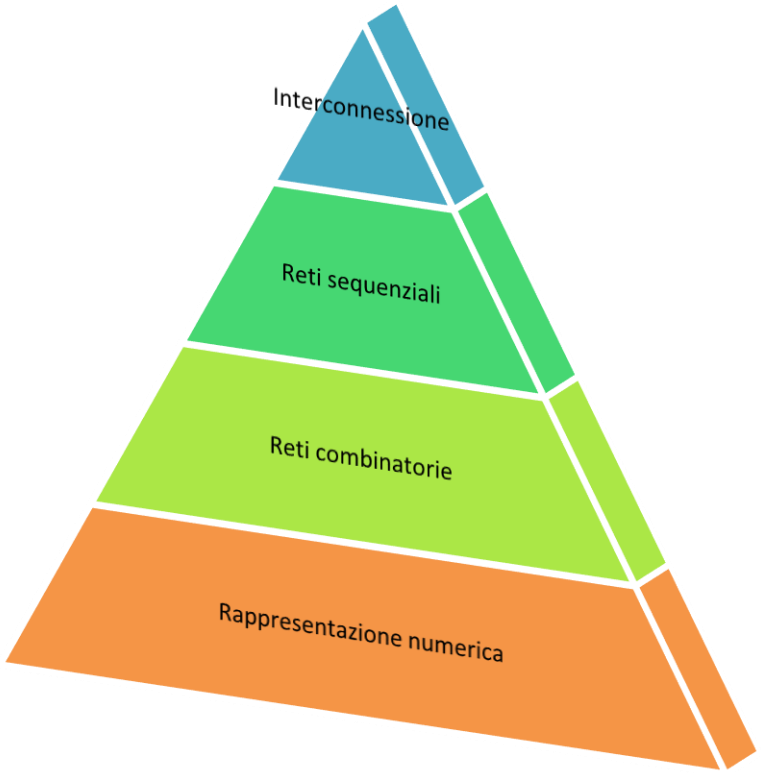
# Architettura degli Elaboratori Elettronici

## Storia

*Dott. Franco Liberati*
*liberati@di.uniroma1.it*

# ARGOMENTI DELLA LEZIONE

- Calcolo Manuale
- Calcolo Semi-Automiatico
- Calcolo Automatico
- Macchine calcolatrici
- Elaboratori di prima Generazione
- Elaboratori di seconda generazione
- Elaboratori di terza generazione
- Quantum computing



# *Il calcolo manuale*

# IL CALCOLO MANUALE

## La prima testimonianza di un datario

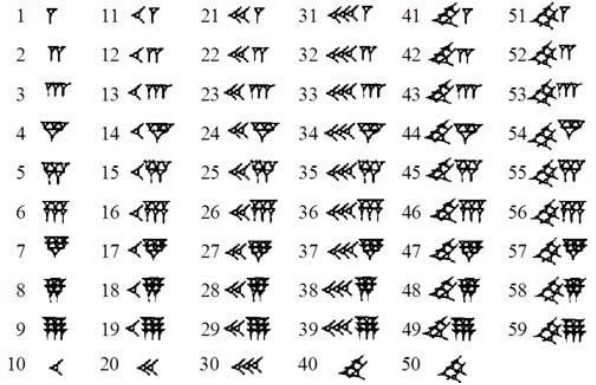
- Gli antropologi fanno risalire alla fibula di babbuino ritrovato in una grotta abitata durante il Paleolitico [2.5 milioni a.C a 10000 a.C ]sui monti Lebombo (SudAfrica) il primo datario
- La presenza delle 29 incisioni suggerisce che potrebbe essere stato usato come un contatore di fasi lunari

**FIBULA DI LEBOMBO**

# IL CALCOLO MANUALE

## I primi sistemi di rappresentazione numerica

- **Alfabeto numerico**, insieme di simboli utili per rappresentare grandi quantità di beni, altrimenti non descrivibili
- La **tavoletta di argilla** è il primo dispositivo utilizzato per rappresentare e archiviare delle quantità numeriche nonché per svolgere i calcoli in maniera manuale




**ALFABETO NUMERICO 3millenio A.C.**

**TAVOLETTA DI ARGILLA SUMERA 1800-1700 A.C.**

# IL CALCOLO MANUALE

## I primi sistemi di calcolo manuale

- **Abaco** primo dispositivo per rappresentare e manipolare operandi mediante un particolare sistema posizionale in cui dei sassolini (*calcolus*) indicavano le unità, le decine e le centinaia in accordo alla loro presenza su delle linee pre-segnate

**ABACO ROMANO**
**(Museo Nazionale Romano)**

# IL CALCOLO MANUALE

## I primi sistemi di calcolo manuale

- La macchina di Antikythera è il **più antico calcolatore meccanico conosciuto**

- Si trattava di un sofisticato planetario, mosso da ruote dentate, che serviva per calcolare il sorgere del sole, le fasi lunari, i movimenti dei cinque pianeti allora conosciuti, gli equinozi, i mesi, i giorni della settimana e le date dei giochi olimpici

**MACCHINA DI ANTICITERA**

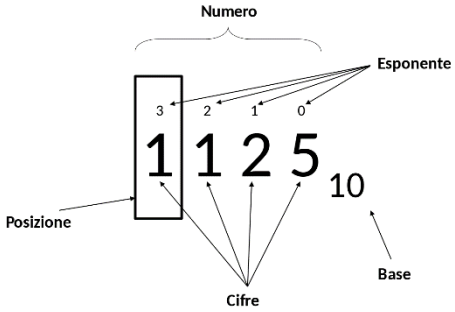
**MACCHINA DI ANTICITERA (RICOSTRUZIONE)**

# IL CALCOLO MANUALE

## Il sistema decimale

- Nel 1202, con il Liber Abaci, scritto da Leonardo Fibonacci matematico pisano, si introduce ufficialmente in Europa il **sistema posizionale**

**LEONARDO FIBONACCI**

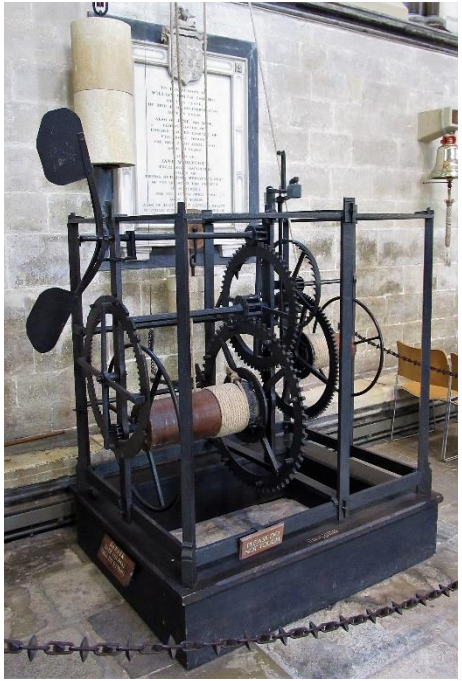



**NOTAZIONE POSIZIONALE**

# IL CALCOLO MANUALE

## Il sistema di calcolo automatico temporale

- Un primo sistema di calcolo (temporale) meccanico si riscontrò tra il 1230 ed il 1270 con l'**orologio**
- Era un dispositivo costituito da un organi motore (es.: un peso o una molla); degli ingranaggi a ruote dentate che demoltiplicavano il moto, un elemento di distribuzione di un intervallo di tempo (lo scappamento) regolato da un componente con moto isocrono (es.: un pendolo) e un indicatore della misurazione il quadrante)



**Salisbury Cathedral clock**

# *Il calcolo semi-automatico*

# IL CALCOLO SEMI AUTOMATICO

## Macchina calcolatrice

- Nel 1623 il matematico tedesco Wilhelm Schickard progetta e realizza un prototipo di **prima macchina calcolatrice meccanica**, il *Calculating Clock*

**CALCULATING CLOCK**

# IL CALCOLO SEMI AUTOMATICO

## Macchina calcolatrice (addizionatore e sottrattore)

- Nel 1642 il matematico e filosofo francese Blaise Pascal propose il **Pascaline**, una macchina automatica in grado di svolgere l'operazione di addizione e di sottrazione

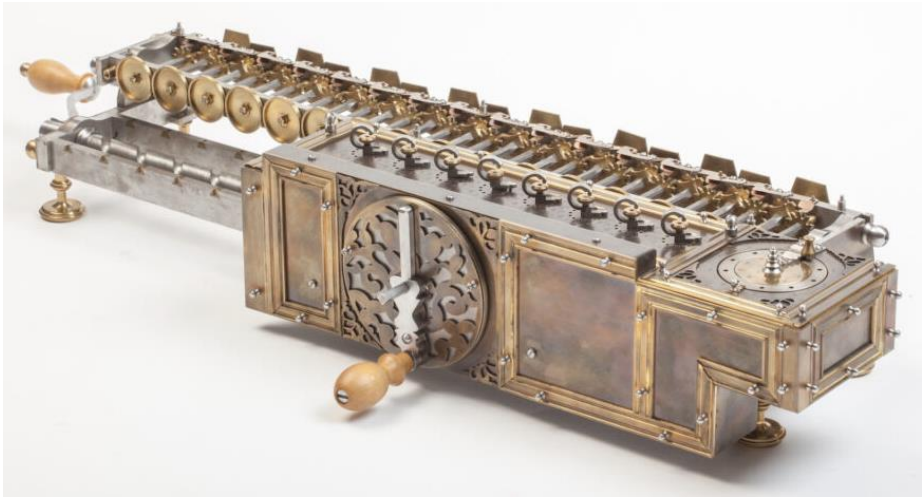
**PASCALINE**

**PASCALINE (INTERNO)**

# IL CALCOLO SEMI AUTOMATICO

## Macchina calcolatrice

- Nel 1672 il filosofo e matematico Gottfried Wilhelm Leibniz, famoso per lo studio aritmetico del sistema binario, perfezionò il Pascaline con il **Contatore a gradini** (*calcolatrice a pignoni* o *Leibniz Machine*)
  - Si trattava di una macchina di calcolo manuale in grado di svolgere le quattro operazioni elementari (somma, sottrazione, moltiplicazione e divisione)
- Migliorato nel 1727 da Jacob Leupold e, più avanti, dal francese Thomas de Colmar con l'invenzione dell'**aritmometro**

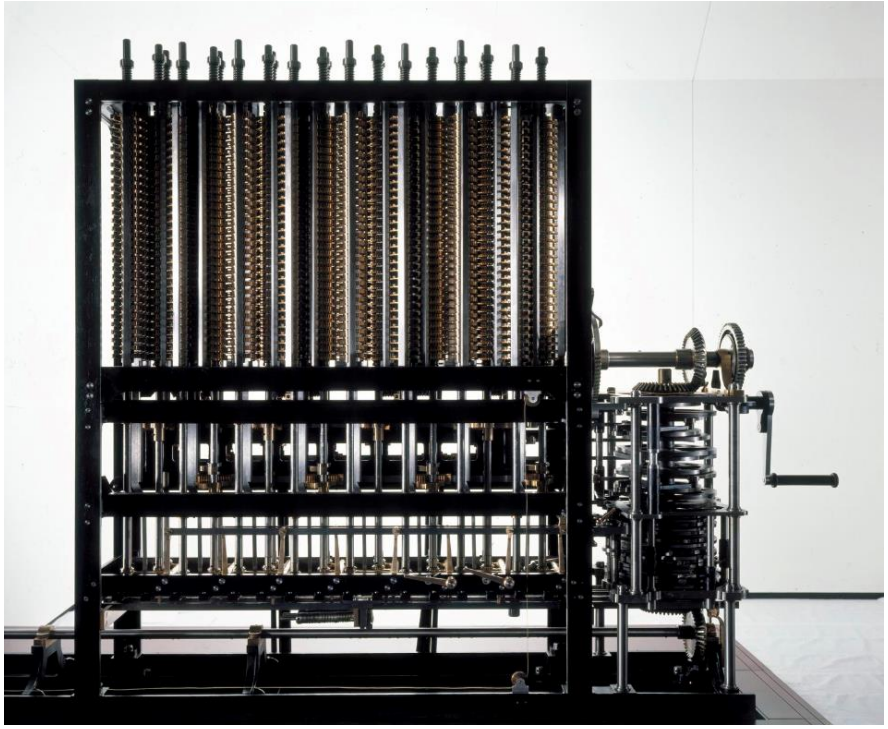


**LEIBNIZ MACHINE**

# IL CALCOLO SEMI AUTOMATICO

## Macchina calcolatrice complessa

- Nel 1816 Charles Babbage, richiamando le tecniche di semi automazione dei telai meccanici di Joseph Jacquard, progetta la **macchina differenziale**
  - La *Difference Engine* era una **calcolatrice**, la cui meccanica era attivata da un motore a vapore. Oltre alle normali operazioni aritmetiche, era in grado di svolgere il calcolo polinomiale (per la risoluzione di funzioni logaritmiche, serie di Taylor)



**DIFFERENCE ENGINE**

Macchine programmate

# MACCHINE PROGRAMMATE

## Macchina programmata

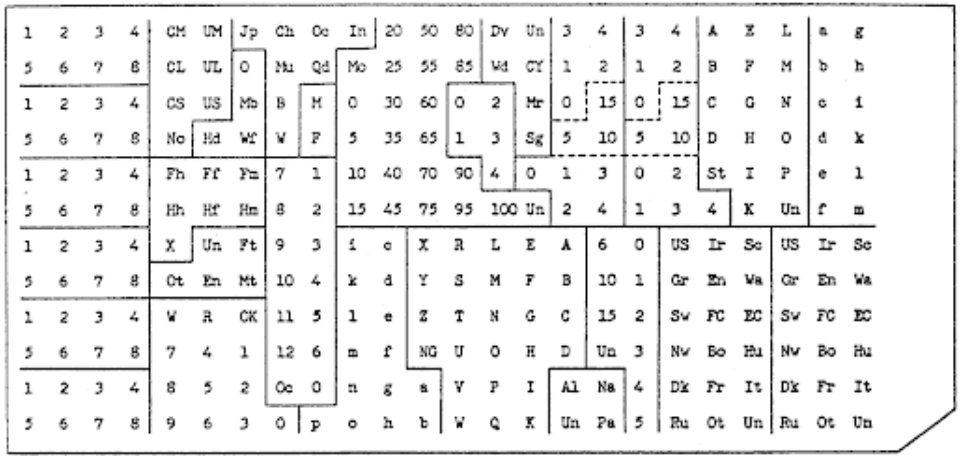
- Il prototipo di una **macchina programmata automatica deputata al calcolo** fu proposto nel 1890 da Herman Hollerith per il censimento dei cittadini statunitensi: *Hollerith Tabulator* o *Tabulator Machine*

**HOLLERITH TABULATOR**

# MACCHINE PROGRAMMATE

## Macchina programmata

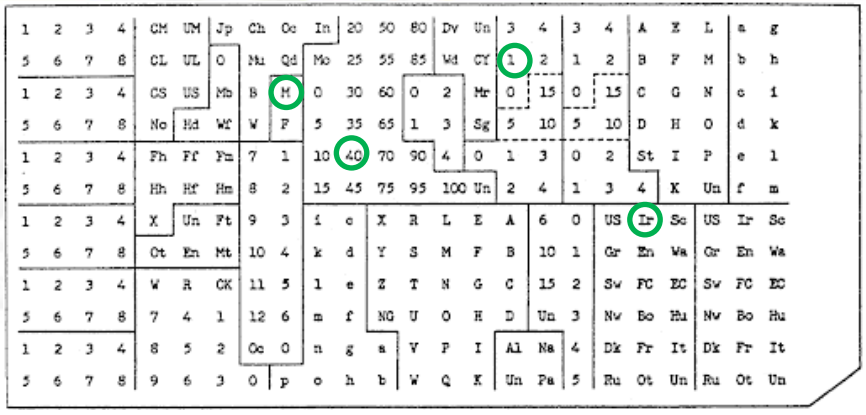
- L'invenzione faceva uso di **schede cartacee perforabili** (punch cards) su cui erano impresse, in posizioni prestabilite, le caratteristiche demografiche (stato civile, luogo di nascita, età, Stato di residenza)



**SCHEDA DEL CENSIMENTO**

# MACCHINE PROGRAMMATE

## Macchina programmata



1. L'addetto al censo bucava le caratteristiche demografiche
2. La scheda era posizionata sotto la pressa
3. Il pettine della pressa che trovava la lacuna inviava un segnale elettrico che incrementava un contatore del pannello di controllo

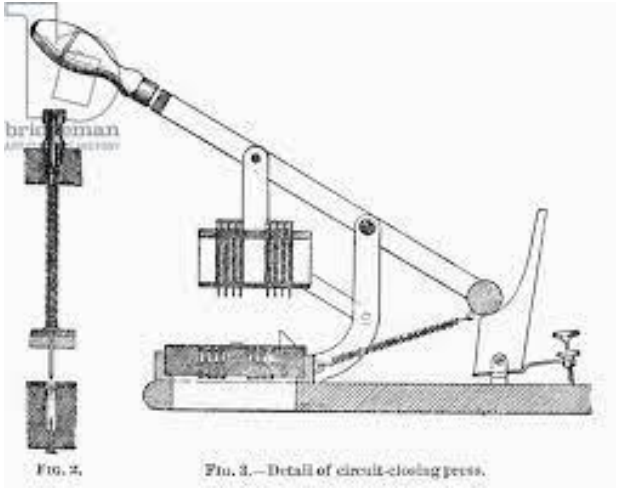
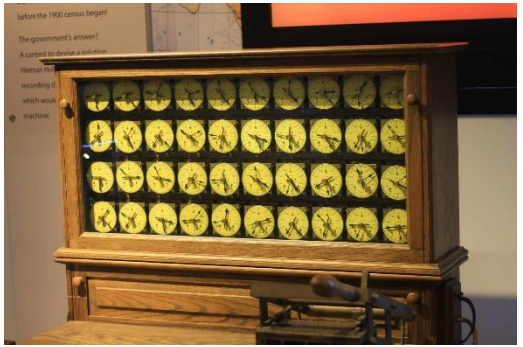


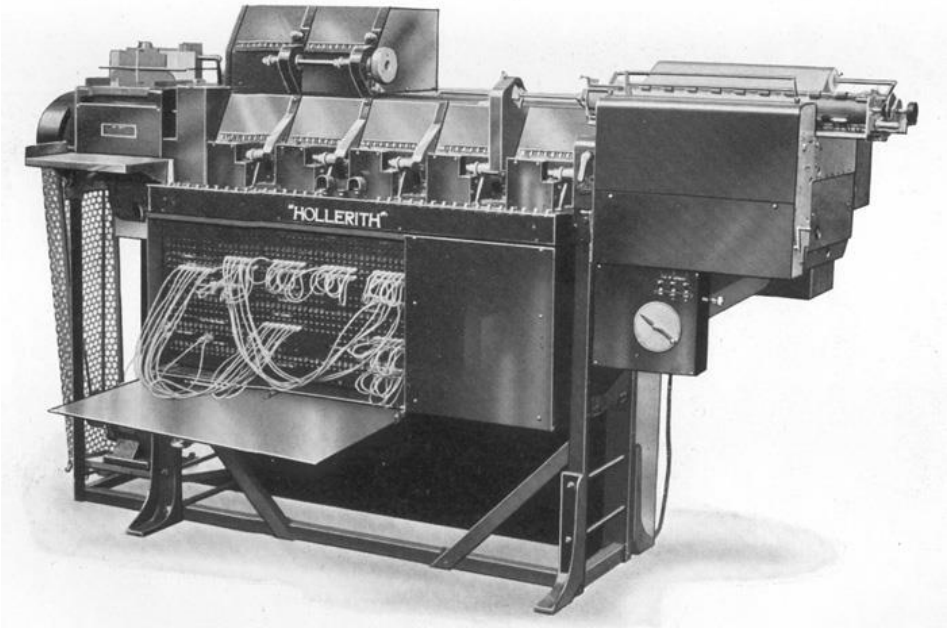
Fig. 2. Fig. 3.—Detail of circuit-closing press.



# MACCHINE PROGRAMMATE

## Macchina programmata: pannelli

- Le macchine programmate proposte da Hollerith, però, avevano il limite di non poter discriminare, o contare, più caratteristiche demografiche allo stesso momento
  - Per individuare tutte le donne residenti a Boston bisognava dapprima selezionare le tessere con foratura sul campo F e poi compiere una nuova cernita considerando la colonna indicante la città di residenza Boston
- Nei modelli successivi Hollerith introdusse i **pannelli programmati** grazie ai quali si consentì la selezione di schede aventi più caratteristiche demografiche durante la stessa analisi
- I pannelli programmati erano dotati di fili interconnessi con dei componenti attivi che simulavano gli operatori logici (and e or) dell'Algebra di Boole. I pannelli erano sostituibili e la disposizione dei cavi e degli interruttori logici fu data in incarico a una nuova figura professionale: il **programmatore**




**SELEZIONATORE CON PANNELLO PRORAMMABILE**

# MACCHINE PROGRAMMATE

## Calcolatrice moderna

- Nel 1889, Dorr Eugene Felt realizzò *Comptometer*, una **calcolatrice dotata di tastiera che riproduceva il risultato su un nastro cartaceo**. Il primo esemplare fu realizzato con una scatola per la pasta, tanto da prendere il nome di *Macaroni Box*
  - Felt creò un primo sistema di calcolo automatico con un'interfaccia semplice da usare e d'immediata comprensione nel funzionamento (logica ancora visibile nel tastierino numerico delle calcolatrici e degli elaboratori elettronici moderni)

**MACARONI BOX**

# MACCHINE PROGRAMMATE

## Un passo tecnico evolutivo

- A partire della seconda metà degli anni Trenta l'interesse per i calcolatori automatici fu oggetto di studio nelle accademie e in alcuni centri di ricerca; istituti impiegati nella risoluzione di procedimenti articolati e formati da calcoli complessi
- Intanto si ebbero sviluppi tecnologico con l'introduzione dei diodi, triodi e flip flop

DIODO

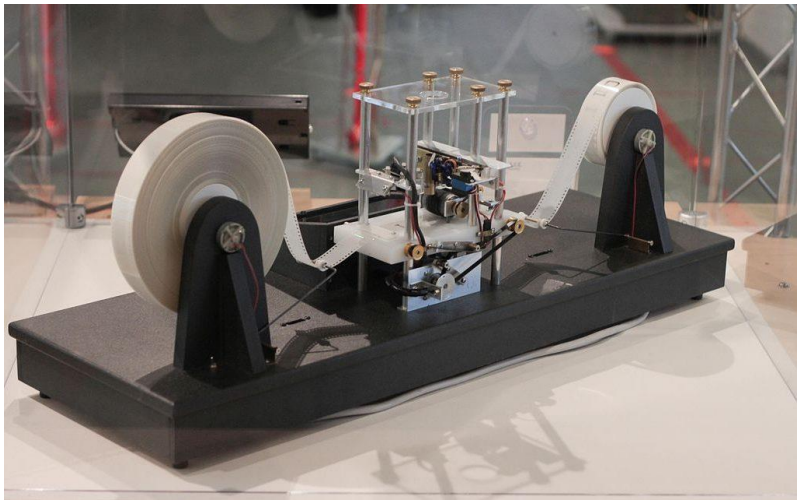
TRIODO

FLIP FLOP

# MACCHINE PROGRAMMATE

## Un passo logico evolutivo: la macchina di Turing

- Nel 1935 in Inghilterra, il matematico Alan Turing, presso l'Università di Cambridge, definì un modello di sistema di calcolo in grado di eseguire algoritmi, la **Macchina di Turing**, sfruttando un'Unità di Calcolo, un nastro di lettura-scrittura e un'Unità di Controllo che, mediante un insieme di regole, controllava il comportamento del dispositivo stesso. Questo modello realizzava un sistema veloce e che non necessitava del controllo umano per determinare il flusso di esecuzione

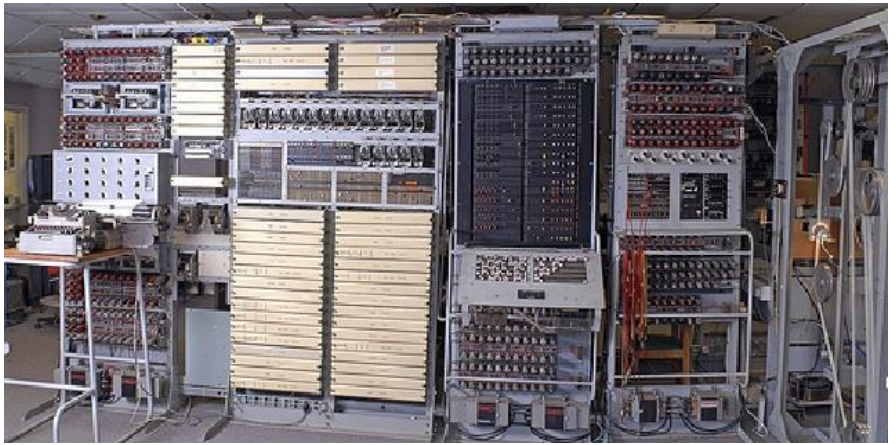


**MACCHINA DI TURING**

# MACCHINE PROGRAMMATE

## COLOSSUS

- Nel 1942 Alan Turing fu chiamato dall'esercito britannico presso il centro segreto Code and Cypher School di Bletchley Park di Londra per collaborare al progetto Colossus, un calcolatore il cui fine era di decifrare, in tempo reale, i messaggi segreti delle forze armate naziste
- Il progetto portò alla realizzazione del **primo calcolatore digitale**, *COLOSSUS*, che aveva delle dimensioni imponenti (occupava un'intera stanza)

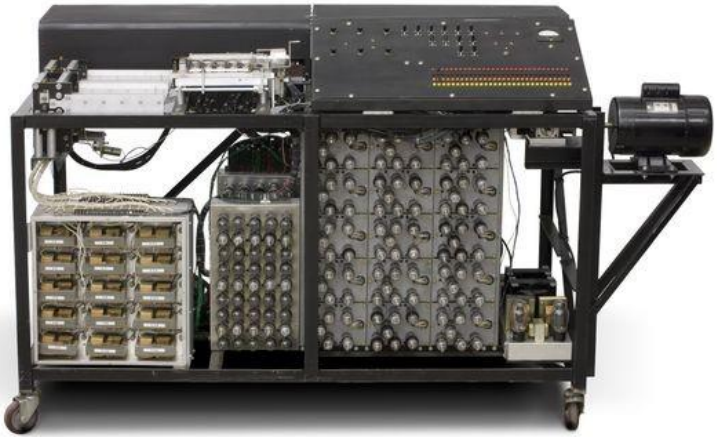


**COLOSSUS**

# MACCHINE PROGRAMMATE

## ABComputer

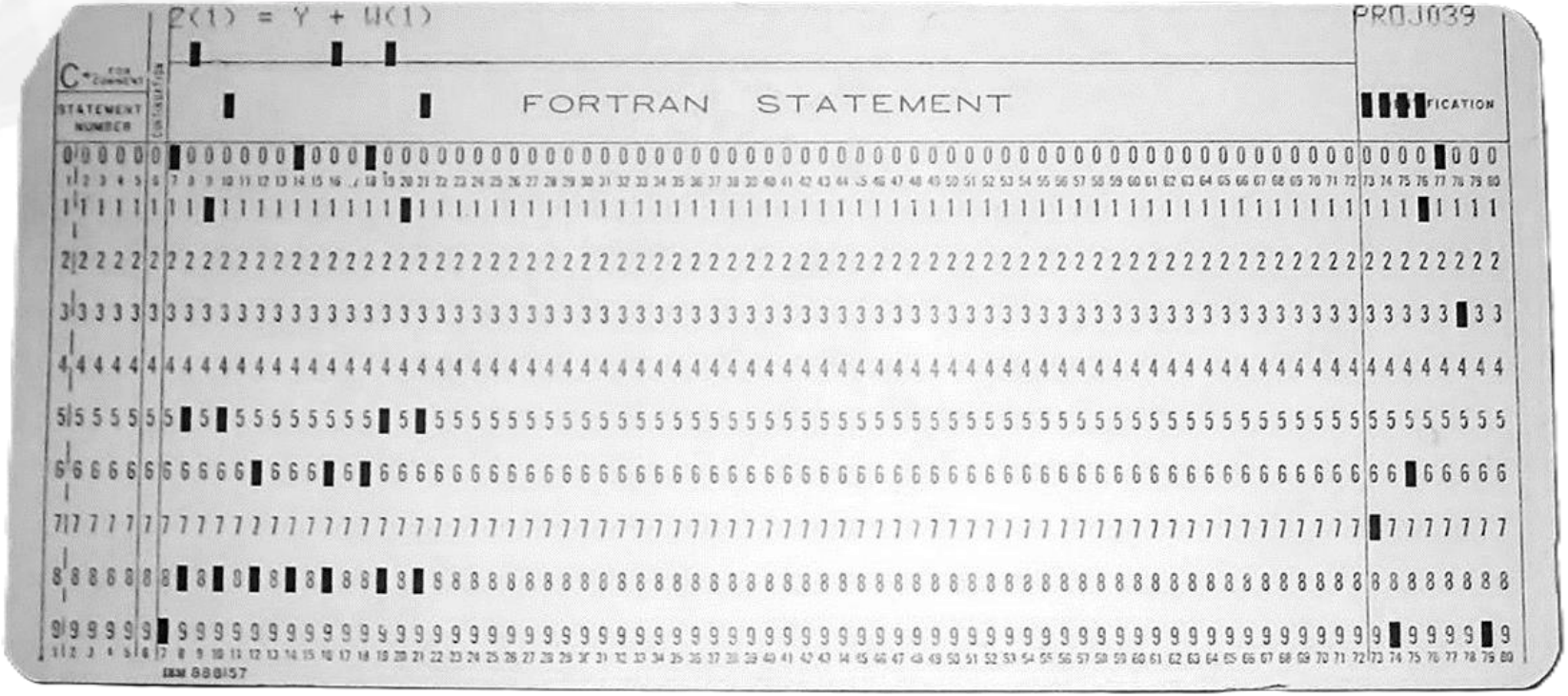
- Nel 1942 John Atanasoff e Clifford Berry riuscirono a realizzare il **primo calcolatore completamente elettronico**, *Atanasoff Berry Computer*
- Il calcolatore occupava un'intera scrivania, utilizzava 280 triodi, come amplificatori e 31 tiratron, un tubo riempito di gas che svolgeva la funzione di interruttore. Le componenti deputate al calcolo erano interconnesse con circa 1.5Km di cavi



**ABComputer**

# MACCHINE PROGRAMMATE

## Schede per la memorizzazione di programmi



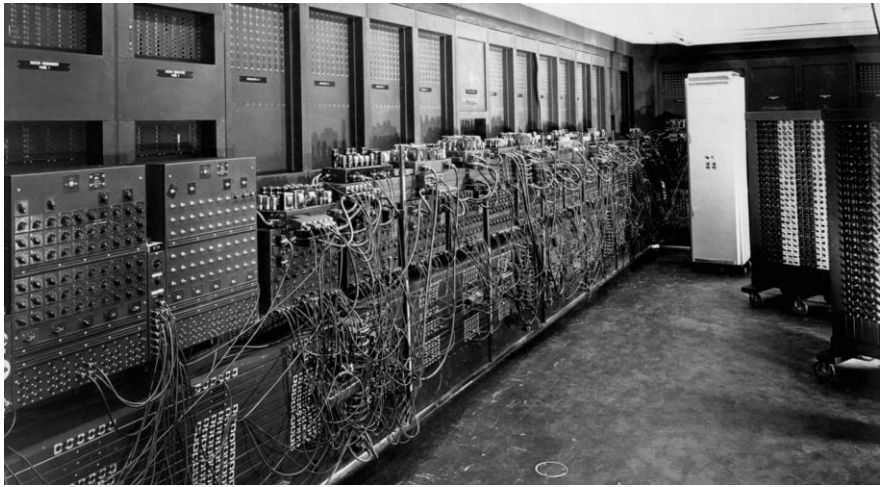

**Statment di un programma in Fortran**

# *Elaboratori Elettronici di prima generazione*

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## ENIAC

- Nel 1943, John William Mauchly e John Presper Eckert dell'Università della Pennsylvania furono ingaggiati dallo United States Army's Ballistic Research Laboratory per realizzare il **primo elaboratore programmabile completamente elettronico** (Electronic Numerical Integrator And Computer, *ENIAC*)

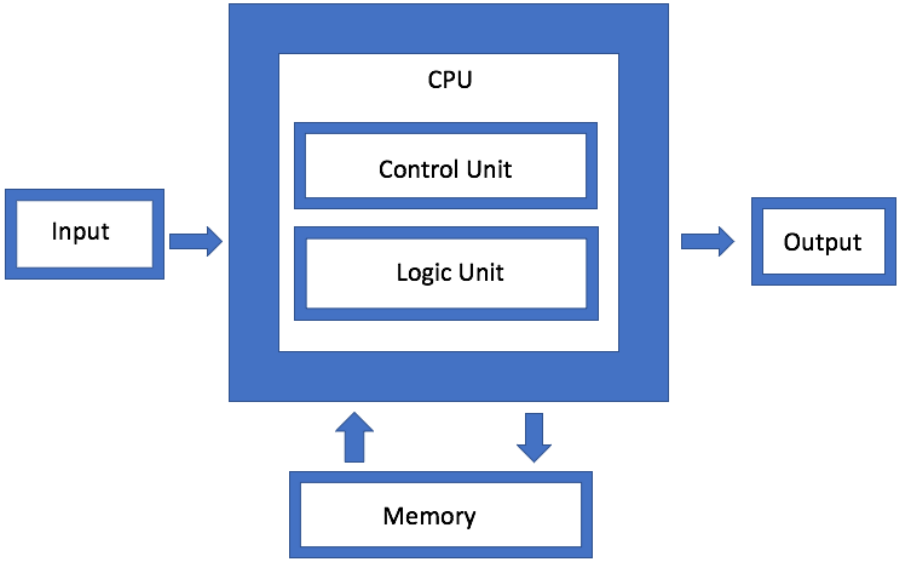


**ENIAC**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Modello di von Neumann

- Tra i progettisti era presente il fisico ungherese, naturalizzato statunitense, John von Neumann che inquadrò in una teoria matematica coerente il sistema di calcolo e gli automi e realizzò un nuovo modello di elaboratore, definito **Macchina di von Neumann**, che si avvicinava a quello formalizzato anni prima da Alan Turing
- Si trattava, cioè, di una macchina automatica in grado di eseguire un algoritmo. Il nuovo dispositivo aveva tutti i componenti automatizzati; aspetto utile per incrementare la velocità di calcolo, ed era dotato di sistemi di auto controllo, per verificare la correttezza di quanto in corso di esecuzione




**MODELLO DI VON NEUMANN**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Mainframe

- Fino agli anni Sessanta gli elaboratori avevano grandi dimensioni, l'energia richiesta per il funzionamento e il raffreddamento dei componenti elettromeccanici era elevata e, naturalmente, erano molto costosi; per questo motivo si tendeva a sfruttarli il più possibile e, quindi, l'utilizzo era suddiviso generalmente fra più programmi
- Ciascun utente produceva il proprio programma, lo consegnava all'operatore che lo includeva nella coda dei processi e alla fine ridistribuiva i risultati
- Queste macchine furono denominate **mainframe** e spesso la comunicazione, sia in input sia in output, avveniva in binario mediante l'uso di schede o di nastri perforati (alcuni modelli usavano delle telescriventi che riproducevano le istruzioni scritte dai programmatori in codice binario come perforazioni su un nastro cartaceo)
- Un primo passo in merito al ridimensionamento degli elaboratori e all'incremento rilevante della velocità di computazione avvenne nel 1947 grazie agli studi sui materiali semiconduttori per merito di John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley. I tre scienziati, incaricati nel realizzare amplificatori per il sistema di telecomunicazione statunitense, crearono un nuovo commutatore di segnale, il transistore, che nel giro di dieci anni, sostituì il triodo a valvola consentendo di realizzare circuiti elettrici rapidi e compatti e favorendo la nascita della microelettronica.

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Nuovi supporti di memorizzazione: tape

- Nel 1950 Aiken completò il *Mark* III impiegando esclusivamente valvole e prevedendo all'acquisizione dei dati attraverso il **nastro magnetico** (magnetic tape), una memoria di massa a contenuto permanente in cui l'informazione binaria era stipata su materiale magnetico

NASTRO MAGNETICO

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## UNIVAC I: elaboratore ad uso generico

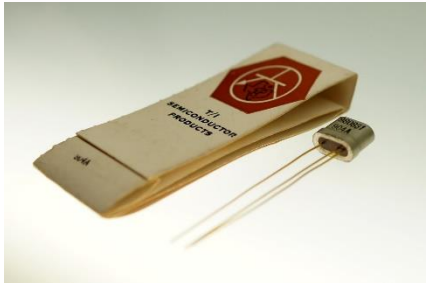
- Nel 1951 UNIVersal Automatic Computer, società fondata da Eckert e Mauchly, propose per le grandi aziende *UNIVAC*-1 un **elaboratore a uso generico**
- I programmi furono redatti usando uno dei primi linguaggi assemblativi, lo *Short Order Code*

UNIVAC

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Un secondo passo tecnologico evolutivo

- Nel 1954 la società Texas Instruments presentò il **transistore con base in silicio**. Questo nuovo elemento non solo era più economico (in termini di produzione) dei precedenti modelli, ma garantiva valide prestazioni temporali e una maggiore compattezza. Il circuito integrato ottenuto dai transistori con base in silicio, grazie alle innovative tecniche fotolitografiche, garantì un volume ridotto, un'elevata velocità di elaborazione e un minimo consumo di corrente elettrica
- Nel 1957 si assistette a un'innovazione nei supporti di memorizzazione permanente: nel sistema *Random Access Method Of Accounting And Control* (RAMAC) di IBM si installò una **unità a dischi magnetici** (hard-disk), cioè una memoria digitale stabile ad accesso diretto, con tecnologia magnetica, strutturata con componenti elettromeccaniche e a forma di piatto



**TRANSISTORE IN SILICIO**

**RAMAC**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## I pionieri Italiani

- In Italia, intanto, il Centro Studi dell'Università di Pisa, su stimolo di Enrico Fermi, realizzò il prototipo della *Calcolatrice Elettronica Pisana* (CEP)

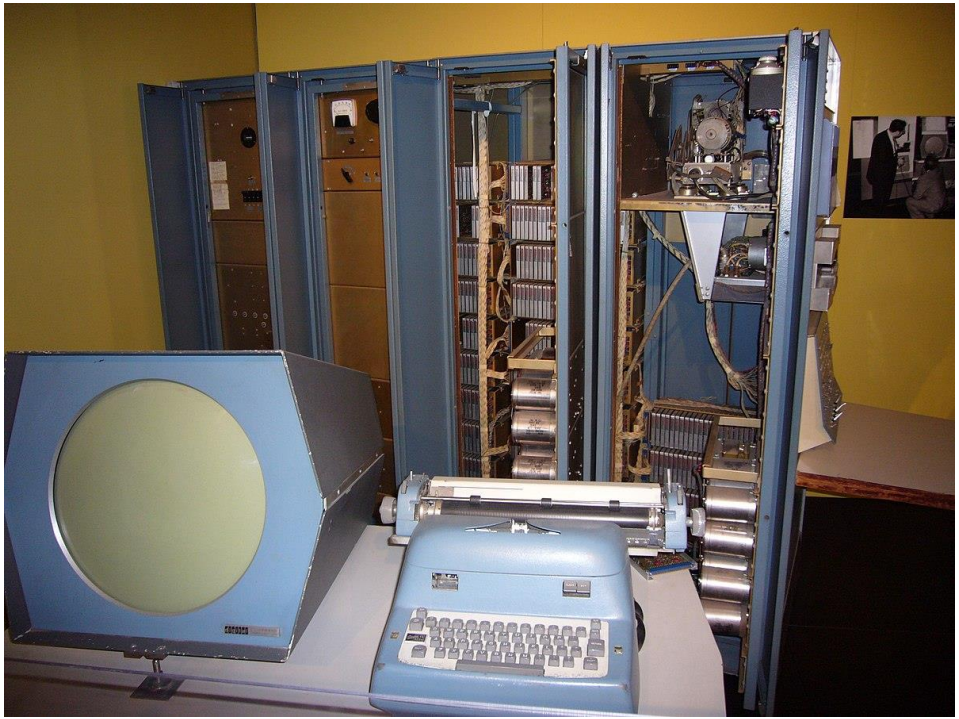
**CEP**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Prima generazione: minicomputer

- Negli anni Sessanta il panorama progressivamente cambiò grazie all'affermazione di **nuovi transistori** e alla produzione di sistemi dal costo ridotto e dalla forma compatta. Per distinguerli dai mainframe ai nuovi elaboratori fu associato il termine **minicomputer**

- Tra i minicomputer ebbe un clamoroso successo il PDP-1, proposto nel 1960 da Digital Equipment Corporation. Questo elaboratore era costituito da 2700 transistori e 3000 diodi con una frequenza di clock di 5MHz. L'aspetto innovativo era un videoterminale a tubo catodico, dalla forma di oblò, che aveva una rappresentazione dei segni grafici in modo vettoriale (e non a mappa di punti di colore)
  - Il programmatore scriveva il codice mnemonico utilizzando una tastiera che produceva in uscita un nastro perforato con codifica binaria, il quale poteva essere direttamente sottomesso al sistema. Queste due periferiche decretarono l'obsolescenza delle schede perforate



**PDP-1**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Minicomputer con S.O. grafici

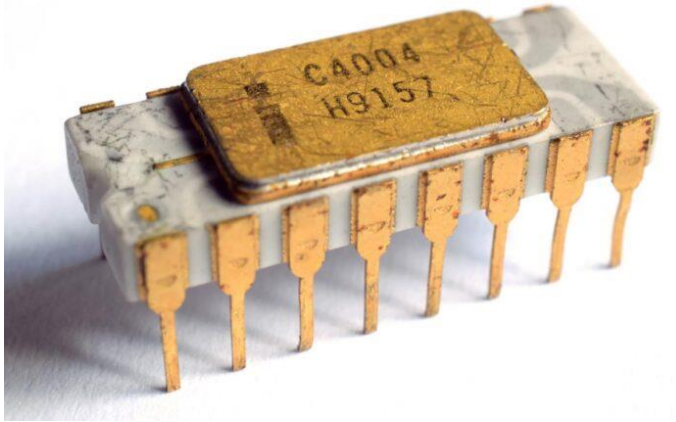
- Nel 1970 dai laboratori Xerox di Paolo Alto fu proposto l'elaboratore *Xerox Alto*. Questo modello era dotato di un display con rappresentazione a mappa di punti di colore (bitmap), aveva un rudimentale **Sistema Operativo a interfaccia grafica basato su delle finestre sovrapponibili** per mostrare i documenti e la loro disposizione contenuti nella memoria di massa (cioè c'era la rappresentazione dell'organizzazione logica dei documenti gestita dal file system); e, infine, aveva circuiti integrati che gli consentivano di essere interconnesso sia a una stampante laser sia a una rete locale.

**XEROX ALTO**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Seconda generazione: microcomputer

- Nei primi anni Settanta, grazie a tecniche litografiche sempre più raffinate e **grazie alla tecnologia nMOS**, si produssero microprocessori in cui tutte le componenti dell'Unità di Elaborazione risiedevano in un singolo chip, cioè una piastrina di silicio. Gli elaboratori, ancor più compatti e veloci, furono rinominati **microcomputer**
- Il primo microcomputer per uso generico, *Intel* 4004, fu progettato nel 1971 dal fisico italiano Federico Faggin e dagli ingegneri statunitensi Marcian Edward Hoff Jr. e Stanley Maze
  - Intel 4004 aveva una dimensione di circa 42x3mm, era costituito da 2300 transistori e operava ad una frequenza massima di 740KHz; aveva un potenza di calcolo paragonabile a quella dell'ENIAC, che aveva bisogno di circa 19000 tubi a vuoto e occupava un'intera stanza
  - Il microprocessore **lavorava con parole di 4bit e indirizzi di dimensione 12bit**, che consentivano di accedere a 4096 celle di Memoria Centrale (di lunghezza 8bit); infine **era in grado di operare con solo cifre numeriche binarie** (solamente con il passaggio a microprocessori con parole a 8bit fu possibile rappresentare i caratteri alfanumerici e quelli di punteggiatura)




**INTEL 4004**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Microcomputer. Miglioramenti: MAR e interruzioni

- Nel 1972 dopo la stessa azienda propose il primo microprocessore con parole di 8bit, *Intel* 8008
  - Il chip aveva solamente 18 piedini (cioè le piste su cui viaggiano i segnali per la comunicazione con le altre Unità); un numero di porte fisse, 8 per l'input e 24 per l'output; e una struttura ad interconnessione basata su un bus a 8bit. Inoltre richiedeva molti altri circuiti di supporto per il suo funzionamento. Il processore sfruttava indirizzi a 14bit, che consentivano l'accesso a 16KB di memoria; l'indirizzo era memorizzato in un apposito registro, il **Memory Address Register** (MAR), esterno all'Unità di Elaborazione e a ridosso della Memoria Centrale
  - Fu anche proposto il primo sistema ad **interruzioni** per migliorare i tempi di comunicazioni con le periferiche agevolando e migliorando i tempi del trasferimento dei dati

**INTEL 8008**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Microcomputer. Miglioramenti: DAM, multitasking

- Nel 1976 esce il processore *Intel* 8085. Questa nuova architettura aveva dei transistori che lavoravano con un'alimentazione a 5Volt, si accedeva a 64KB celle di Memoria Centrale e aveva un'interfaccia comune per interconnettere e gestire le periferiche.

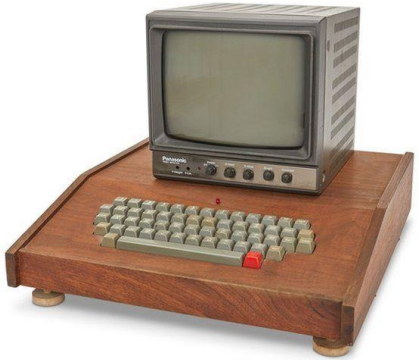
- In più tale processore sfruttava l'**accesso diretto alla memoria**, per spostare velocemente ed indipendentemente dalla CPU dati dalle periferiche alla Memoria Centrale (e viceversa), e usava il **sistema di interruzione vettorizzata**, che perfezionò il **multitasking** e **migliorò** le prestazioni della macchina per **le comunicazioni** e i trasferimenti **con i dispositivi di ingresso-uscita**

**INTEL 8085**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Personal computer

- Nel 1976 Jobs e Wozniak proposero la serie di **elaboratori a uso personale** *Apple* in cui erano inclusi programmi di videoscrittura, fogli di calcolo e giochi
- La serie Apple aveva una tastiera, simile a quella di una macchina per scrivere e comunicava con l'esterno attraverso un qualsiasi televisore sul quale era in grado di rappresentare appena quaranta caratteri su sedici righe. La grande novità di questa famiglia di elaboratori non era rappresentata tanto dal processore o dalle periferiche, ma piuttosto dall'**adozione del linguaggio ad alto livello**, il BASIC, che permetteva la scrittura di programmi con una sintassi molto semplice



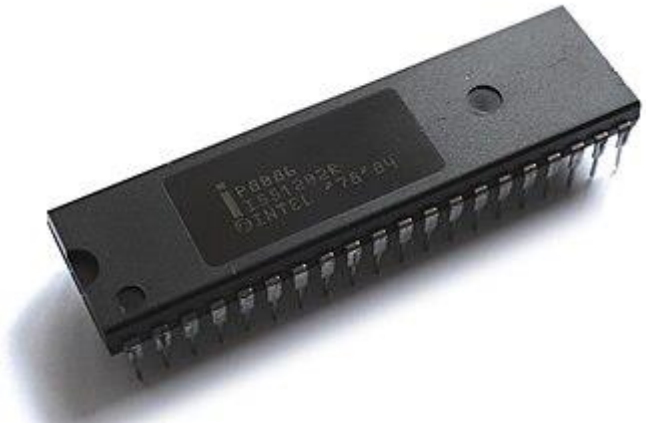
**APPLE I**

**APPLE II**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Terza generazione: processori a 16bit

- Nel 1978 si affermò la **terza generazione di microprocessori** in grado di operare con parole a 16bit (tecnologia pMOS).
- Un esempio fu il processore *Intel* 8086 attraverso un bus dei dati largo 20bit era in grado di indirizzare direttamente 1MB di memoria, una quantità molto ampia per quei tempi
- Il processore gestiva la **memoria segmentata** ovvero la rilocazione dei programmi. In altre parole era possibile spostare ed eseguire un programma in una qualsiasi zona di memoria. In questo modo si superò la necessità di svolgere il processo di compilazione ogni volta prima di caricare il programma o a posizionare il programma stesso sempre in una locazione prestabilita



**INTEL 8086**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Terza generazione: processori a 16bit

- Sempre nel 1979 Motorola presentò il processore 68000
- Grazie alla potenza di calcolo, tra cui il **multi-bus** (o bus multicanale) che offriva trasferimenti concomitanti d'informazioni eterogenee (dati, indirizzi e segnali di controllo), gli elaboratori consentirono agli utenti di lavorare con i dispositivi in tempo reale (es.: sintetizzatori audio elettronici) e una grafica di pregiata qualità

**MOTOROLA 68000**

# MACCHINE PROGRAMMABILI

## Terza generazione: processori a 16bit

- Nel 1982 Intel presentò il modello 80286 che fu il primo processore completamente a 16bit
- Tra le innovative caratteristiche, c'erano cinque nuovi registri per la gestione del **multitasking**
- Per mantenere la compatibilità con i modelli precedenti, il processore Intel 80286 agiva in due modi: reale o protetta. Nella modalità reale si comportava come il modello 8086 e non utilizzava i registri supplementari. La modalità protetta consentiva l'esecuzione di più programmi in maniera pseudo parallela
- Un'altra proprietà fu quella della **memoria virtuale** che, anche grazie alla tecnica delle interruzioni, permise di superare il limite legato all'esecuzione di un programma (o più) di dimensione complessiva inferiore o uguale alla memoria presente fisicamente.
- La **frequenza di clock** inizialmente era di 6MHz, divenne presto otto, quindi dieci, fino a modelli a 20MHz.

**INTEL 80286**

# BREAK

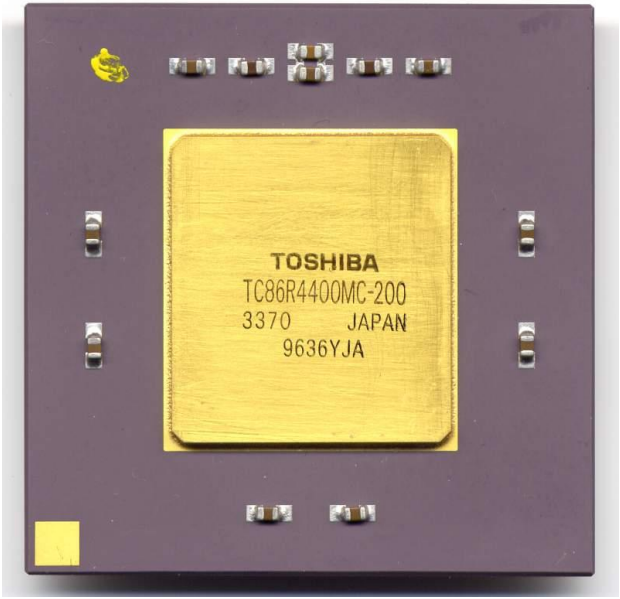
GUARDAMI NEGLI OCCHI, BRANDOLPH ...DIMMI CHE COSA CI VEDI.
LA CONGIUNTIVA, LA CORNEA, L'IRIDE, LA SCLEROTICA, LA CORNEA ACQUOSA ANTERIORE, LA...
LASCIA PERDERE.
NON DIMENTICHERÒ MAI QUESTO MOMENTO!
SARÀ UNA SERATA DA SEGNARE NEL MIO DIARIO.
PENSARE CHE DOPO TANTI ANNI...
...M'HAI FINALMENTE PORTATA AL DRIVE-IN.
J&JUDY

# *Elaboratori Elettronici di seconda generazione*

# MACCHINE PROGRAMMABILI II gen

## Macchine RISC

- Nel 1982 David Patterson e John Hennessy idearono l'architettura *Microprocessor without Interlocked Pipelined Stages* (MIPS), in cui ogni istruzione poteva essere eseguita durante un solo segnale di clock
- Il set d'istruzioni malgrado fosse minimo ed avesse pochi modi di indirizzamento era sufficiente a eseguire algoritmi complessi e accedere in tutte le parti della memoria.
- Il processore, in più, sfruttava la tecnica della **canalizzazione** (pipeline): le istruzioni non erano più eseguite sequenzialmente ma, rendendo indipendenti le fasi in cui si preleva, codifica ed esegue una singola istruzione, si procedeva alla loro sovrapposizione; migliorando le prestazioni complessive della macchina

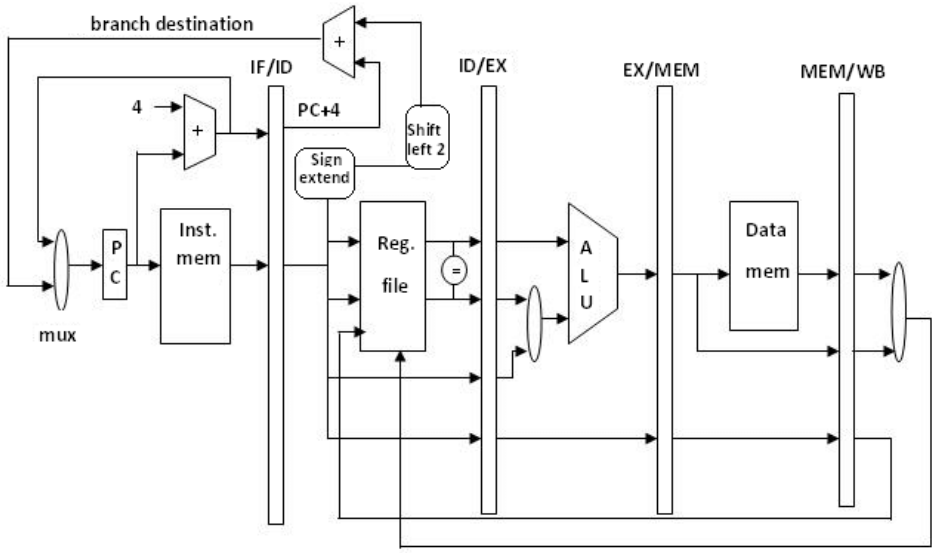



**MIPS**

# MACCHINE PROGRAMMABILI II gen

## Macchine RISC

- Il *Microprocessor without Interlocked Pipelined Stages* (MIPS) muta il paradigma di elaboratore secondo lo schema di von Neumann adottando una doppia memoria: una riservata alle istruzioni e un'altra riservata ai dati




MIPS

# MACCHINE PROGRAMMABILI II gen

## Supporti ottici

- Nel 1984 Sony e Philips presentarono il **disco ottico** a sola lettura (CD-ROM), un supporto portatile di capacità di 640MB impiegato come sostituto del disco in vinile per i contenuti musicali in formato digitale
- Nel tempo usciranno i modelli superiori: DVD e Blu-Ray

**SUPPORTI OTTICI (CD, DVD, Blu-Ray)**

# MACCHINE PROGRAMMABILI II gen

## Quarta generazione microprocessori

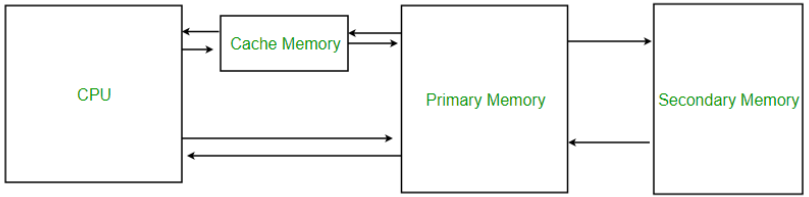
- A meta degli anni Ottanta ci fu anche il passaggio alla quarta generazione di microprocessori. Si affermò la tecnologia CMOS che garantì frequenze superiori ai 50MHz, minimizzò la dissipazione di potenza e offrì un ridotto consumo di energia rispetto ai modelli precedenti
- Un primo modello di questa nuova generazione fu il processore *Intel* 80386 che poteva operare in tre differenti modi: reale, protetta e virtuale86. Nella modalità **reale** lavorava come un 8086, ma con prestazioni più efficienti. In modalità **protetta** era un 80286 dotato di **multitasking** e gestione della memoria virtuale. La modalità **virtuale86** permetteva di inizializzare un determinato numero di **macchine virtuali**, assegnando a ciascuna una copia del Sistema Operativo DOS. Ciascuna macchina virtuale era in grado di gestire autonomamente un ambiente simile ad un elaboratore 8086, mantenendolo isolato dalle altre istanze e lavorando in multitasking

**INTEL 80386**

# MACCHINE PROGRAMMABILI II gen

## Cache

- Il modello 80386, inoltre, adottò la tecnica di **caching della memoria**, saldando in prossimità del chip una memoria statica (Static RAM, SRAM) per velocizzare la trasmissione dati tra il processore e la Memoria Centrale
- L'impiego di questa memoria molto veloce (ma costosa) si fonda sul **principio di località temporale**, alcuni dati appena impiegati possono essere richiesti di nuovo per la successiva elaborazione (es.: le istruzioni nei cicli), e di **località spaziale**, i dati processati risiedono in un intorno vicino (es.: gli elementi di un vettore). Questi blocchi di dati sono successivamente stipati nella memoria cache, escludendo richieste continue alla più lenta memoria di lavoro.

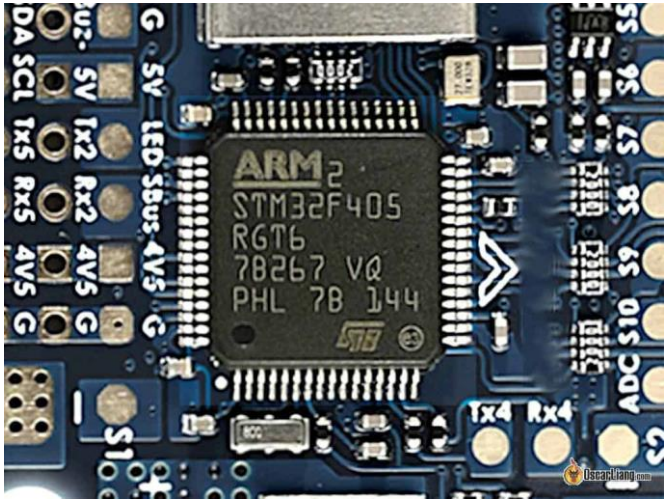



**CACHE**

# MACCHINE PROGRAMMABILI II gen

## Coprocessore matematico

- Nel 1987 fu prodotto il processore *ARM2* provvisto di un **coprocessore matematico**. In seguito fu presentato il modello ARM3 con la **memoria cache integrata nel chip**




ARM2

# MACCHINE PROGRAMMABILI II gen

## Miglioramento: Read-Ahead

- Nel 1989 uscì, anche, *Intel* 80486 che su un unico chip ospitava un processore 80386 e tutte quelle parti che erano considerate moduli aggiuntivi nei modelli precedenti come: il coprocessore matematico, la memoria cache e la componentistica per la gestione della grafica tridimensionale
- In particolare, grazie ad un algoritmo predittivo statistico, la cache integrata non solo immagazzinava i dati con un accesso più recente, ma anticipava l'importazione di dati residenti nella Memoria Centrale non ancora richiesti, introducendo così la **modalità a lettura anticipata** (Read-Ahead).
- Una ulteriore importante novità fu una modifica strutturale dell'architettura, Control ROM. che garantì la **retro compatibilità con le precedenti versioni e con le istruzioni CISC e, nel contempo, la circuiteria in grado di eseguire direttamente istruzioni RISC**

**INTEL 80486**

# *Elaboratori Elettronici di terza generazione*

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo parallelo

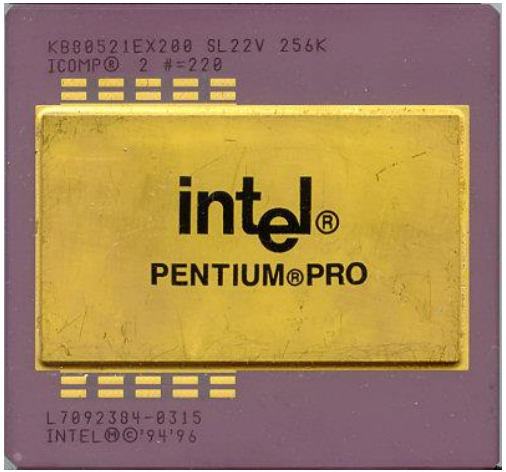
- Nel 1993 Intel annunciò il *Pentium*. L'architettura aveva una suddivisione delle cache in due parti, la prima contenente istruzioni la seconda dati, con dei canali preferenziali di accesso e sfruttava delle tecniche di **parallelismo nell'elaborazione delle istruzioni** (non sempre efficace)
- Descrivendo sinteticamente la logica, si consentiva il prelievo e l'esecuzione di due istruzioni (canale U, pipe U, e canale V, pipe V) nello stesso colpo di clock utilizzando due canali separati fisicamente. Se l'esecuzione non poteva avvenire parallelamente, a causa di una relazione tra le istruzioni, si cercava di risolvere la criticità modificando l'ordine delle istruzioni, senza svuotare i canali. Infine, il Pentium era dotato di un coprocessore matematico in grado di svolgere i calcoli di addizione, moltiplicazione e divisione tra numeri reali

**PENTIUM**

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo parallelo su istruzioni

- Nel 1995 fu proposto il Pentium Pro che rappresentò un vero salto generazionale
  - In primo luogo c'era la **cache di livello due**
  - La **canalizzazione** raggiunse le 14 fasi
  - Infine c'era l'**esecuzione fuori ordine** (Out of Order): le istruzioni erano convertite in micro-operazioni (micro-ops) per poi essere passate a un componente di esecuzione capace di eseguirle fuori ordine; in altre parole si processavano quelle pronte, non necessariamente in sequenza, e si lasciavano in attesa quelle che non lo eranoLa sequenza delle istruzioni era, infine, riordinata da una sezione dedicata, detta Memoria di Riordine (Reorder Buffer), alla fine dell'elaborazione




**PENTIUM PRO**

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo matematico

- Nel 1997 fu commercializzato da Intel il Pentium II che incorporava la tecnologia MMX, progettata specificamente per l'elaborazione di dati video, audio e grafici (le funzioni trigonometriche per le rotazioni di punti d'immagine tridimensionali impiegavano calcoli con numeri reali aventi una rappresentazione in virgola fissa)

**PENTIUM II**

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo parallelo dei dati

- Nel 1999 fu proposto il Pentium III che ebbe come innovazione principale l'estensione Streaming Simd Extension (SSE). Grazie a questa tecnica si ebbe un potenziamento del coprocessore matematico che operò in modalità **Single Istruction Multiple Data** (SIMD): cioè si eseguiva in parallelo la stessa istruzione su più dati prelevati in blocco; orientando parte del processore ad un'**architettura vettoriale**

**PENTIUM III**

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo parallelo dei processi

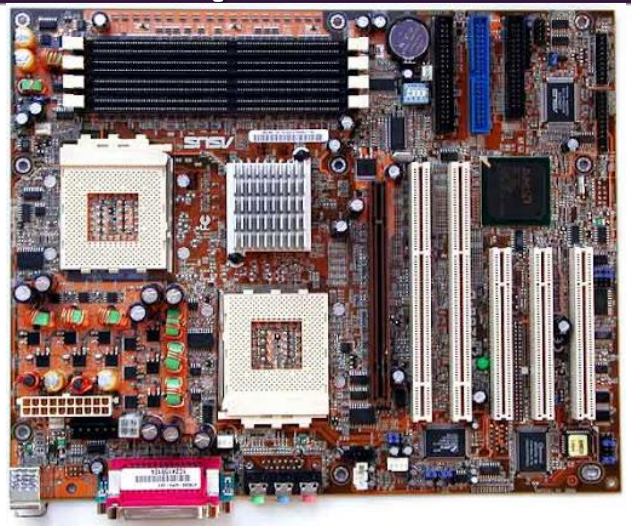
- Nel 2001 non riuscendo più ad aumentare significativamente le prestazioni della macchina (la frequenza di clock si attestò all'ordine di grandezza del GHz), le case di produzione decisero di puntare completamente sul parallelismo dei processi ottenuto mediante più elaboratori, i **multi processori** (multi processor), o più Unità di Elaborazione sullo stesso chip, i **multi nuclei** (multi-core)

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo parallelo dei processi: multiprocessore

- Tra il 2001 e il 2002, Sunnyvale presentò il microprocessore Athlon XP, per gli elaboratori desktop, e Athlon MP, per i server, entrambi dotati **di più di un microprocessore per scheda madre** e transistori di dimensione di 0.13 micrometri.

  *L'impiego di più processori era già stato usato per il supercalcolatore Cray-1, prodotto nel 1976, come variante dei mainframe, dall'istituto Cray Research per il calcolo parallelo sui dati. L'elaboratore aveva una memoria di massa di 303MB e una potenza di calcolo di 9megaflops (9 milioni di operazioni con numeri reali rappresentati secondo il formato in virgola mobile)*

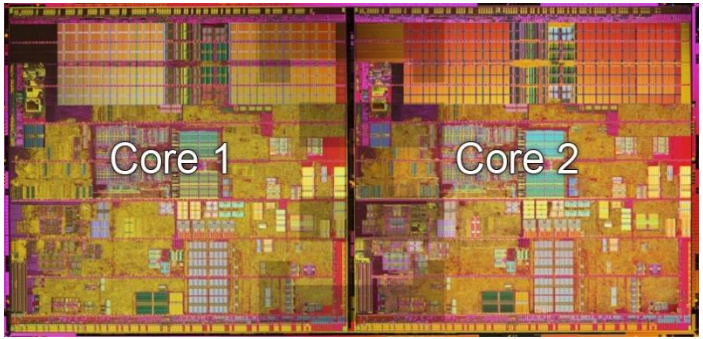


**ATHLON MP**

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo parallelo dei processi: multicore

- Nel 2005 fu prodotto il Pentium D, un processore con due nuclei (dual core), cioè **due Unità di Elaborazione sullo stesso chip**, e una memoria cache condivisa. Il suo lancio fu seguito dopo solo pochi giorni dal processore Athlon 64 X2 prodotto da AMD



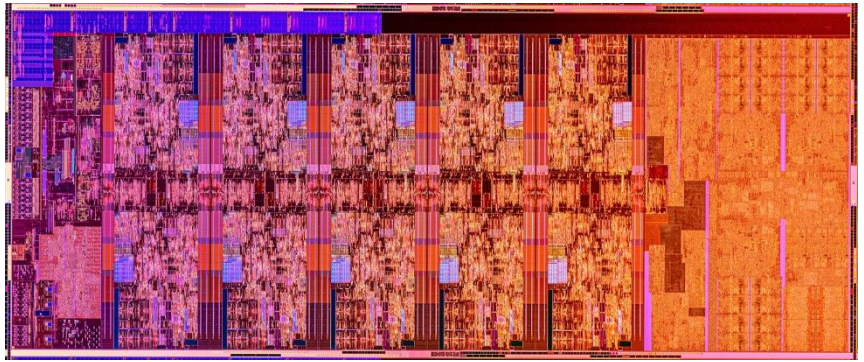

**PENTIUM D**

# MACCHINE PROGRAMMABILI III gen

## Il calcolo parallelo dei processi: stato-arte

- A partire dal 2010 Intel rilasciò una nuova generazione di microprocessori che aveva un nome comune core Intel ma fu soggetta ad una divisione in quattro serie: i3, i5, i7 e i9

- La novità che accumuna i tre modelli, ancora in commercio con la nona generazione, è il HyperMultiThreading: ovvero, ciascun nucleo può gestire il Multithreading. In più, per quasi tutte le serie, ci sono tre livelli di cache: due (L1 e L2) per ogni nucleo e uno (L3) condiviso oppure a uso dei differenti nuclei.



**PENTIUM i9**

# *Nuove prospettive*

# MACCHINE PROGRAMMABILI IV gen

## Nuove prospettive

- Negli ultimi anni il processo di sviluppo dei microprocessori si avvia verso limiti progettuali invalicabili: la dimensione dei transistori non è più riducibile e la dimensione del chip non può richiedere uno spazio superiore a quello corrente.

- I produttori stanno orientando le loro ricerche su innovative tecnologie che riguardano non solo i materiali utilizzati, ma anche le tecniche di fabbricazione e quelle progettuali garantendo la produzione di processori (e degli altri moduli) più potenti, piccoli e performanti.

- Diversi sono i rami di ricerca; quelli che godono menzione sono: la tecnologia tridimensionale, la tecnologia fotonica e i nanofogli.

# MACCHINE PROGRAMMABILI IV gen

## Nuove tecnologie

- La **tecnologia tridimensionale** consente la produzione di microprocessori (e altri moduli funzionali) ad alta densità. In questi chip i transistori non hanno più una disposizione planare, ma hanno uno sviluppo anche in altezza creando dei volumi rettangolari

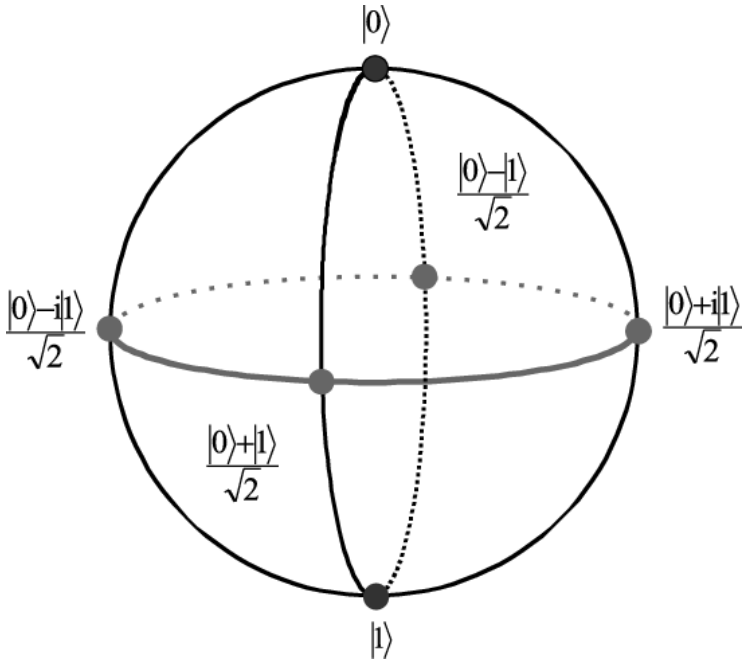
- La **tecnologia fotonica** opera sulla radiazione luminosa. Questo consente un tempo di trasmissione e di elaborazione dei dati molto rapido (fino 100Gb al secondo) ed esclude le interferenze elettromagnetiche o quelle legate al surriscaldamento (effetto Joule) che possono incrementare il numero di errori (l'alterazione di un bit di una istruzione provoca danni non prevedibili). Le porte logiche sono realizzate con cristalli, l'informazione binaria è ottenuta impiegando un raggio laser e la lettura avviene con dei foto-ricettori.

- I **nano-fogli** sfruttano le nano tecnologie che permettono di realizzare dispositivi simili ai transitori con una dimensione di circa 5nanometri, consentendo così di quadruplicare il numero di porte logiche presenti all'interno di un chip. Come materiale non si impiega più il silicio, ma il grafene che ha proprietà superiori

# MACCHINE PROGRAMMABILI IV gen

## Il processore quantico

- Queste nuove tecnologie, però, non sono l'unica strada che i ricercatori stanno percorrendo per continuare a migliorare le prestazioni degli elaboratori. Alcuni istituti orientano il loro interessamento sull'informatica quantistica
- L'unità minima d'informazione, per questi sistemi di calcolo, è il bit quantistico (o bit quantico, qubit): capace di assumere, in base al principio d'indeterminazione di Werner Heisenberg, anche valori intermedi e sovrapposti rispetto alle singole cifre binarie
- Un modo efficace per fornire una efficace rappresentazione geometrica di un qubit consiste nella cosiddetta sfera di Bloch
- Formalmente il qubit, in quanto punto di uno spazio vettoriale bidimensionale a coefficienti complessi, ha quattro gradi di libertà, ma la condizione di completezza da un lato e l'impossibilità di osservare il fattore di fase dall'altro li riducono a due (o in alcuni casi sperimentali anche tre, ottenendo 8 stati, da 000 a 111). In questo modo è possibile processare un maggior quantitativo d'informazioni nello stesso tempo; incrementando in maniera esponenziale la potenza di calcolo dei processori



# MACCHINE PROGRAMMABILI IV gen

## Il processore quantico

Fine