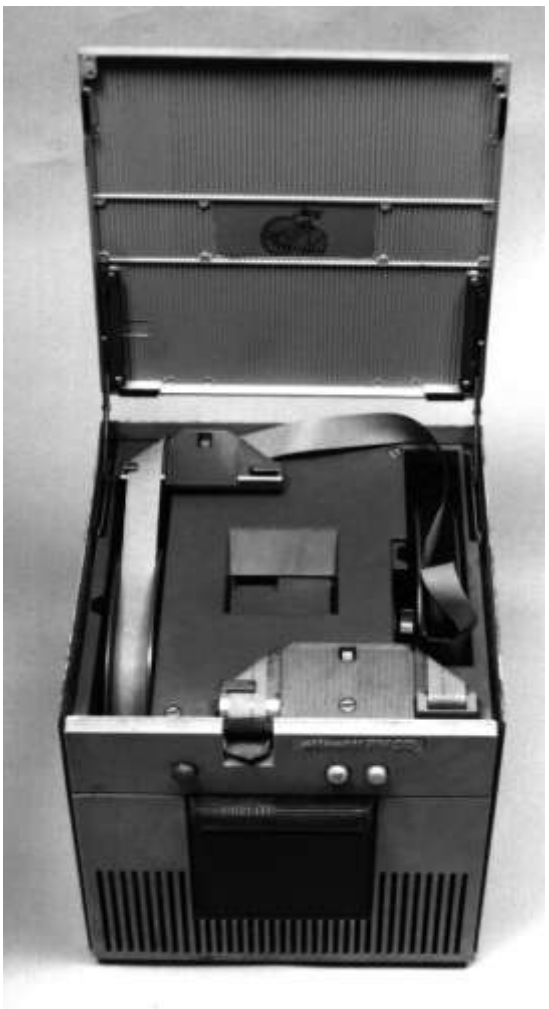


Fig. Perforatore di nastri.

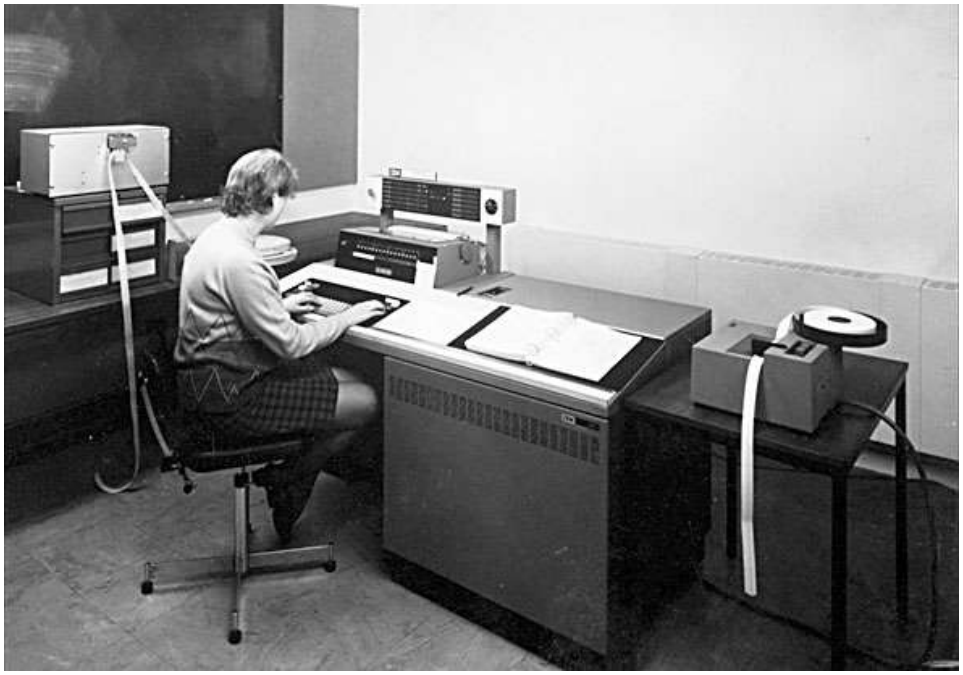


Fig. Preparazione del nastro di carta.

Fig. Preparazione del nastro di carta.

VIDEO

[Video 1: preparazione nastro di carta per PDP 11/10]

[Video 2: preparazione nastro di carta per PDP 11/10]

Tastiera alfanumerica

Fig. Tastiera alfanumerica di un personal computer.

Già nel 1956 alcuni ricercatori del MIT cominciarono a sperimentare l'uso diretto della tastiera alfanumerica per dialogare direttamente con il computer.

Inizialmente, questo dispositivo **era utilizzato solo dall'operatore responsabile del funzionamento del computer**, mentre i normali utenti utilizzavano le schede perforate. A partire dagli anni '70 con l'introduzione di computer sempre più potenti e di tipo interattivo (cioè in grado di interagire direttamente con l'utente), la tastiera ha rimpiazzato l'uso delle schede perforate.

Attualmente, la tastiera, insieme al mouse, costituisce il dispositivo di ingresso più comune per l'inserimento dei dati.

Mouse

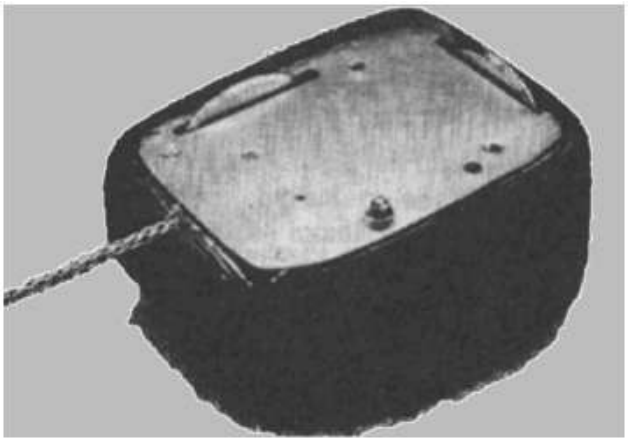


Fig. Uno dei primi mouse per computer.

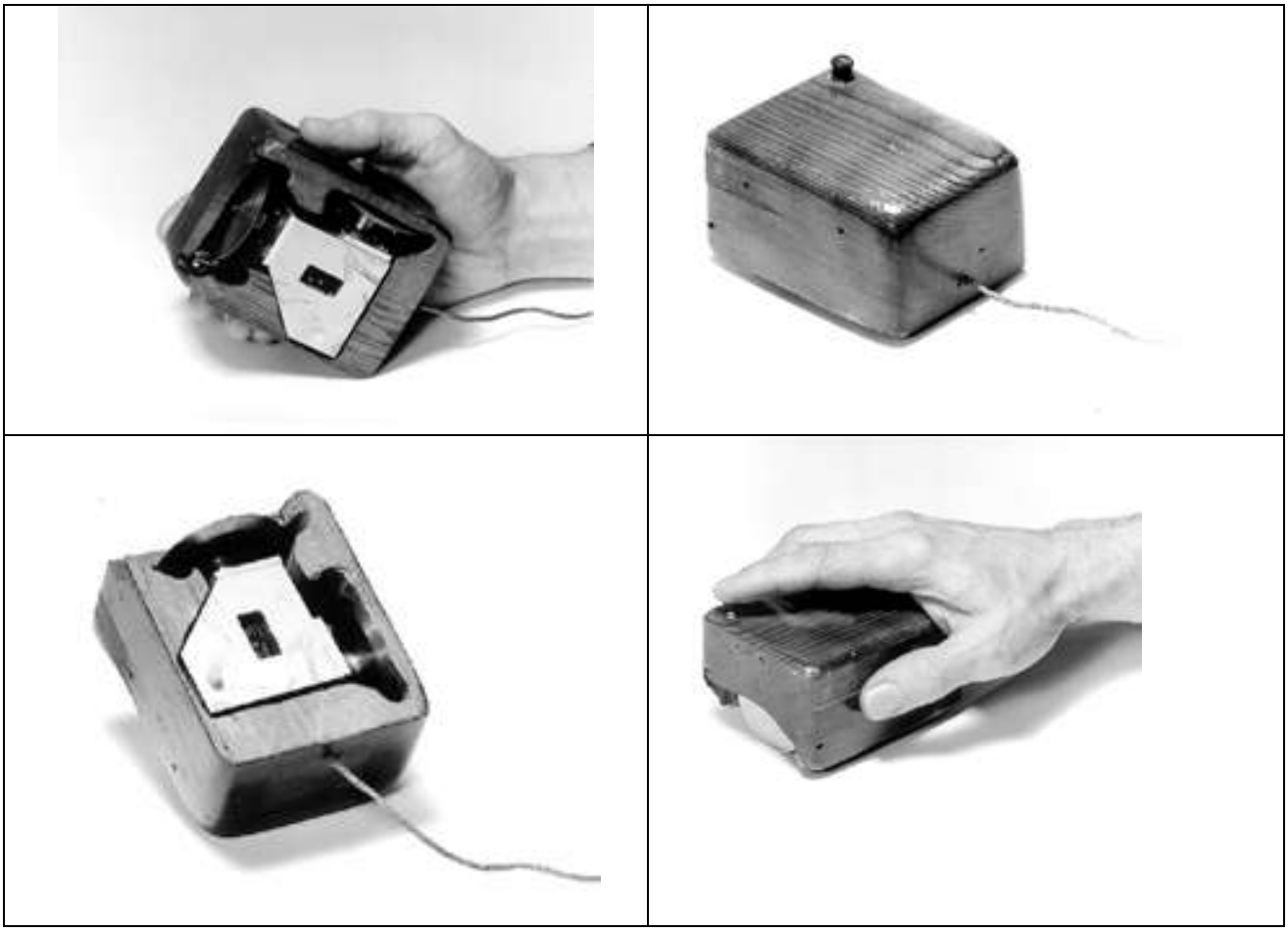


Fig. Uno dei primi mouse per computer.

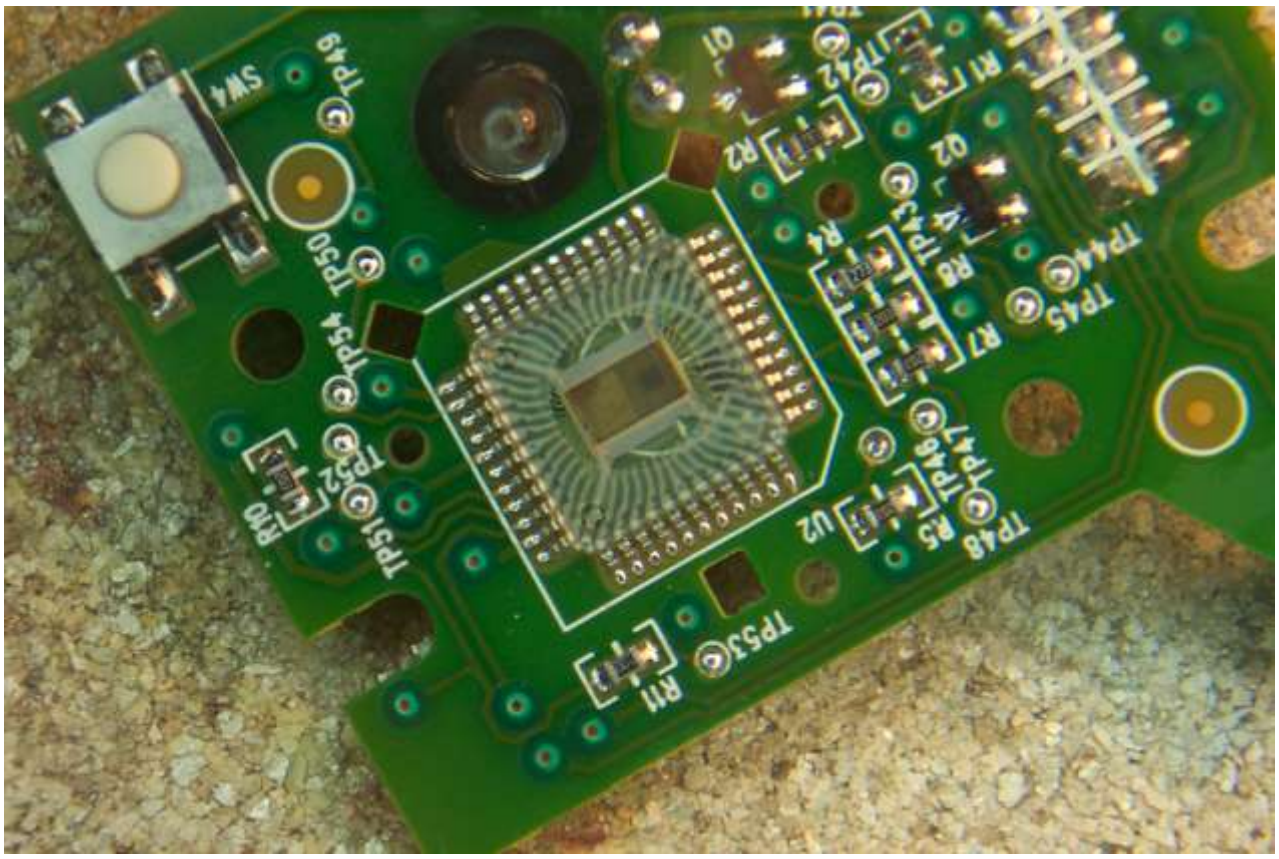
Nel 1968, un gruppo di ricercatori guidati da D. Englebart, dello Stanford Research Institute, sviluppò il mouse, un dispositivo di puntamento rapido del cursore sullo schermo. Per un certo tempo questo dispositivo è stato utilizzato solo in settori specifici come, ad esempio, quello della computer graphics.

Fig. Vecchio mouse a due pulsanti di un personal computer.

L'**uso del mouse si diffonderà a partire dal 1983 con l'arrivo sul mercato dei computer della Apple** (Lisa e, poi, serie Macintosh) basati su interfacce grafiche orientate all'uso del mouse.

VIDEO

Video: Englebart 1968.



Mouse ottico.

I **primi mouse ottici**, **introdotti negli anni ’80**, utilizzavano un led e un fotodiodo per rilevare il movimento relativo alla tavoletta. Questi mouse potevano essere utilizzati solo su una speciale tavoletta metallica con una rete di sottili linee blu e grigie.

Successivamente i mouse ottici, sfruttando tecniche di elaborazione delle immagini (cablate su opportuni circuiti integrati), poterono essere utilizzati su un maggior numero di superfici comuni.

Joystick

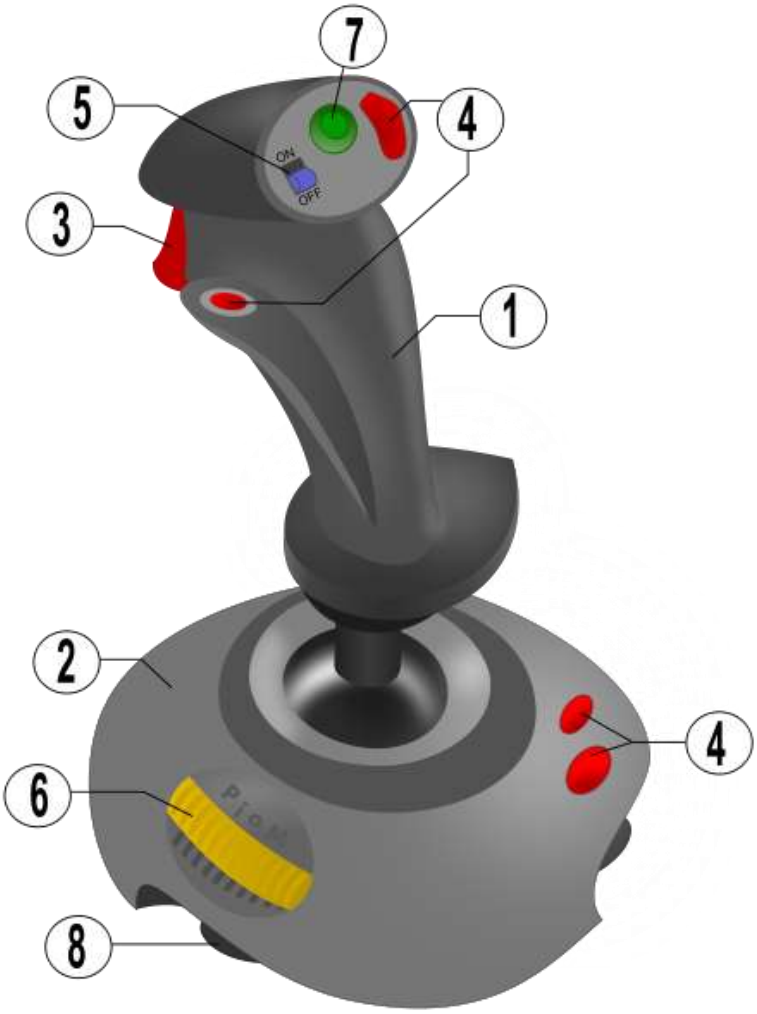
Fig. Joystick.

Il joystick costituisce un dispositivo di puntamento utilizzato principalmente per interagire con il computer nello svolgimento di certi giochi.

E' costituito da una leva il cui movimento può essere trasmesso al computer al fine di determinare qualche modifica durante lo svolgimento di un gioco e da eventuali pulsanti.

Questo dispositivo si è dapprima **diffuso in ambito militare e industriale** tra gli anni ’40 e ’60 (anche se come dispositivo di guida in ambito aeronautico è stato introdotto ancor prima), e **poi a partire dagli anni '70** si è diffuso insieme ai videogiochi e agli home computer in ambito ricreativo.

Oggi vengono utilizzati anche in campo industriale per pilotare il movimento di dispositivi meccanici.



Schema di un Joystick:
1)Leva di comando
2)Base
3)Pulsante anteriore
4)Pulsanti aggiuntivi
5)Selettore autofire
6)Regolatore Throttle
7)Levetta
8)Ventose

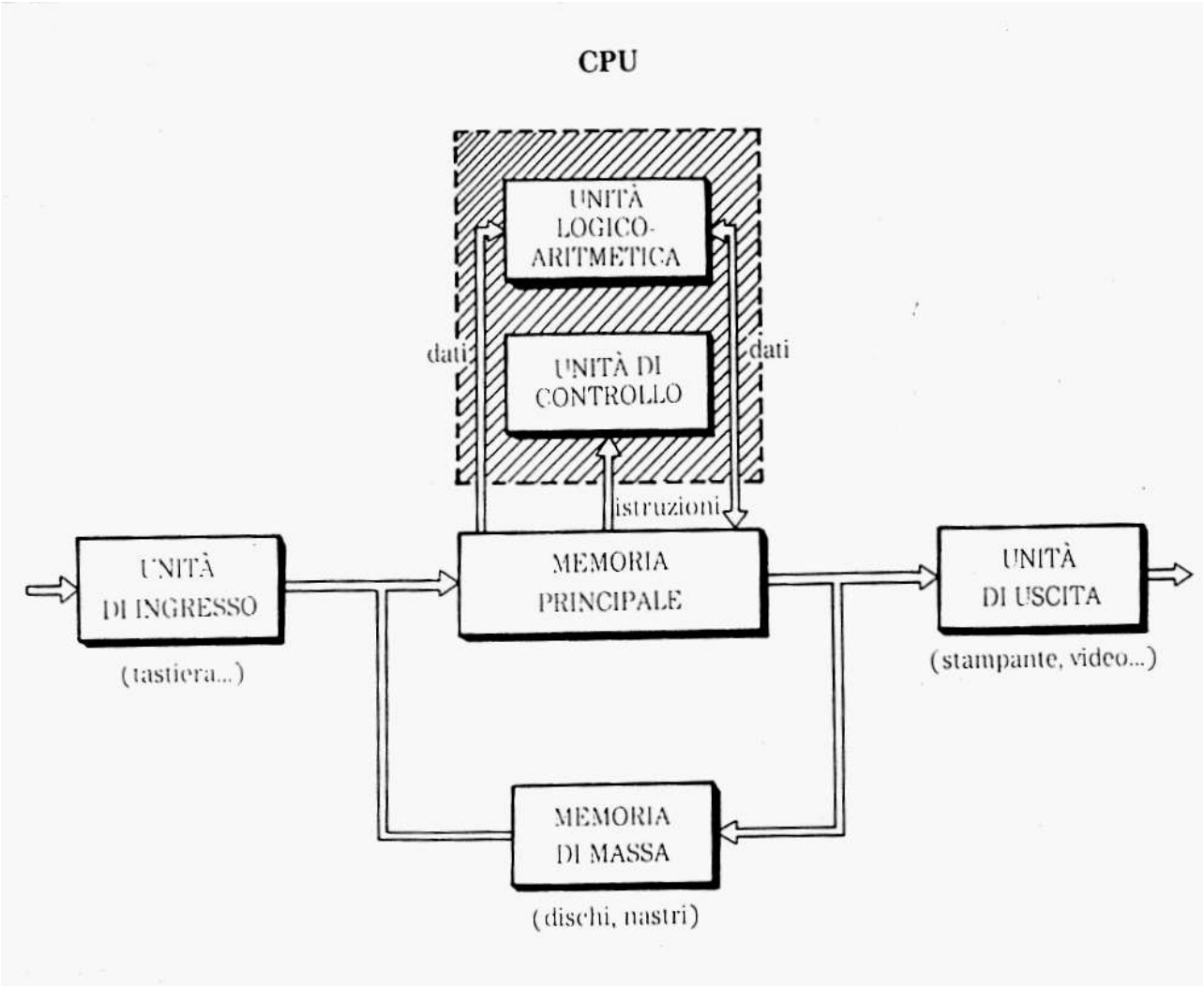
Funzionamento

L'effetto, conseguente allo spostamento della leva del joystick, è determinato dalla variazione resistiva, effettuata tramite **la coppia di potenziometr**i di cui è costituito, rilevata da circuiti elettronici.

Modelli molto sofisticati, **operanti anche su tre assi**, sono impiegati su velivoli, macchine movimento terra e mezzi militari. In questi campi la tecnologia adottata non si basa sul contatto strisciante in uso nei potenziometri, bensì sull'**effetto Hall**, e sono impiegati dispositivi elettronici atti a generare un segnale di livello proporzionale al campo magnetico in cui sono immersi; ovvero, l'asta del joystick sposta semplicemente un magnete permanente verso 4 sensori hall posti sui due assi cartesiani. Questa tecnologia offre un sistema virtualmente privo di usura, pertanto di elevatissima affidabilità.

4. Le unità di uscita

Paolo Giangrandi
giangran@dimi.uniud.it

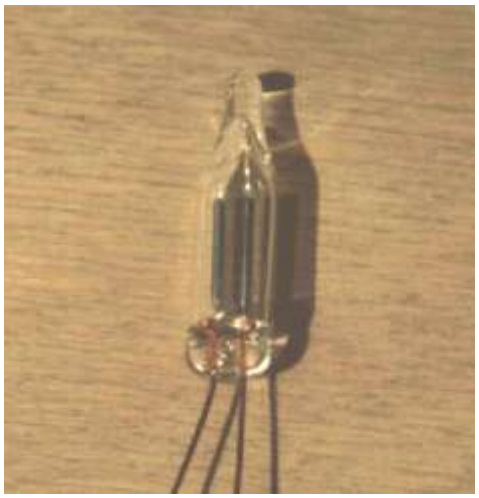


Università degli Studi di Udine

05/05/2010

Display binario a lampadina

Una **semplice lampadina a filamento** (inventata nella seconda metà dell'Ottocento da Thomas Alva Edison) permette di visualizzare un'informazione di tipo binario (0, 1, oppure *vero* o *falso*). Questo dispositivo utilizzato nei primi computer, viene ora utilizzato raramente (al più per indicare lo stato di accensione di un apparecchio).



Nei primi computer, al fine di risparmiare corrente elettrica, per una maggiore rapidità di commutazione e per una maggiore affidabilità venivano utilizzate ***lampadine al neon***. Nella maggior parte dei casi, questo dispositivo è stato ora sostituito dai led, preferiti per diverse ragioni.

Display digitali nixie

Fig. Display nixie.

Nei primi computer, per la visualizzazione delle informazioni alfanumeriche venivano impiegati dei dispositivi simili alle valvole termoioniche, detti ***tubi nixie***.

Ogni tubo poteva visualizzare una singola cifra (o carattere), i cui **segmenti erano illuminati dalle scariche elettriche tra elettrodi metallici** opportunamente sagomati (catodo) secondo un principio simile a quello dei tubi al neon.

I display a nixie, sviluppati a partire dai tubi a vuoto, **iniziarono ad essere usati nei computer già negli anni ’50** (introdotti in particolare dalla Burroughs Corporation nel 1954). Dispositivi simili erano stati brevettati già negli anni ’20 e la loro produzione di massa era iniziata negli anni ’30 da parte della National Union Co. e della Telefunken.

Animazione: Nixie.gif

Link

http://en.wikipedia.org/wiki/Nixie_tube

Perforatore automatico di schede

Fig. Perforatore automatico di schede.

Per poter preparare grandi quantità di schede come risultato di certe elaborazioni venivano usati i **perforatori automatici di schede**. Questa unità non va confusa con le normali macchine perforatrici, ma rappresentava un'unità di output, collegata al sistema di elaborazione, in grado di perforare su schede i risultati elaborati dal computer. Tali unità quindi erano **utilizzate per produrre schede con i dati ottenuti normalmente come risultato parziale di una determinata fase di elaborazione**, dati da sottoporre successivamente ad ulteriori fasi di lavoro.

Per questo tipo di attività era preferibile utilizzare le unità a nastro.

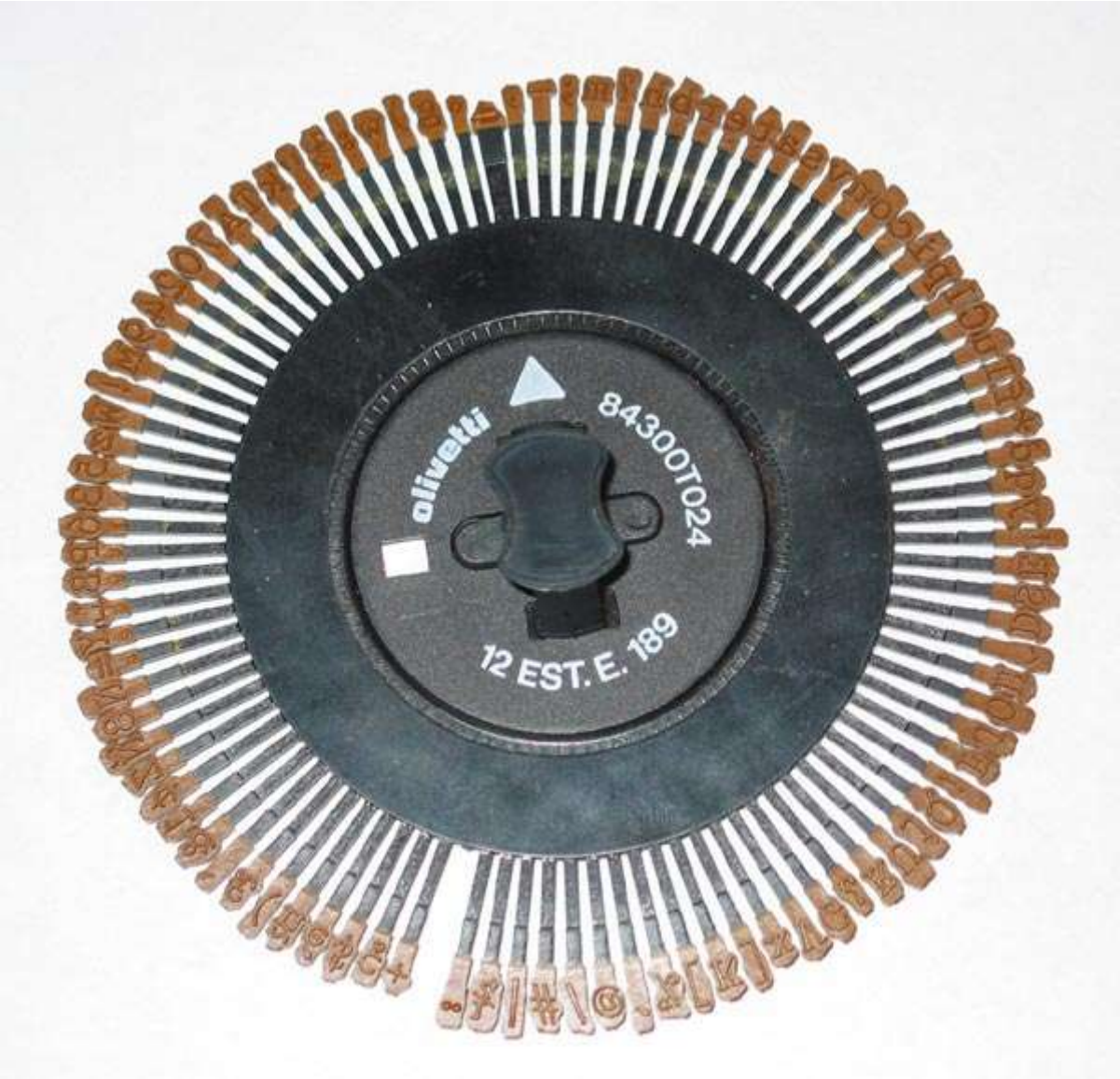
Stampanti

Fig. Stampante di linea di un computer (stampante a catena) Univac 90/30, 1975.

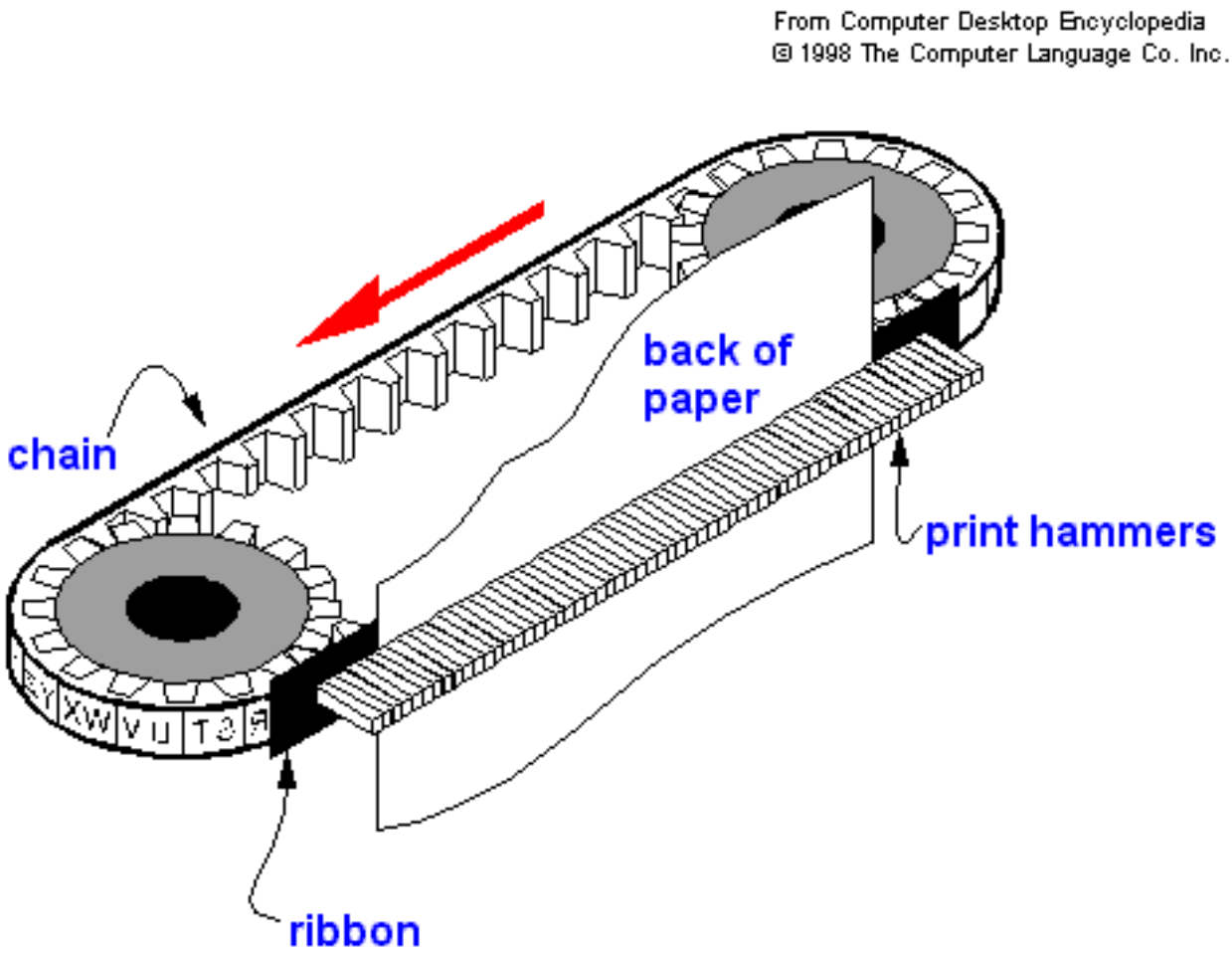
Uno dei dispositivi per l'uscita dei dati più importante è rappresentato dalla stampante.

Nelle prime stampanti la tecnologia costruttiva era abbastanza **simile a quella delle tradizionali telescriventi**. Successivamente sono stati introdotti diversi tipi di stampanti basate su vari principi perfezionando di molto i primi dispositivi.

Si trattava di stampanti ad impatto, in cui i singoli caratteri erano posizionati sui dei martelletti che andavano a colpire un nastro inchiostrato posizionato davanti al foglio di carta.



In altri casi il set di caratteri si trovava su una catena metallica che ruotava velocemente davanti al foglio di carta.



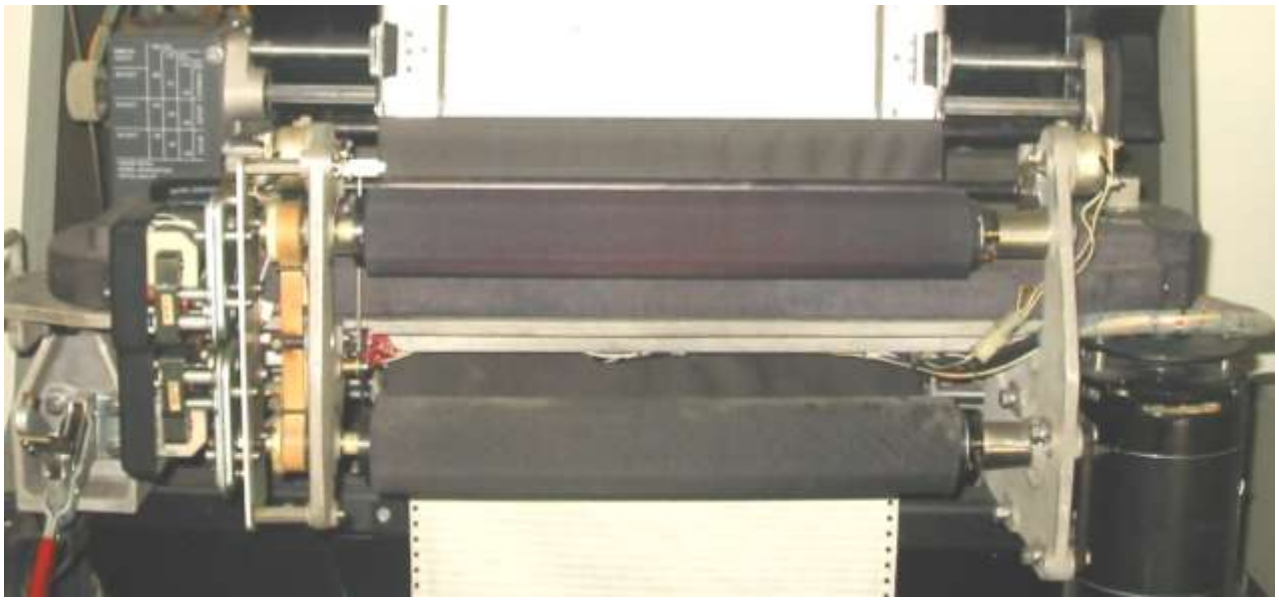


Fig. Interno della stampante a catena del sistema Univac 90/30.

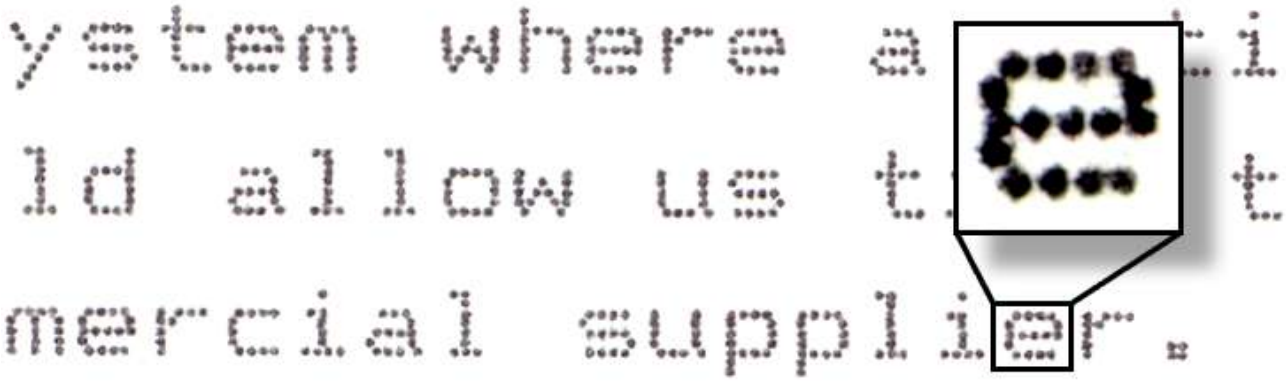
Le stampanti ad impatto erano ovviamente molto rumorose.

AUDIO

[audio 1: rumore stampante]

Fig. Stampante ad aghi.

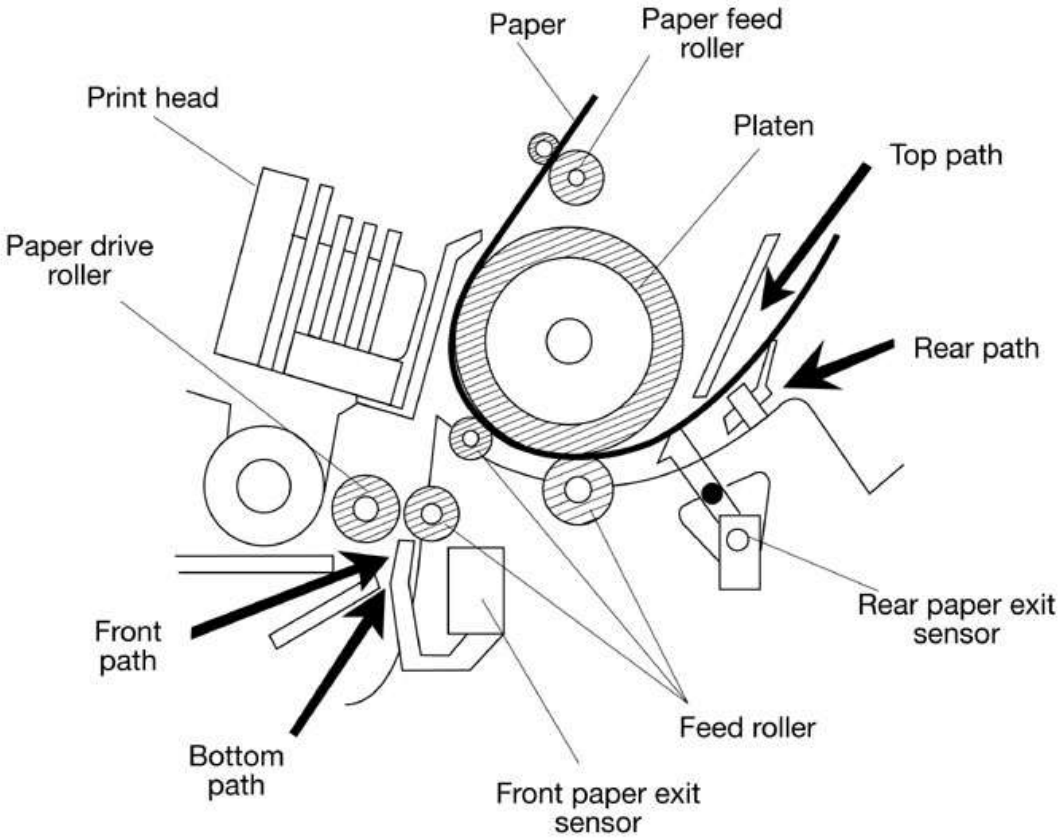
Tra le stampanti più economiche e comuni molto usate negli anni ’70 troviamo le stampanti con la testina di scrittura ad aghi (**dot matrix**).

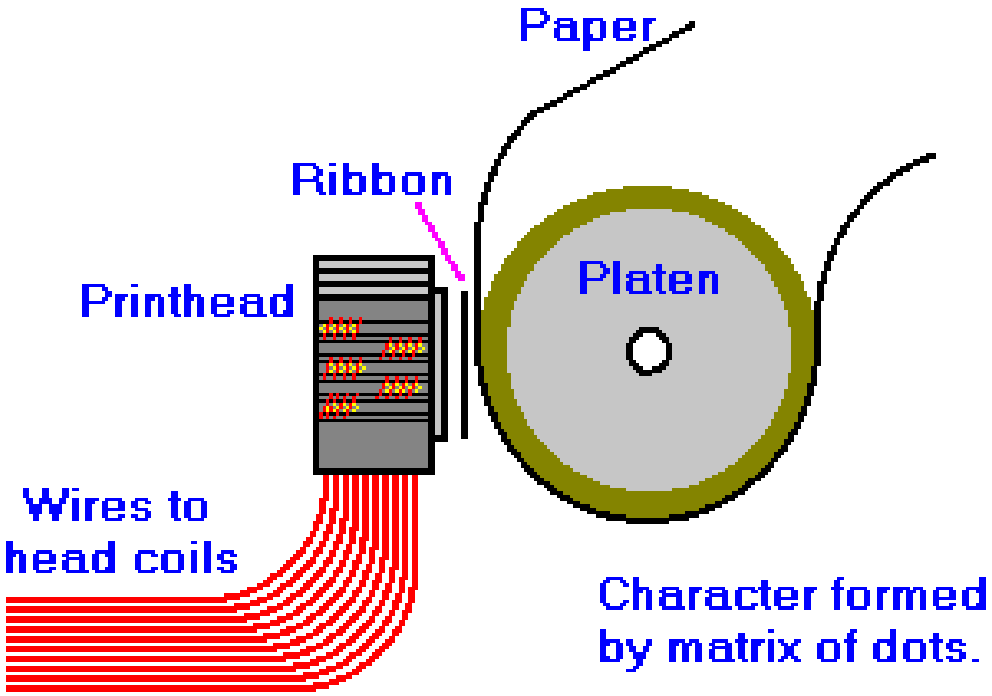


Questo tipo di stampante, messo in commercio a partire dal

1957, è stato il più diffuso sino alla fine degli anni '80. I caratteri o le immagini venivano tracciate da una testina costituita da una matrice di aghi.

Ogni ago poteva essere azionato elettricamente in modo indipendente e andava a colpire un nastro inchiostrato lasciando un piccolo puntino sulla carta. **Ogni carattere era composto da una opportuna matrice di punti.**




Paper
Ribbon
Printhead
Platen
Wires to
head coils
Character formed
by matrix of dots.

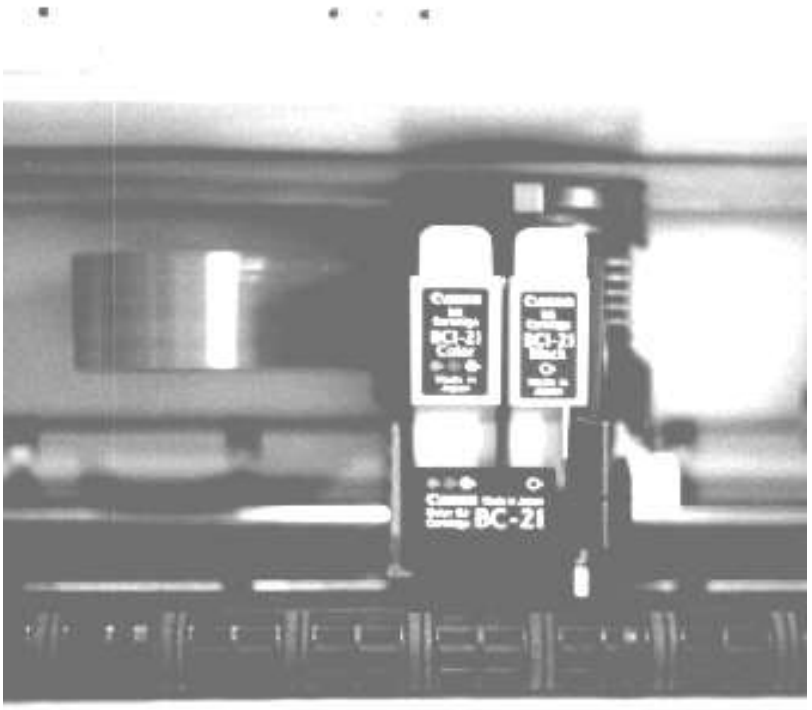
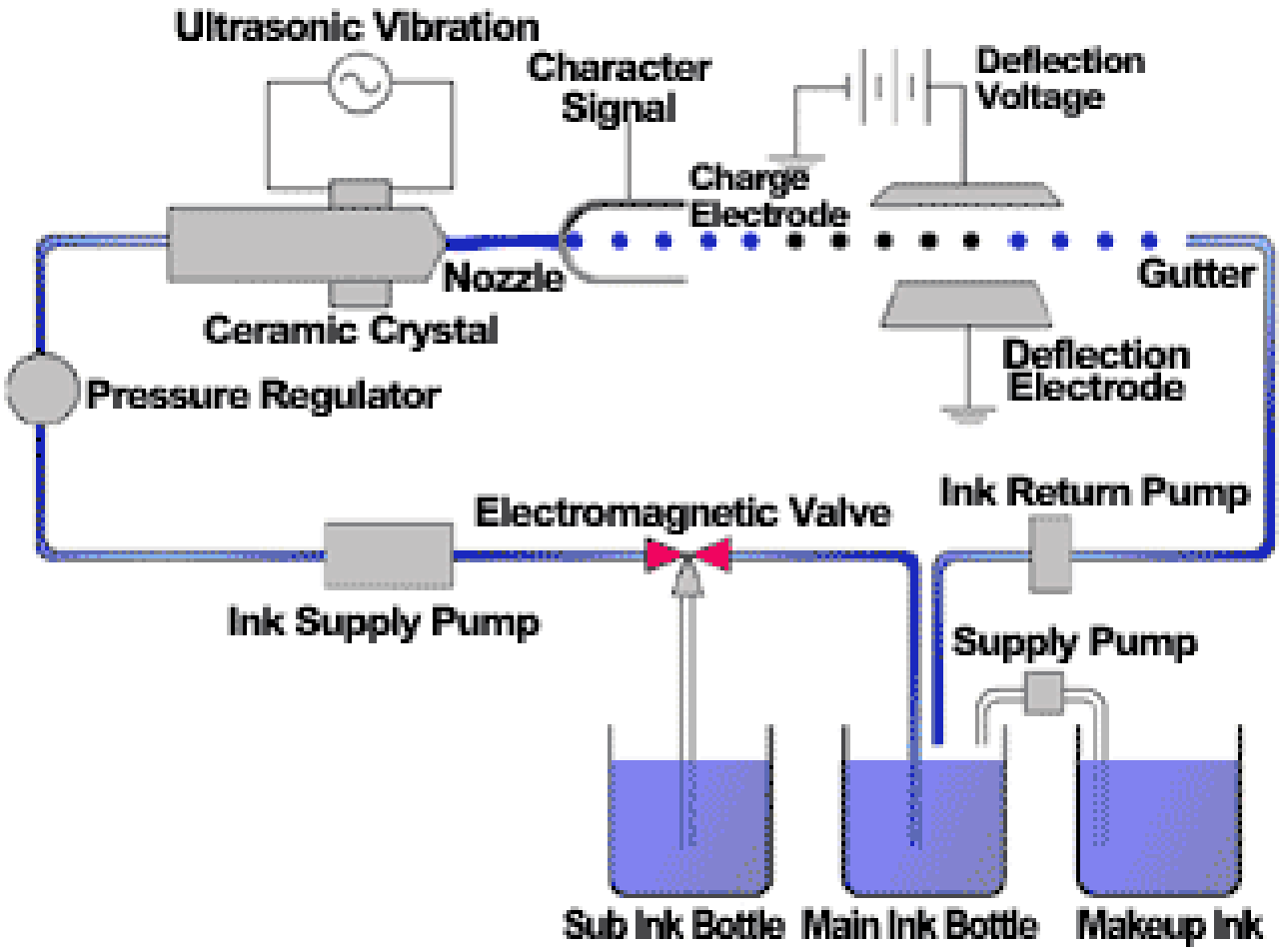


Fig. Testina di una stampante a getto di inchiostro (per la stampa a colori). Sono visibili due cartucce di inchiostro: quella a destra per il nero, mentre quella a sinistra per i tre colori primari.

Le **stampanti a getto inchiostro cominciarono a diffondersi negli anni '80**, sebbene i principi per la costruzione della testina di scrittura fossero studiati già dalla fine degli anni '60.



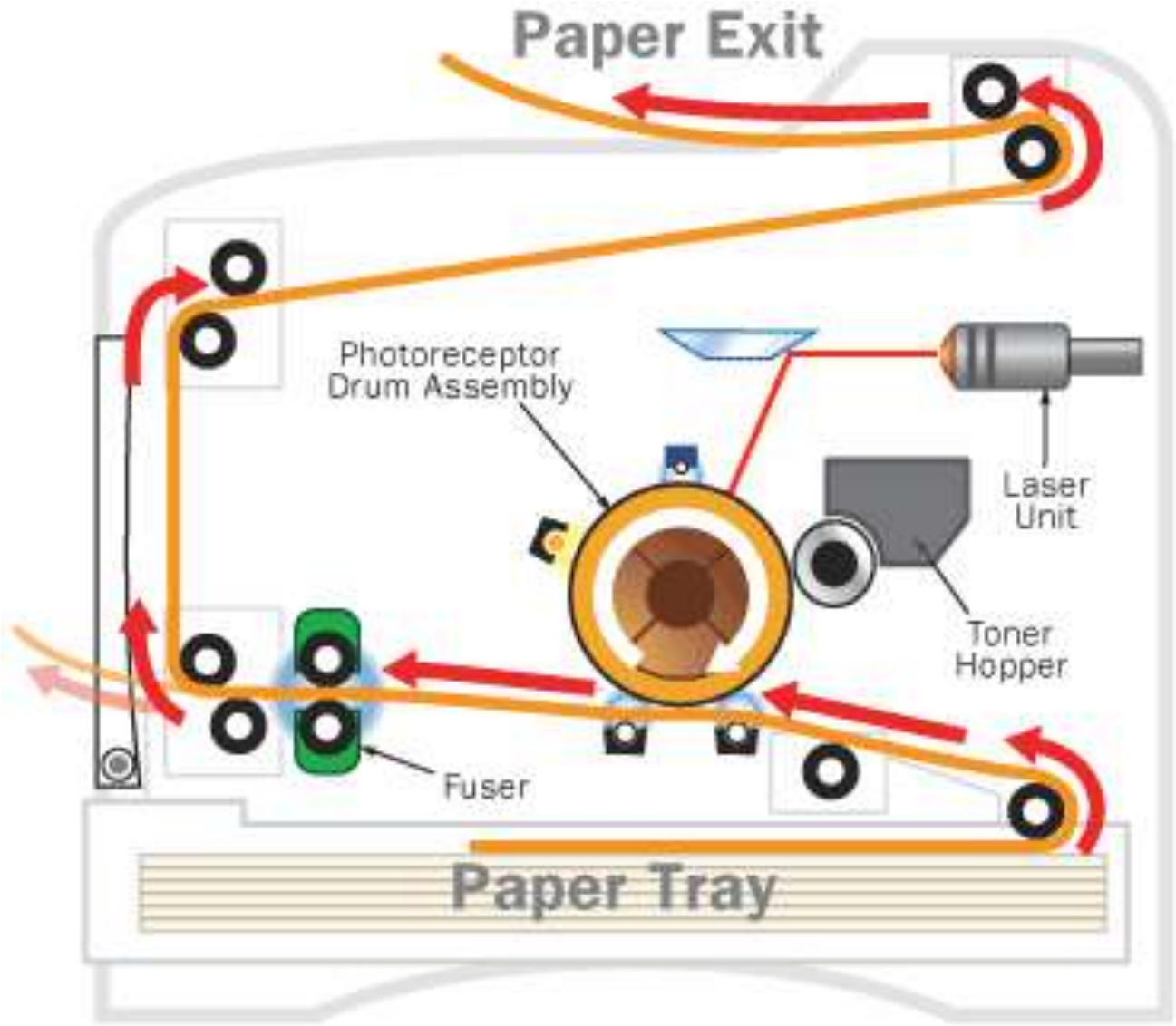
I caratteri e le immagini vengono tracciati da un getto di inchiostro "sparato" sulla carta da un dispositivo simile ad una microscopica pistola a spruzzo, il cui getto viene controllato da un campo elettrico.

Inizialmente la qualità di stampa di questi apparecchi era bassa, ma, grazie ai vari perfezionamenti della testina di scrittura, queste stampanti hanno raggiunto oggi buoni livelli di qualità e costituiscono un interessante compromesso prezzo-qualità. Attualmente, esistono stampanti sia per la stampa in bianco e nero sia per la stampa a colori (combinando i colori primari).

Fig. Stampante laser.

Tra i diversi tipi di stampanti in commercio, la **stampante laser** rappresenta uno dei dispositivi di stampa di migliore qualità.

Le prime stampanti laser sono state messe in commercio dall'IBM nel 1975.



Il funzionamento interno di queste stampanti presenta una certa analogia con quello delle fotocopiatrici.

- In particolare, i caratteri e le immagini vengono dapprima **tracciati da un raggio laser su un cilindro fotosensibile**.
- Il **cilindro così sensibilizzato** entra in contatto con il toner (inchiostro secco), il quale aderisce al cilindro ma solo nei punti eccitati dal raggio laser.
- Infine, il **rullo entra in contatto con la carta e con un opportuno processo termico il toner viene fissato** in modo permanente alla carta.

La carta per le stampanti

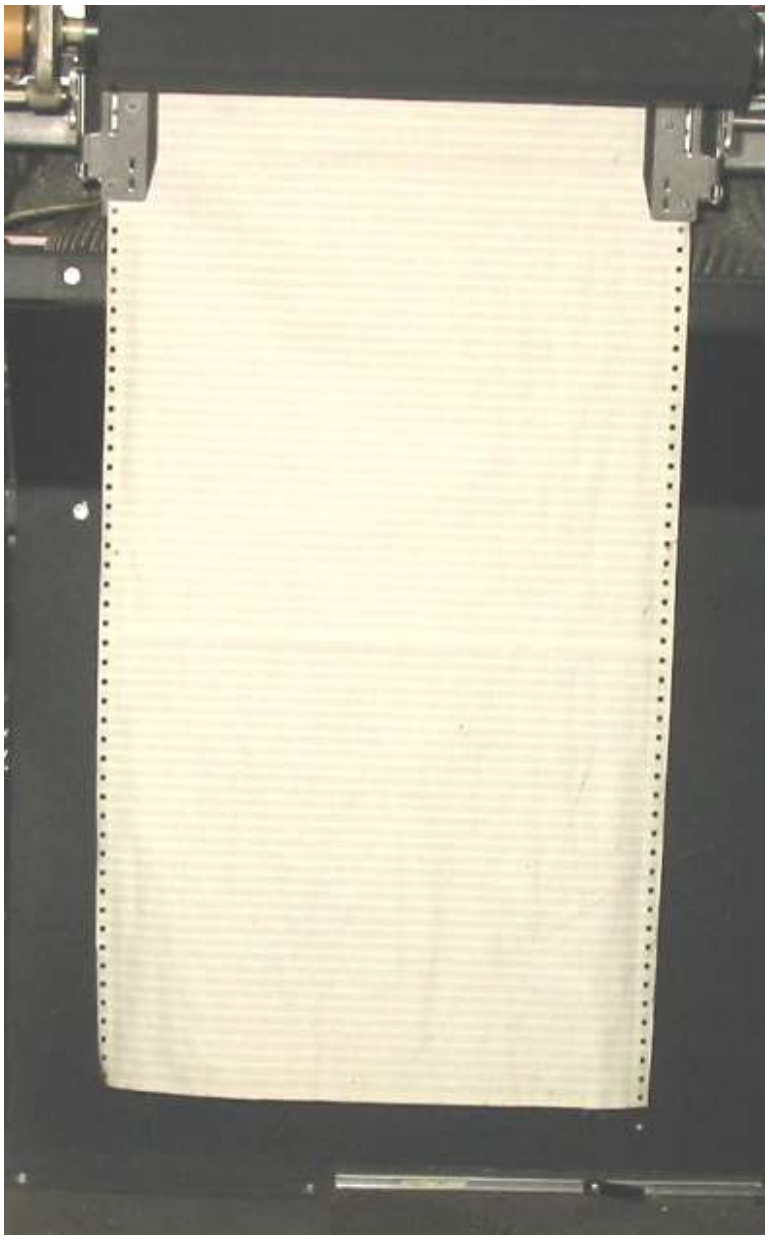


Fig. Carta a modulo continuo.

In passato, il mezzo di output più comune era rappresentato dalla stampa su carta dei risultati. Questo supporto aveva un'importanza fondamentale per gli utenti perché in passato l'accesso al computer avveniva quasi sempre indirettamente.

Mentre oggi l’utente può utilizzare il computer per visionare con calma le informazioni sul monitor del computer, in passato l’utente poteva solo consultare una stampa cartacea delle informazioni elaborate, dal momento che l’utilizzo del computer era riservato esclusivamente all’elaborazione dei dati.

Monitor a tubo catodico

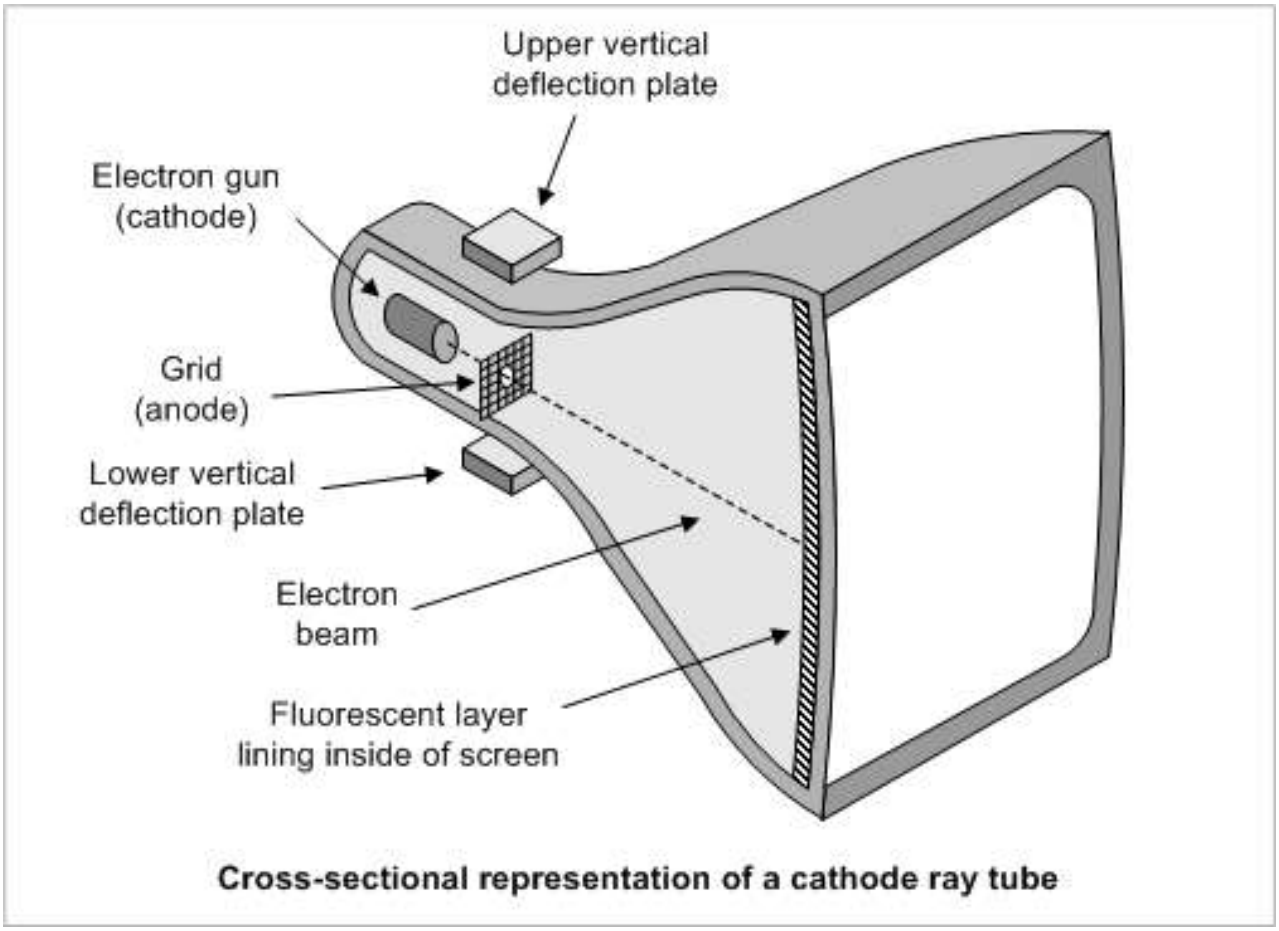
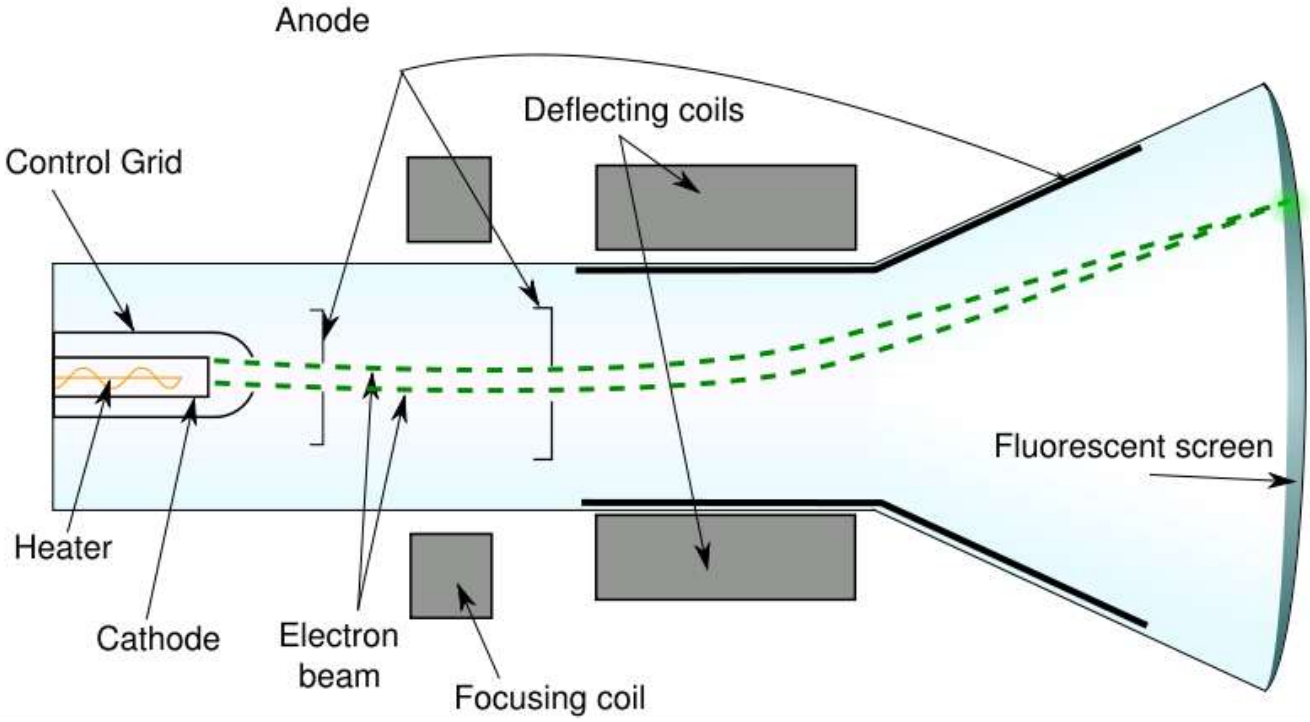


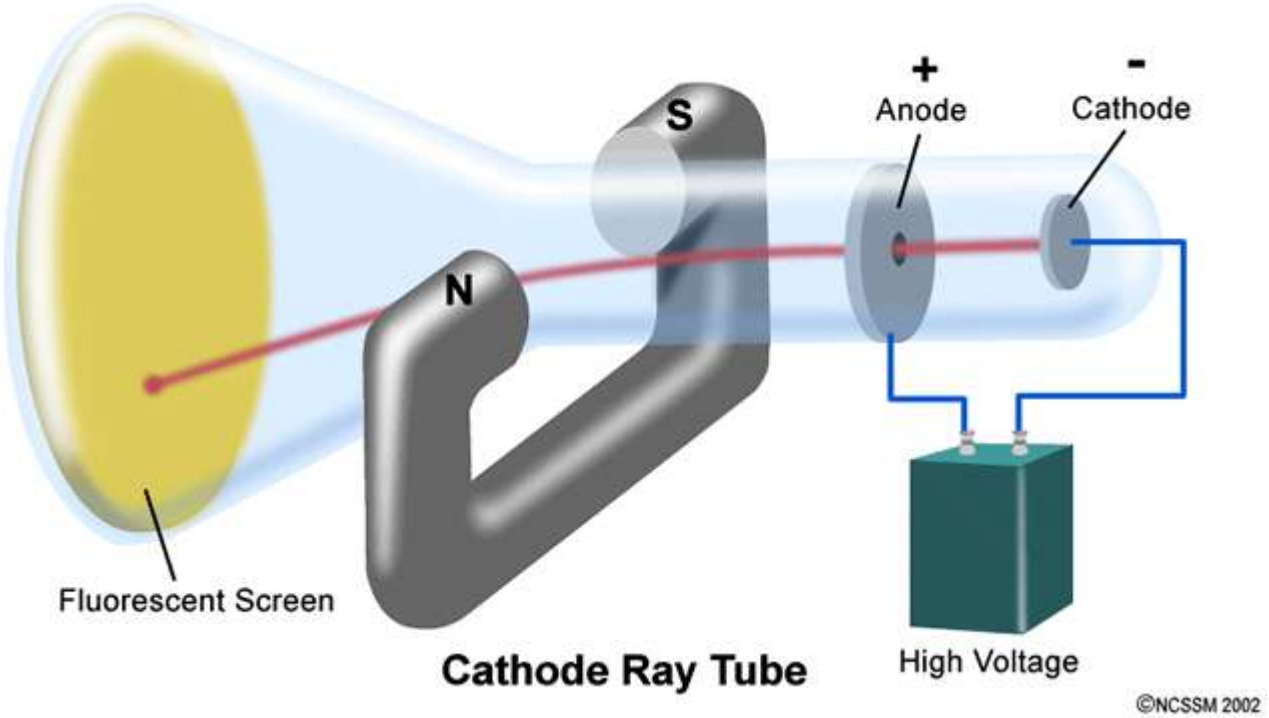
Fig. Monitor a tubo catodico.

Il monitor a tubo catodico (CRT) rappresenta il dispositivo più diffuso per la visualizzazione dei dati in uscita. Questo dispositivo era stato **inventato attorno al 1897** dal fisico tedesco **Karl Ferdinand Braun** sfruttando I tubi a vuoto che proprio in quegli anni venivano studiati per le scariche elettriche nel vuoto.

Braun riuscì a realizzare una sorta di oscilloscopio aggiungendo una superficie fluorescente che veniva illuminata da un fascio di elettroni.

Il funzionamento di questi dispositivi venne poi perfezionato nel corso degli anni '20. Il suo funzionamento è del tutto simile a quello presente in un comune apparecchio televisivo.





La parte del tubo rivolta verso l'utente è internamente ricoperta di sostanze fosforescenti che possono essere eccitate da un fascio di elettroni "sparato" dalla parte opposta del tubo (cannone elettronico).

Solo i punti colpiti dal fascio diventano luminosi. Il fascio di elettroni esegue in un tempo brevissimo la scansione dell'intera superficie del monitor in modo da ricostruire l'intera immagine.

La rapida successione delle immagini permette poi di percepire le immagini in movimento come accade nella proiezione di un film su pellicola. Una maggiore densità di punti sul monitor assicura una migliore definizione delle immagini.

L'impiego di questo dispositivo nell'ambito degli oscilloscopi e delle riproduzioni televisive **risale alla fine degli anni '20**.

Fig. Video terminali del sistema Univac 90/30.

Sembra che il primo computer dove è stato utilizzato il monitor CRT come display di tipo grafico sia stato il computer Whirlwind del 1951.

Mentre i **primi monitor erano per lo più di tipo monocromatico** e ciò era sufficiente per un'interazione di tipo testuale, attualmente è molto comune l'uso del **monitor a colori** per poter sfruttare meglio le interessanti caratteristiche grafiche offerte dalla maggior parte delle applicazioni per computer.

Oggi il monitor a tubo catodico è ancora il sistema di output più diffuso, ma da qualche anno si stanno diffondendo monitor Lcd di tipo piatto e a basso consumo, che presto sostituiranno i tubi catodici.

Display binari e alfanumerici a led

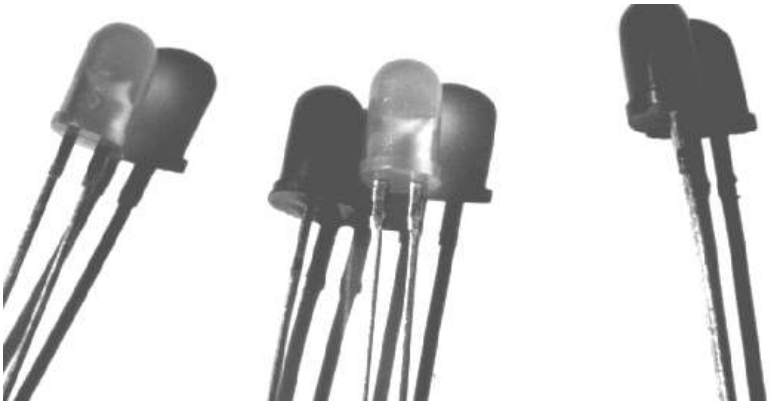
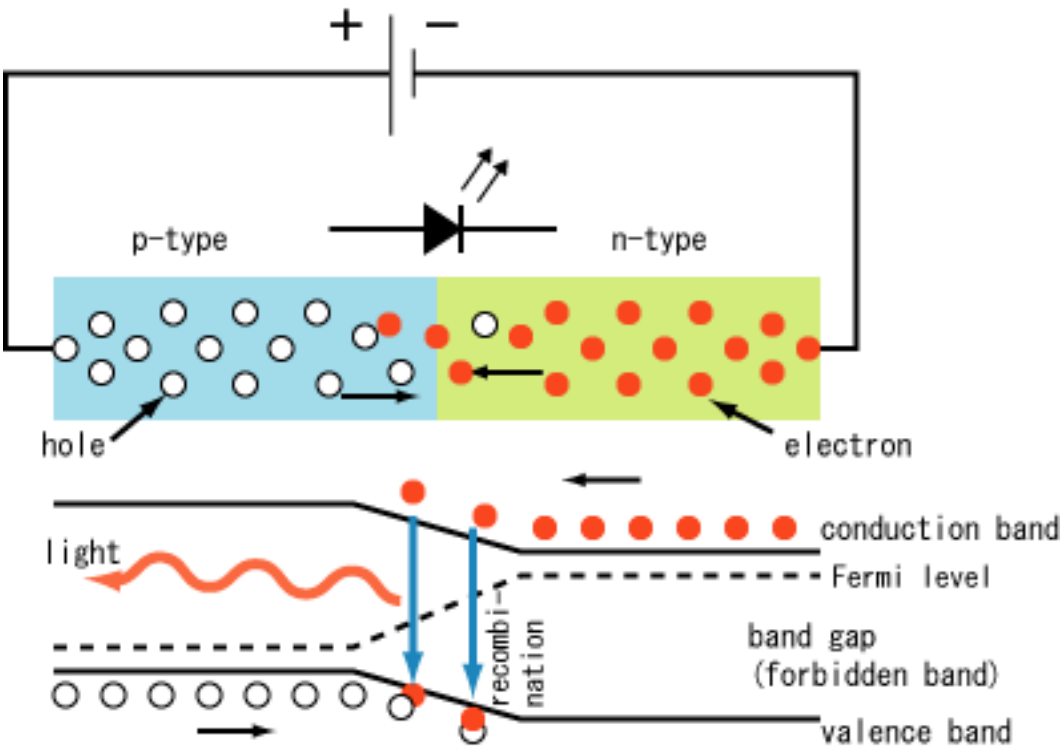


Fig. Alcuni led luminosi.

I primi led (Light Emitting Diode) furono prodotti nel 1962. Sono un dispositivo realizzato con la tecnologia dei semiconduttori e costituiscono una sorta di minuscole lampadine in grado di emettere luce di un dato colore.



Ogni led può essere utilizzato come un display binario.

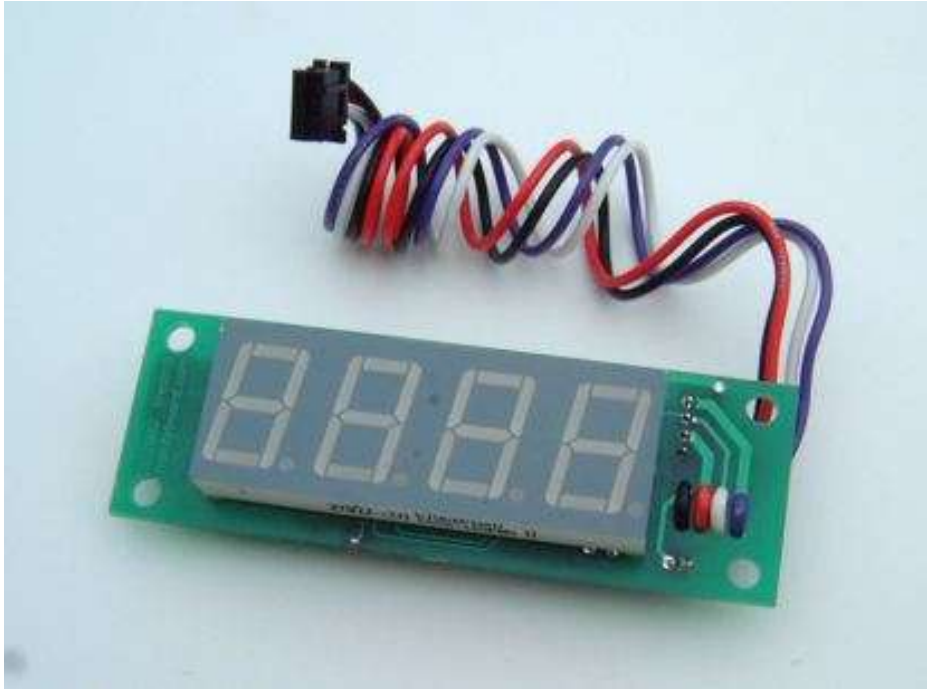


Fig. Alcuni display numerici a led.

Sfruttando la possibilità di miniaturizzazione di questi dispositivi, è stato possibile realizzare anche display alfanumerici.

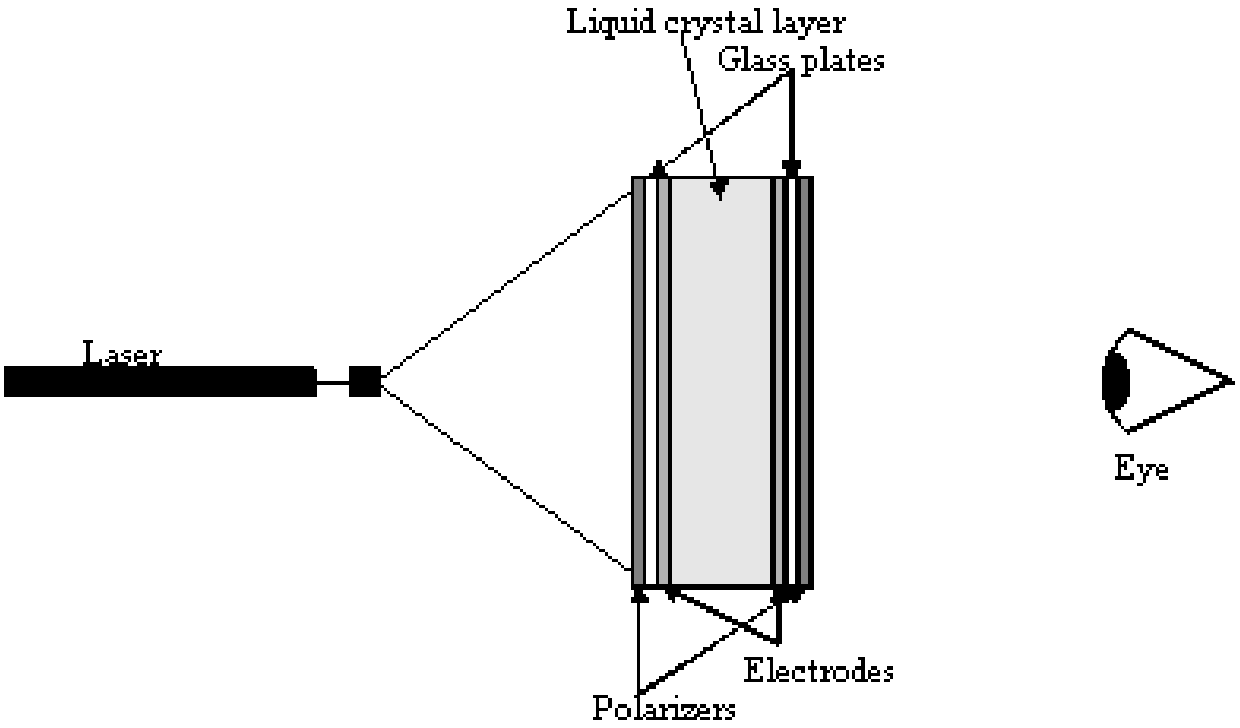
La produzione industriale in grande scala di questo tipo di display iniziò intorno al 1971 e trovò come primo importante terreno di applicazione quello degli orologi digitali e delle calcolatrici tascabili.

Rispetto alle comuni lampadine elettriche a filamento presentano diversi vantaggi: **minor consumo di corrente**, maggiore affidabilità, minori dimensioni, produzione di calore molto limitata, ecc.

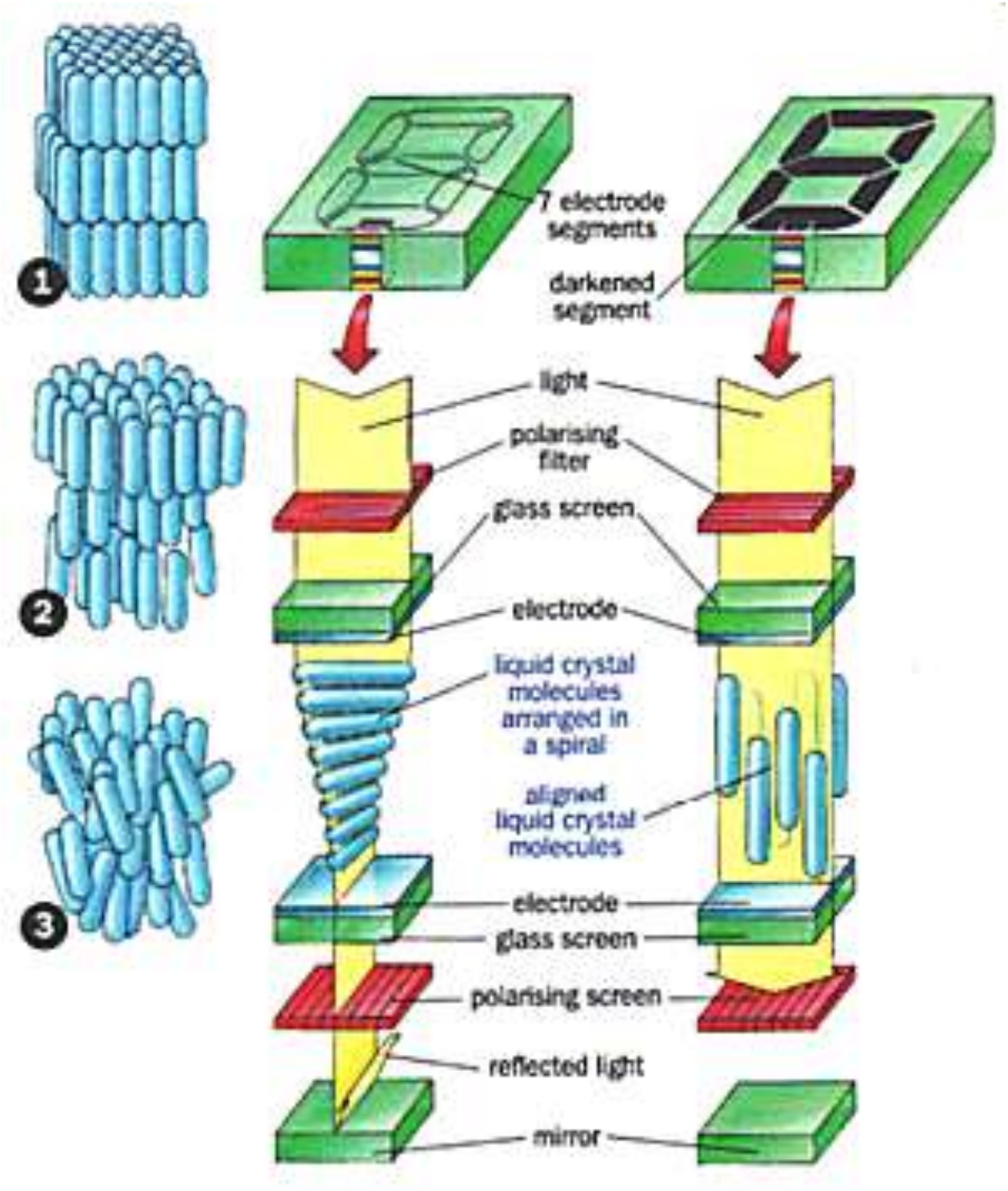
Display a cristalli liquidi

Fig. Display a cristalli liquidi.

Questo tipo di display è stato inventato dall'americano G.H. Heilmeier **nel 1968**, ma per molto tempo non è stato sfruttato. In seguito, l'invenzione è stata progressivamente perfezionata in **Giappone dalla Hitachi** fino ad arrivare alla realizzazione di schermi da utilizzare nei computer portatili a batteria. Questo dispositivo è caratterizzato da un consumo di corrente molto basso (più basso di quello dei display a led).



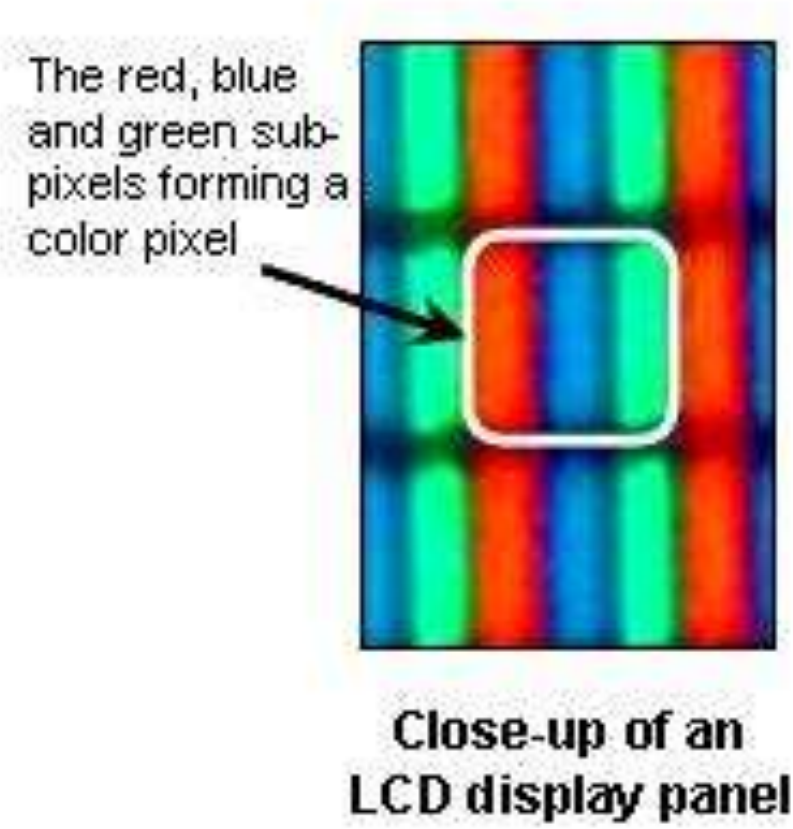
Il principio di funzionamento di questo dispositivo si basa sulla possibilità di orientare le molecole di una particolare sostanza liquide (il "cristallo liquido") mediante un campo elettrico. L'allineamento delle molecole permette poi di lasciare passare o non passare luce polarizzata. In tal modo il cristallo può apparire di colore chiaro oppure scuro.

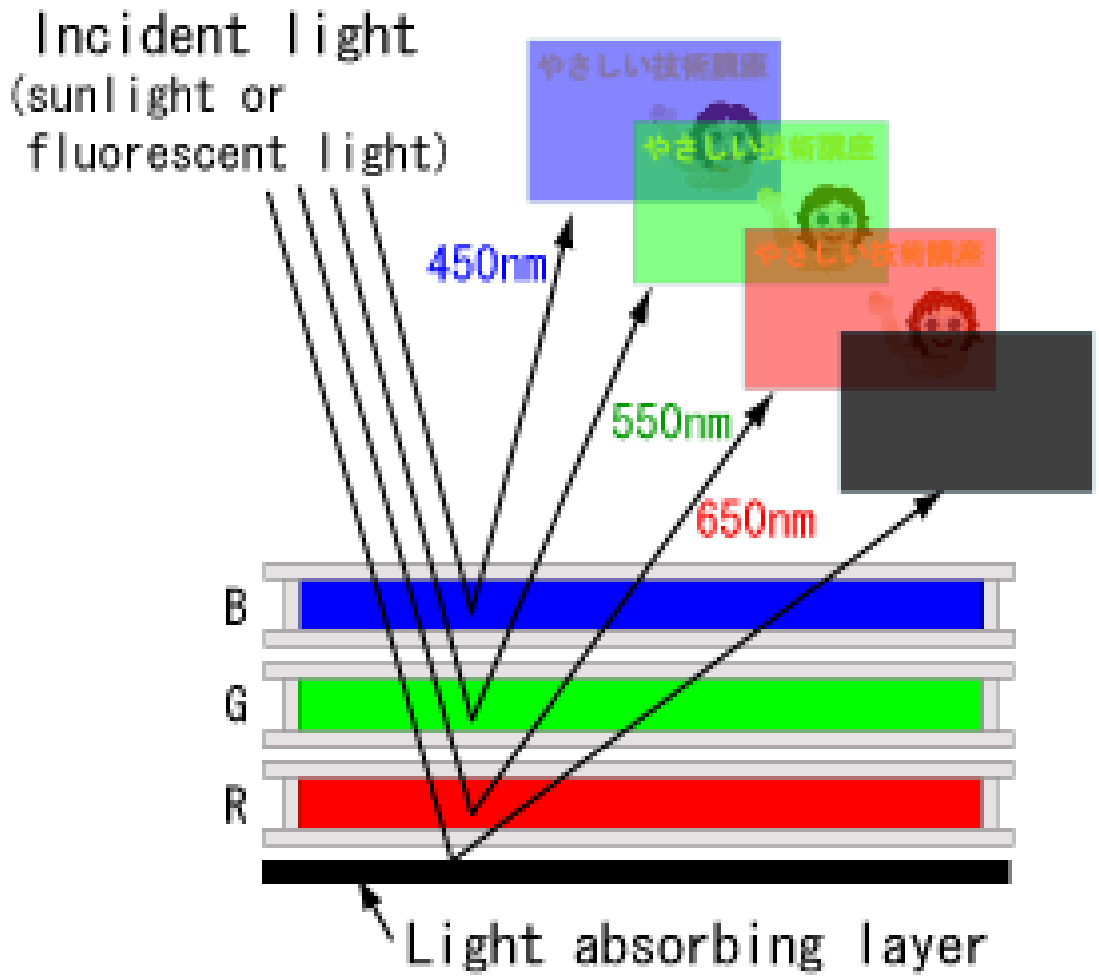


Per tale ragione, a partire dalla fine degli anni '70 la tecnologia dei cristalli liquidi ha progressivamente sostituito quella dei led nell'ambito degli orologi digitali, delle calcolatrici tascabili, ecc.

Un inconveniente dei primi display a cristalli liquidi era rappresentato dalla cattiva visibilità dei caratteri in ambienti poco illuminati o quando erano osservati da certe angolazioni.

Per questo motivo, i display sono stati perfezionati in modo da includere piccole sorgenti di luce che illuminano i caratteri rappresentati dai cristalli liquidi. Infine, dal **1988** è possibile realizzare con questa tecnologia anche **display LCD a colori**.




Incident light
(sunlight or
fluorescent light)
450nm
550nm
650nm
B
G
R
Light absorbing layer

5. Periferiche speciali per realtà virtuale

Fig. Casco e guanti speciali per realtà virtuale.

Lo sviluppo di unità di ingresso e uscita sempre più sofisticate è proseguito in tutti questi anni e nell'ambito delle ricerche sulla ***realtà virtuale***, da una ventina di anni si sperimentano dispositivi speciali in grado di **"immergere" l'utente in un ambiente artificiale** in grado di riprodurre diversi effetti percettivi della realtà come la visione tridimensionale e in grado di acquisire dall'utente informazioni come il movimento della mano o degli occhi.

Fig. Esperimenti di cloche per il computer Whirlwind (anni ’60)

I primi studi sulla **realtà virtuale** risalgono agli esperimenti realizzati nei **primi anni ’60** per la realizzazione di **simulatori di volo** per l’addestramento di piloti.

In particolare, le prime prove risalgono ai lavori con il computer Whirlwind.

Fig. Early head-mounted display device developed by Ivan Sutherland at Harvard University, *c.* 1967. **Courtesy of Ivan Sutherland**

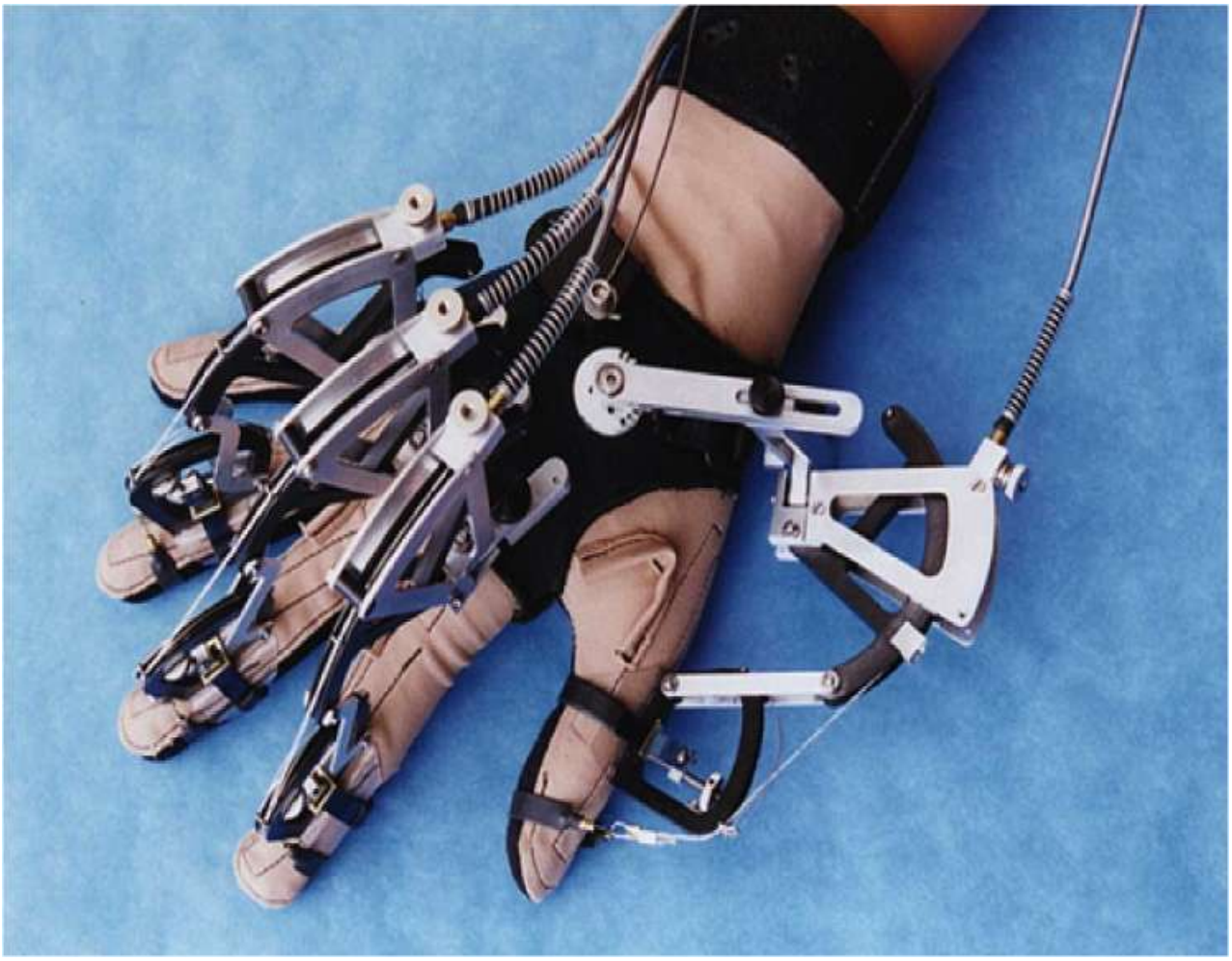
Uno dei pionieri della realtà virtuale fu **Ivan Sutherland** negli anni ’60, ma allora le tecnologie a disposizione erano molto più primitive di quelle oggi disponibili e i computer non erano dotati di potenza computazionale adeguata per fare simulazioni sufficientemente “vere”.

Un impulso indiretto per lo sviluppo di periferiche utili in questo campo è giunto anche dallo sviluppo dei **videogiochi a partire dagli anni ’70**.

Sebbene questi sistemi facciano parte del **software ludico**, hanno raggiunto un livello di sofisticazione straordinario grazie all’uso di computer sempre più potenti, all’uso di interfacce grafiche sempre più sofisticate e all’uso di dispositivi speciali per assicurare all’utenti effetti sempre più realistici.

Negli anni ’80 sono stati introdotti **caschi speciali per dare all’utente una visione in modo da simulare quella che si ottiene come in una ambiente reale**.

Anche l'uso di **guanti speciali ha permesso di dare all'utente sensazioni tattili** simili a quelle che si avrebbero manipolando oggetti reali.



In questo campo, le ricerche sono in piena evoluzione e per il futuro ci aspettano notevoli progressi.

NASA