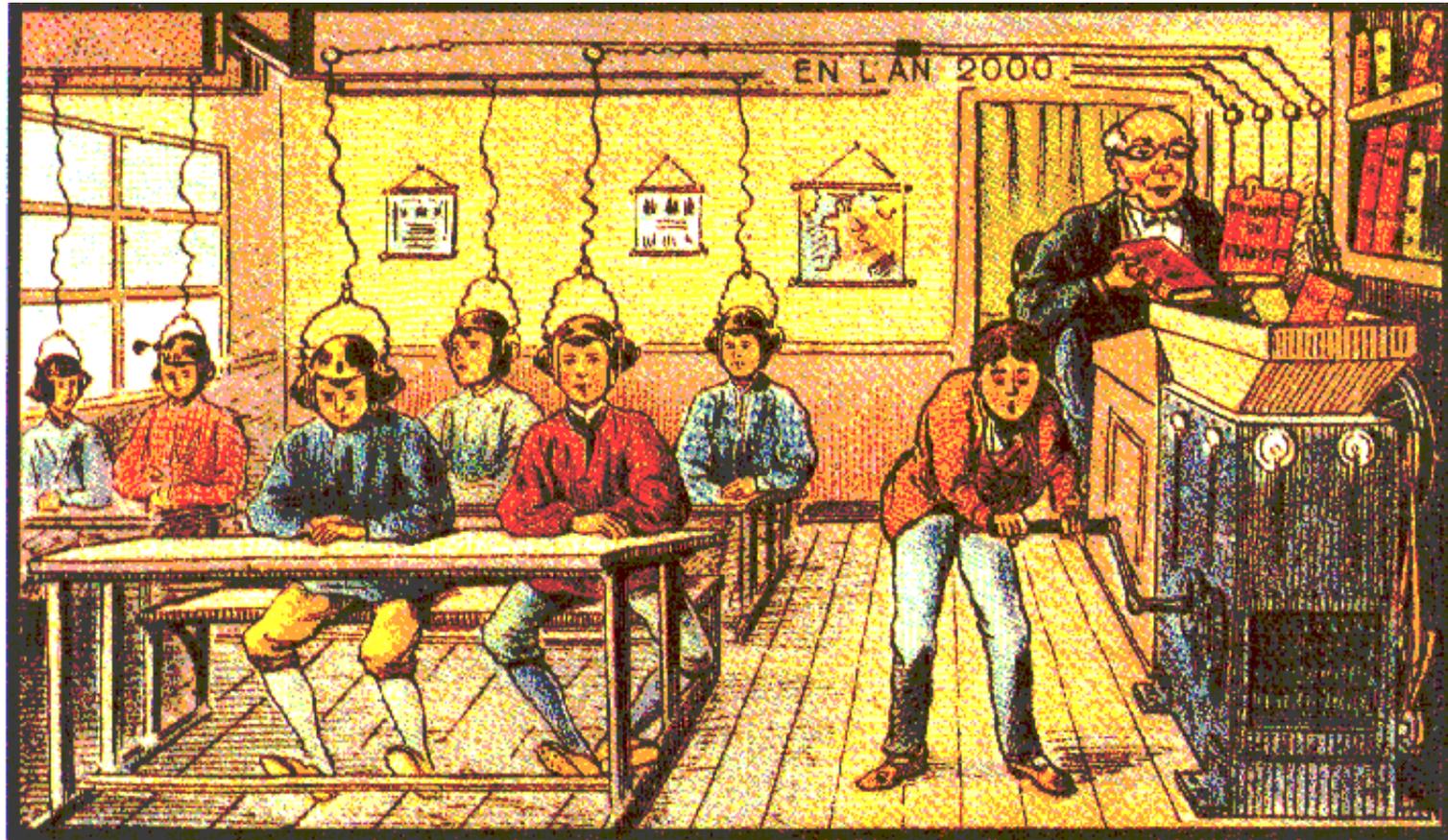


Architettura degli Elaboratori

CdL in Informatica
Università degli Studi di Bari

Corsi A, B e C

F.Tangorra,
S.Pizzutilo,
N.De Carolis



Cosa studieremo?

Concetti generali

Evoluzione storica dei calcolatori e delle architetture di calcolatori.

Struttura a livelli di un sistema di elaborazione. Concetto di macchina virtuale. Classific. delle architetture degli elaboratori.

Rappresentazione dell'informazione e aritmetica dei calcolatori

Sistema di numerazione binario, rappresentazione e operazioni con numeri relativi e numeri a virgola mobile. Codici binari: codici di caratteri; codici BCD; codici a rivelazione di errore; codici a correzione di errore; codici a lunghezza variabile. Le strutture di informazione.

Struttura di calcolatore

Memoria e Memoria di massa. Bus. Memoria cache. Unità di controllo e di calcolo. Ciclo d'istruzione.

Elaborazione delle eccezioni e loro classificazione.

Il linguaggio di macchina

Il formato di istruzioni. Codici operativi espandibili. I metodi di indirizzamento. Lo stack. La notazione polacca.

Algoritmi di trasformazione da notazione infissa a postfissa. Classi di istruzioni.

Il livello del linguaggio assembler

Assemblatori. Struttura del codice, pseudoistruzioni e macroistruzioni. Processo di assemblaggio.

Programmi collegatori e di caricamento.

Meccanismi di supporto al sistema operativo

Gestione della memoria. Partizioni fisse e variabili. Rilocazione dinamica. Memoria virtuale. Paginazione e segmentazione. Protezione. Accesso a risorse condivise.

Architetture avanzate

Architetture RISC non microprogrammate. Parallelismo temporale. Prefetching e pipeline. Confronto architetture RISC e CISC. Parallelismo fisico. Classificazione Flynn. Topologie macchine parallele.

Testo di riferimento

- A.S. Tanenbaum, "Architettura dei computer", UTET Libreria, 2000

Fonti bibliografiche:

Byte, Enciclopedia di Informatica, Jackson

Manuale di Informatica, G. Cioffi, V. FALZONE, Calderini

Corso di Sistemi Vol 1, A. De Santis, M. Cacciaglia, C. Saggese, Calderini

PC-Inside & Compatibili, P. Norton, Jackson

PC INTERACTIVE, sett. 1998

PC OPEN, apr. 1999

Dispense ed Esercizi per il personale Universitario, S. Pizzutilo, C. Caruso, A. Cinaglia, T. De Leonardis, M.

De Zio, A. Morano;

Dispense corso di Sistemi ... del cdl in Informatica e Comunicazione Digitale Prof.ssa Fanelli

Dispense corso di Architettura ... del cdl in Informatica prof. Tangorra

Dispense corso di Architettura... del cdl in Informatica prof.ssa De Carolis

Dispense corso di Architettura... del cdl in Informatica prof. Pizzutilo

A.S. Tanenbaum, "Architettura dei computer", UTET Libreria, 2000

M.De Blasi "Architettura degli Elaboratori Elettronici" ed. Adriatica

Le prime **macchine da calcolo**: *Pascal, Leibniz, Babbage*

Primo supporto conosciuto al calcolo manuale risale agli antichi Romani: l'*abacus*.

I termini "calcolare" e "calcolatore" derivano dal latino "*calculi*", le file di sassolini di un abaco.

Nel 1600 furono realizzati supporti meno primitivi.

Whilhelm Schikard (1592-1635), Blaise Pascal (1623-1662) e Whilhelm Leibniz (1646-1716)

costruirono macchine - simili nella sostanza - che consentivano di eseguire le **4 operazioni** fondamentali mediante un semplice **meccanismo di ruote dentate**.

Il Computer: generalità

E' una macchina in grado di elaborare informazione

Elabora e memorizza *informazioni*, rappresentate in un formato **digitale** detto **binario**, sulla base di istruzioni in esso memorizzate.

Un insieme di tali istruzioni e' detto *programma*.

Caratteristica Fondamentale: **programmabilità**

è possibile cambiare il tipo di elaborazione svolta dalla macchina (e quindi la sua funzione) cambiando il programma contenuto nella macchina.

Computer:

- legge informazioni di ingresso (dati di input)
- elabora tali informazioni in base ad un insieme di istruzioni (programma)
- restituisce le informazioni così trasformate (dati di output)

Tappe principali Sviluppo del calcolatore Digitale Moderno

NB. Quasi tutta l'evoluzione ha avuto luogo negli ultimi 50 anni

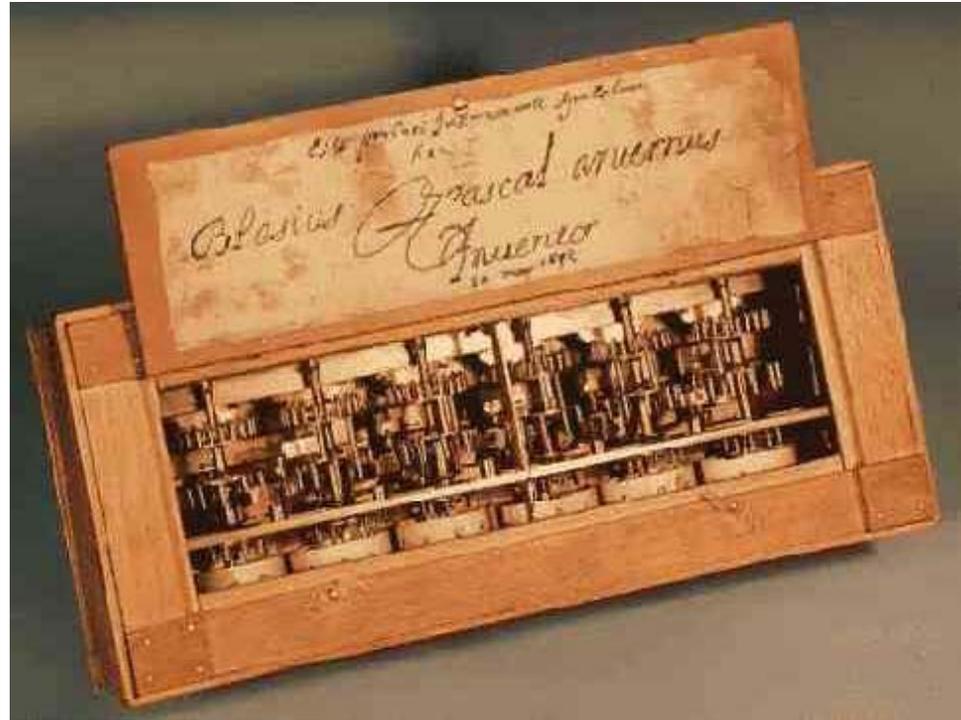
Anno	Nome	Costruttore	Commenti
1834	Analytical Engine	Babbage	Primo tentativo di costruire un calcolatore digitale programmabile
1936	Z1	Zuse	Primo calc, funzionante a Rele'
1943	Colossus	Governo Britannico	Primo calc. Elettronico
1944	Mark I	Aiken	Primo calc. Americano general-purpose
1946	ENIAC I	ECKERT/MAUCHLEY	Inizia la storia dei calcolatori moderni
1949	EDSAC	Wilkes	Primo calc. Con programma in memoria
1951	Whirlwind I	MIT	Primo calc in tempo reale
1952	IAS	Von Neumann	I calc attuali usano questa struttura
1960	PDP-1	DEC	Primo minicalcolatore (venduto)
1961	1401	IBM	Calc di successo per applicazioni commerciali
1962	7094	IBM	Usato x il calcolo scientifico
1963	B5000	Burroughs	Progettata per linguaggi alto livello
1964	360	IBM	Prima "famiglia" di calcolatori
1964	6600	CDC	Primo supercomputer scrintifico
1965	PDP-8	DEC	Primo minicomputer di massa
1970	PDP-11	DEC	Domina il mercato dei minicomputer anni '70
1974	8080	Intel	Primo computer general-purpose a 8-bit su un solo chip
1974	CRAY-1	Cray	Primo supercomputer vettoriale
1978	VAX	DEC	Primo super-mini computer
1981	IBM PC	IBM	Inizia l'era moderna dei PC
1985	MIPS	MIPS	Prima macchina RISC commerciale
1987	SPARC	Sun	Prima workstation RISC basata su SPARC
1990	RS6000	IBM	Primo calcolatore superscalare

1642: **PASCAL** costruisce la **PASCALINA**

macchina metallica in grado di eseguire **addizione** e **sottrazione** automaticamente.

Il meccanismo consisteva di due file di dischi combinatori dentati, collegati orizzontalmente e verticalmente.

ogni disco poteva essere ruotato di 10 posizioni: una rotazione completa causava, per trasmissione, la rotazione di una posizione del disco adiacente a sinistra, realizzando così il meccanismo del riporto.



1673: Macchina calcolatrice di **Leibniz**

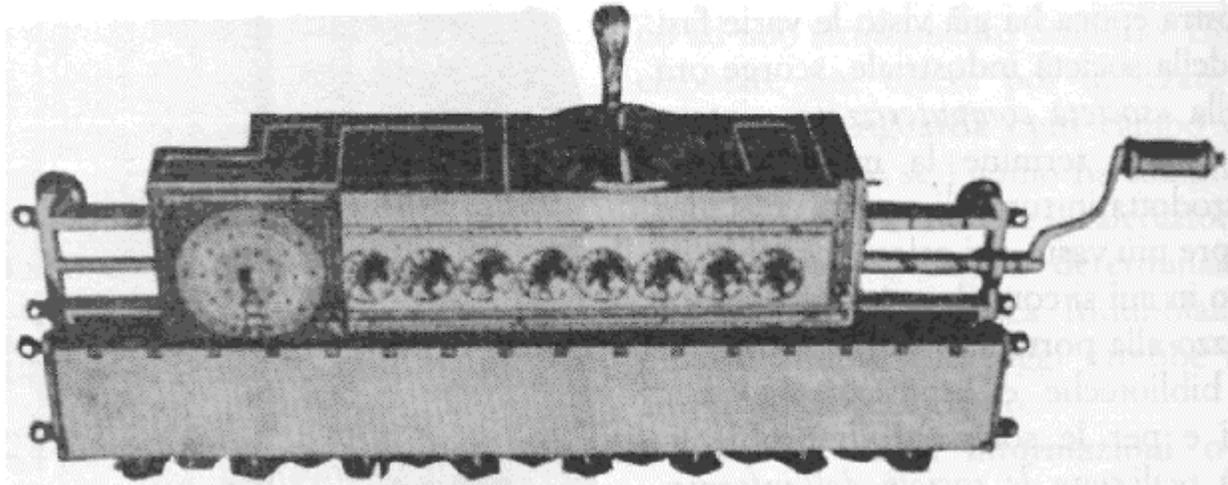
addizioni, sottrazioni, **moltiplicazioni** e **divisioni**.

Leibniz diede quattro grandi contributi nel campo del calcolo automatico:

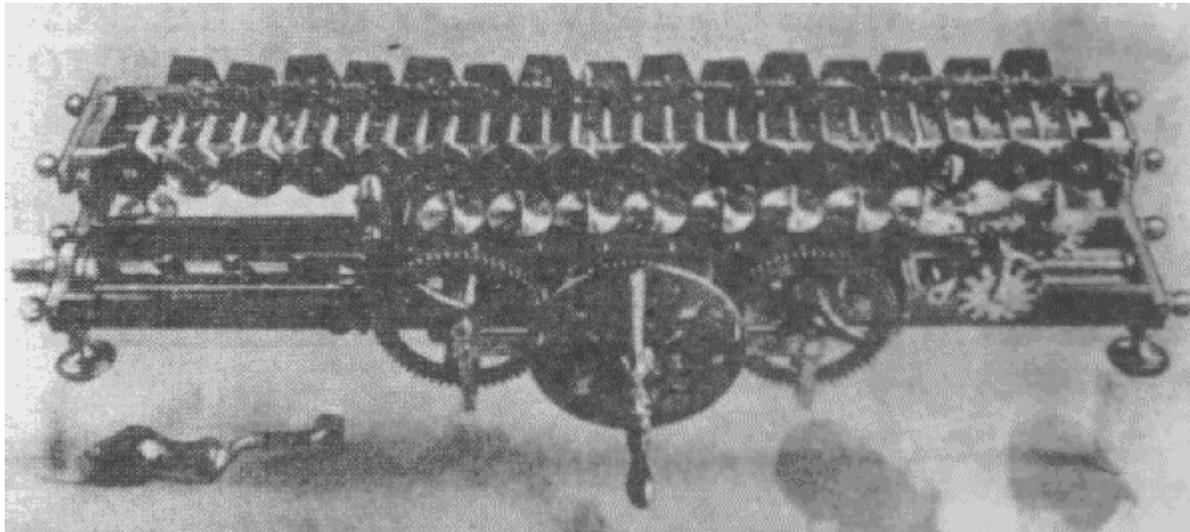
- l'avvio della logica formale
- la costruzione di una macchina da calcolo
- la comprensione del carattere disumano del calcolo e l'opportunità, nonché la capacità, di automatizzare questo lavoro;
- l'idea di utilizzare le macchine da calcolo per verificare le ipotesi.

Realizzò una calcolatrice escogitando un organo, **traspositore**, che permetteva di accumulare più volte nel totalizzatore le medesime cifre, senza aver bisogno di impostarle ogni volta, così da facilitare l'operazione di moltiplicazione, per mezzo di somme successive, e di divisione, per mezzo di sottrazioni successive.

Il traspositore detto *Cilindro di Leibniz* era un pignone a denti di lunghezza proporzionata alle dieci cifre.



Cilindro di Leibniz



1700

Giovanni Poleni

(Professore dell'Università di Padova)

Realizzò una calcolatrice su un diverso tipo di traspositore che aveva la possibilità di presentare un numero di denti variabile in relazione alla cifra di rappresentare.

1° Calcolatore Italiano

1838: Babbage

Finanziato dal governo britannico -> **Difference Engine**
in grado di calcolare con il metodo delle **differenze finite**
i valori di un polinomio di terzo grado.

La **Difference Engine**, una volta attivata ed impostata con i valori iniziali, proseguiva i suoi calcoli automaticamente, grazie ad un motore a vapore!!!

CARATTERISTICA:

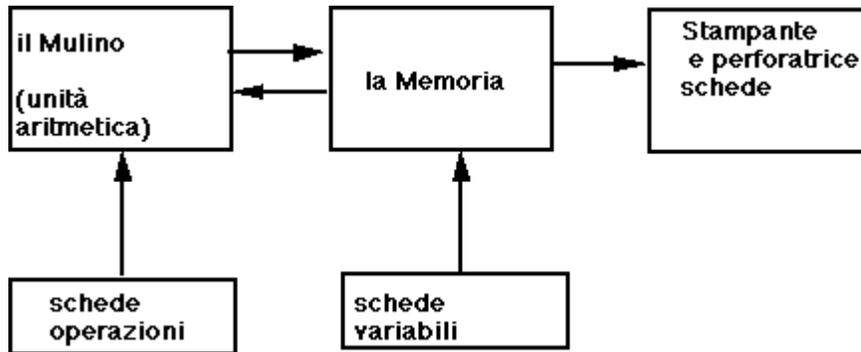
Algoritmo Fisso (differenze finite)

Output-> perforava i risultati su una piastra di rame per mezzo di un dado di acciaio (precursore dei supporti *write once* come i CD-ROM).

1834: Babbage - **La macchina Analitica**

La **Macchina Analitica** - tecnologia a vapore a parte- presenta importanti similitudini con le moderne macchine elettroniche.

Primo esempio di macchina a programma registrato:
applicando al calcolo automatico l'idea della **carta perforata** ideato da Jacquard (1805) per automatizzare la realizzazione di orditi nell'industria tessile,
Babbage dotò la sua macchina della capacità di eseguire sequenze di calcoli preregistrate su **schede perforate**
(il principio di funzionamento é di consentire o meno il collegamento fra ingranaggi disponendo opportunamente dei fori sulle schede).



La **Macchina Analitica** consisteva di

- una unità di calcolo, detta Mulino (Mill)
- una memoria, costituita da una pila di registri in cui venivano memorizzati dati e risultati intermedi.

Ogni **scheda-operazioni** specifica (ed attiva) uno fra quattro dispositivi aritmetici, corrispondenti alle **4 operazioni**.

Le **schede-variabili** specificano le locazioni di memoria da usare per una specifica operazione, cioè i registri sorgente contenenti gli operandi, ed il registro destinazione su cui memorizzare il risultato.

Vantaggio: era indipendente dall'applicazione, leggeva le istruzioni dalle schede perforate e le eseguiva.

1.a macchina Programmabile ->

ADA Lovelace (figlia di Lord Byron)

1.a programmatrice del mondo!

Idea di *loop* e di *subroutine*

il linguaggio di programmazione ADA

ha preso il nome da lei!

I/O su schede perforate

I calcolatori meccanici soffrivano di **due limitazioni:**

- la **velocità di calcolo** era limitata dall'inerzia delle parti mobili
- la **trasmissione** dell'informazione meccanica (ingranaggi, leve, ecc.) é lenta, complessa, e poco affidabile.



1930 :

Konrad Zuse in Germania e Howard Aiken negli Stati Uniti costruirono due macchine molto simili alla Macchina Analitica di Babbage, utilizzando tecnologia **elettromeccanica**.

Zuse costruì, nel salotto di casa sua, lo **Z-1**:
il primo computer elettromeccanico a relè.

Aiken: **Mark I**, versione a relè della macchina di Babbage
la memoria aveva una capacità di 72 numeri decimali di 23 cifre ciascuno.

Le schede perforate erano di un solo tipo, ed avevano il formato:

A1 A2 OP

dove OP é l'operazione da effettuare, A1 ed A2 sono i registri contenenti i dati su cui operare (registri operandi) .

Il risultato veniva poi memorizzato su A2.

I Generazione elaboratori elettronici (1945-1955) -

Valvole Termoioniche

ENIGMA: codifica dei messaggi bellici

COLOSSUS (inglese):

Turing aiutò a progettare questa macchina per decifrare messaggi bellici codificati con ENIGMA.

1° calcolatore digitale del mondo.

ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)

costruito nell'Università della Pennsylvania inizio anni '40

J. P. Eckert e J. W. Mauchly

necessità di tipo logistico-militare: automatizzare il calcolo delle tavole balistiche per l'esercito americano.

Pesava 30 tonnellate, e conteneva oltre 18.000 **valvole termoioniche**.

Grazie all'uso della tecnologia elettronica, ENIAC era molto più veloce del suo predecessore Mark I.

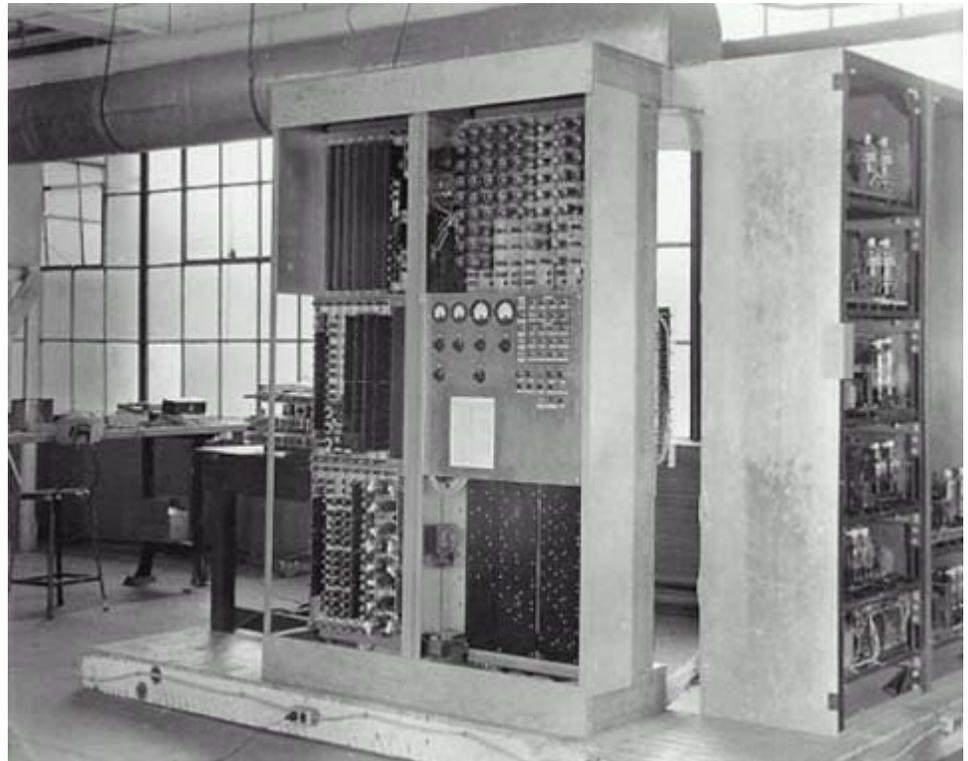
Una moltiplicazione a 10 cifre richiedeva 3 ms anziché 3 secondi!!

EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer - 1950)

Successore ENIAC ->

primo progetto di calcolatore elettronico a **programma memorizzato**

(idea di VonNeumann):
derivato dall'ENIAC, esso
ne perfeziona il concetto di
programmabilità, in quanto i
programmi - anzichè essere
inseriti dall'esterno - sono
incorporati nella memoria
della macchina.



Un'altra importante differenza consisteva nell'utilizzo del **codice binario** per la rappresentazione dell'informazione.

IAS - Macchina di Von Neumann

VonNeumann era un grande matematico ed esperto di logica:

importante definire le funzioni logiche di un computer, piuttosto che concentrarsi sugli aspetti elettromeccanici.

Il suo contributo si basa su due intuizioni fondamentali:

- separare le funzioni di controllo dell'elaborazione dalle funzioni di esecuzione
- prevedere moduli hardware specifici per ognuna delle funzioni logiche fondamentali:

controllo
esecuzione
memorizzazione
comunicazione

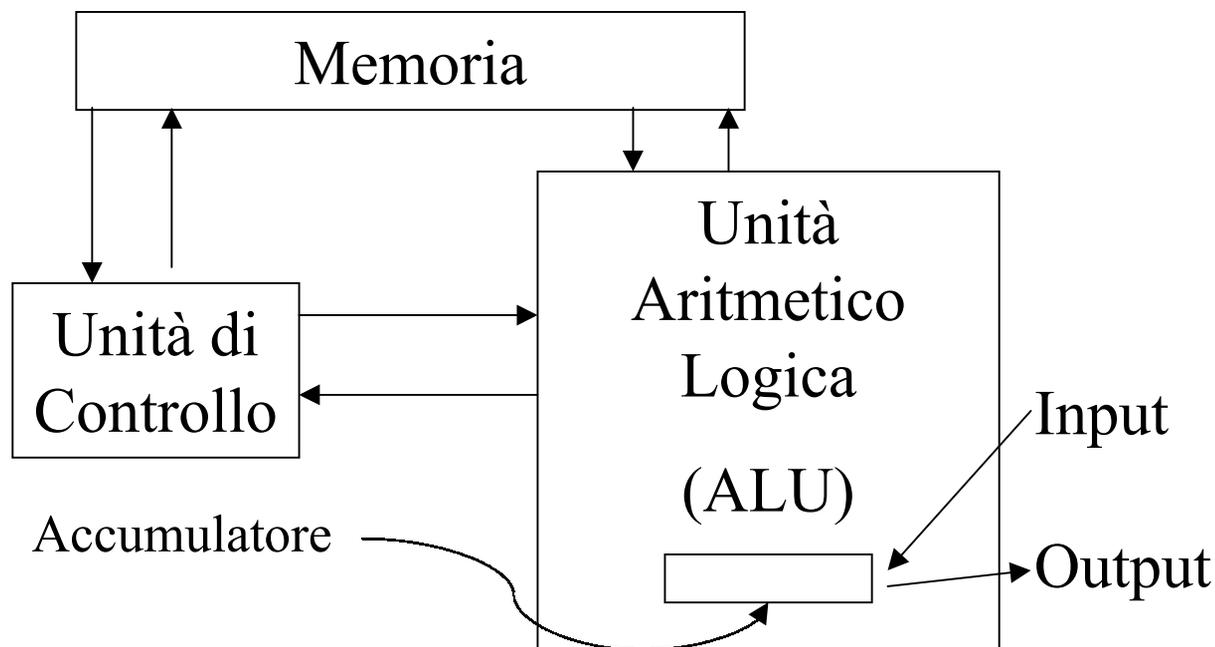
Formato Istruzione 20 bit

OPCODE

Indirizzo

8

12



Limiti calcolatori della prima generazione

Hardware:

la scarsa capacità di memorizzazione e la bassa velocità erano un forte limite alla complessità dei problemi risolvibili.

Software:

- non esistevano linguaggi di "alto livello", ed occorreva programmare in codice binario
- non si potevano utilizzare variabili
- mancava il concetto di "ciclo" e gli strumenti software per supportarlo
- mancava qualsiasi tipo di supporto alla programmazione ed alla strutturazione dei programmi (sistemi operativi, librerie,..)
- l'unità di calcolo era poco orientata alla soluzione di problemi non numerici

1a generazione.

IAS, e le macchine costruite nello stesso periodo, note come calcolatori della prima generazione, avevano alcuni importanti limiti.

Dal punto di vista dell'hardware, la scarsa capacità di memorizzazione e la bassa velocità erano un forte limite alla complessità dei problemi risolvibili.

Dal punto di vista software, esistevano molte limitazioni, che rendevano il processo di programmazione complesso e tedioso:

- non esistevano linguaggi di "alto livello", ed occorreva programmare in codice binario
- non si potevano utilizzare variabili
- mancava il concetto di "ciclo" e gli strumenti software per supportarlo
- mancava qualsiasi tipo di supporto alla programmazione ed alla strutturazione dei programmi (sistemi operativi, librerie,..)
- l'unità di calcolo era poco orientata alla soluzione di problemi non numerici

2a generazione - I transistors (1955-65)

Bardeen Brattain e Shockley (che nel 1956 presero il Nobel) il 22 giugno 1948 presentarono il **transistor**, primo passo verso la miniaturizzazione.

Vantaggi:

- l'hardware del computer diventava meno ingombrante;
- consumava di meno
- notevolmente più veloce
- le valvole avevano un tempo limitato di sopravvivenza;
- i transistor duravano mediamente 100 volte di più
- meno manutenzione.

La Bell costruì, nel 1955, il primo elaboratore a transistor: il **TRADIC**.

Il primo computer commerciale a transistor uscì due anni più tardi (nel 1957) ed era il **2002** della Siemens.

SISTEMI Commerciali

IBM (1953) domina fino agli anni '80

- IBM 701(1953)

Memoria: 2k word di 36 bit
2 istruzioni per word

- IBM 704 (1956)

Memoria: 4k word di 36 bit
Istruzioni a 36 bit
Hardware floating-point

- IBM 709 (1958)

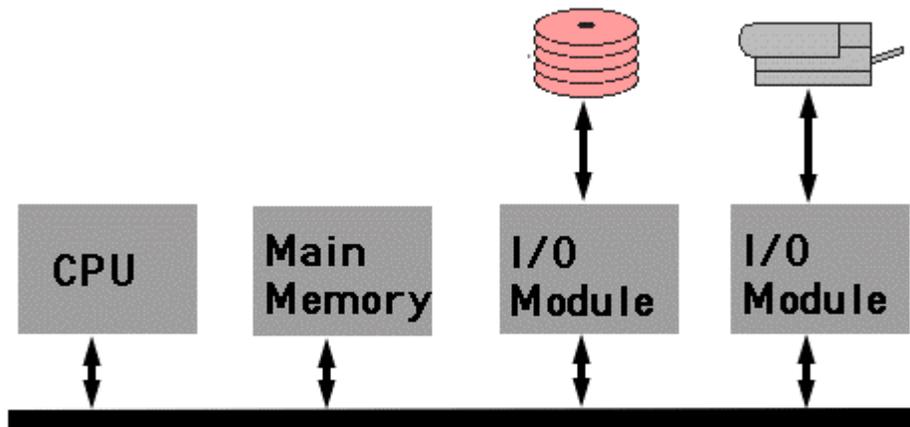
704 potenziato - ultima macchina IBM a valvole

Un ingegnere fonda con il fratello ed un amico una società per la produzione di mini-elaboratori con 70.000 dollari presi in prestito. La società fu battezzata Digital Equipment Corporation, **DEC**.

DEC produce il **PDP-I**, che ebbe grande successo.

Il diretto successore di questo mini-computer fu il **PDP-8**, sul quale si cimentarono per la prima volta numerosi studenti americani.

Il PDP-8 introduceva una novità fondamentale: un bus singolo



Bus: insieme di fili usato per collegare i componenti di un calcolatore.

Omnibus PDP-8

- Architettura incentrata sull'I/O
- Possibilità di connettere qualsiasi periferica
- ! 50.000 esemplari

Nel frattempo IBM ...

MAINFRAME: grossi calcolatori per applicazioni scientifiche,
militari e PA

- IBM 7090

- versione a transistor del 709
- memoria: 32k word a 36 bit
- domina il mercato fino agli anni '70
- costa milioni di \$ -> pochi esemplari

Piccoli sistemi: per medie aziende o di appoggio ai mainframe

- IBM 1401

- memoria: 4k word a 36 bit
- orientata a caratteri
- istruzioni per la manipolazione di stringhe

SUPERCOMPUTER

- Macchine molto potenti dedicate al *number crunching*
 - 10 volte piu' veloci del 7090
 - architettura molto sofisticata
 - parallelismo interno della CPU
 - nicchia di mercato molto specifica

CDC 6600 (1964)

3a Generazione - "Il circuito integrato" (1965-80)

1958 Kilby (Texas Instruments) costruì il primo circuito integrato: un'intera unità elettronica avente funzione di transistor, di diodi, di condensatori, di resistenze, etc., il tutto all'interno di una piastrina di silicio.

notevole passo avanti nella miniaturizzazione.

Anni '60: SSI "Small Scale Integration";

Anni '70: LSI "Large Scale Integration"

Anni '80: VLSI "Very Large Scale Integration" -> inizio 4a gen.

procedimento chiamato fotolitografia, che consisteva nell'incidere in una piastrina di silicio (chip) i transistor con i suoi collegamenti e questi ultimi restavano più resistenti rispetto all'utilizzo del metodo precedente.

Caratteristiche:

- un'ulteriore riduzione dimensione dei calcolatori
- un aumento delle prestazioni.

Evoluzione HW

- microprogrammazione
- unità veloci floating-point
- processori ausiliari dedicati alla gestione I/O

Evoluzione SO

- virtualizzazione risorse
- multiprogrammazione
- memoria virtuale: rimuove le limitazioni dovute alle dimensioni fisiche della memoria

Serie IBM System/360

Il primo computer ad utilizzare i circuiti integrati.

L'**IBM** introduce una *famiglia* di elaboratori (passo decisivo)

- Serie **IBM System/360**
- Macchine con lo stesso linguaggio
- Range di prestazioni (e prezzo) 1-20
- *Completa compatibilità*
- Portabilità totale delle applicazioni
- Sistema Operativo comune **OS/360**

Serie DEC PDP-11 e UNIX

- Evoluzione diretta del **PDP-8**
- Parole di memoria e istruzioni a 16 bit
- Architettura a bus (Unibus)
- Grande flessibilità nella gestione e nell'interfacciamento di periferiche e strumentazione al bus
- Domina il mercato fino alla fine degli anni '70
- Prodotto in milioni di esemplari
- Diffusissimo nelle università
- Supporta il sistema operativo UNIX, indipendente dalla piattaforma
- Influenzerà un'intera generazione di progettisti e di utenti

IV Generazione: "Il microprocessore"

Nel 1971 l'Intel introdusse sul mercato il primo microprocessore: il 4004.

Nel 1975 iniziarono a comparire i primi rudimentali Personal computer (come l'Altair 8800, senza tastiera e senza monitor) grazie ai chip, che permisero di rimpiazzare le unità logiche della Terza Generazione, le quali costavano molto sia in termini di spazio che di prezzo.

In questa Generazione l'integrazione dei componenti in un chip aumentò passando da LSI (Large Scale Integration) a VLSI (Very Large Scale Integration): chip con più di 100000 componenti.

IL PC

- Diretto discendente del minicomputer:
 - Architettura a bus
 - Parole e istruzioni a 16 bit
- Nasce nel 1980 all' **IBM** (che dà così avvio alla propria decadenza)
- Esplosione del mercato dei 'cloni'
- Crollo dei costi ed enorme espansione dell'utenza
- Dai grandi *Centri di Elaborazione* a un contesto di *Informatica Distribuita*
- L'espansione del PC è trainata da tre fattori:
 - Aumento della capacità della CPU
 - Discesa dei costi della memoria
 - Discesa dei costi dei dischi

Tipologie di computer

- *Personal Computer*

- Sappiamo chi è

- *Server*

- Su rete locale o Web server

- Memorie fino a qualche Gbyte

- Molti Gbyte di disco

- Gestione di rete efficiente

- *COW (Cluster of workstations)*

- Sistema multiprocessore ad accoppiamento lasco

- Hardware di tipo standard: costi contenuti

- Strutture di connessione veloci – Elevata capacità di elaborazione complessiva

- *Mainframe*

- Diretti discendenti della serie 360

- Gestione efficiente dell'I/O

- Periferie a dischi di molti Tbyte

- Centinaia di terminali connessi

- Costi di parecchi miliardi

Perché sopravvivono?

- Gestiscono applicazioni *legacy*

- Costi di migrazione delle applicazioni molto superiori a quelli dell'HW

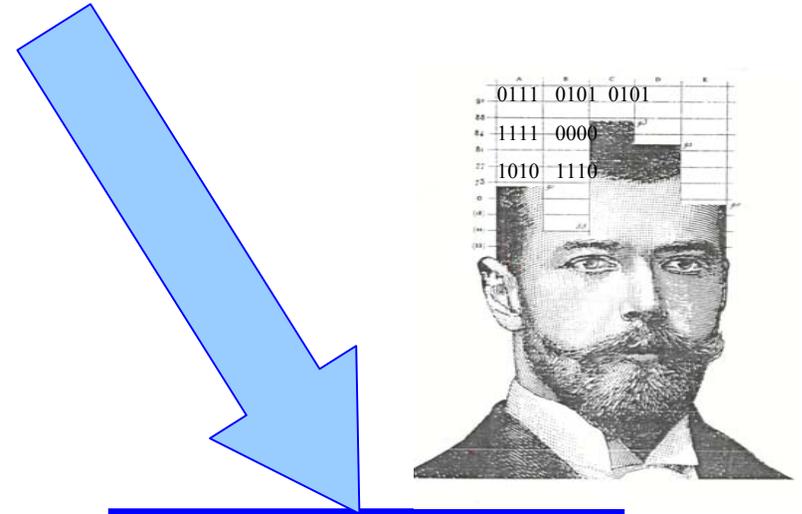
L'elettricità è utilizzata per trattare informazioni con due metodi



I metodi analogici

Basati sulla regolazione di proprietà della elettricità e sulla misura di variabili elettriche.

Immagazzinare e trasmettere informazioni convertendole in impulsi elettrici, tramite la scomposizione della fonte in porzioni molto piccole che conservano una "sostanziale analogia" con l'originale; modalità di trasmissione in cui i dati possono assumere valori che variano in modo continuo.



I metodi digitali

Sono basati sulla commutazione dell'elettricità (aperto/chiuso) e le variabili elettriche sono considerate in due soli stati possibili.
Valori discreti.

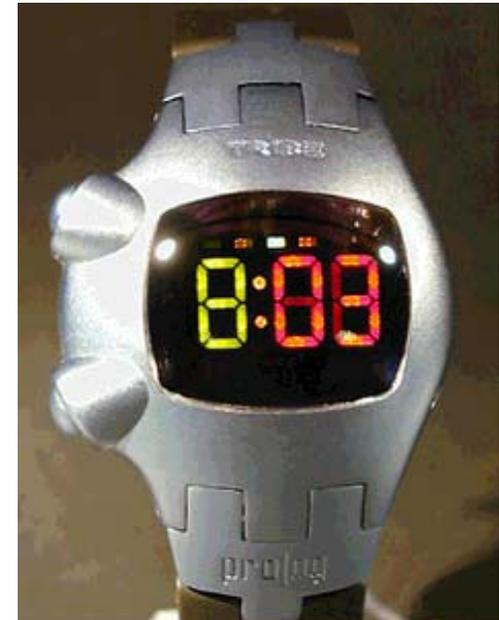
Esempio: l'orologio

analogico



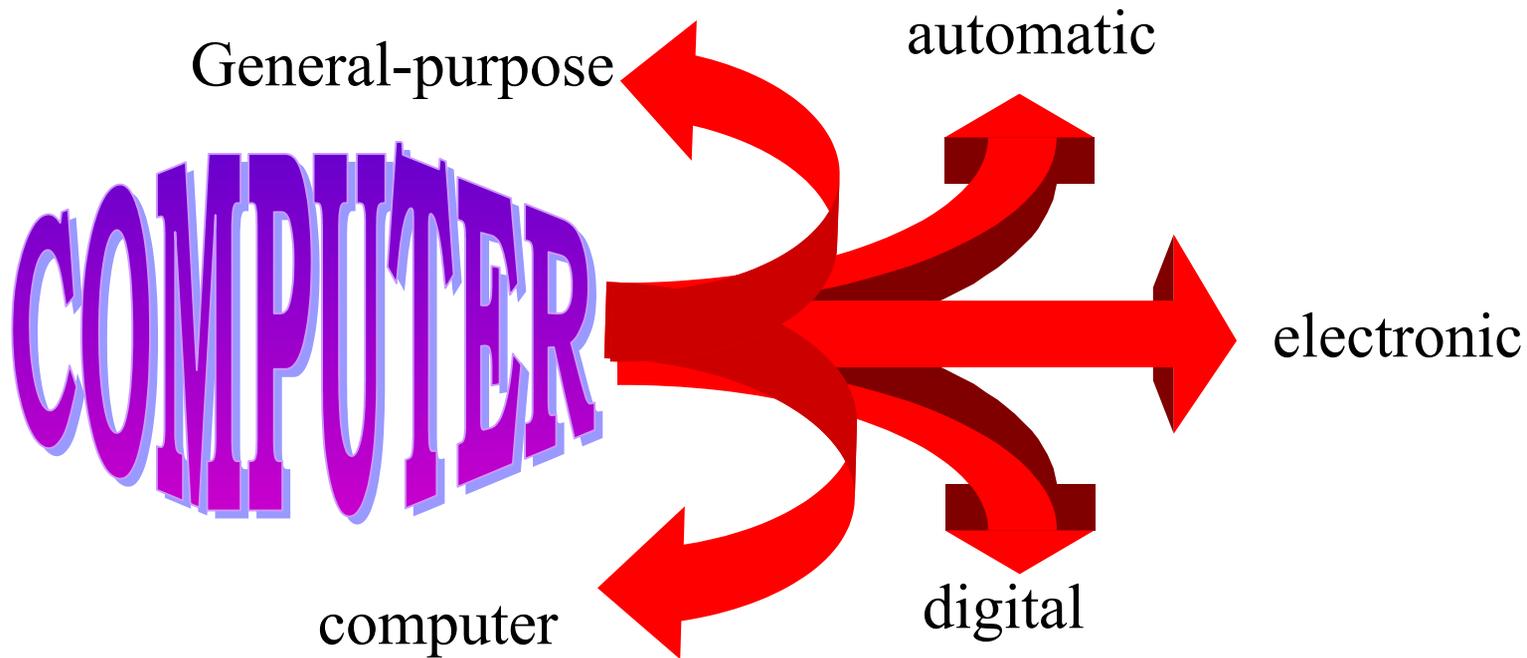
Lancette che girano continuamente: mostrano qualsiasi ora.

Puo' mostrare solo un numero finito di ore -- ad es: in funzione dei minuti



digitale

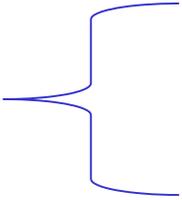
Il concetto di computer



Risolvere una equazione differenziale

Macchina analogica \longrightarrow 80 h

ENIAC (1946) \longrightarrow 1/2 h

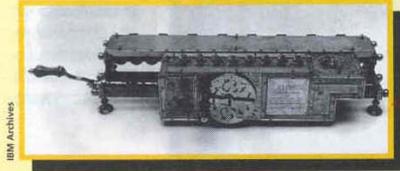
 28 min. per predisporre le connessioni ed i dati
2 min. per l'elaborazione

Calcolare 7 termini di una serie di potenza

15 min \longleftarrow Macchina analogica

15 min \longleftarrow ENIAC (1946)

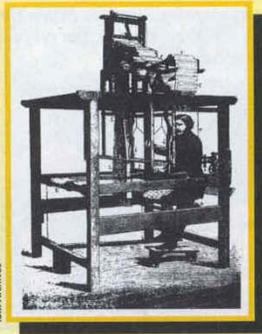
!!solo un secondo
per l'elaborazione



IBM Archives

1674 Gottfried Leibniz builds the "Stepped Reckoner," a calculator using a stepped cylindrical gear.

1801 A linked sequence of punched cards controls the weaving of patterns in Joseph-Marie Jacquard's loom.



IBM Archives

1774 Philipp-Matthaus Hahn builds and sells a small number of calculating machines precise to 12 digits.

1777 The third Earl of Stanhope invents a multiplying calculator.

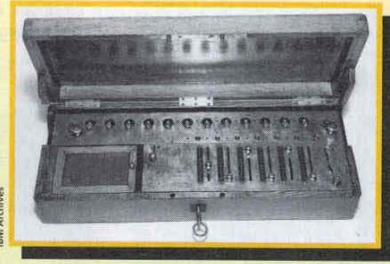
1786 J.H. Mueller envisions a "difference engine" but cannot get the funds to build it.

1674-1801



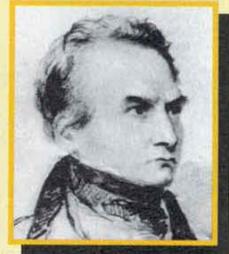
1811 Luddites destroy machinery that threatens to eliminate jobs.

1820 The Thomas Arithmometer, based on Leibniz' stepped-drum principle, is demonstrated to the French Academy of Science. It becomes the first mass-produced calculator and sells for many years.

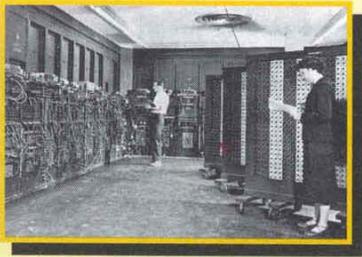


IBM Archives

1822 Charles Babbage begins to design and build the Difference Engine.



1811 — 1822



US Army Photo

1946 ENIAC, designed by J. Presper Eckert and John Mauchly, is unveiled at the University of Pennsylvania on February 14.

1946 Arthur Burks, Herman Goldstine, and John von Neumann write "Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument."

1946 The American Institute of Electrical Engineers establishes a Subcommittee on Large-Scale Calculating Devices—the origin of today's IEEE Computer Society.



Center for the History of Electrical Engineering

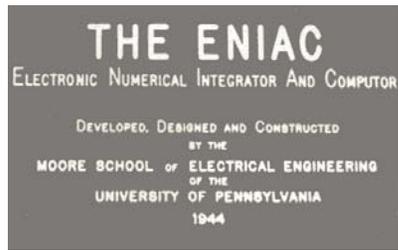
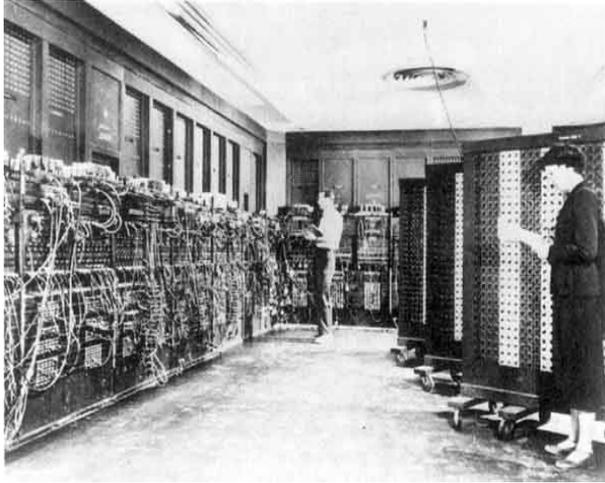


The Computer Museum

1946 Alan Turing publishes a report on his design for ACE (Automatic Computing Engine), featuring random extraction of information.

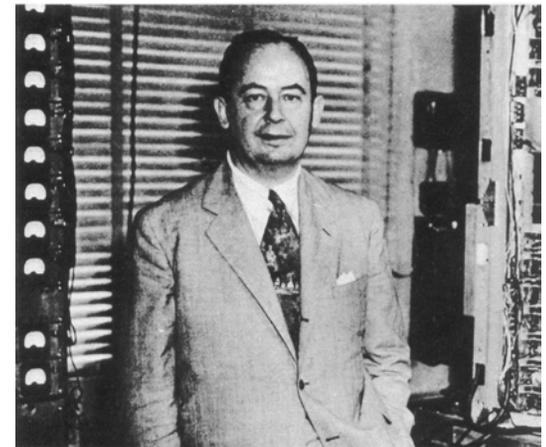
1946

- *Il calcolatore elettronico* -



*La storia del calcolo automatico ha origini molto antiche, basti pensare all'abaco. Nel 1946, presso l'Università della Pennsylvania fu costruito per scopi militari, il primo calcolatore elettronico: l'**ENIAC** - in grado di effettuare 400 moltiplicazioni al secondo, dotato di 18000 valvole termoioniche, che occupava una superficie di 200 mq e pesava oltre 35 t.*

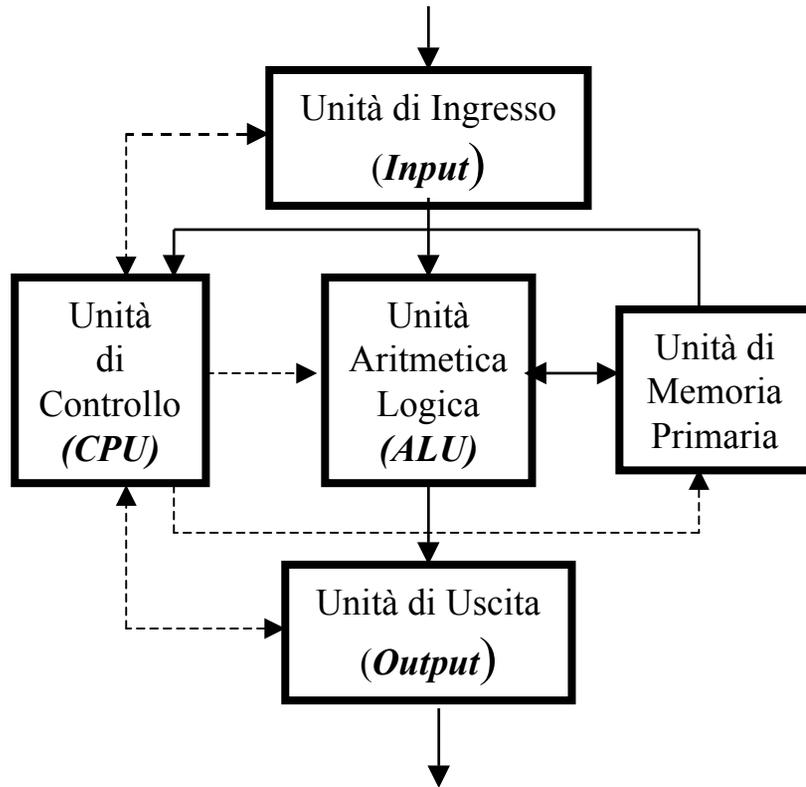
*Ma fu l'**EDVAC**, progettato dal matematico ungherese Von Neumann, il vero precursore dei moderni computer. Ancora oggi i moderni calcolatori conservano la stessa organizzazione logica del modello di Von Neumann.*



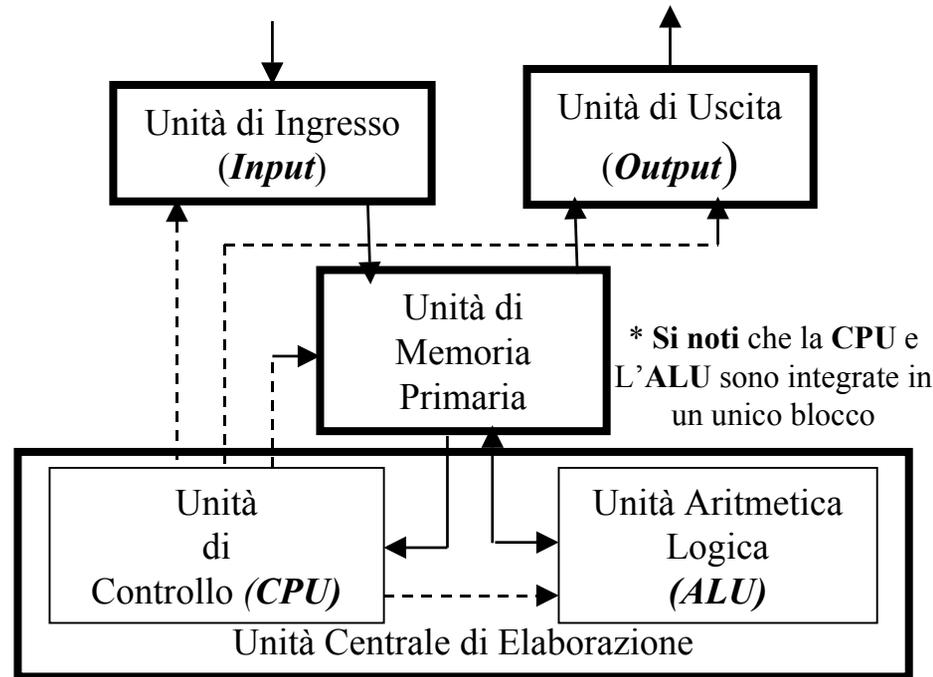
Il processo di elaborazione

(---- controllo; _____ dati e informazioni)

nella macchina base di Von Neumann,



Nei moderni computer



L'Unità Aritmetica Logica (ALU), esegue calcoli e operazioni logiche con i dati presenti nell'Unità di Memoria;
L'Unità di Controllo (CPU), controlla il funzionamento dell'ALU e sincronizza le comunicazioni tra i vari componenti del computer;

L'Unità di Memoria primaria o centrale, ospita in modo temporaneo i dati e le istruzioni (programmi);

Le Unità di Input e Output, passando per la CPU immettono dati nel sistema ed emettono i risultati;

Le Unità di Memoria Esterna o di Massa, permettono di archiviare dati ed istruzioni (programmi).