
Architettura degli Elaboratori

Lezione 1: Introduzione

slide a cura di Salvatore Orlando, Andrea Torsello, Marta Simeoni



Organizzazione del corso

Sito del corso: www.dsi.unive.it/~architet

Architettura degli elaboratori – primo modulo (primo semestre)

Marta Simeoni (orario: martedì 8.45 – 10.15

giovedì 8.45 – 10.15)

orario di ricevimento: mercoledì 9.00 – 11.00

Ma 15 e Ma 22
Settembre ore
10.30 – 12.00

Architettura degli elaboratori – secondo modulo (secondo semestre)

Salvatore Orlando orario da definire

Ciascun modulo organizzato su 12 settimane
(4 ore di lezione per settimana per un totale di 48 ore)

L'esame è da 12 crediti: l'intero programma si svolge sui due semestri e viene registrato un unico voto.

Comunicazioni

- Comunicazione Studenti -> Docenti

architettura@dsi.unive.it

- Comunicazione Docente -> Studenti

- Il mezzo privilegiato di comunicazione è il sito del corso

<http://www.dsi.unive.it/~architet>



Libro di testo

David A. Patterson, John L. Hennessy

Struttura e Progetto dei Calcolatori

Terza Edizione

Zanichelli Editore 2010



Modalità d'esame

- Compito finale scritto (maggio, giugno, settembre 2015 e gennaio 2016) sul programma del primo e secondo modulo
 - serie di **domande teoriche ed esercizi**
- Materiale didattico disponibile sul sito del corso
 - slide proiettate durante il corso
 - lezioni e esercizi
 - materiale di studio aggiuntivo
 - link a pagine utili
 - compiti svolti anni precedenti (con soluzioni)



Modalità d' esame: compitini

Il corso prevede lo svolgimento di due prove intermedie (“compitini”) per facilitare gli studenti che seguono regolarmente il corso.

- Il primo compitino è relativo al programma del primo modulo e si svolge nella sessione invernale (appello di Gennaio 2016).
- Il secondo compitino verte sul programma del secondo modulo e si svolge nella sessione estiva (Maggio-Giugno 2016) e autunnale (Settembre 2016).

IMPORTANTE:

- Il secondo compitino può essere svolto *solo dagli studenti che hanno superato positivamente il primo.*
- Chi non riesce a superare i due compitini con voto complessivo (media dei voti dei due compitini) sufficiente *deve rifare l'esame completo.*

Primo modulo: ulteriore possibilità

Inoltre, per agevolare gli studenti che studiano man mano che il corso procede:

- Durante lo svolgimento del primo modulo verrà predisposta una **prima prova intermedia**, con domande ed esercizi sulla parte di programma già esposta in classe.
- A gennaio, in corrispondenza con l'appello d'esame, *gli studenti che hanno svolto la prima prova* potranno svolgere la **seconda prova intermedia** al posto del compitino. La seconda prova intermedia consisterà di domande ed esercizi relativi alla parte di programma svolta dopo la prima prova.



Obiettivi

- I due moduli del corso si prefiggono di svelare i seguenti aspetti di un moderno computer:
 - organizzazione interna e il funzionamento
 - CPU
 - Memoria
 - I/O
 - concuse HW/SW delle prestazioni
 - come si misurano le prestazioni
 - segreti della programmazione
 - scendendo rispetto al livello di astrazione *linguaggio ad alto livello*



Obiettivi

- Perché è importante studiare questa materia?
 - per conoscere il calcolatore in tutte le sue componenti
 - per riuscire a costruire del software usabile e veloce
 - per essere in grado di prendere decisioni di acquisto HW



Programma del primo modulo

- Organizzazione di base di un calcolatore (CPU, memoria, I/O) e livelli di astrazione.
- Rappresentazione dell'informazione e aritmetica dei calcolatori.
- Algebra booleana (Tabelle di verità, Forme canoniche di espr. booleane), Circuiti combinatori (multiplexer, decoder, PLA).
- Memoria: Latch, Clock, Flip-flop, Registri, RAM.
- Circuiti sequenziali sincroni.
- Principali istruzioni MIPS (aritmetico-logico, di controllo)
- Progetto della CPU:
 - Progettazione ALU e Register File.
 - Parte controllo e parte operativa.
 - Organizzazione a singolo e multiplo ciclo.
 - Progetto del controllo.
- Valutazione delle prestazioni: Tempo di CPU. Throughput. CPI. Misure di prestazioni e benchmarks.



Introduzione

- Calcolatori elettronici
 - basati su tecnologie in rapidissima evoluzione
 - valvole -> transistor -> IC (VLSI)¹
 - legge di Moore
 - ogni 1,5 anni osserviamo il raddoppio di:
 - capacità di memoria*
 - velocità del processore*
 - (dovuto a miglioramenti nella tecnologia e nell'organizzazione)*
 - abbattimento dei costi contemporaneo all'incremento di velocità
 - Considerando come base gli anni '40, se l'industria dei trasporti avesse seguito la stessa evoluzione dei computer:
US coast-to-coast in 5 sec. per solo mezzo dollaro

¹(**IC=Integrated Circuit** **VLSI=Very Large Scale Integration**)

Introduzione

- Trend
 - incremento prestazioni e abbattimento costi
 - permette di affrontare e risolvere applicazioni sempre più complesse
 - integrazione con la rete
 - ancora nuove applicazioni informatiche (es. WEB)
 - integrazione con la rete telefonica e cellulare
 - nuovi hw e applicazioni (smartphone, ecc)

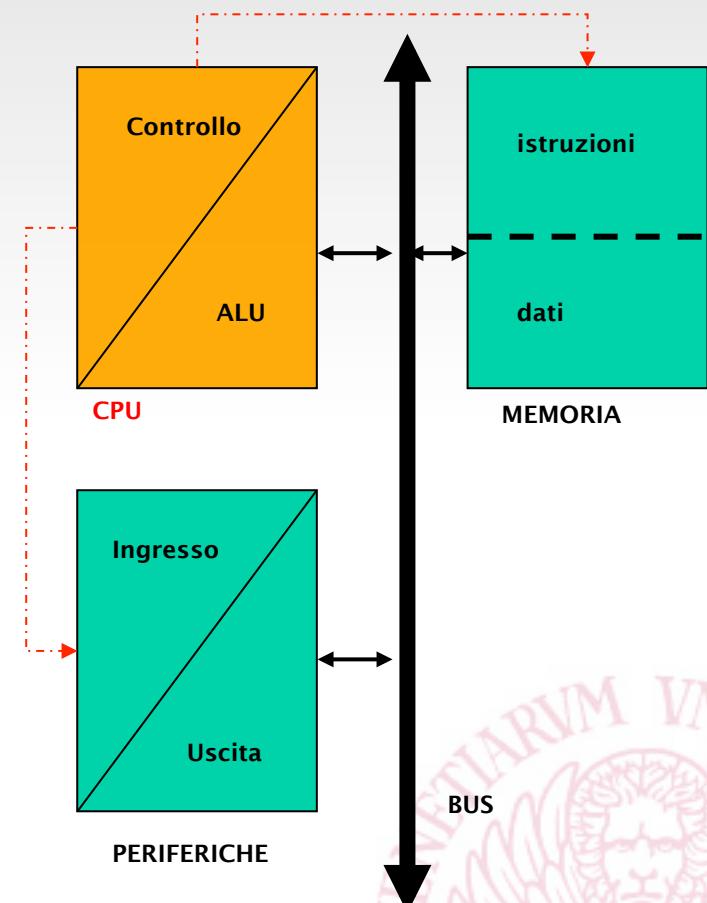


L'architettura di Von Neumann

Le macchine moderne sono basate sulla macchina di Von Neumann:

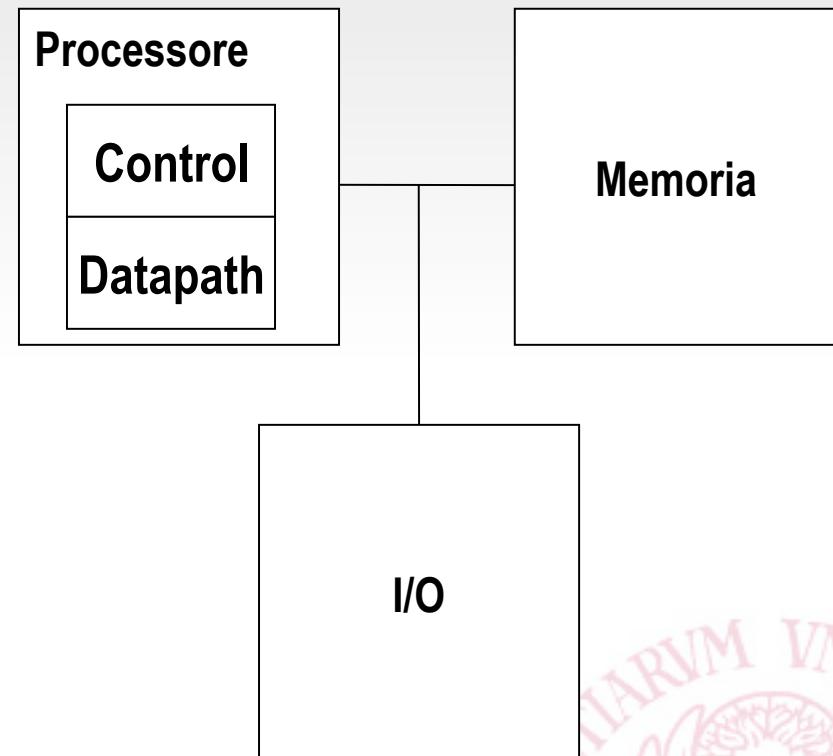
- CPU (parte operativa e parte controllo)
- Memoria (per dati e programmi)
- Periferiche di input/output

Il **BUS** è il canale di comunicazione che consente ai dati di transitare fra i diversi componenti dell' elaboratore



Componenti principali di un computer

- *Input/Output (I/O)*
 - mouse, tastiera (I)
 - video, stampante (O)
 - dischi (I/O)
 - CD e DVD (I/O o I)
 - rete (I/O)
- *memoria principale*
 - DRAM, SRAM
- *processore (CPU)*
 - parte operativa (datapath)
 - parte controllo (control)
 - bus



Com'è fatto un computer?

- I/O
 - serve per comunicare con l'esterno
 - include dispositivi di *memoria secondaria* (memoria non volatile), acceduti come dispositivi di I/O
- Memoria principale
 - usata per memorizzare programmi e dati durante l'esecuzione (concetto di *stored-program* introdotto da Von Neumann)
- Processore
 - è l'esecutore delle *istruzioni* appartenenti ad un'ISA
 - **ISA (Instruction Set Architecture)** definisce quindi il linguaggio (*povero*) comprensibile dal processore
 - le istruzioni sono lette dalla memoria, modificano dati in memoria o agiscono sull'I/O
 - decomponibile in
 - Parte Controllo* → mente
 - Parte Operativa* → braccio

Com'è fatto un Personal Computer ?

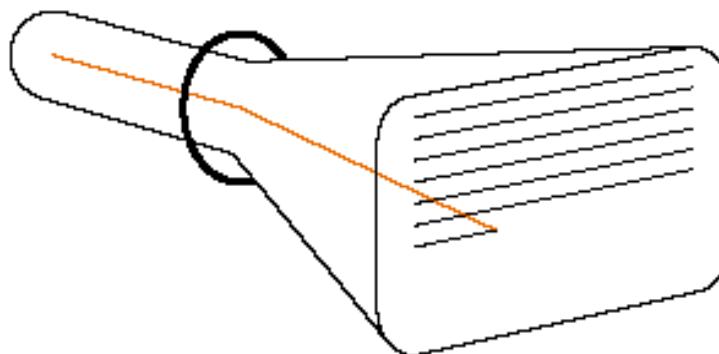
- Video: unità di uscita (O)
- Tastiera/mouse: unità di ingresso (I)
- Scatola: contiene
 - alimentatore
 - scheda madre (o motherboard o mainboard) e bus
 - processore
 - memoria volatile (RAM)
 - dischi (memoria stabile, I/O)
 - lettori CD/DVD
 - dispositivi di I/O per rete (LAN / MODEM)
 - dispositivi di I/O USB (Universal Serial Bus)



Video

CRT (Cathode Ray Tube)

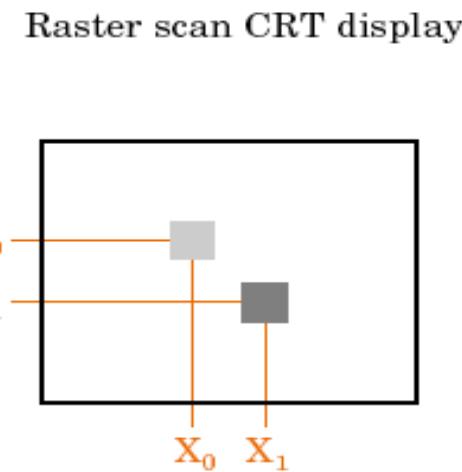
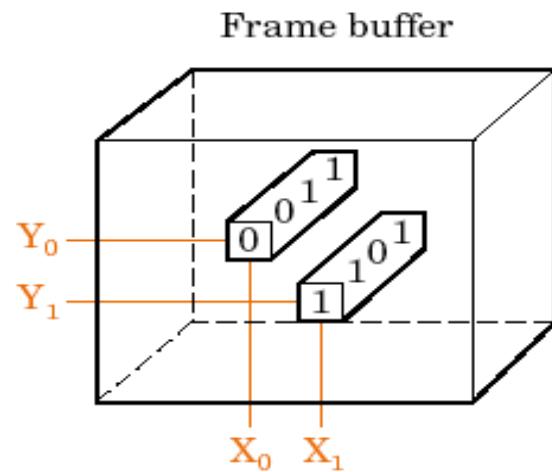
- fascio di elettroni “spennellato” su una matrice di fosfori
 - necessario il refresh continuo dello schermo
 - pennello passa sullo schermo per righe, una riga alla volta
 - frequenza (di refresh) espressa in Hz
- Dati caratteristici
 - frequenza di refresh (> 70 Hz per evitare sfarfallii)
 - numero di pixel (punti) dello schermo (es.: 1024x768)
 - numero di colori contemporaneamente visualizzati (RGB)



Video

■ Frame buffer

- memoria RAM veloce che contiene la rappresentazione binaria dei vari pixel (ovvero dei colori corrispondenti)
- per visualizzare sullo schermo bisogna scrivere nel frame buffer
- un convertitore digitale/analogico, con la frequenza opportuna, rinfresca in continuazione i vari pixel dello schermo sulla base dei dati del buffer



Video e Mouse

LCD (Liquid Crystal Display)

- molecole organiche con struttura cristallina immersi in un liquido
- proprietà ottiche dipendono dall' allineamento delle molecole
- retro illuminati



Mouse

- Il mouse è un dispositivo in grado di inviare un input ad un computer in modo tale che ad un suo movimento ne corrisponda uno analogo di un indicatore sullo schermo detto puntatore. È inoltre dotato di uno o più tasti ai quali possono essere assegnate varie funzioni.

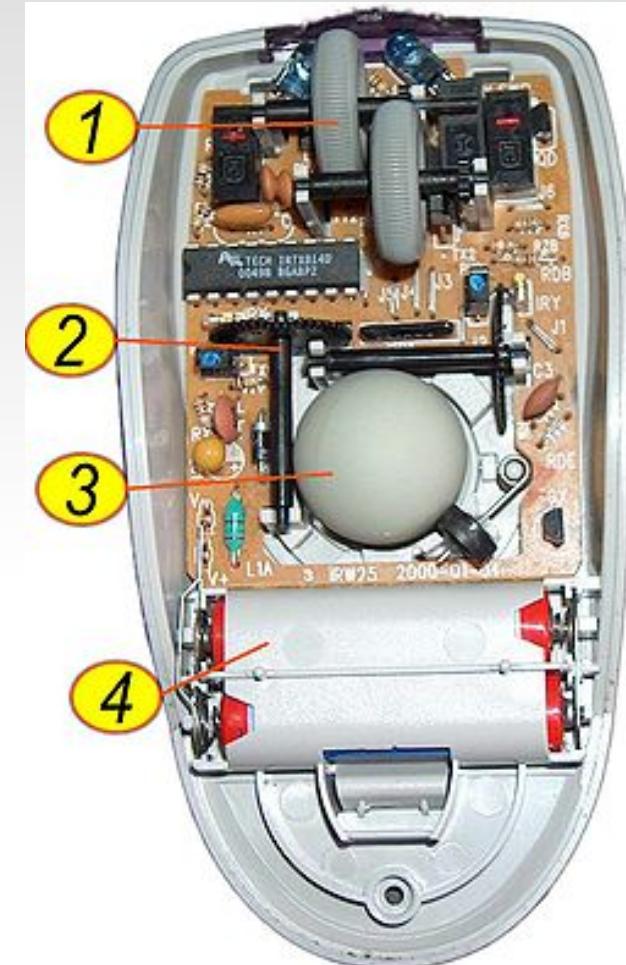
Mouse

■ Mouse meccanici

- Sfera (3) a contatto con due rotelle (2), una per l'asse delle X, l'altra per l'asse Y, che a loro volta sono connesse a contatori
- La rotazione della sfera muove le rotelle

■ Mouse ottici

- composti da un led, un sensore ottico e un chip per l'acquisizione delle immagini
- processore più complesso di quello presente in un mouse tradizionale
- mouse laser: usano un laser al posto del led per l'illuminazione del piano d'appoggio



Scatola

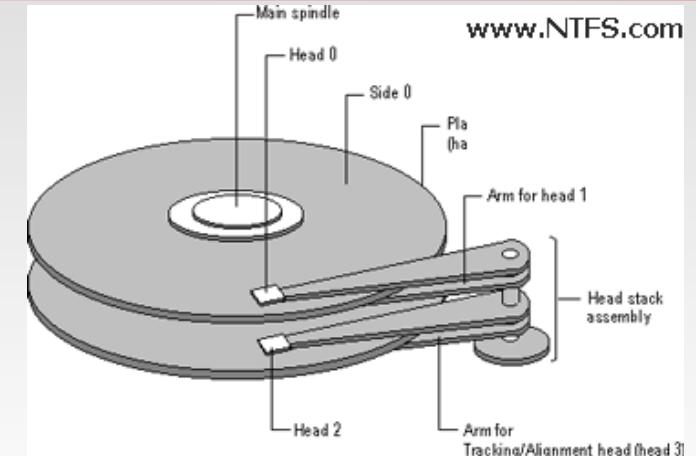
- Processore
 - chip che contiene parte controllo+parte operativa con registri
 - cache (buffer di memoria veloce)
- Memoria principale
 - DRAM, volatile, composta di vari chip
- Scheda madre: contiene diversi chip e bus, con alloggiamenti per
 - Processore
 - memoria
 - schede per gestire video, audio, rete, dischi, ecc. (I/O)



Scatola

Dischi (Memoria stabile secondaria)

- piatti girevoli ricoperti di materiale magnetico
- controller che ordina i movimenti della testina
- testina dotata di bobina elettromagnetica, che legge/scrive informazioni digitali (0/1)
- Floppy: lenti, 1.44 MB - 200 MB (Zip)
- Hard: piatti metallici, più veloci, con velocità di rotazione alta, diversi GB
- Differenza di tempo di accesso ai dispositivi di memoria
 - RAM (accesso da 5 a 100 nsec)
 - DISCHI (5-20 msec): 5-6 ordini di grandezza di differenza



SSD

SSD (solid state drive) - memorie allo stato solido o memorie flash

- Vengono dette memorie allo stato solido, perché non ci sono parti in movimento. L'assenza di movimento implica minori possibilità di rottura
- Hanno capacità fino a qualche centinaio di gigabyte
- Possono avere problemi con le cancellazioni ripetute (questo implica minore durata dell'unità)
- Più veloci dei dischi magnetici (tempo di accesso dell'ordine dei decimi di msec) ma anche più costosi



Realizzazione

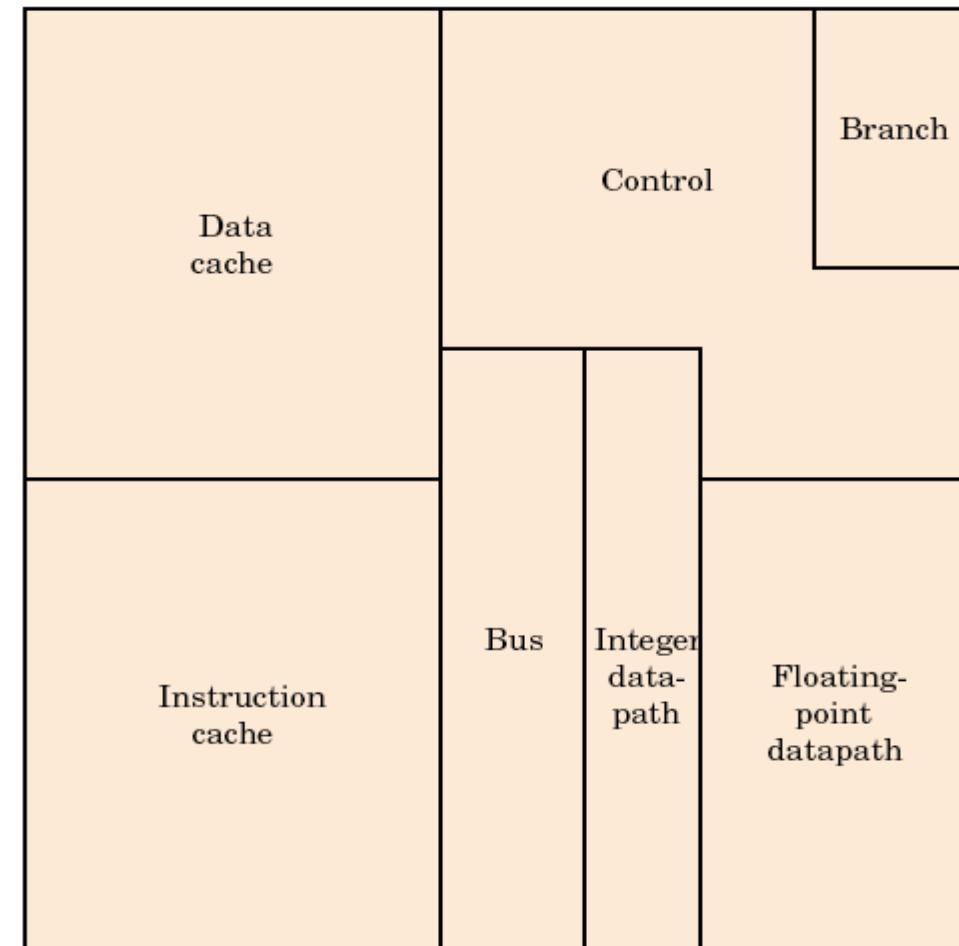
I componenti elettronici del computer sono realizzati con circuiti integrati (IC):

- fili + transistor realizzati con processo di integrazione larghissimo su frammenti di silicio (VLSI - Milioni di transistor su un singolo frammento)
- Silicio
 - presente nella sabbia
 - è un semiconduttore
 - aggiungendo materiali al silicio attraverso processo chimico, il silicio diventa
 - transistor, conduttore, o isolante



Central Processing Unit

Pentium della Intel. Chip 91 mm². 3,3 milioni di transistor

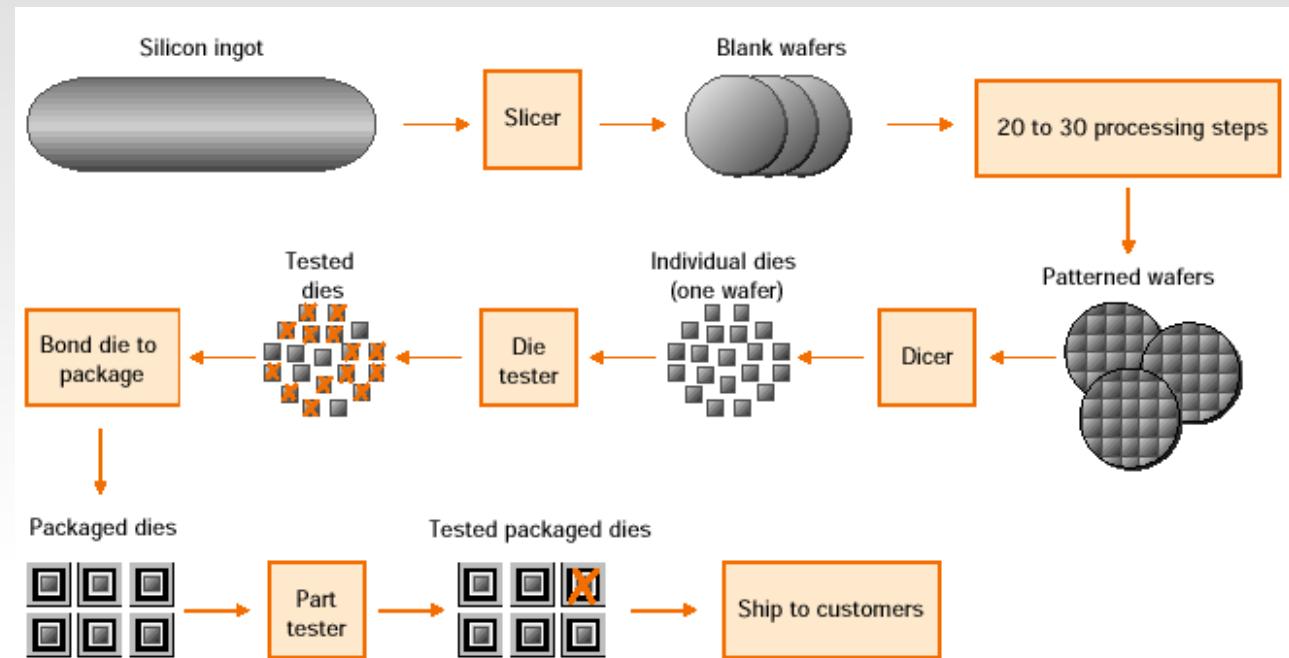


Processo produttivo dei chip

Lingotto di silicio
(15/30 cm diam.)

Wafer sottili ottenuti
tagliando il lingotto

10/20 processi produttivi
tramite pattern e processi
chimici ⇒
otteniamo diverse
repliche dello stesso
circuito rettangolare



Separiamo i vari circuiti e otteniamo i *die*

Collaudiamo i *die*

Inseriamo nei package i *die* funzionanti, collegandoli ai piedini (*pin*) del package ⇒
otteniamo i *chip* pronti per la consegna

Il ruolo dell' astrazione

- L' informatica si basa sul concetto di astrazione
- L' astrazione è una tecnica di semplificazione
- Il termine astrazione si riferisce alla distinzione tra le proprietà esterne di un' entità e i dettagli della sua struttura interna
- L' astrazione permette di ignorare i particolari interni di un congegno complesso e di usarlo come una singola unità



Il ruolo dell' astrazione

Per progettare o capire l'architettura di un sistema, oppure per programmare semplicemente un sistema, abbiamo bisogno di astrarre.

Es.: se cerchiamo di capire come funziona una CPU ... ci accorgiamo che la funzionalità della CPU è comprensibile se astraiamo e guardiamo solo alla sua interfaccia di programmazione: ISA (Instruction Set Architecture)

Se scendiamo di livello, troviamo fili e milioni di transistor!! E diventa così impossibile comprenderne il funzionamento!!! In particolare, non si riesce a:

- capire come questo livello interpreta le istruzioni dell'ISA
- individuare i blocchi funzionali
- capire a cosa servono i blocchi funzionali stessi



Livelli di astrazione

- In tutti i progetti di sistemi hw/sw
 - ritroviamo il concetto della strutturazione in livelli
- Un utilizzatore accede al livello più esterno, ovvero l'interfaccia utente
- Un programmatore è solitamente interessato
 - al livello **n-esimo** del sistema e al relativo linguaggio (vista più astratta che guarda al livello più alto)
 - ai traduttori (compilatori o interpreti) che gli permettono di eseguire i programmi sui livelli sottostanti
- Un architetto deve invece conoscere i vari livelli e le relazioni tra di essi



Livelli di astrazione

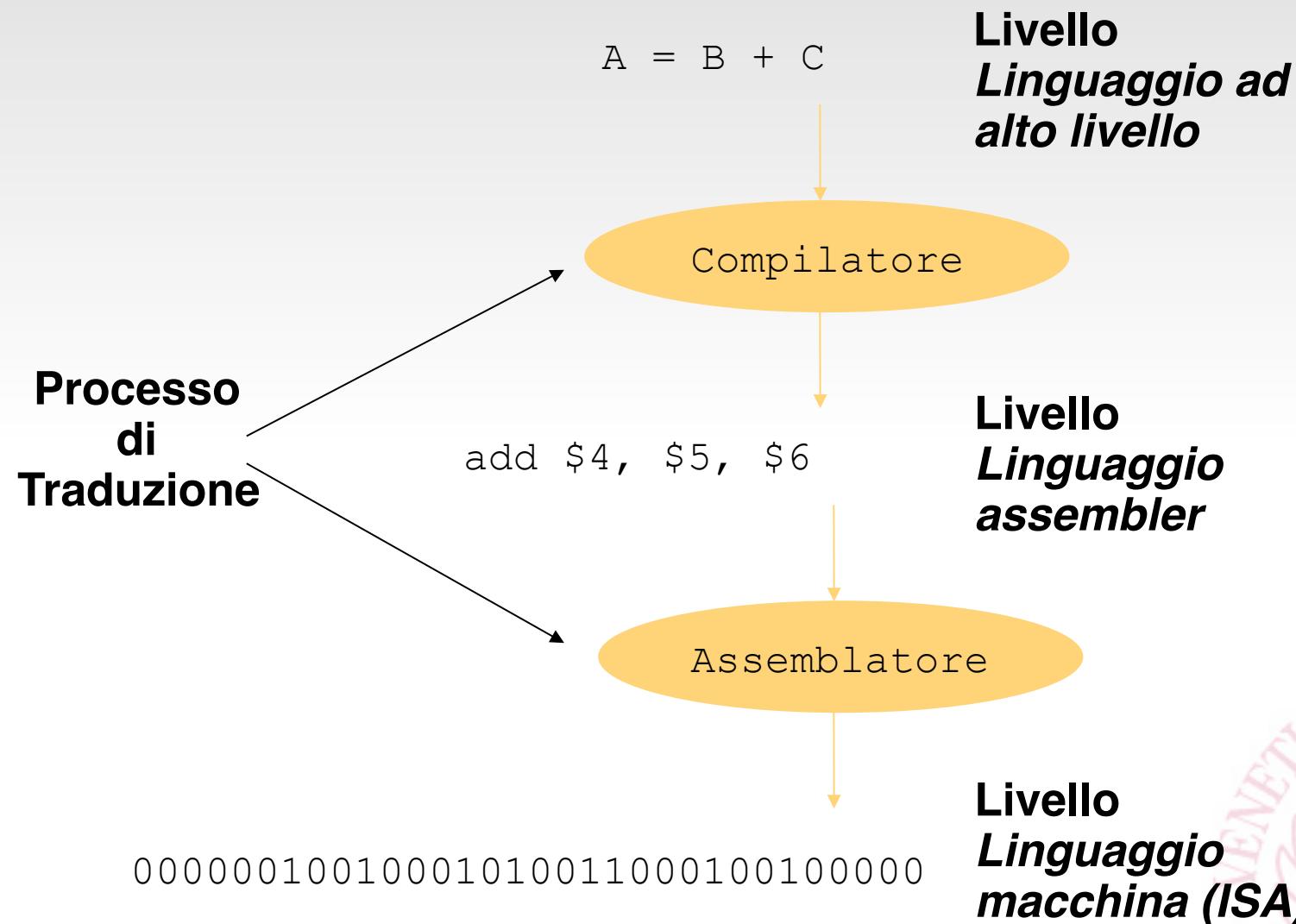
- I livelli più bassi rivelano più informazioni
- I livelli più alti astraggono omettendo dettagli
 - l'astrazione ci permette di affrontare la complessità
- I livelli più alti *virtualizzano*, ovvero offrono una vista virtuale dei livelli inferiori
 - *Macchina virtuale o astratta*: appare più potente e semplice da programmare della macchina sottostante



Strutturazione in livelli

- Tradizionale vista a livelli dell'architettura hw/sw di un computer. Ogni livello mette a disposizione:
 - uno o più linguaggi riconosciuti
 - uno o più interpreti o compilatori per tradurre tra linguaggi
 - Livello 4: Linguaggio ad alto livello
 - Livello 3: Assembler
 - Livello 2: Sistema Operativo**
 - Livello 1: Linguaggio Macchina (ISA)
 - Livello 0: Hardware/firmware
- **Sistema Operativo (SO)**
 - per ora pensiamo al S.O. come un livello il cui linguaggio è l'ISA estesa con nuove istruzioni ad alto livello per gestire risorse critiche (es. I/O)
 - offre nuove istruzioni oltre a quelle base dell'ISA

Esempio dei linguaggi ai vari livelli



Livello hardware/firmware

- Livello della logica digitale (hw)
 - fili e porte logiche (gate) realizzati tramite transistor (speciali interruttori)
 - gate (fili) elaborano (trasportano) segnali binari (0/1)
 - tramite questi segnali è possibile rappresentare qualsiasi tipo di informazioni
 - interconnettendo gate e fili è possibile realizzare funzioni complesse (es. moltiplicazioni di interi)
 - è anche possibile realizzare elementi di memoria (utilizzati per dati e programmi)
- Livello della microarchitettura (fw)
 - costruito sopra il livello della logica digitale, si occupa di interpretare ed eseguire le istruzioni del livello ISA

Livello Linguaggio macchina (ISA)

- È il livello di *macchina nuda* che appare al programmatore di sistema
- Comprende un insieme di istruzioni che di solito sono diverse per ogni processore
 - problema della portabilità binaria
- La sintassi è adatta ad essere **interpretata facilmente** dal livello sottostante



Livello Linguaggio macchina (ISA)

- Le istruzioni sono stringhe di **bit** con *formato* ben determinato per permettere la *facile individuazione* di **codici** e **operandi** delle istruzioni
 - i **codici** individuano l'operazione elementare che l'istruzione dovrà eseguire
 - gli **operandi** si riferiscono alle locazioni di memoria che contengono i dati su cui eseguire l'operazione, e le locazioni dove memorizzare i risultati



Livello linguaggio assembler

- Offre al programmatore di sistema una vista più “umana” del livello macchina
 - istruzioni espresse con stringhe di caratteri mnemoniche invece di stringhe binarie
 - traduzione realizzata dall’assemblatore (è uno speciale compilatore) rispetto al livello macchina
- L’ assemblatore è stato uno dei primi software di sistema realizzato per facilitare la programmazione dei calcolatori



Livello linguaggio assembler

- Lo studio dell' assembler sarà oggetto del secondo modulo del corso. In particolare verrà affrontato
 - il passaggio tra linguaggio ad alto livello e il linguaggio assembler
 - le principali strutture di controllo e strutture dati



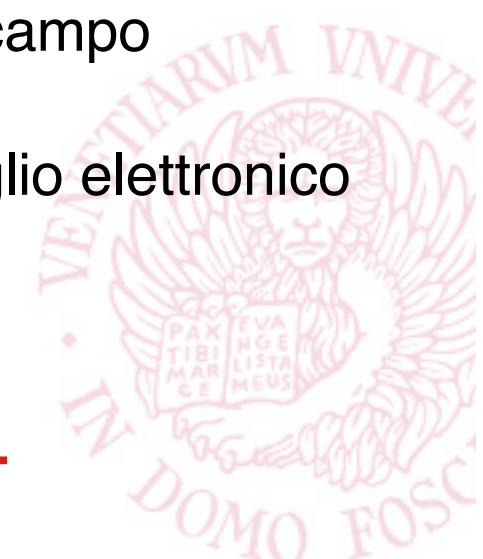
Livello linguaggio ad alto livello

- C, C++, Modula 3, Java, ...
 - Permette al programmatore una maggiore astrazione rispetto ai livelli sottostanti della macchina
 - Ha di solito bisogno di un traduttore (compilatore)
 - Per alcuni linguaggi esistono interpreti: per esempio Java
-
- E' il livello solitamente usato per produrre software
 - Tale livello permette di realizzare la portabilità tra processori con diversa ISA
 - basta che esista il compilatore/interprete implementato per la nuova ISA

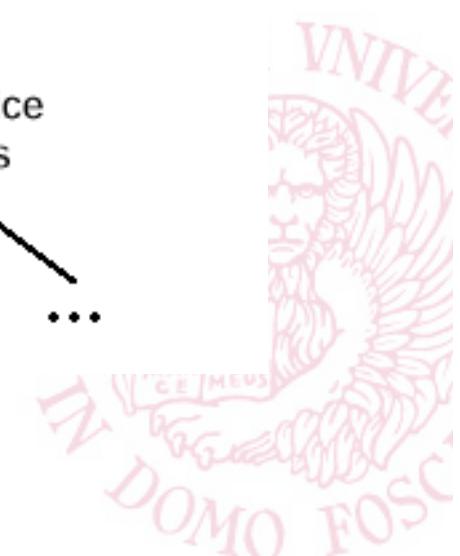
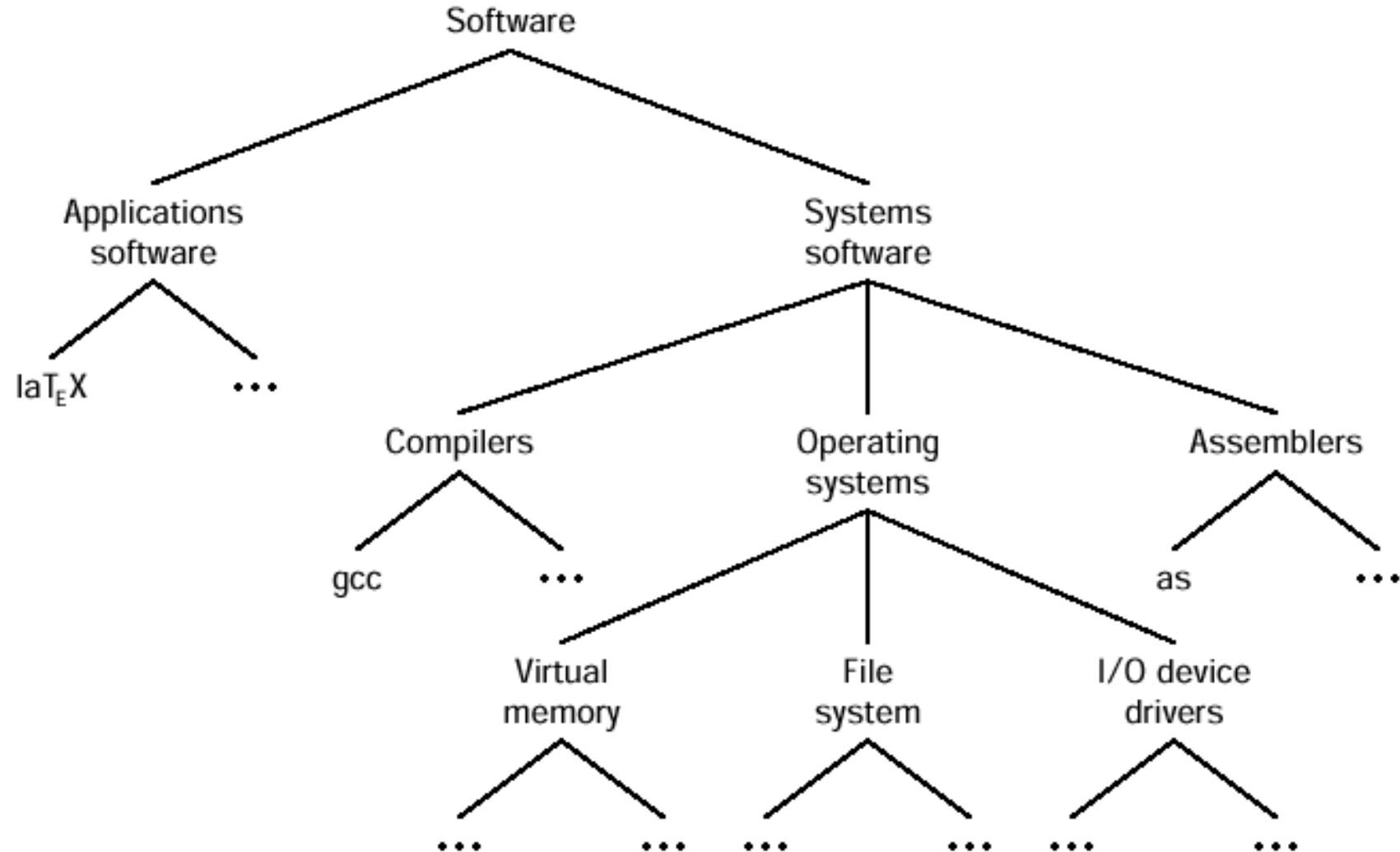


Software applicativo e di sistema

- Compilatori, assemblatori, sistema operativo, word processor, ecc... è tutto software
- Il software di sistema serve a
 - produrre altro software (sia di sistema che applicativo)
es.: compilatori
 - permettere l'esecuzione di altro software
es.: sistema operativo, interpreti
- Il software applicativo
 - costituisce la maggior parte del software
 - lo scopo di questo software dipende dallo specifico campo applicativo
es: applicazione bancaria, CAD, word processor, foglio elettronico



Classificazione del software



Tecnologie e costi

Tecnologie usate diverse nel tempo

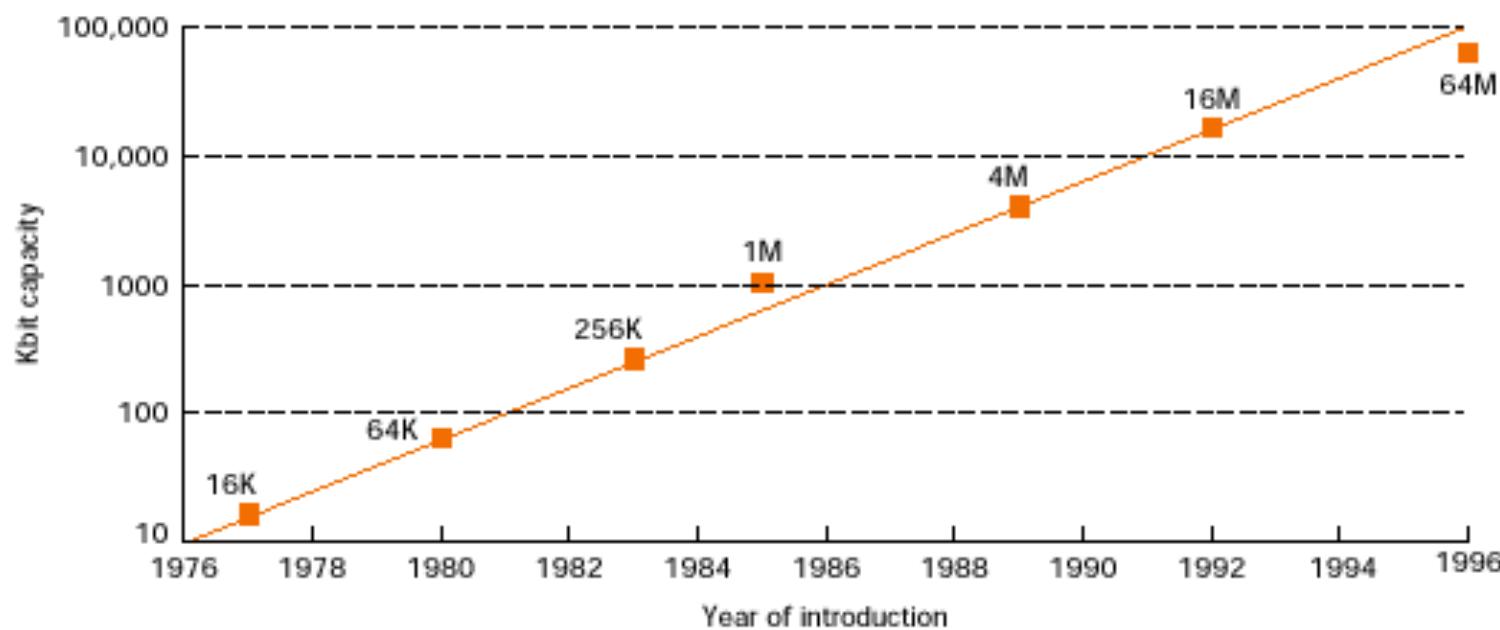
- dalle valvole, ai transistor, ai circuiti integrati

Anno	Tecnologia	Prestazioni relative per unità di costo
1951	Valvole	1
1965	Transistor	35
1975	IC	900
1995	IC larg. scala (VLSI)	2400000

- i transistor sono 35 volte più “prestanti”/efficienti delle valvole per unità di costo
- etc.

Legge di Moore

- Nel 1965 Moore notò che, causa dei progressi della tecnologia, il numero di transistor per chip
 - raddoppia ogni 18 mesi
 - ovvero, incremento annuale del 60%
- Questo si traduce nell' aumento delle capacità delle memorie del 60% all' anno



...e la CPU?

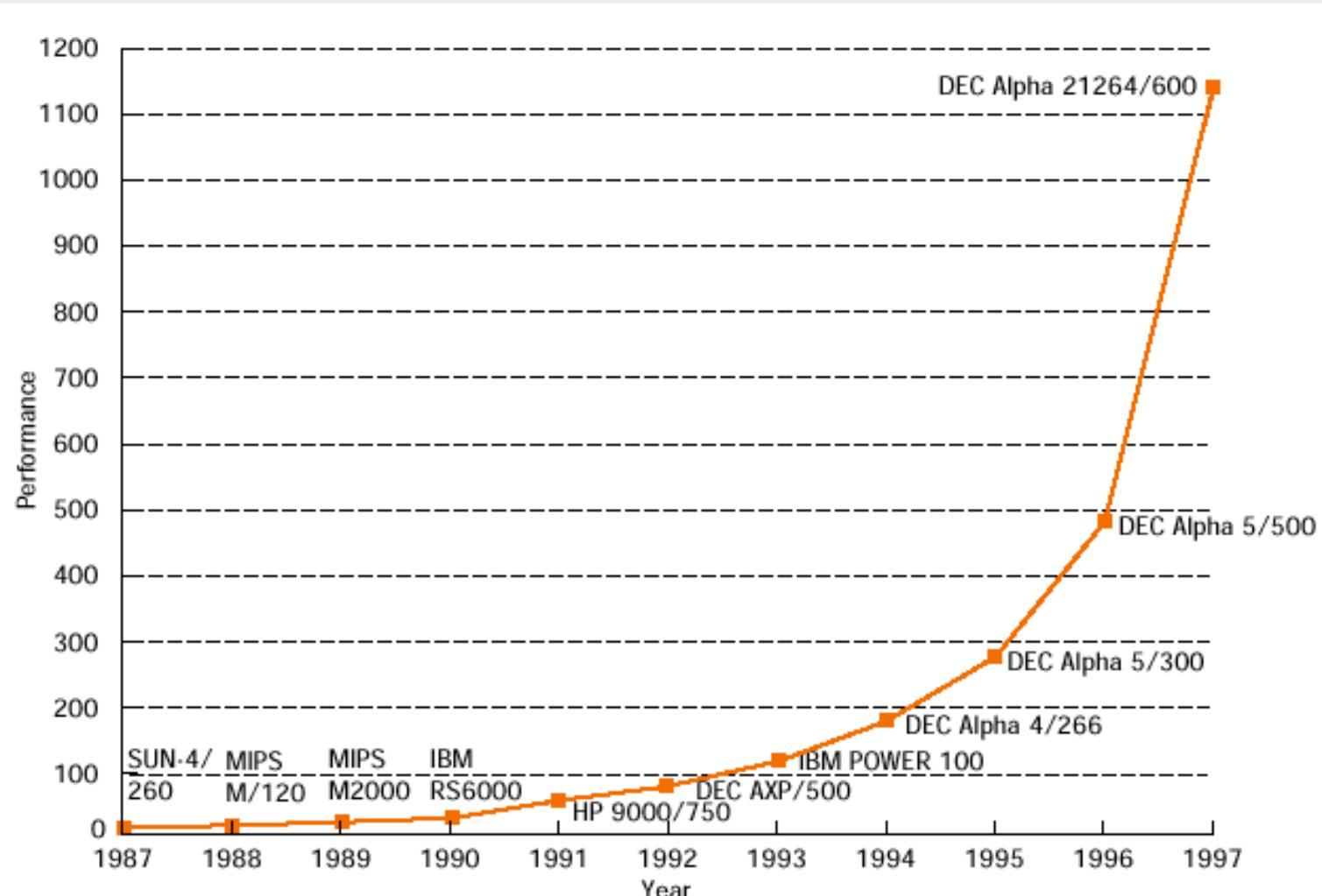
- Sia tenendo conto dell' incremento del no. di transistor nelle CPU, sia delle prestazioni della CPU
 - la legge di Moore rimane più o meno valida
- Riguardo all' incremento delle prestazioni della CPU, esso è dovuto a diverse concause:
 - miniaturizzazione dei collegamenti e incremento della velocità dei transistor
 - modifica dell'architettura interna della CPU, con uso di un numero maggiore di transistor
 - modifica (semplificazione) dell'ISA della CPU
 - miglioramento delle tecniche di compilazione



Incremento prestazioni

- circa il 54% di incremento all' anno

Prestazioni come rapporto di velocità con il Vax-11/780

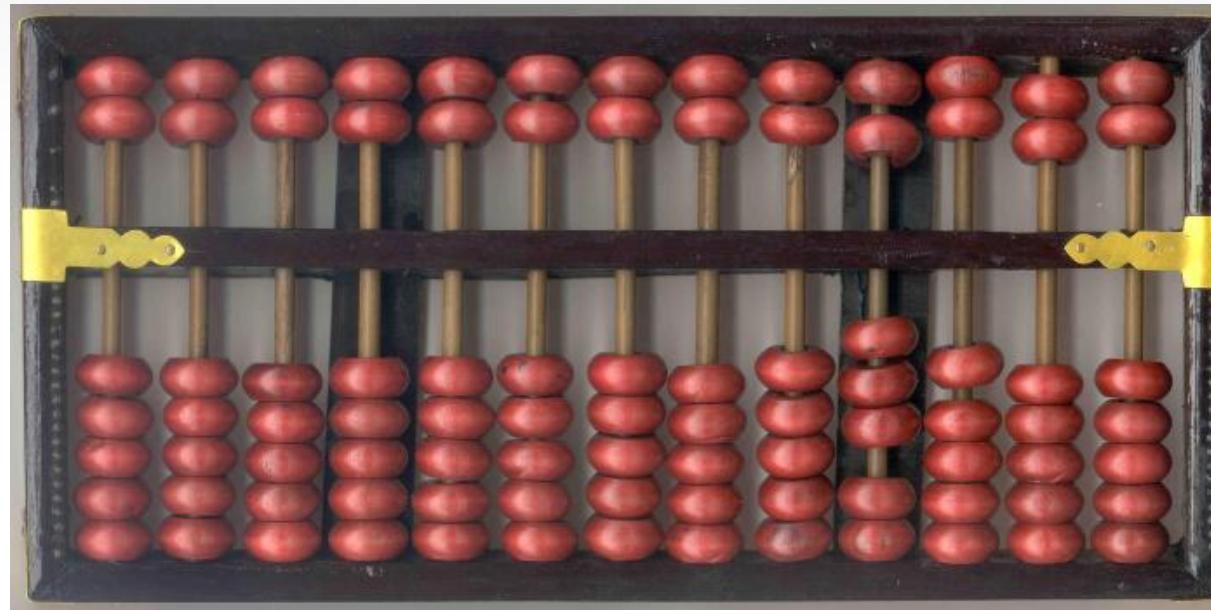


Un po' di storia...



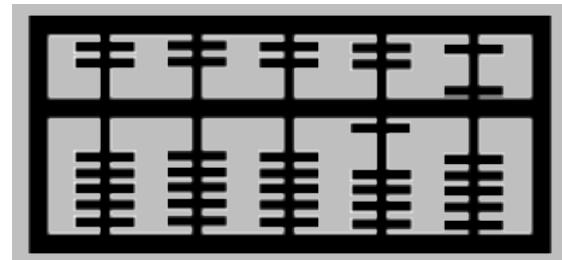
3000 Avanti Cristo

- L' **Abaco cinese** può essere considerato il primo modello matematico di calcolo.
- In questo modello si possono formalizzare le quattro operazioni (somma, sottrazione, prodotto e divisione intera)

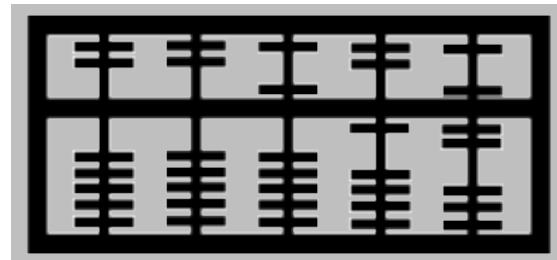


L'abaco cinese

- Ogni riga verticale di palline rappresenta un multiplo di 10 (10,000, 1,000, 100, 10, e 1).
- Le palline sotto la barra centrale rappresentano le unità di quella riga. Le palline sopra la barra centrale rappresentano cinque unità di quella riga.
- Per contare, si spostano le palline verso la barra centrale. Per sottrarre dei valori, le palline vengono allontanate dalla barra centrale.



15

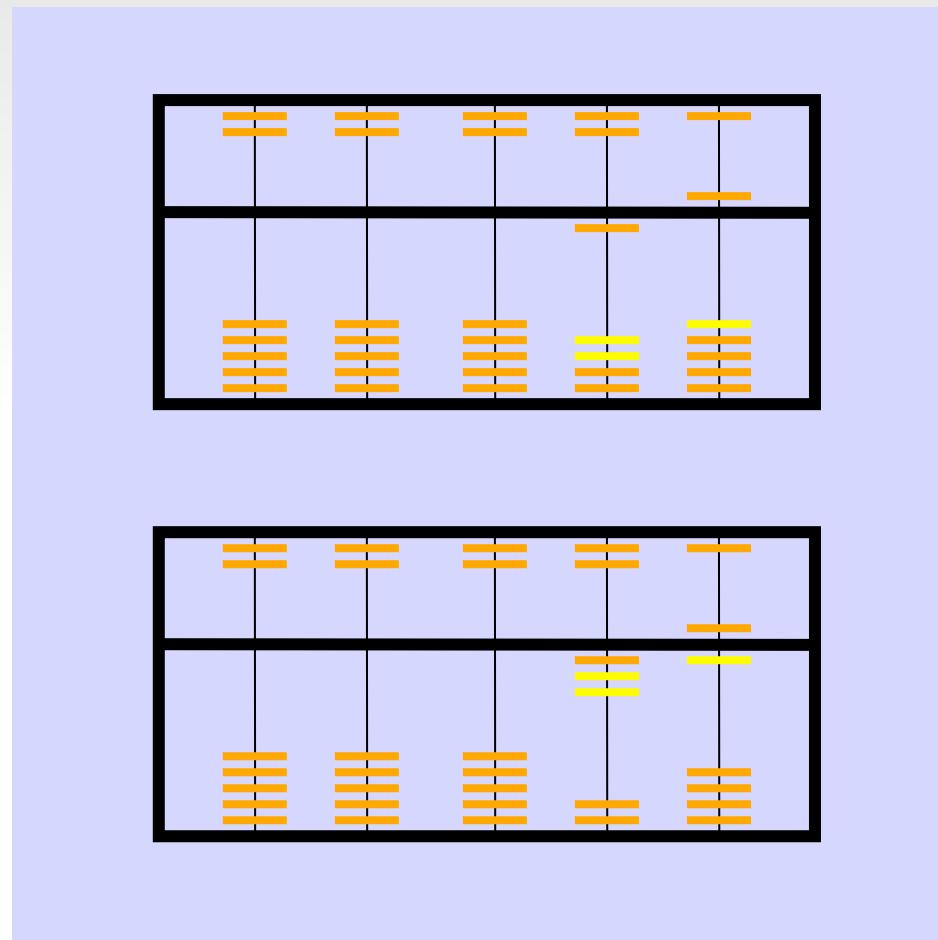


517



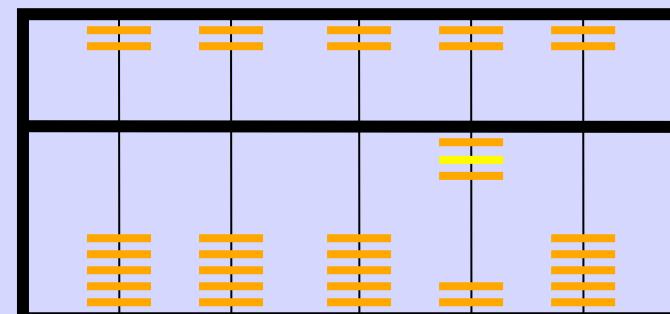
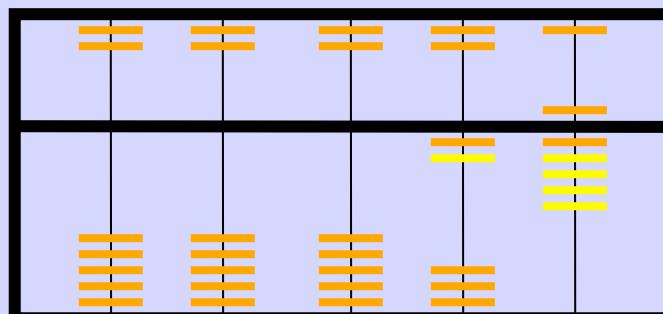
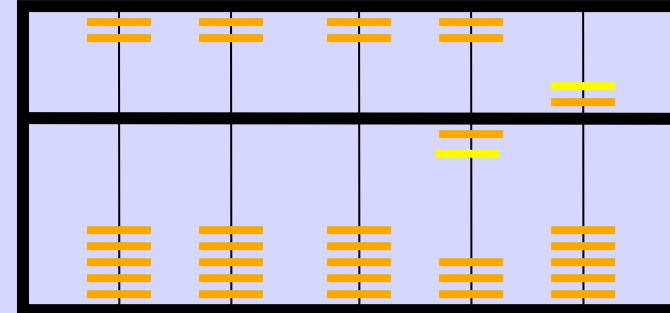
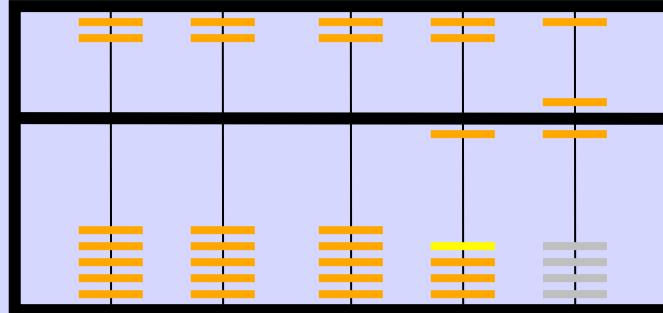
L'abaco cinese

- $15 + 21 = 36$



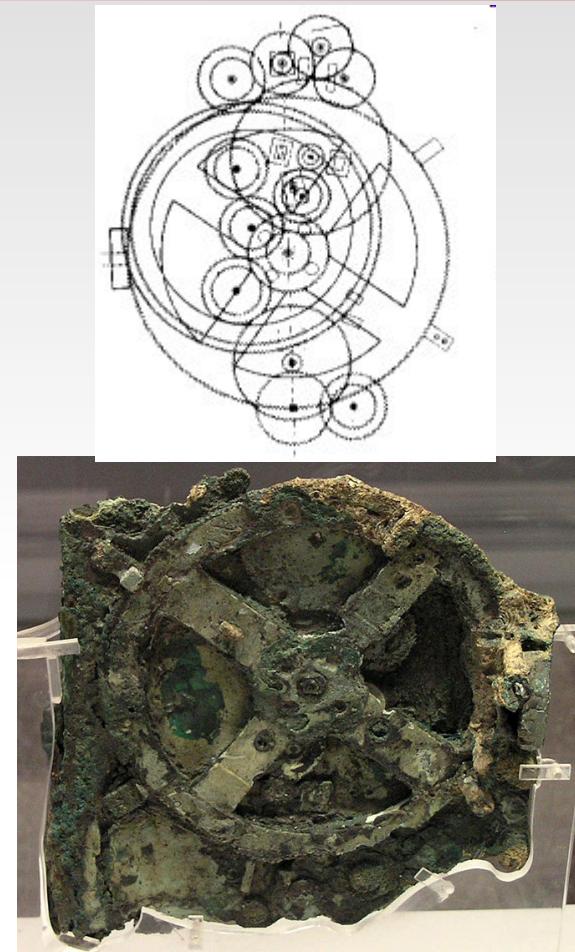
L'abaco cinese

- $16 + 14 = 30$



La macchina di Antikythera

- E' il più antico calcolatore meccanico conosciuto, databile intorno al 100 - 150 a.C..
- Si tratta di un sofisticato planetario, 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.
- Trae il nome dall'isola greca di Anticitera (Cerigotto) presso cui è stata rinvenuta.
- È conservata presso il Museo archeologico nazionale di Atene.



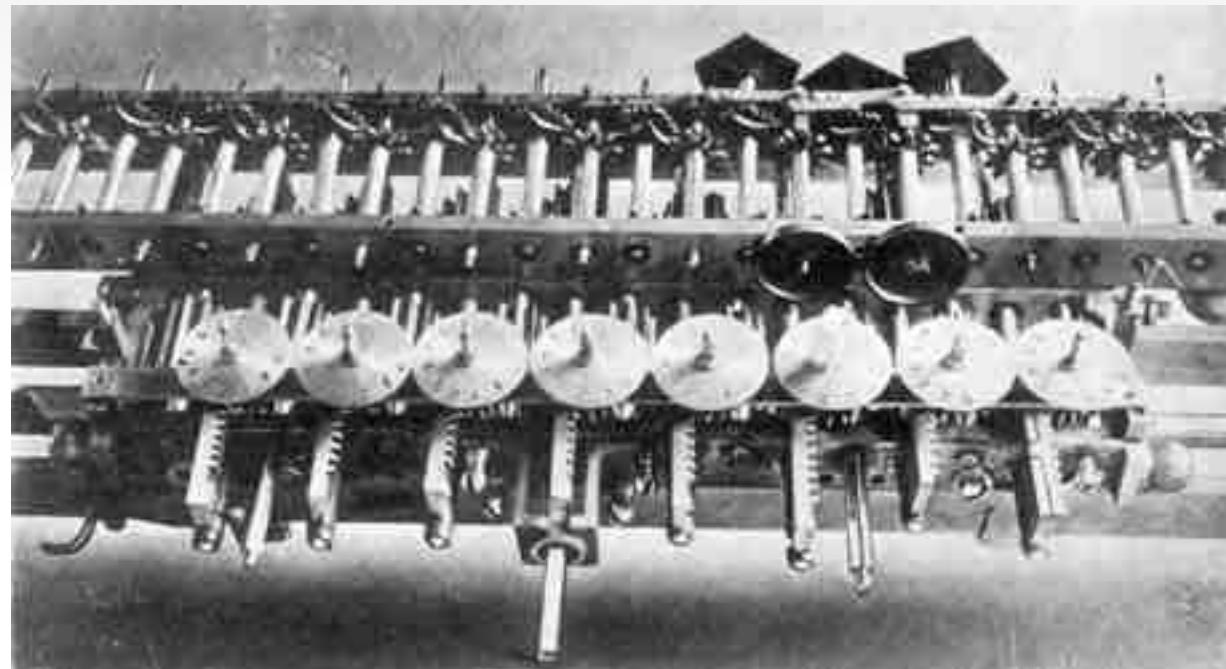
Pascalina

1640: Blaise Pascal progetta e realizza la Pascalina: calcolatore meccanico per addizioni.



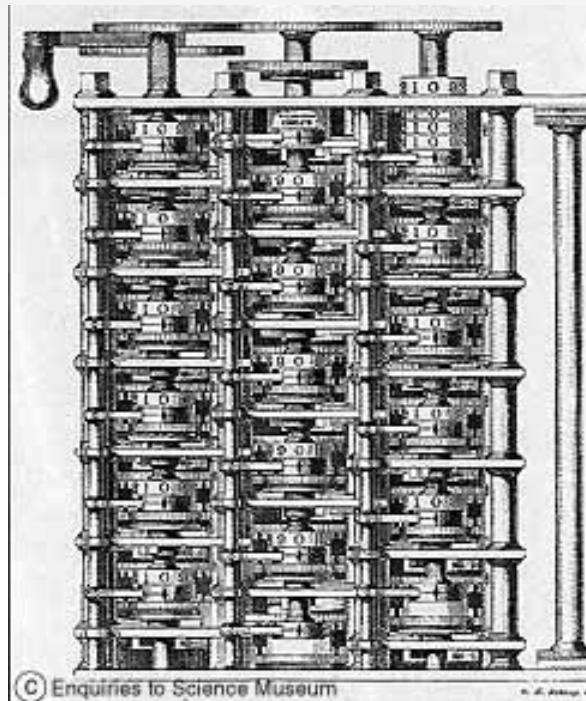
Leibnitz

1673: macchina per addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni, divisioni e radice quadrata



Babbage

1824: Charles Babbage progetta una macchina “general-purpose”, le cui funzionalità dipendono da come è programmata.



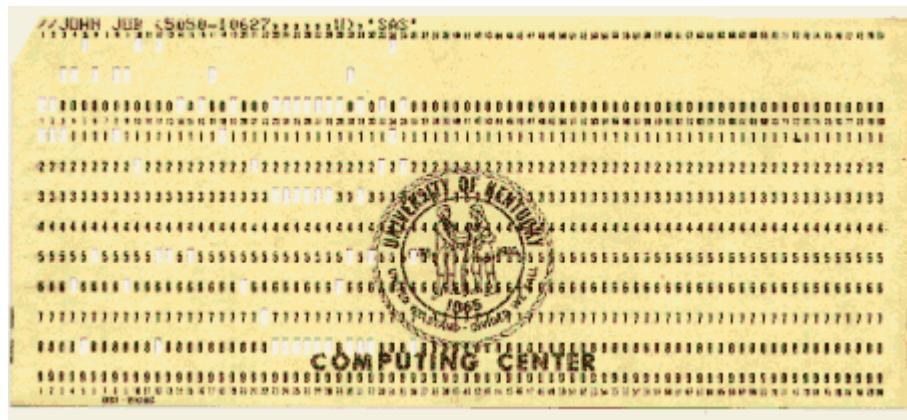
Ada Lovelace Byron (1815 – 1852)

- Figlia del noto poeta inglese
- Collabora con Babbage
- Scrive il primo software della storia



Hollerit

- 1890: Herman Hollerit, fondatore dell'IBM, inventa l'uso delle carte perforate (dimensione: 9 cm x 21.5 cm) per automatizzare la tabulazione dei dati di un censimento.
- Il costo della tabulazione risultò essere maggiore del 98% rispetto al censimento precedente, dovuto in parte alla tentazione di usare al massimo la macchina e tabulare un maggior numero di dati
- I risultati del censimento furono ottenuti in un tempo molto minore del precedente.



Tra '800 e '900

- Nel 1890 venne utilizzata una macchina per il conteggio tramite schede perforate che trovò largo uso negli uffici statunitensi per il censimento di quello stesso anno.
- Questo tipo di macchine si diffuse rapidamente sia negli uffici governativi che in quelli privati.
- Venne fondata una società per la commercializzazione di quelle che venivano chiamate macchine meccanografiche.
- Questa società diventerà nel 1924 la International Business Machine (IBM).

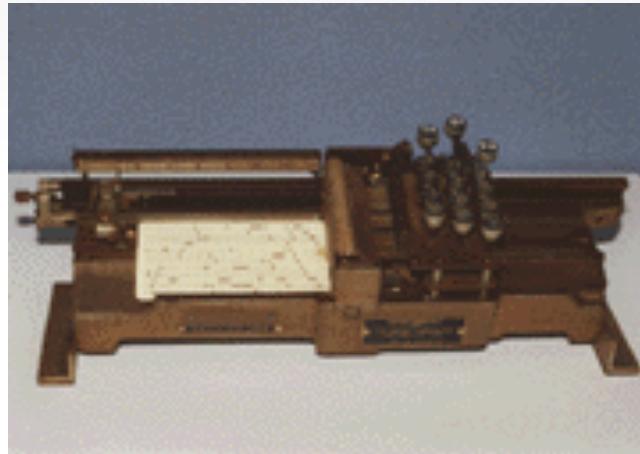


Schede perforate

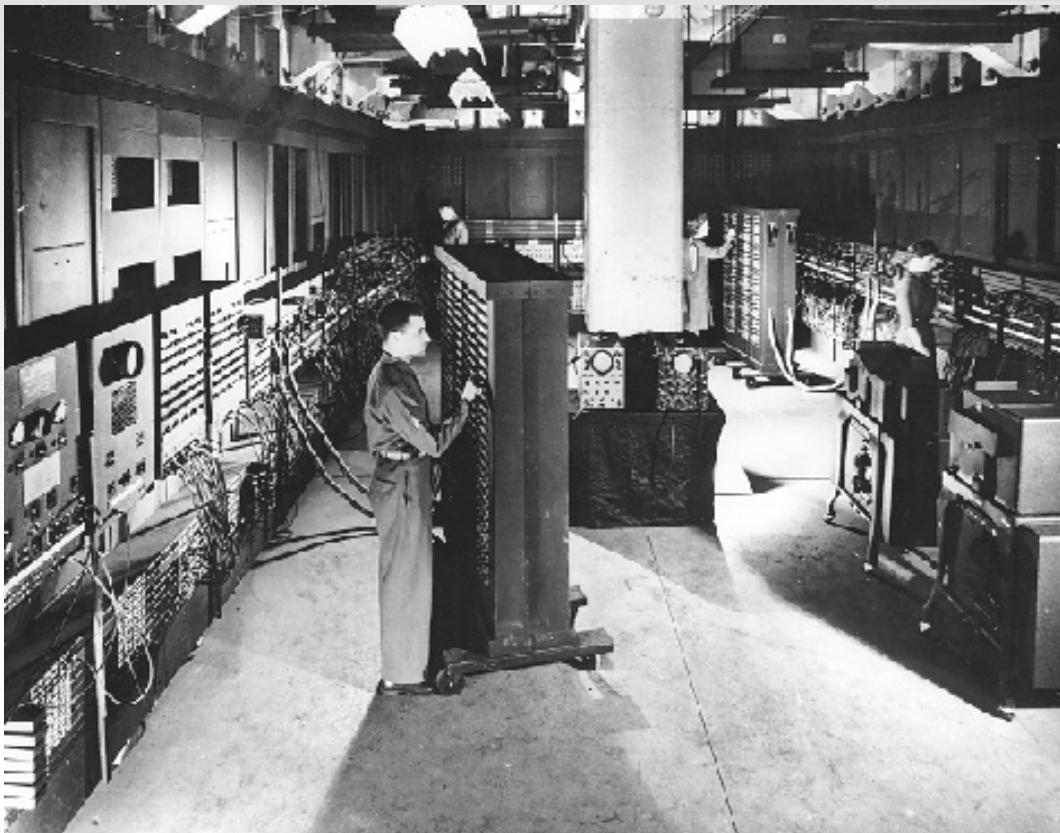
- L'ingresso del calcolatore nel mondo del lavoro risale all'inizio del 1900; la tecnologia delle macchine di calcolo era di tipo meccanografico
- Con queste macchine si eseguivano calcoli ad una discreta velocità (per quei tempi), dell'ordine delle 60 operazioni al minuto; la loro gestione tuttavia era molto complessa
- I “programmi” venivano “scritti” su schede perforate che venivano interpretate meccanicamente dall’elaboratore



Schede perforate



ENIAC



ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator), 1946

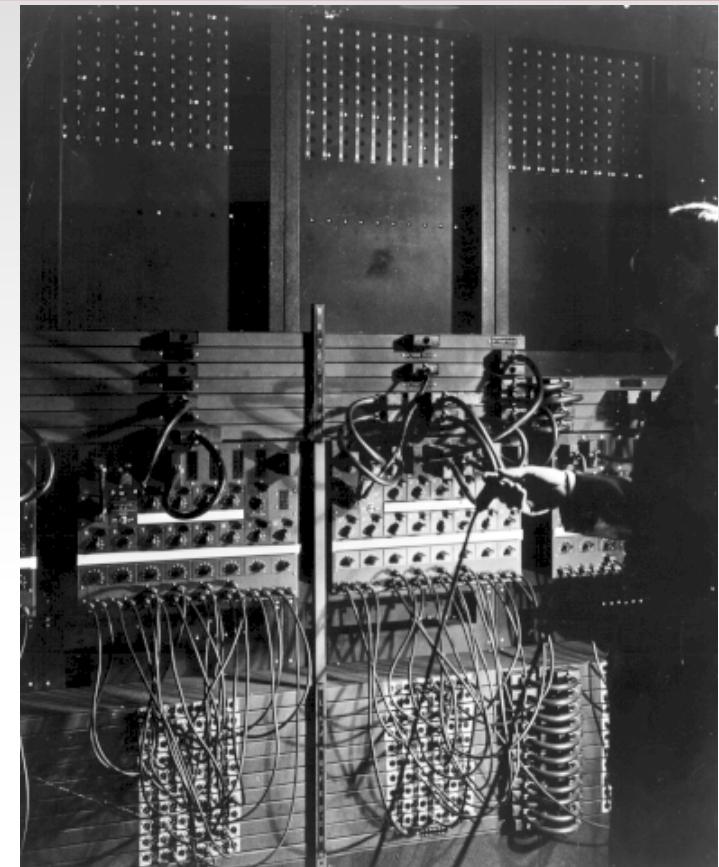
- Considerato primo calcolatore a valvole general-purpose programmabile
- by Mauchly & Eckert (Univ. Pennsylvania)
- 18000 valvole - 30 tons
- 140 Kwatt - 24x3x2 metri
- programmazione tramite inserimento di cavi e azionamento di interruttori
- dati inseriti con schede perforate

Inizia l'era informatica...

Il giorno della presentazione al mondo, fu chiesto all'ENIAC (col solito sistema della scheda perforata) di moltiplicare il numero 97.367 per se stesso 5.000 volte.

La macchina compì l'operazione in meno di un secondo.

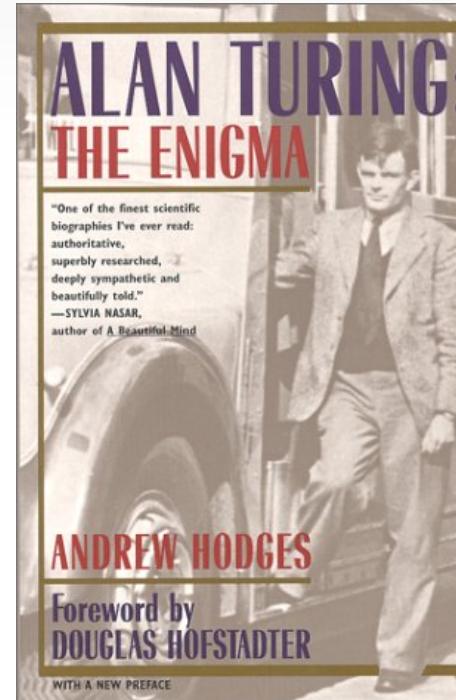
Con l'ENIAC, che funzionò dal 1946 al 1955, nasce l'era informatica vera e propria.



- Per programmare ENIAC era necessario modificare la disposizione di un grande numero di fili collegati a uno dei suoi pannelli.
- Programmare ENIAC era una questione non solo di algoritmi ma anche di saldature e collegamenti elettrici, rendendo l'operazione molto difficoltosa

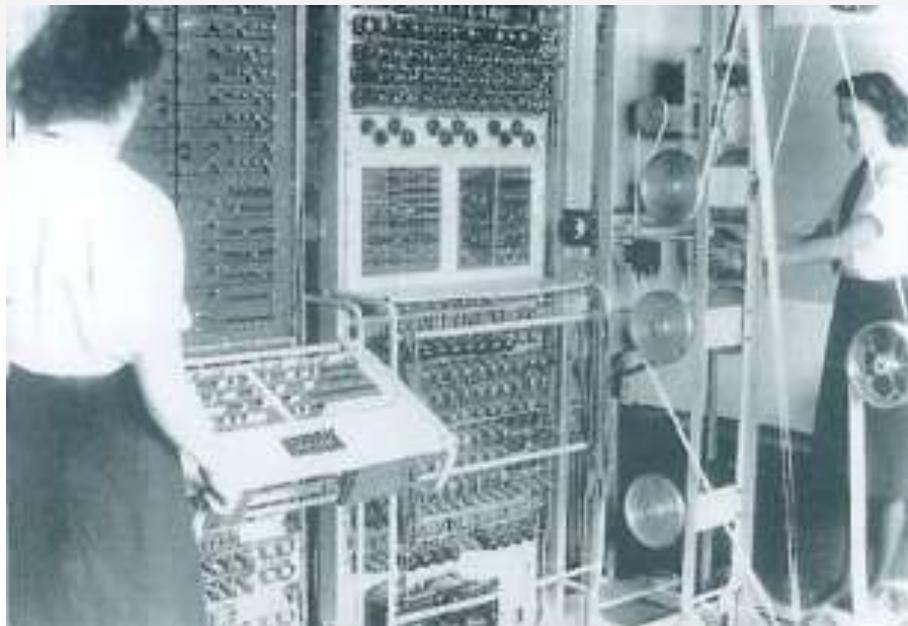
Enigma

In Germania, durante la seconda guerra mondiale, venne utilizzata Enigma, una macchina crittografica per cifrare le comunicazioni, inventata da un polacco e finita misteriosamente in mani naziste



In Europa: COLOSSUS

1943: in Inghilterra COLOSSUS, progettata da Alan Turing, ha un ruolo importante per decifrare i codici segreti usati dall'armata tedesca nella seconda guerra mondiale

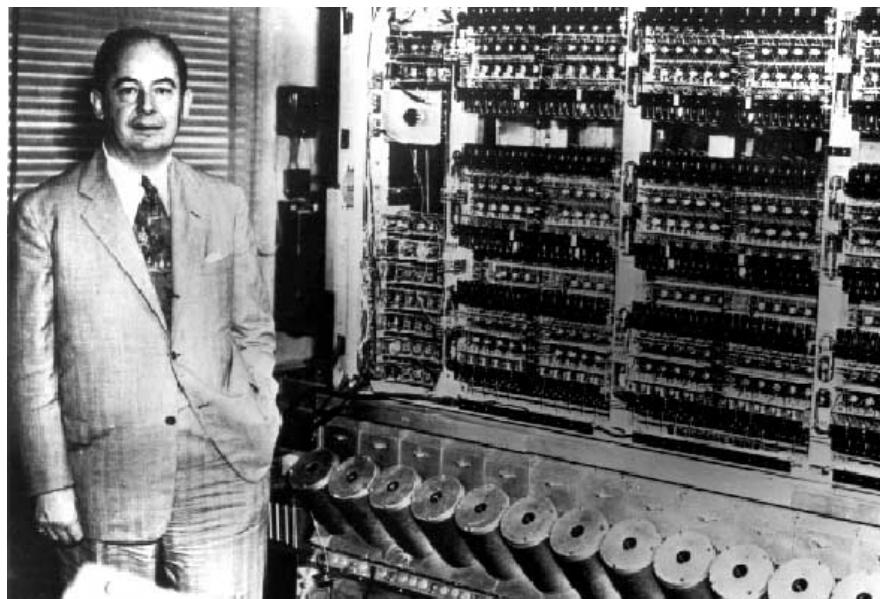


Alan Turing (1912 - 1954)
<http://www.turing.org.uk/turing/>



John Von Neumann

- Inventò il concetto di stored-program computer
 - constatò che era noioso riprogrammare l'ENIAC
 - poiché anche i programmi sono rappresentabili come numeri digitali, esattamente come i dati, propose di porre *programmi e dati assieme in memoria*
 - IAS: stored-program computer costruito da von Neumann a Princeton



In pratica il calcolatore diventa un elaboratore capace di trattare qualsiasi informazione espressa in codice binario.

Mauchly & Eckert ?

- Nel 1946 progettano e costruiscono l'*EDVAC* (dell'*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*), basato sull'architettura di Von Neumann
- crearono una ditta ... diventata poi l'Unisys
- cercarono di ottenere il brevetto per l'invenzione del calcolatore elettronico, ma persero la causa
- il brevetto fu invece attribuito ad Atanasoff, che aveva costruito una macchina special-purpose (ABC) agli inizi degli anni '40



Sviluppi commerciali

- Per arrivare al primo successo commerciale
 - Univac 1 (1951) - Universal Automatic Computer
 - prodotto dalla ditta fondata da Mauchly & Eckert
 - prodotto in 48 esemplari, venduti a 1M \$
- IBM entrò nel mercato successivamente
 - IBM 701 (1952)



Sviluppi commerciali

- Gli anni 50 videro l' avvento dei transistor
 - transistor inventati nel 1948 da Bardeen, Brattain, Shockley
 - primo computer costruito al M.I.T. di Boston alla fine degli anni '50
 - agli inizi degli anni '60, l'IBM costruì il 7090 (basato su transistor invece che su valvole come 709)
 - la DEC, una ditta fondata da Olsen, un ricercatore dell'M.I.T., nel 1961 commercializzò il PDP-1 basato su transistor



Sviluppi commerciali

- IBM S/360 (1964)
 - famiglia di computer
 - variabili in prezzo e prestazioni
 - stessa architettura astratta
 - capacità di simulare ISA di altri modelli IBM precedenti
- DEC PDP-8 (1965)
 - il primo minicomputer
 - venduti circa 50000 esemplari
 - costo contenuto (solo 16000\$)



Avvento circuiti integrati e VLSI

- Invenzione dei circuiti integrati su silicio dovuta a Noyce nel 1958
- Negli anni ‘70, famiglia IBM S/360 e DEC PDP-11, costruiti con circuiti integrati
- Negli anni ‘80, VLSI (Very Large Scale Integration) ha permesso di mettere sullo stesso chip
 - 10.000, 100.000, e finalmente diversi milioni di transistor



Avvento circuiti integrati e VLSI

- Negli anni ‘80
 - i prezzi si abbassano
 - microprocessori (CPU su un singolo chip)
 - avvento dei Personal Computer
 - Apple, Apple II, PC IBM (1981)
- Metà anni ‘80
 - Architetture RISC, che prendono il posto delle complicate architetture CISC

