

ARCHITETTURA DEGLI ELABORATORI

A.A. 2020-2021

Università di Napoli Federico II

Corso di Laurea in Informatica

Docenti

Proff. Luigi Sauro gruppo 1 (A-G)
Silvia Rossi gruppo 2 (H-Z)



Orario

Corso

Giorno	Ora	Aula
Lunedì	11:00 – 13:00	A6/Teams
Mercoledì	11:00 – 13:00	A6/Teams
Venerdì	9:00 – 11:00	A6/Teams

Ricevimento

Giorno	Ora	Studio
Martedì	11:00 – 13:00	D.I.E.T.I. (via Claudio 21, Edificio 1, 2p) /Teams

AdE: scheda del corso

<http://cs-informatica.dieti.unina.it/index.php/it/corsi-di-laurea/insegnamenti/laurea-triennale/15-corsi-di-laurea/corsi/146-architettura-degli-elaboratori-i>

La scheda indica:

- CFU assegnati al corso
- durata in ore ed eventuale divisione in moduli
- semestre di svolgimento
- obiettivi formativi
- contenuti e prerequisiti
- modalità didattiche
- materiale didattico
- modalità di esame

Architettura degli elaboratori

Titolo insegnamento in inglese: Computer Architecture	Lingua Italiano
Insegnamento: Architettura degli elaboratori	Anno di corso: I
CFU: 9	SSD: INF/01
Ore di lezione: 72	Semestre: 2
Modulo:	Codice:
Obiettivi formativi:	
Conoscere e applicare le principali costitutive digitali del dfl. Saper interpretare e manipolare espressioni dall'algebra di Boole. Saper tradurre un'espressione booleana in circuito combinatorio e viceversa. Saper ristituire espressioni booleane. Conoscere le macchine di Mealy e Moore. Conoscere la struttura dei principali circuiti logico-arithmetici e delle ALU.	
Conoscere l'architettura dei microprocessori basati sul paradigma ARM. Saper realizzare programmi in linguaggio assembly di un processore ARM. Conoscere le principali architetture di memoria, incluse le memorie cache e la memoria virtuale.	
Contenuti:	
Rappresentazioni digitali dei dati. Operazioni aritmetiche e overflow. Algebra di Boole, funzioni booleane, circuiti combinatori e porte logiche. Minimizzazione di funzioni booleane. Multiplexer e decoder. Elementi di timing. Circuiti sequenziali elementari: latch e flip-flop. Macchine di Mealy e Moore; analisi e sintesi. Circuiti addizionatori e ALU. Architettura ARM: elementi hardware, formato istruzione, architettura interna. Programmazione in assembly ARM. Connessioni con i costrutti del linguaggio C. Introduzione alle memorie cache. Analisi delle prestazioni di sistemi con cache. Introduzione al concetto di memoria virtuale. Traduzione degli indirizzi. Architetture a ciclo singolo, a ciclo multiplo e basate su pipeline.	
Prerequisiti: Conoscenze di algebra elementare, Insiemi numerici, Insiemistica, Logica elementare	
Modalità didattiche: Lezioni frontali.	
Materiale didattico:	
• D. Morris e S. Morris, Digital Design and Computer Architecture: ARM Edition, Morgan Kaufmann 2015 • Inoltre, trasparenze delle lezioni	
Modalità di esame:	
l'esame si articola in prova	Scritta e orale
In caso di prova scritta i quesiti sono	A risposta multipla X
Altro	A risposta libera X
	Esercizi numerici
Docente [codice A-Q]: Susto Luigi	
Docente [codice H-Z]: Aloisio Alberto	

Obiettivi del corso

- Introdurre le principali strutture logiche e i componenti digitali che consentono l'elaborazione dei dati:
 - Rappresentazione dell'informazione: interi unsigned/signed, reali (float), etc.
 - Algebra di Boole e circuiti combinatori: comparatore, sommatore, multiplexer, etc.
 - Circuiti sequenziali: flip-flop, registri, automi finiti etc.
 - Componenti di base di un elaboratore elettronico: memoria (S/D)RAM, ALU, etc.
- Descrivere la struttura di un sistema di elaborazione con particolare riferimento all'architettura ARM:
 - Microarchitettura: formato delle istruzioni, elementi hardware, single/multiple cycle datapath, etc.
 - Memorie cache e memorie virtuali
 - Linguaggio Assembly: data-processing instructions, conditional-loop statements, function calls

Testo adottato (<https://bit.ly/2Ele10Y>)

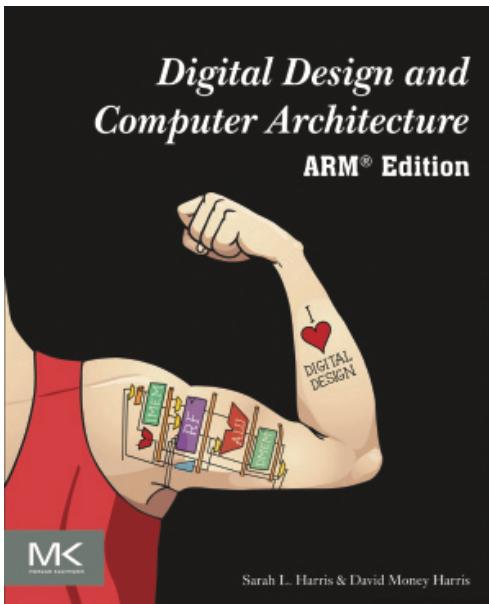
Harris&Harris, *Digital Design and Computer Architecture ARM Edition*, Elsevier

David Money Harris Sarah L. Harris **Sistemi digitali e architettura dei calcolatori**
Progettare con tecnologia ARM, Trad. di O. Scarabottolo, rev. di N. Scarabottolo 2017

Dalla Prefazione:

This book is unique in its treatment in that it presents digital logic design from the perspective of computer architecture, starting at the beginning with 1's and 0's, and leading through the design of a microprocessor.

We believe that building a microprocessor is a special rite of passage for engineering and computer science students. The inner workings of a processor seem almost magical to the uninitiated, yet prove to be straightforward when carefully explained. Digital design in itself is a powerful and exciting subject. Assembly language programming unveils the inner language spoken by the processor. Microarchitecture is the link that brings it all together.



ARM

- Advanced RISC Machines
 - RISC = *reduced* instruction set computing
 - A.k.a. load/store architecture
 - Alternativa a:
 - CISC = *complex* instruction set computing

Materiale didattico ausiliario

- Dispense del corso:
 - [Teams](#)
 - <https://www.docenti.unina.it/SILVIA.ROSSI>
 - Tratte dalle dispense degli anni precedenti
 - Dispense del libro di testo
 - Materiale didattico -> Architettura degli elaboratori

il materiale didattico ausiliario (slide, registrazioni del corso, etc) non devono considerarsi sostitutivi del testo adottato che rimane la *fonte principale* per poter sostenere al meglio l'esame

Indice e Pianificazione del Corso

Indice

1 From Zero to One
2 Combinational Logic Design
3 Sequential Logic Design
4 Hardware Description Languages
5 Digital Building Blocks
6 Architecture
7 Microarchitecture

5 CFU

3 CFU

3	8 Memory Systems	487
55	9 IO Systems	531
109	Appendix A Digital System Implementation	533
173	Appendix B ARM Instructions	535
239	Appendix C C Programming	542
295	Index	543
385	Copyright	

- 9 CFU, suddivisi in:
 - 5 CFU: logica combinatoria e sequenziale + elementi ed architetture circuitali di base
 - 3 CFU: architettura dei processori ARM, memorie cache e memorie virtuali
 - 1 CFU: attività di laboratorio / Esercitazioni

Pagina docente

- <https://www.docenti.unina.it/silvia.rossi>
- Nella sezione *Avvisi* della pagina docenti troverete durante il corso diverse tipologie di informazioni:
 - Possibili assenze
 - Appelli
 - Esito esami
 - Altre comunicazioni
- E' bene controllare spesso

Appelli d'esame

- Si applica il Regolamento della Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
 - 7 appelli durante l'anno accademico che cadono *orientativamente* nei mesi di giugno, luglio, settembre, ottobre, gennaio, febbraio e marzo.
 - Fra due appelli devono intercorrere almeno 15 giorni

5.4 Ripetizione di un esame

Nell'ambito della disciplina generale stabilita dal Regolamento Didattico di Ateneo*, si dispone che gli studenti possano sostenere un esame non superato senza alcuna limitazione, purché tra l'appello dell'esame sostenuto e il successivo siano trascorsi almeno 15 giorni solari.

5.6 Raccomandazioni e linee di indirizzo

Per i corsi tenuti nel periodo didattico e nell'ambito del coordinamento trasversale potranno essere previsti "pre-appelli" immediatamente successivi alla fine del corso, nel quadro di una bilanciata collocazione complessiva degli appelli nel periodo di esame.

collocazione complessiva degli appelli nei periodi di esame.
Per gli esami che prevedono più prove (ad es. scritto e orale) si raccomanda fortemente di contenere l'intervallo temporale intercorrente tra le stesse al minimo compatibile con le normali operazioni di correzione degli elaborati. Si raccomanda inoltre di curare la tempestiva trasmissione dei verbali alle Segreterie Studenti competenti.

5.3 Numero di appelli di esame e loro distribuzione

Per tutti gli insegnamenti curriculani che costituiscono il prospetto della Didattica Programmata del Corso di Studi e per gli studenti iscritti in corso è previsto un numero minimo di appelli, tra i quali devono intercorrere almeno 15 giorni solari, così articolato:

- due appelli nel primo periodo di esami;
 - due appelli nel secondo periodo di esami;
 - un appello nel terzo periodo di esami;
 - un appello straordinario per il recupero degli esami in debito nel mese di ottobre;
 - un appello straordinario per il recupero degli esami in debito nel mese di marzo.

5.1. Periodi didattici e periodi di esami.

Le Strutture Didattiche individuano, convenientemente con l'organizzazione didattica semestrale dei Corsi di Studio, la durata del periodo didattico e la durata del periodo di vacanza scolastica. Il periodo didattico norma la fine del primo periodo didattico e l'inizio del secondo; il periodo di vacanza scolastica norma la fine del secondo periodo didattico e l'inizio del periodo di vacanza scolastica. Il periodo di esame norma la fine del secondo periodo didattico e l'inizio del periodo di esame.

Fatto salvo quanto stabilito al successivo punto 5.3, gli studenti scritti in corso agli anni diversi delle stesse strutture didattiche possono sostenere esami durante il periodo di vacanza scolastica dell'anno del percorso normato da cui possono costituire esami in debito dalla conclusione del corso del periodo didattico, anche se di fuori del "periodo di esame" sopra indicati, seguendo la programma di studi del corso di studio in cui sono iscritti.

Gli studenti iscritti nelle strutture di studio possono sostenere esami durante l'anno, secondo le programmi delle feste di studio delle strutture Didattiche di concerto con i docenti.

Modalità di esame

- L'esame consiste in una prova scritta e un colloquio orale
- Accedono alla prova orale gli studenti che hanno raggiunto o superato allo scritto la soglia di ammissione di 18/30 -> (A,B,C,D)
- Il superamento della prova scritta in un appello permette l'accesso all'orale **solo ed esclusivamente** nello stesso appello
 - Studiare **durante il corso** vi permette di assimilare per tempo e in maniera graduale le nozioni necessarie per sostenere al meglio l'esame
 - I programmi dei due gruppi sono completamente allineati
 - Per ragioni amministrative non è possibile fare cambi di gruppo

Prova scritta

- La prova scritta è suddivisa in una parte relativa agli argomenti trattati nei primi 5 crediti ed una parte relativa ai rimanenti 3 crediti.
- Il punteggio finale è dato dalla somma dei punteggi di ogni singolo esercizio
- Un esercizio è svolto correttamente *se e solo se* il suo risultato è corretto

Prova intercorso

- Per incentivare uno studio *in itinere* ed favorire un rapido svolgimento dell'esame è prevista una prova scritta *intercorso*
- La prova intercorso è riservata agli studenti iscritti al corso
- La prova scritta intercorso si tiene subito dopo aver svolto il programma relativo ai primi 5 CFU
- Il superamento della prova intercorso da diritto all'esonero della prova scritta per gli argomenti relativi ai primi 5 CFU
- La votazione complessiva dello scritto sarà in questo caso ottenuta sommando alla valutazione della prova di esonero quella della seconda parte della prova scritta
- L'esonero acquisito con il superamento della prova intercorso è valido durante tutti gli appelli della sessione estiva (giugno, luglio e settembre) del corrente anno. Ad ottobre la prova intercorso decade

Alcune *Frequently Asked Questions*

- Ho superato la prova intercorso con il massimo dei voti: posso accedere direttamente alla prova orale ?
 - No, va sempre sostenuta la prova scritta relativa ai rimanenti 4 CFU
- Posso usare l'esonero per sostenere l'esame in un appello straordinario?
 - No, l'esonero vale solo nella sessione estiva, poi decade
- Posso sostenere la prova scritta in un appello e quella orale successivamente?
 - No, prova scritta e orale vanno sostenute sempre nello stesso appello
- Ho superato la prova intercorso ma non ho superato l'esame nell'appello di giugno\luglio, dovrò a settembre sostenere la prova scritta per intero?
 - No, l'esonero della prova intercorso rimane fino a settembre valido

Contatti

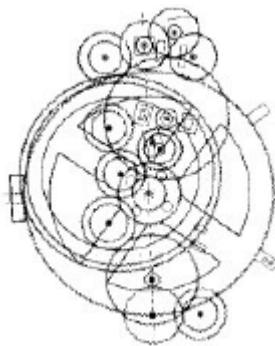
- Email: silvia.rossi@unina.it
 - La mail è utilizzata per informazioni di carattere organizzativo, non per dubbi riguardanti argomenti del corso
 - Per dubbi riguardo gli argomenti del corso c'è il ricevimento

Storia degli elaboratori

- Alcuni cenni
 - se volete qualche altra informazione
<http://www.computerhistory.org/timeline/>
- Chiaramente è fortemente legata alla storia dell'Informatica, ma non coincide con essa!
 - Così come la storia degli strumenti musicali non coincide con la storia della musica

Strumenti di calcolo

Fin dall'antichità l'uomo ha sviluppato strumenti che l'aiutassero nello svolgimento di calcoli matematici. Un tipico esempio è l'**abaco** (**3000 a.C.**), probabilmente originario della Cina, aiuta ad eseguire le quattro operazioni (somma, sottrazione, prodotto e divisione intera).

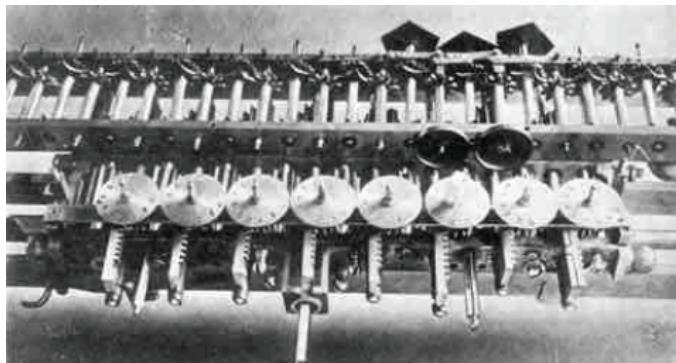


La **macchina di Antikythera** (**150 - 100 a.C.**) è un sofisticato planetario ritrovato in una isola greca. Esso è mosso da ruote dentate, che serviva per calcolare il sorgere del sole, le fasi lunari, i movimenti dei 5 pianeti allora conosciuti, gli equinozi, i mesi e i giorni della settimana.

Pascalina

L'abaco è un strumento che aiuta ad eseguire calcoli, ma di per sé non li svolge in maniera autonoma.

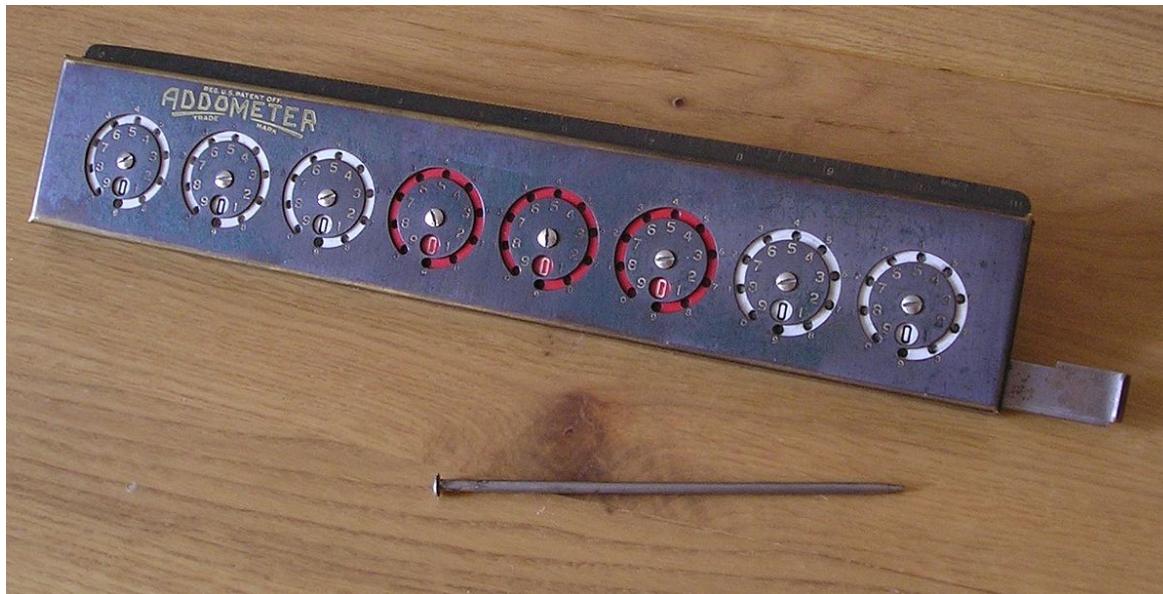
Uno dei primi esempi di macchina aritmetica fu la **pascalina** (1640). Progettata da Blaise Pascal, era in grado mediante un sistema di rotori di operare i riporti di una somma. Quindi, a differenza dell'abaco, la pascalina poteva eseguire autonomamente la somma di due numeri di massimo dodici cifre.



La **Stepped Reckoner** (1673) è una macchina per addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni, divisioni e radice quadrata progettata da Gottfried Wilhelm von Leibniz.

L'addometer

Intorno agli anni sessanta si vendeva ancora un addizionatore meccanico del tutto analogo alla pascalina.



6\$ su eBay

Discipline

- Intentionally restrict design choices
- Example: Digital discipline
 - Discrete voltages instead of continuous
 - Simpler to design than analog circuits – can build more sophisticated systems
 - Digital systems replacing analog predecessors:
i.e., digital cameras, digital television, cell phones, CDs



The Three -y's

- **Hierarchy**
 - A system divided into modules and submodules
- **Modularity**
 - Having well-defined functions and interfaces
- **Regularity**
 - Encouraging uniformity, so modules can be easily reused



The Digital Abstraction

Most physical variables are **continuous**

Voltage on
a wire

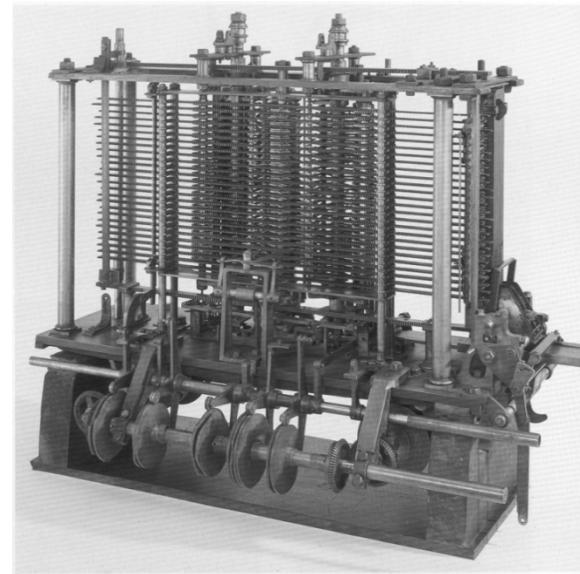
Frequency
of an
oscillation

Position of
a mass

Digital abstraction considers
discrete subset of values

The Analytical Engine

- Designed by Charles Babbage from 1834 – 1871
- Considered to be the first digital computer
- Built from mechanical gears, where each gear represented a discrete value (0-9)
- Babbage died before it was finished



La Macchina Differenziale all'Opera

Charles Babbage (1791-1871)

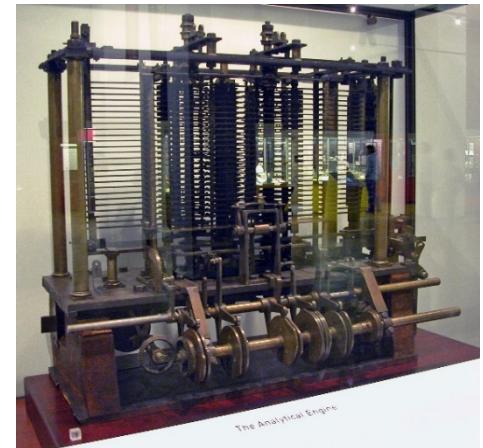
- Macchina Differenziale (calcolo di funzioni polinomiali)
- Macchina Analitica (general purpose! Schede perforate)

Ada Lovelace (1815-1852)

- Primo programmatore
- Programma per la macchina analitica
- Algoritmo per calcolare I numeri di Bernoulli

La macchina analitica

La **Analithcal Engine** (1824) è una macchina *programmabile* progettata dal matematico inglese Charles Babbage. Questo viene considerato il primo tentativo di realizzare un calcolatore moderno.



Allo sviluppo della macchina analitica contribuì anche la contessa Ada Lovelace (1815-1852). In una delle sue note è descritto un algoritmo per calcolare i numeri di Bernulli. Queste note sono considerate il primo programma della storia.

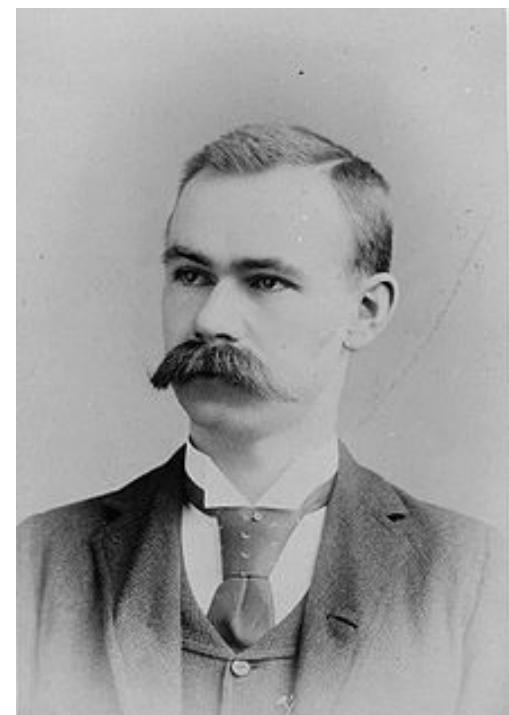
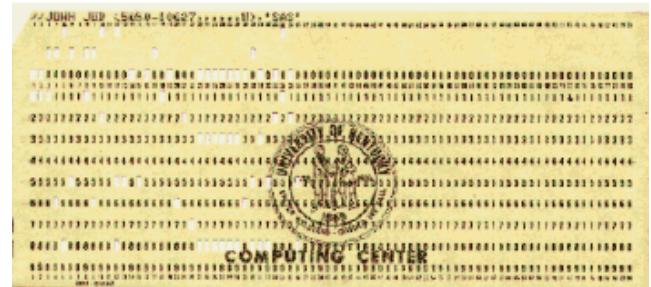
La macchina tabulatrice

Il censimento degli Stati Uniti nel 1880 durò nel suo complesso circa sette anni. Di fatto i dati, una volta disponibili era già obsoleti.

Per ovviare a questo problema, Herman Hollerith realizzò una macchina tabulatrice per il censimento del 1890. Grazie ad essa, il censimento durò solo qualche mese.

Ispirandosi ai biglietti ferroviari dell'epoca, questa macchina utilizzava schede perforate per immagazzinare le informazioni.

Hollerith fondò la Tabulating Machine Company che nel 1924 diventò la IBM.



Digital Discipline: Binary Values

Two discrete values:

1's and 0's

1, TRUE, HIGH

0, FALSE, LOW

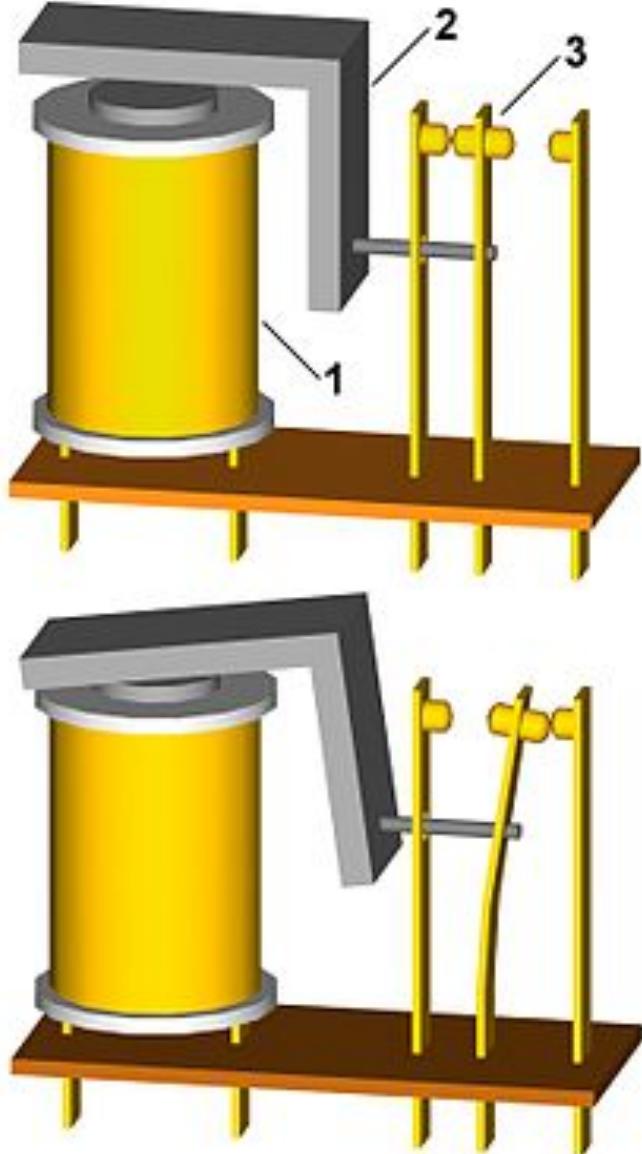
1 and 0: voltage levels, rotating gears, fluid levels, etc.

Digital circuits use **voltage** levels to represent 1 and 0

Bit: Binary digit

Relè

- Il **relè** è un componente elettromeccanico il cui azionamento avviene mediante un elettromagnete costituito da una bobina di filo conduttore elettrico, generalmente di rame, avvolto intorno ad un nucleo di materiale ferromagnetico. Al passaggio di corrente elettrica nella bobina, l'elettromagnete attrae l'ancora alla quale è vincolato il contatto mobile che quindi cambierà posizione.

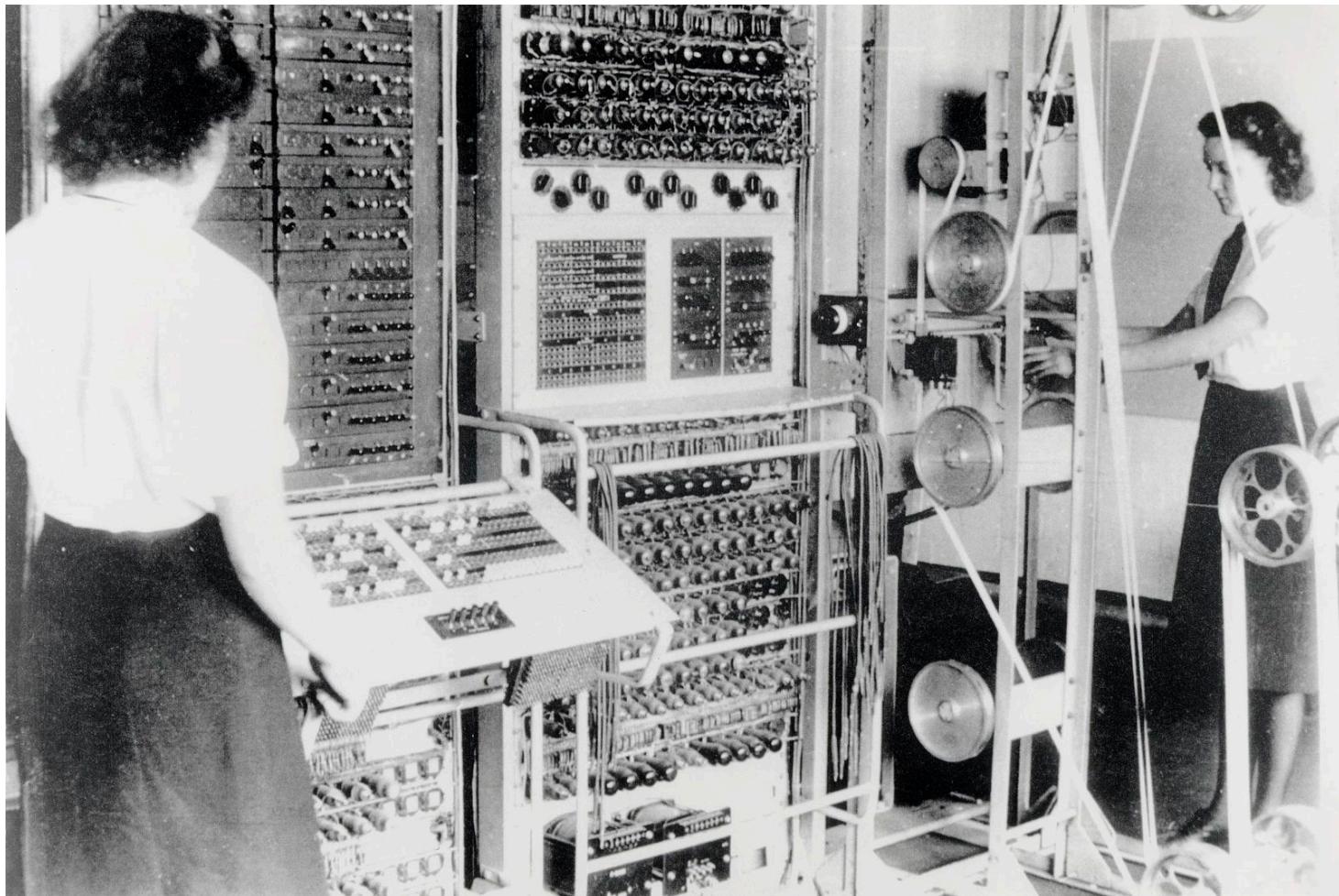




Valvole Termoioniche

- il catodo emette elettroni per effetto termoionico, cioè per riscaldamento; il flusso di elettroni, cioè la corrente, passa fra il catodo e un altro elettrodo, l'anodo, controllato dalla tensione a cui sono poste alcune parti metalliche (griglie) frapposte tra i due elettrodi. Poiché il flusso di corrente è dovuto agli elettroni (non a ioni), taluni chiamano il dispositivo **valvola termoelettronica**.

Colossus

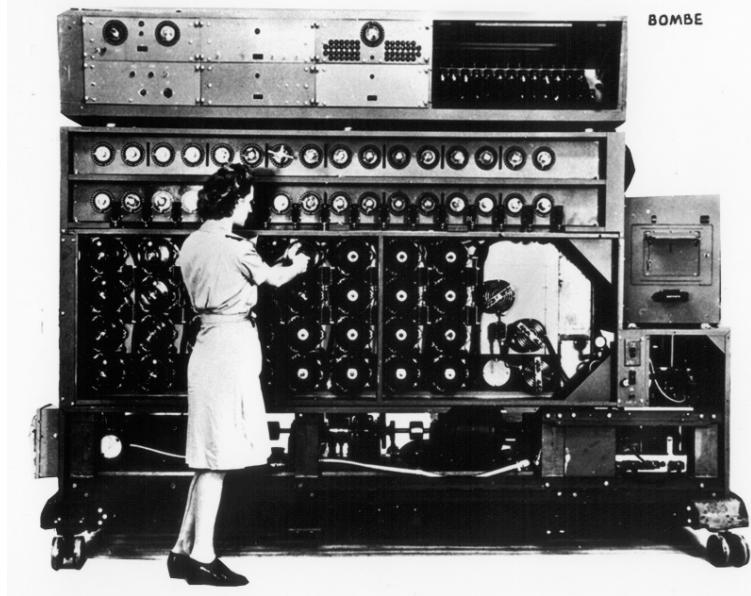


La «Bomba»

Nel 1941 viene completato in Inghilterra il primo modello della “Bomba”, una macchina elettromeccanica il cui scopo era quello di decrittare il codice nazista ENIGMA.

L'Informatica viene impiegata per risolvere un problema “difficile” e di grande importanza strategica.

A capo del gruppo di matematici ed enigmisti che realizzò la Bomba c'era uno dei padri fondatori della scienza informatica, Alan Turing.

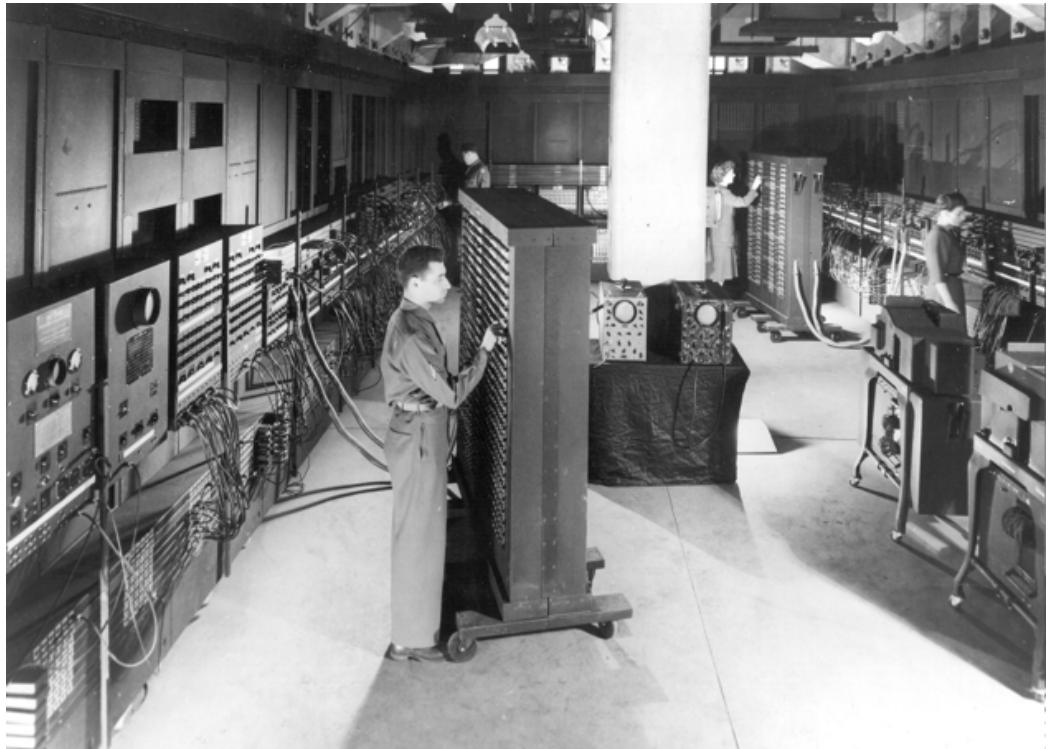


ENIAC

Nel 1946 Dr. John W. Mauchly e J. Presper Ecjert realizzarono presso l'Università della Pensilvania uno dei primi calcolatori moderni, l'Electronic Numerical Integrator and Calculator (ENIAC).

L'ENIAC era un calcolatore *Turing-completo* che fu usato soprattutto per calcolare traiettorie balistiche per l'esercito statunitense.

Pesava circa 27 tonnellate, occupava un area di 127 m² e conteneva 17468 valvole termoioniche.



- https://www.youtube.com/watch?v=k4oGl_dNaPc

92

9/9

0800 Arctan started

1000 stopped - arctan ✓

13'00 (033) MP-MC

(033) PRO 2

cosine

{ 1.2700 9.037 847 025

9.037 846 995 cosine

~~1.982149000~~~~2.130476415~~

4.615925059(-2)

2.130476415

2.130476415

Relays 6-2 in 033 failed special speed test
in relay

Relay 3145
Relay 3371

1100 Started Cosine Tape (Sine check)

1525 Started Multi Adder Test.

1545

Relay #70 Panel F
(moth) in relay.

First actual case of bug being found.

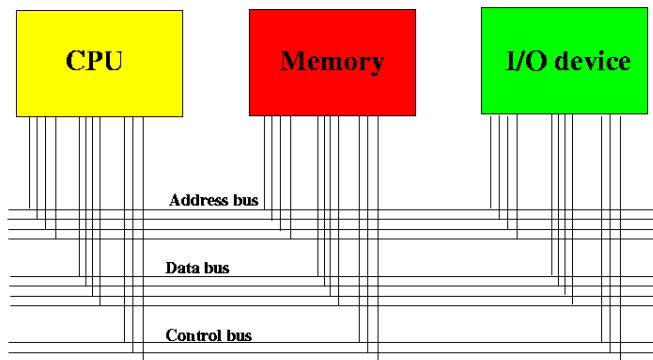
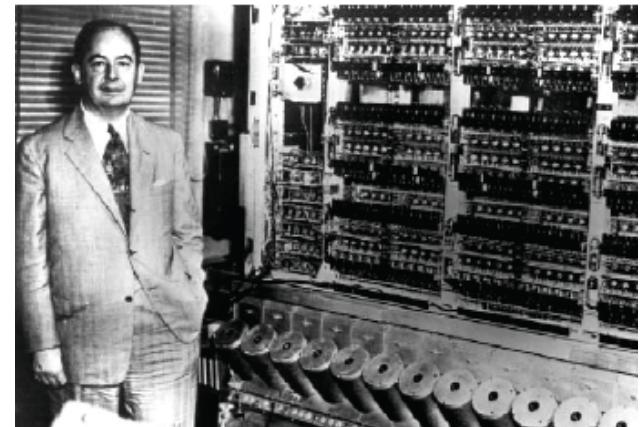
1600 Arctan started.

1700 closed down.

EDVAC

L'Electronic Discrete Variable Automatic Computer (1951) fu realizzato dagli stessi progettisti dell'ENIAC.

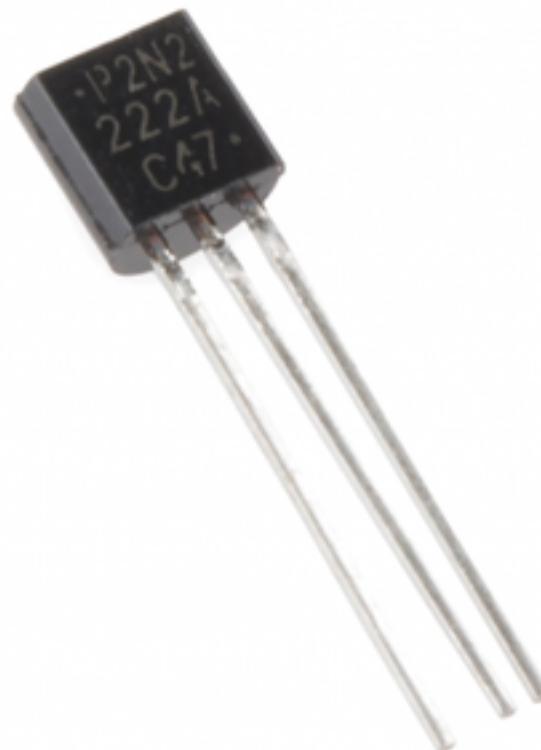
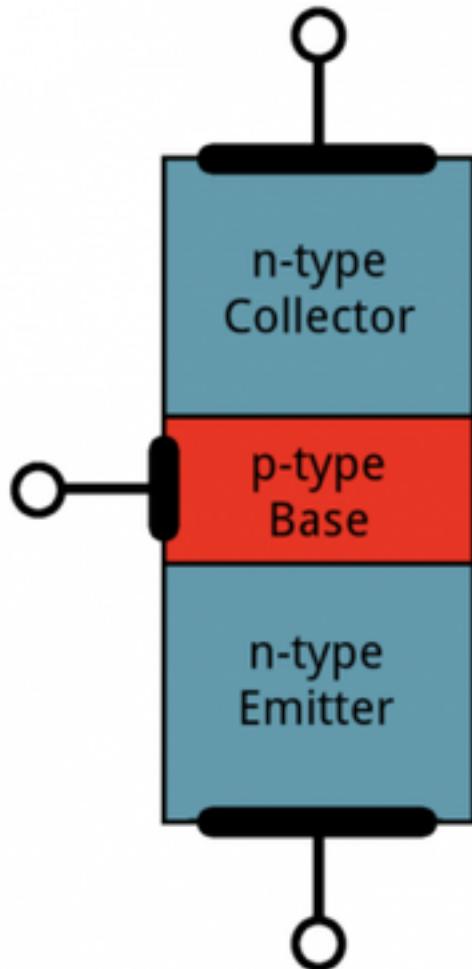
Diversamente dall'ENIAC, in cui i programmi erano cablati, l'EDVAC è uno dei primi esempi di architettura di von Neumann.



L'intuizione del grande matematico ungherese è quella di rappresentare i programmi in codice binario, esattamente come i dati. In questo modo sia i dati che i programmi sono caricati in memoria.

L'architettura di von Neumann è il modello su cui si basano ancora oggi i nostri computer.

Transistor





IBM 1401

Nel 1961 la IBM realizza il mainframe 1401. Le valvole termoioniche sono sostituite con i più stabili e piccoli transistors.

Il 1401 può essere considerato il primo successo commerciale, pochi anni dopo circa la metà dei computer in circolazione erano un 1401.



Programma 101

Nella fiera di New York del 1965 la Olivetti presenta il primo personal computer della storia, la Programma 101.

Se si pensa che i computer di allora erano grandi come armadi, Programma 101 era una macchina strabiliante per dimensioni, prestazioni e semplicità d'uso.

44 mila esemplari venduti di cui il 90% negli Stati Uniti. Fu usata anche dalla NASA.

<https://www.youtube.com/watch?v=2RjIRKletP8>

Circuiti Integrati



- Un **circuito integrato (IC)**, dall'inglese *integrated circuit*), in elettronica digitale, è un circuito elettronico miniaturizzato dove i vari transistori sono stati formati tutti nello stesso istante grazie a un unico processo fisico-chimico.
- Un *chip* (lett. "pezzetto") è il componente elettronico composto da una minuscola piastrina del wafer di silicio (die), a partire dalla quale viene costruito il circuito integrato; in pratica, il *chip* è il supporto che contiene gli elementi (attivi o passivi) che costituiscono il circuito. A volte si utilizza il termine *chip* per indicare complessivamente l'integrato.

ATARI 2600

Nel 1977 viene commercializzata la console ATARI 2600. Nasce l'industria videoludica.

CPU: 8-bit 1.19 MHz MOS

Technology 6507

RAM: 128 bytes



IBM 5150

Il mercato dei personal computer crebbe esponenzialmente negli anni ottanta grazie all'imponente campagna pubblicitaria della IBM.

Il primo PC della IBM era il 5150. Montava un processore Intel 8088 a 4.77 Mhz e usava il sistema operativo DOS di Microsoft.

IBM 5150 costituì anche uno dei primi “ecosistemi” di software, periferiche e altri accessori sviluppati per questa piattaforma.



C64

Negli anni ottanta i computer iniziarono a popolare milioni di case grazie allo sviluppo di computer economicamente accessibili. Il maggior successo commerciale fu il Commodore 64.

Coi suoi 64 Kbyte di memoria RAM, il C64 era un ottimo computer per uso domestico. Oggi un portatile di fascia media ha una memoria circa 100.000 volte più grande.



Macintosh

Nel 1984 viene commercializzato il primo Macintosh. La macchina era fornito di 128KB di memoria Ram ma non possedeva un hard disk interno. Inoltre aveva problemi di surriscaldamento.

La vera innovazione era in realtà il sistema operativo, il primo che supportava in maniera nativa un interfaccia grafica.



Era il 1998 quando vide la luce il primo modello di l'IMac. Questo all-in-one computer segnerà la rinascita della Apple e la sua scalata economica fino a diventare il colosso che conosciamo oggi.

Aveva un processore G3 a 233 Mhz, 32MB di RAM, e una memoria di massa di 4 GB.



- <https://www.youtube.com/watch?v=MGL047HMxSk>

IPhone

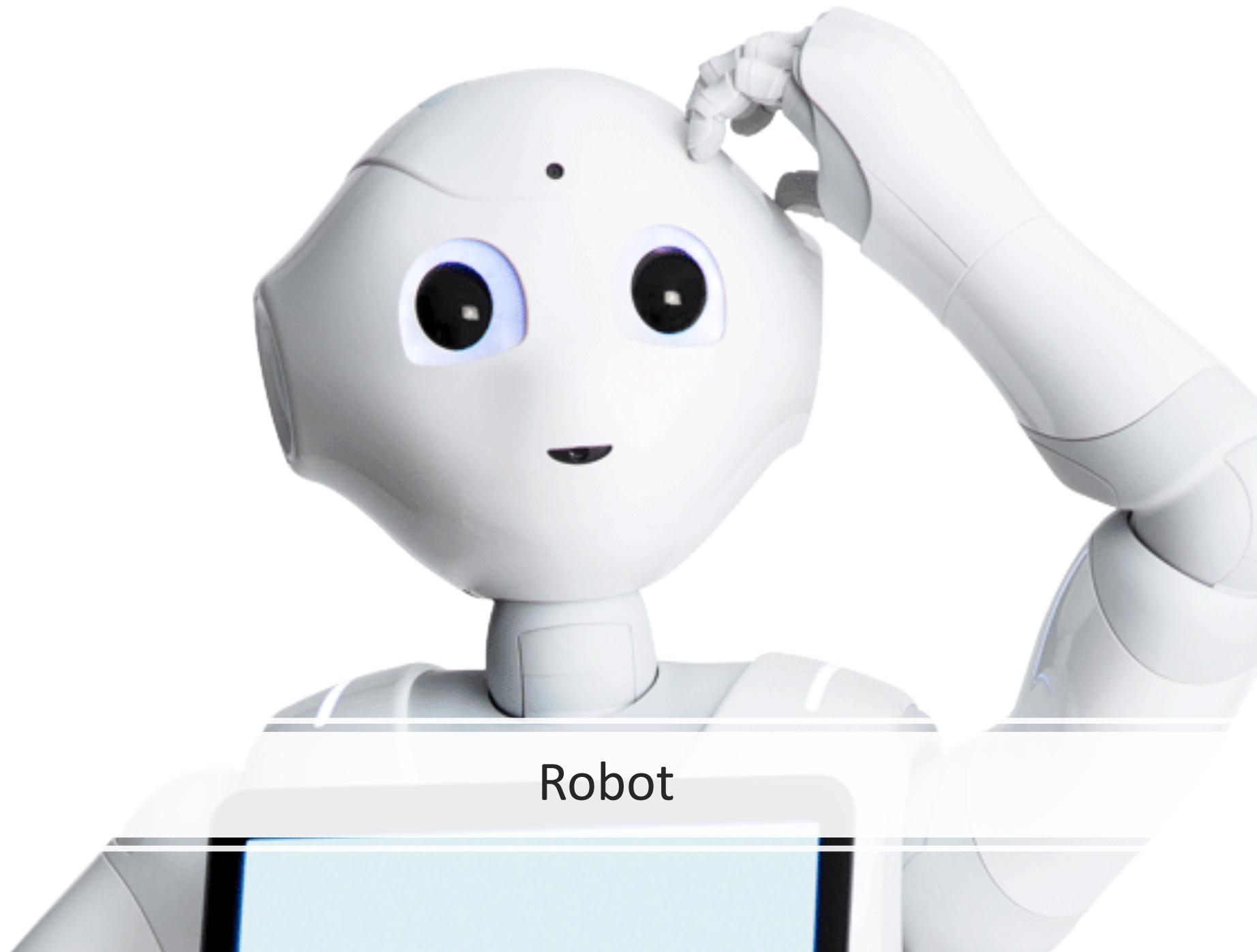
Nel 2007 Apple presenta IPhone, il computer è ormai così miniaturizzato da entrare in tasca.

Subito molte altre compagnie (Samsung, Google) si lanciano nel promettente settore degli smartphone.

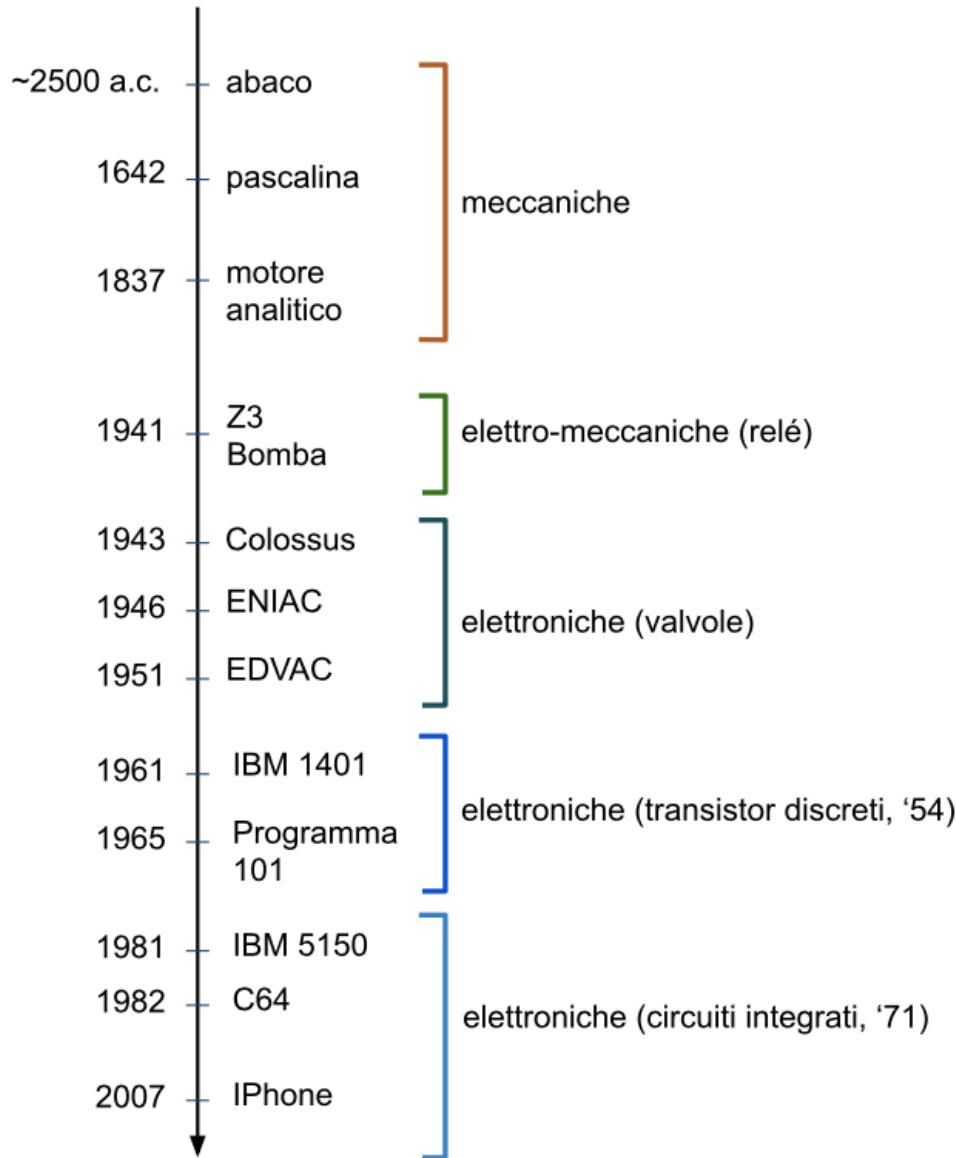
Grazie ai social networks e un vasto ecosistema di apps gli smartphone sono di fatto la tipologia di computer che utilizziamo di più durante la giornata.

Le caratteristiche peculiari degli smarthphone hanno favorito lo sviluppo dei processori ARM.





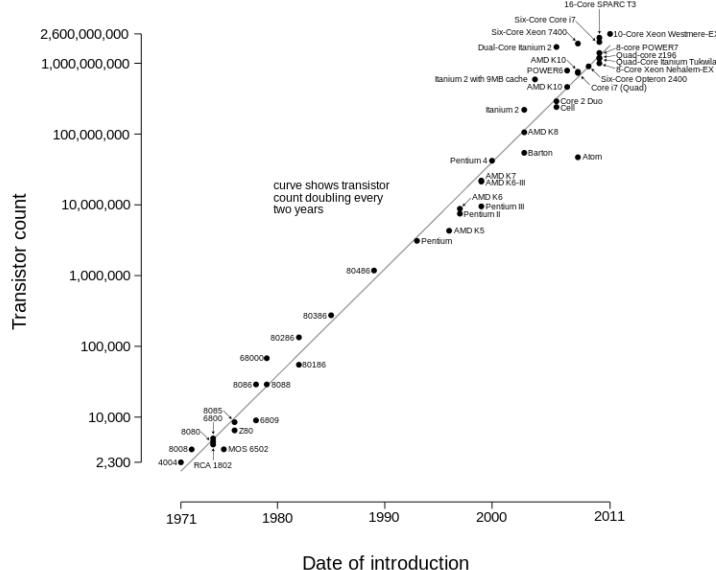
Robot



Sviluppo degli elaboratori

- Memoria RAM di un portatile di fascia media:
 - 256 MB (2000) 1GB (2005) 4GB (2010) 16GB (~~2015~~ 2020)
- Fino ad oggi, le caratteristiche dei componenti hardware hanno avuto una crescita esponenziale.
- Legge di Moore: il numero di transistor di un processore raddoppia ogni 18 mesi

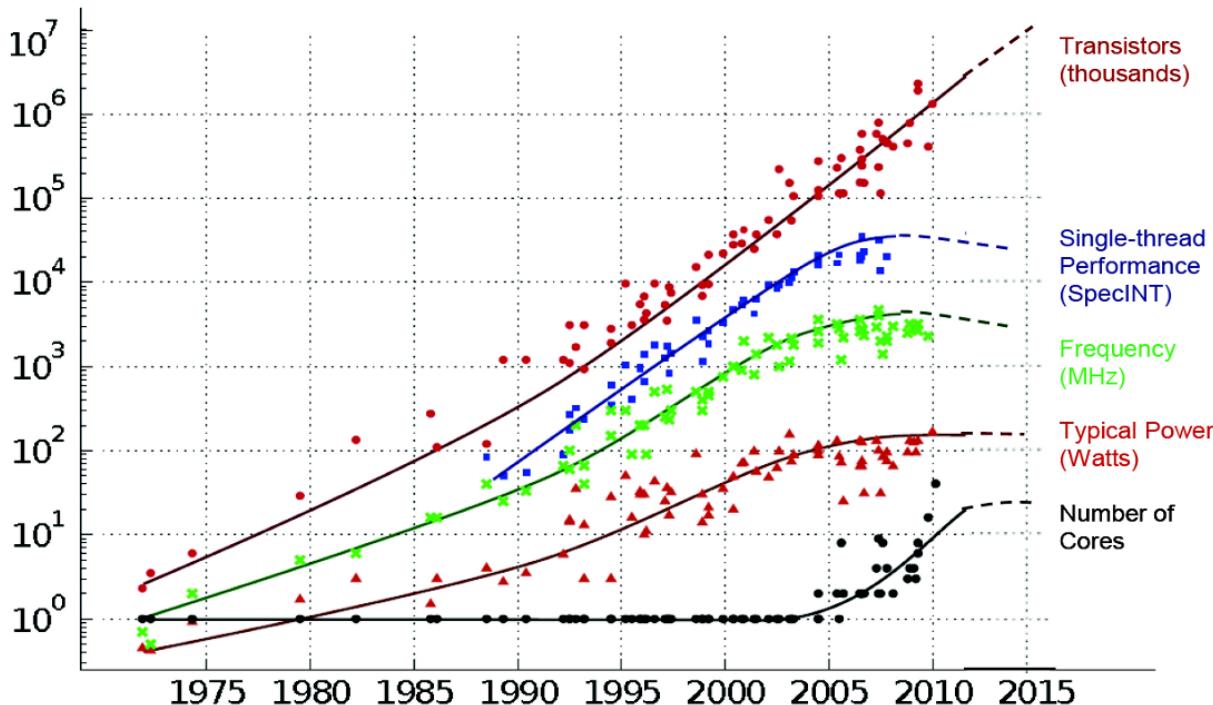
Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law



Sviluppo degli elaboratori

Tuttavia alcune caratteristiche hardware sembra che abbiano rallentato la loro crescita esponenziale

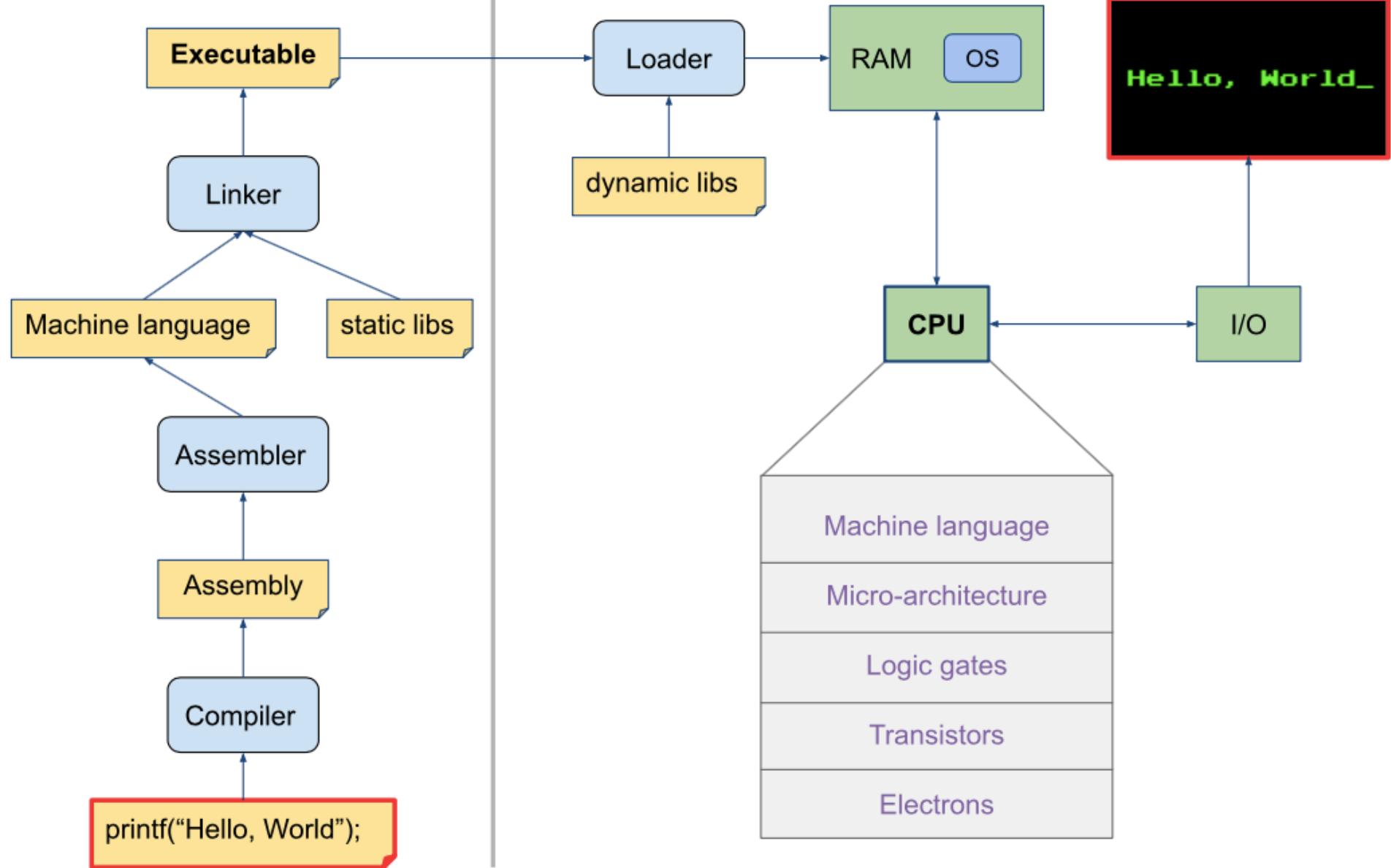
35 YEARS OF MICROPROCESSOR TREND DATA



Original data collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond and C. Batten
Dotted line extrapolations by C. Moore

Build

Execution



Livelli di astrazione

Nascondere i dettagli quando non sono importanti...

