



# L'evoluzione dei calcolatori



## Cosa ha influito sull'evoluzione dei calcolatori

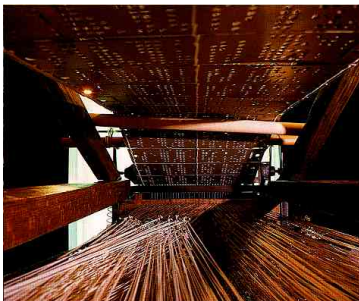
- Processori sempre più veloci
- Componenti sempre più piccoli → più vicini → elaborazione più veloce
  - Ma la velocità è derivata anche da nuove tecniche (pipeline, parallelismo, ecc.) che tengono occupato il processore il più possibile
- Memoria sempre più grande
- Capacità e velocità di I/O sempre maggiore
- Tecniche per bilanciare velocità diverse di processore e memoria
  - Memoria cache, ecc.

# A cosa servono i calcolatori?

- Ad eseguire compiti ripetitivi o complessi al posto dell'uomo
- Prime idee in campi anche diversi, dove c'era un lavoro ripetitivo che si voleva automatizzare

## La “preistoria”

1801, Joseph Marie Jacquard:  
telaio con schede perforate



1822, Charles Babbage:  
Analytic Engine: schede  
perforate per programmare  
e anche per immagazzinare  
dati; motore a vapore

1890, Hollerith desk:  
censimento USA; 3 anni invece di 7  
previsti; bucare schede basandosi  
sui buchi di altre schede

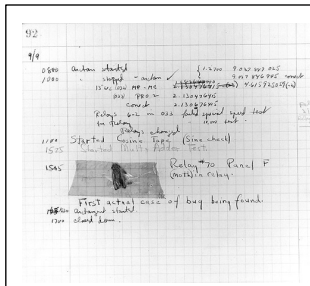


# Prima di *Von Neumann*

- 1911, Hollerith creò l'IBM (International Business Machines): schede perforate per molti utilizzi; calcolatori per inventari e conti economici (+ e - ; no moltiplicazioni; no numeri negativi)
- 1944, IBM e Harvard costruirono Mark I (calcoli balistici):



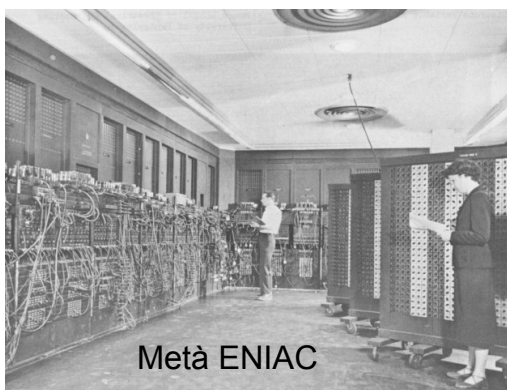
- programmabile, digitale, 5 tonnellate, 500 miglia di cavo, motore elettrico



Grace Hooper, programmatrice per Mark I: trovò un insetto (bug) dentro Mark I e inventò la parola "debugging"

# Prima di *Von Neumann*

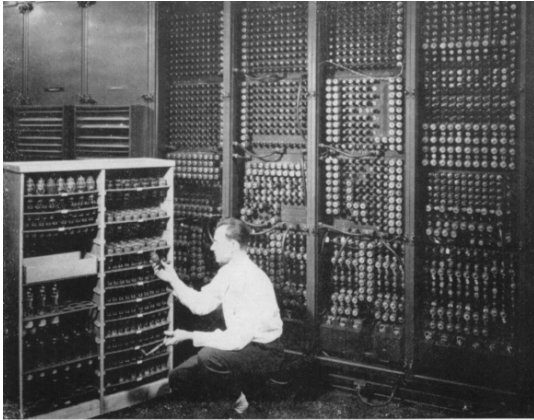
1941, Zuse machine: general purpose, programmabile, **numeri binari**, **unità aritmetica per fare i calcoli**, **memoria per immagazzinare numeri**, **sistema di controllo delle operazioni**, **dispositivi di input-output**



Metà ENIAC

1943, ENIAC (Prof. Mauchly e Prof. Eckert, Univ. Pennsylvania): soluzione di equazioni balistiche; tubi a vuoto; 30 tonnellate, 450 mq, 140 Kilowatt, 18000 tubi a vuoto, 5000 addizioni al secondo; numeri di 10 cifre, ogni cifra in un anello di 10 tubi a vuoto

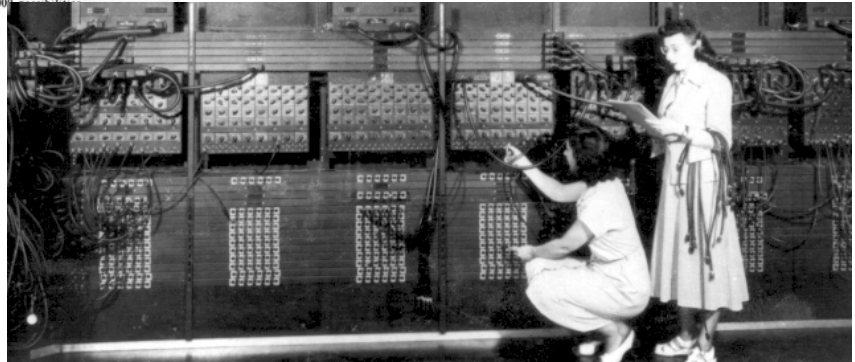
## Tubi a vuoto dell'ENIAC



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

## Programmare l'ENIAC

- Programmazione manuale: connettere e disconnettere cavi, impostare interruttori
- Giorni per riprogrammare



## Capacità di Mark I

- Numeri da 23 cifre
  - Somma, sottrazione in 3/10 di sec
  - Divisione in 10 sec
  - Nel 2000: somma in 1 bilionesimo di secondo!
- Solo 72 numeri memorizzati
- Oggi: decine di GB in una RAM e vari TB in un disco rigido
  - Calcolatori meccanici non potevano avere queste velocità

## Capacità ENIAC

- 20 numeri alla volta
- Molto più veloce di Mark I
  - Moltiplicazione: 6 sec su Mark I, 2.8/100 di sec su ENIAC
- Primo test ENIAC: 20 sec per un problema che richiedeva 40 ore su un calcolatore meccanico
- Primo lavoro: decidere se la bomba ad idrogeno era fattibile (6 settimane)

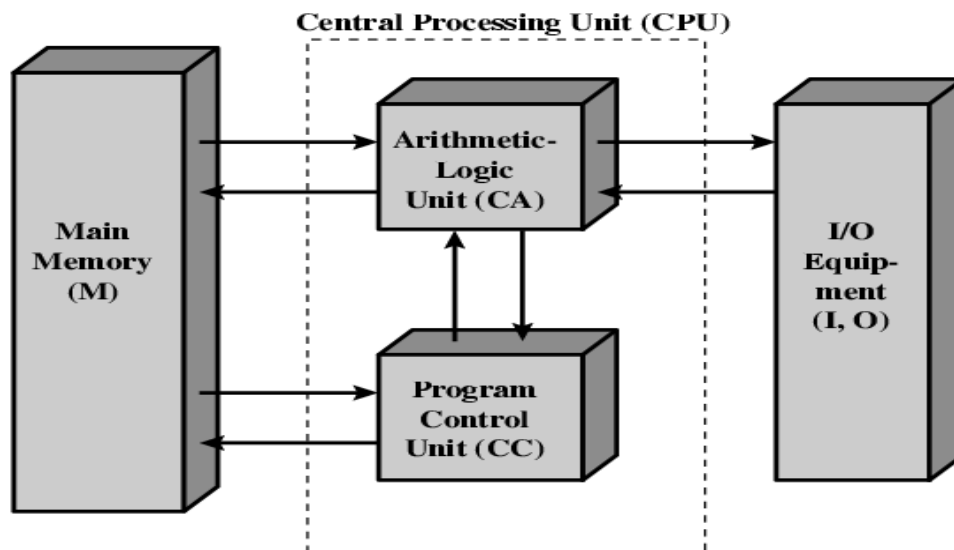
# Macchina di Von Neumann

- **Programma memorizzabile come i dati**
- Istruzioni in memoria: decidere il programma specificando una porzione di memoria
- Idea di John von Neumann (consulente ENIAC)
  - Insieme a Mauchly e Eckert
- Proposta di nuovo calcolatore (1945): EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer)
- Nuovo elaboratore completo nel 1952 (IAS, presso Institute for Advanced Studies, Princeton)

## Struttura della macchina di von Neumann

- Memoria, contiene dati e istruzioni
- Molte operazioni di aritmetica, quindi dispositivi specializzati per eseguirle → unità aritmetico-logica (dati binari)
- Organo centrale per il controllo della sequenza delle operazioni, generico → unità di controllo
- Organi di ingresso e uscita

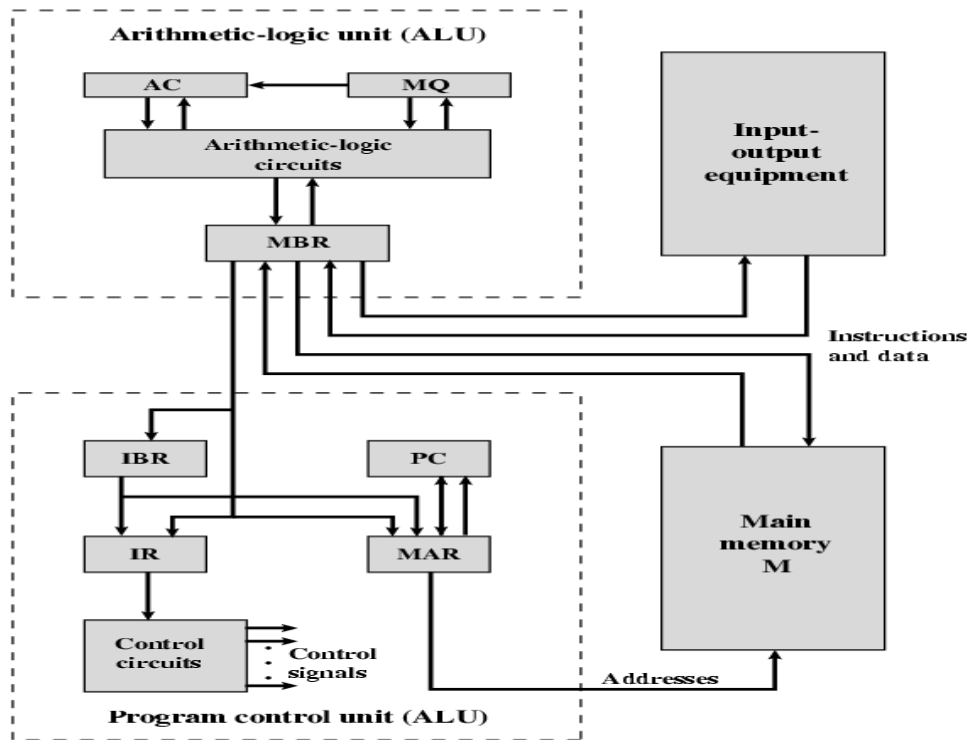
# Struttura della macchina di von Neumann



## IAS

- Memoria:
  - 1000 locazioni (parole), numerate da 0 a 999 (indirizzo)
  - Ogni parola: 40 cifre binarie (0 o 1, bit)
- Dati e istruzioni in memoria:
  - numeri in forma binaria: bit di segno + 39 bit per il numero
  - istruzioni con codice binario:
    - due in ogni parola
    - 8 bit per codice istruzione, 12 bit per indirizzo parola di memoria
- Unità di controllo: preleva le istruzioni dalla memoria e le esegue una alla volta

# Struttura IAS



## Registri IAS

- **MBR (memory buffer register)**
  - Contiene una parola da immagazzinare in memoria, o da leggere dalla memoria
- **MAR (memory address register)**
  - Contiene un indirizzo di una parola di memoria (dove scrivere il contenuto di MBR o da trasferire in MBR)
- **IR (instruction register)**
  - Contiene 8 bit per il codice operativo dell'istruzione in corso
- **IBR (instruction buffer register)**
  - Contiene temporaneamente l'istruzione destra di una parola
- **PC (program counter)**
  - Indirizzo della prossima coppia di istruzioni da prendere dalla memoria
- **AC (accumulator) e MQ (multiplier quotient)**
  - Temporaneamente, operandi e risultati parziali delle operazioni della ALU

# Ciclo della CPU

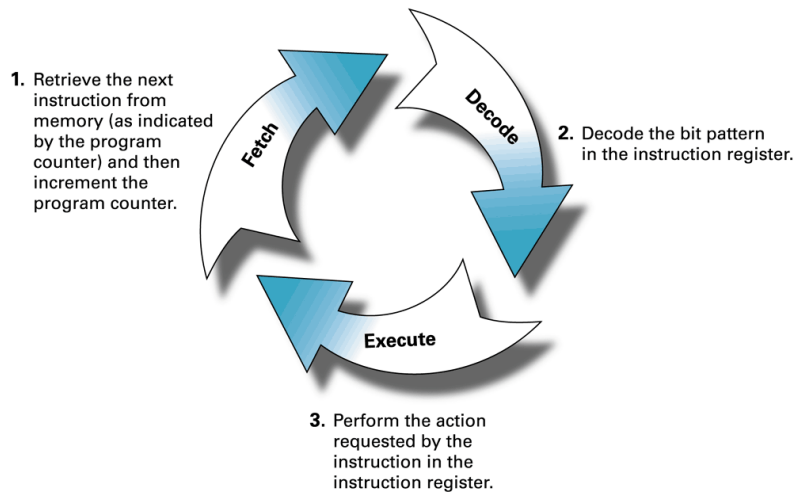
- La CPU esegue un programma memorizzato in memoria prendendo ad una ad una le istruzioni
- Ordine: quello in cui sono memorizzate

# Ciclo della CPU

- Prelievo dell'istruzione (fetch):
  - Istruzione letta da IBR o dalla memoria tramite MBR, IBR, IR e MAR
  - Carica il codice dell'istruzione successiva nell'IR e indirizzo in MAR
- Esecuzione dell'istruzione:
  - Attiva i circuiti necessari per l'operazione da eseguire



# Ciclo della CPU



## Istruzioni IAS

- 21 in totale
  - Trasferimento dati (dalla M ai registri ALU, o viceversa, o tra due registri ALU)
  - Salto incondizionato
  - Salto condizionato
  - Aritmetiche
  - Modifica di indirizzo
    - Inserisce indirizzi in istruzioni da mettere in M
- Primi 8 bit: uno dei 21 codici
- Successivi 12 bit: quale delle 1000 celle di M è coinvolta nell'istruzione

## Esempi di istruzioni IAS

- **LOAD MQ, M(X)**
  - Trasferisce il contenuto della cella di memoria di indirizzo X in MQ
- **STOR M(X)**
  - Trasferisce il contenuto dell'accumulatore nella locazione X della memoria
- **JUMP M(X,0:19)**
  - Carica l'istruzione dalla metà sinistra di M(X)
- **ADD M(X)**
  - Somma M(X) ad AC e mette il risultato in AC

## Calcolatori commerciali

- Anni '50, due aziende principali: Sperry e IBM
- Sperry: UNIVAC I, UNIVAC II, ...
- 1953: IBM 701 per applicazioni scientifiche
- 1955: IBM 702 per applicazioni business
- Distinzione poi persa

# L'avvento dei transistor

- Transistor: componenti discreti
  - Come condensatori, resistori, ...
  - Prodotti separatamente e poi fissati su schede di masonite, poi installate sui calcolatori
  - Rispetto a tubi a vuoto: più piccolo, meno costoso, meno calore
  - Inventato a Bell Labs nel 1947
  - Seconda generazione di calcolatori
- Per inserire un transistor: posizionamento dei tre contatti di un tubicino metallico contenente silicio sulla piastrina
  - Costoso e lungo se molti transistor



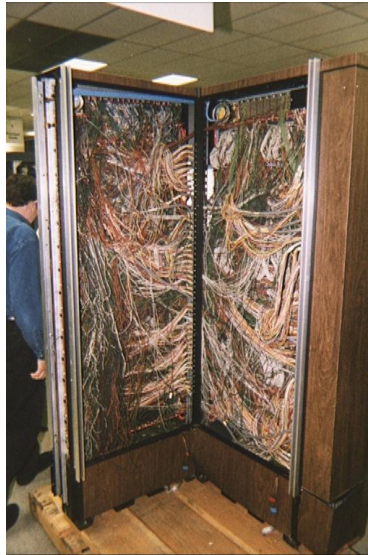
## 1959: IBM Stretch



Console



# Cavi di un calcolatore dell'epoca



## Seconda generazione

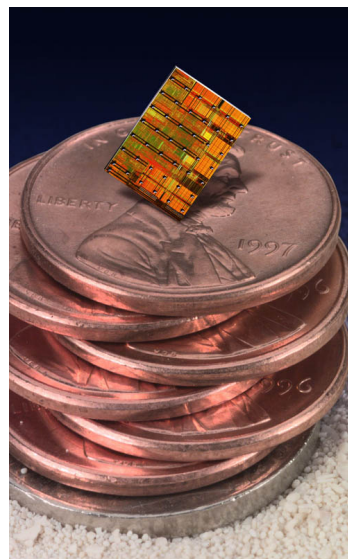
- Transistor
- Unità aritmetiche/logiche più complesse
- Linguaggi di programmazione ad alto livello
- Software di sistema
- Mini-computer (come DEC PDP-1, 1957)

# IBM Stretch: transistor

- 150.000 transistor invece che tubi a vuoto
- Più piccoli ma sempre elementi separati
- Nel 1980: tutti in un unico circuito integrato
- Pentium 4: 42,000,000 transistor su un pezzo di silicio

## Terza generazione: circuiti integrati

- 1958: invenzione del circuito integrato
  - Unico pezzo di silicio per molti componenti e le loro connessioni
  - Col tempo, sempre più componenti in un circuito integrato





# Microelettronica

- Porta logica
  - Dispositivo che esegue una semplice funzione logica
  - Esempio: se A e B sono veri allora C è vero (porta AND)
- Cella di memoria: dispositivo in grado di memorizzare un bit (due stati possibili)
- Calcolatore: numero grandissimo di porte logiche e celle di M



# Funzioni

- Memorizzazione dati
  - celle di memoria
- Elaborazione dati
  - porte logiche
- Trasferimento dati
  - tra memoria e memoria, direttamente o attraverso porte logiche
- Controllo
  - segnali di controllo per attivare le porte logiche o leggere/scrivere una cella di memoria

## Fine anni 50

- Non solo pezzi singoli per università e laboratori di ricerca
- Mauchly e Eckert produssero UNIVAC (Universal Automatic Computer), primo computer commerciale
- Primo ad avere il nastro magnetico
- Poi UNIVAC fallì, e invece IBM prese il predominio sul mercato



## Mainframe computer

- 1970: mainframe computers (come IBM 360, IBM 7094)



IBM 7094



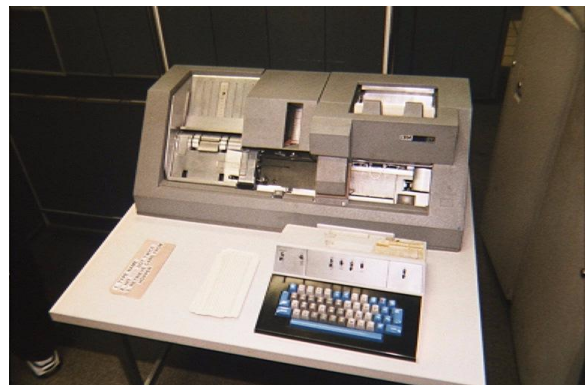
# Time sharing

- Come interagire con un mainframe?
- Time-sharing (condivisione di tempo): tanti utenti, un pò di tempo per ciascuno
- Macchina da scrivere a motore per inserire comandi, carta per risultati (10 caratteri al sec)



# Elaborazione batch

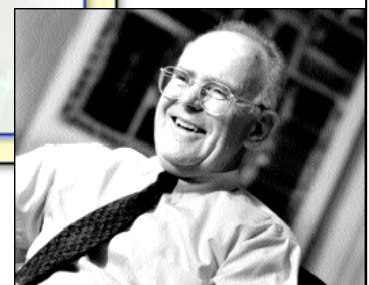
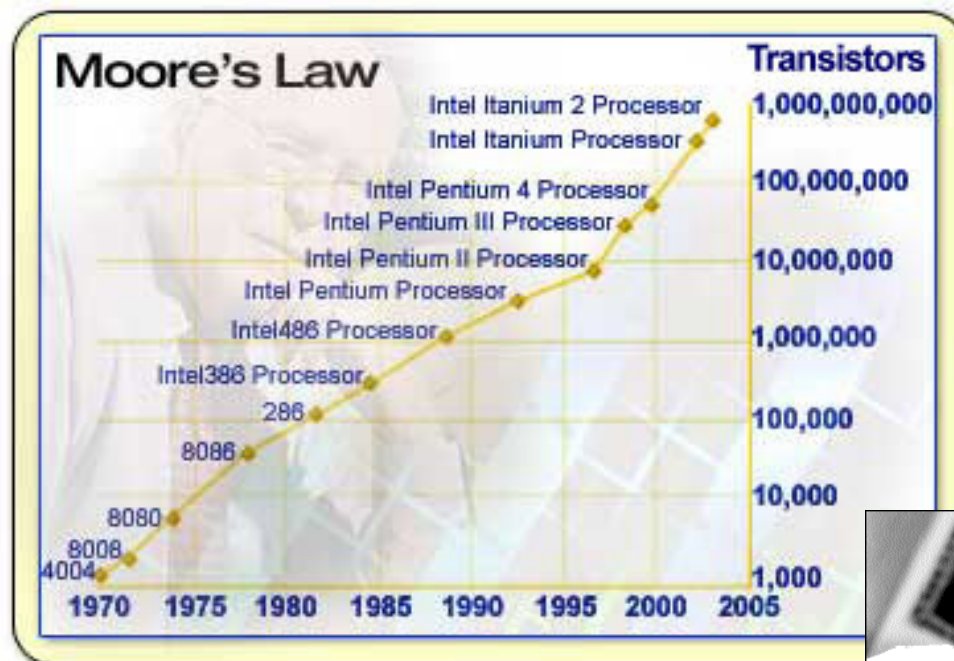
- Secondo modo di interagire con un mainframe
- Tutto il tempo per un utente
- Programma preparato prima su schede perforate





# Legge di Moore

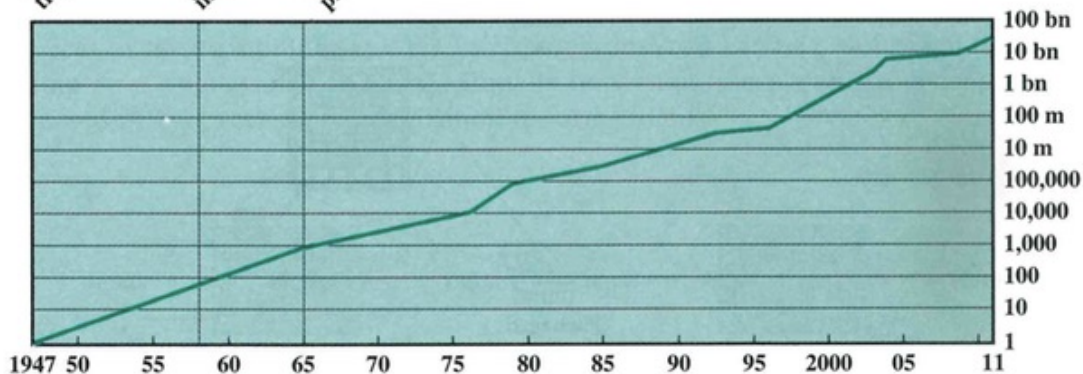
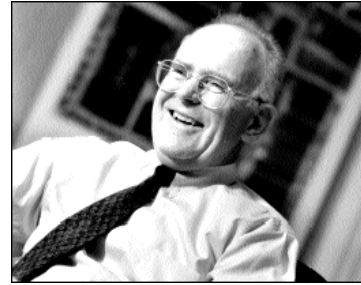
- Moore (uno dei fondatori di Intel), 1965
  - Prestazioni e numero di transistor in un chip raddoppia ogni anno
- Dal 1970, più lento: raddoppia ogni 18 mesi
- Conseguenze:
  - Costo del chip invariato → minor costo totale
  - Circuiti più vicini → maggiore velocità
  - Calcolatori più piccoli
  - Minori requisiti di raffreddamento e alimentazione



First working transistor

Invention of integrated circuit

Moore's law promulgated

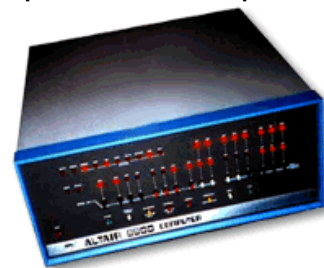


## Generazioni di calcolatori

- Tubi a vuoto - 1946-1957
- Transistor - 1958-1964
- Integrazione su piccola scala – dal 1965
  - Fino a 100 componenti su un chip
- Integrazione su media scala – fino al 1971
  - 100-3,000 dispositivi su un chip
- Integrazione su larga scala- 1971-1977
  - 3,000 - 100,000 dispositivi su un chip
- Integrazione su grandissima scala – dal 1978 fino ad oggi
  - 100,000 - 100,000,000 dispositivi su un chip
- Integrazione su ultra larga scala
  - Più di 100,000,000 dispositivi su un chip

# Computer personali

- Microprocessori: computer su un circuito integrato (Intel 1971)
- Primo microprocessore: Intel 4004
  - General purpose
  - 2300 transistor
  - 108.000 cicli al secondo (108 kHz)
  - Invece di 42 mil. transistor e 2GHz del Pentium 4
  - Costo: \$360 invece dei mil. di dollari per IBM360
- Intel 8080 usato nel computer MITS Altair, primo personal computer generico (1974)
- Pentium 4 compatibile con Intel 8080
- 16-bit microprocessors a fine anni '70
- 32-bit microprocessore Intel (80386) nel 1985



## Evoluzione architettura Intel x86

- Intel 8080 (1974): primo microprocessore general-purpose, 8 bit (dati verso la memoria)
- 8086 (1978): 16 bit, cache
- 80286 (1982): memoria di 16 MByte
- 80386: 32-bit, più programmi eseguiti sulla stessa macchina (multitasking)
- 80486 (1985): cache, pipeline, processore per operazioni matematiche complesse
- Pentium (1993), Pentium Pro (1995): più istruzioni in parallelo
- Pentium II (1997): video, audio, grafica
- Pentium III (1999): grafica 3D
- Pentium 4 (2000): multimedia
- Core: due processori su un solo chip
- Core 2 (2006): 64 bit
- Core 2 quad (2008): quattro processori in un chip
- Architettura Intel x86: dal 1978 ad oggi una nuova istruzione al mese → quasi 500 istruzioni oggi
- 1978, 8086: clock 5 MHz, 29.000 transistor
- 2008, Core 2: 3GHz (600 volte più veloce), 820 milioni di transistor (28000 volte in più), quasi lo stesso costo e poco più grande
- 2013, Core i7 EE 4960X (6 core), 4GHz (800 volte più veloce), 1,86 miliardi di transistor (64.000 volte rispetto all'8086) in un chip di poco più grande dell'8086 e costo comparabile



Intel® Core™  
i7-980X  
6 core