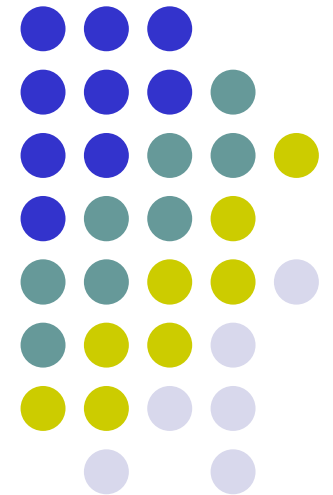
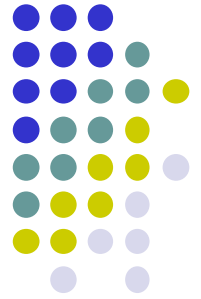


# ARCHITETTURA DEGLI ELABORATORI

---

Prof. Massimo Tivoli

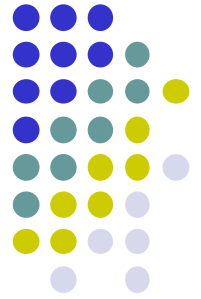




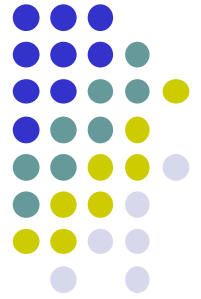
# Informazioni generali

- Insegnamento
  - Architettura degli Elaboratori
- Riferimenti del docente
  - nome: Massimo Tivoli (affidente al DISIM)
  - email: [massimo.tivoli@univaq.it](mailto:massimo.tivoli@univaq.it)
  - pagina web: [www.disim.univaq.it/MassimoTivoli](http://www.disim.univaq.it/MassimoTivoli)
  - ufficio: stanza 207 del Blocco 0 del Polo di Coppito
  - MS Teams come piattaforma d'insegnamento
    - Nome del Teams: Architettura Degli Elaboratori A.A. 22-23
    - Codice di join: bwqy31f
- Orario di ricevimento
  - Il docente è disponibile a ricevere possibilmente in ogni orario, ed eventualmente via Teams, concordando l'appuntamento per email

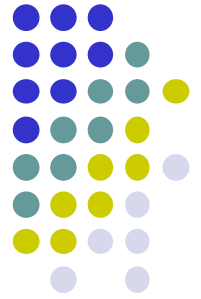
# Prima di iniziare ...



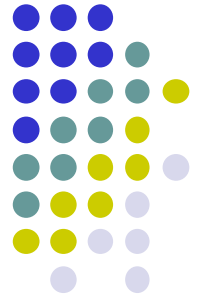
- **Informatica:** scienza della rappresentazione e dell'elaborazione (trattamento automatico) dell'informazione.
- **Elaboratore:** non è l'oggetto fondamentale di studio nell'informatica, ma è l'attore principale, poiché permette l'elaborazione di grandi quantità di dati in poco tempo, rendendo quindi realizzabili nella pratica i principi e le tecniche informatiche.



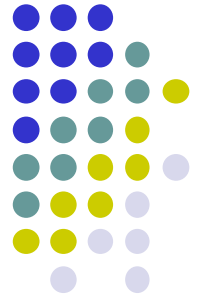
- **Architettura di un elaboratore** (e più in generale di un sistema informatico): parti che lo compongono, loro funzionalità, e relazioni/interazioni tra le parti
- Si suddivide in
  - **Hardware**: insieme delle componenti fisiche ed elettroniche che compongono l'elaboratore (e delle connessioni tra esse)
  - **Software**: insieme dei programmi eseguiti dall'hardware (e loro possibili interazioni)
- Probabilmente avete scelto questo corso di laurea e non uno tipo Ingegneria Elettronica perché prediligete l'aspetto software
- Mi dispiace, in questo corso si parlerà prevalentemente di hardware!
  - Sì, ma da un punto di vista logico e non fisico...



- Domanda: ci stiamo facendo inutilmente del male?
- Risposta: ovviamente NO!
- Conoscere l'**architettura** ed **organizzazione** hardware di un elaboratore è comunque di fondamentale importanza.
- Vediamo brevemente alcune motivazioni a riguardo



1. Dal documento IEEE/ACM Computer Curricula 2001:
  - I calcolatori sono al cuore della computabilità.
  - Senza di loro praticamente tutte le discipline quantitativo-computazionali sarebbero un settore della matematica.
  - Gli studenti non possono vederli come scatole nere, ma la loro conoscenza è importante per poter scrivere programmi efficienti
  - I professionisti del settore nella scelta di un sistema devono essere in grado di valutare i compromessi tra le diverse componenti, come ad esempio tra velocità della CPU e dimensione della memoria
2. Inoltre i concetti appresi nel corso trovano applicazioni nei successivi, ad esempio come supporto architetturale ai linguaggi di programmazione e ai servizi dei sistemi operativi
3. ...



# Programma del corso

- Introduzione, cenni storici e tendenze attuali
- Rappresentazione dell'informazione
- Reti logiche
- Reti sequenziali
- CPU
- Memoria
- Sottosistema di I/O
- Linguaggio macchina
- Linguaggio assembler

## RIFERIMENTI

Giacomo Bucci

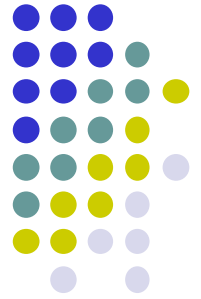
[Calcolatori Elettronici –  
Architettura e organizzazione](#)

McGraw-Hill

2009

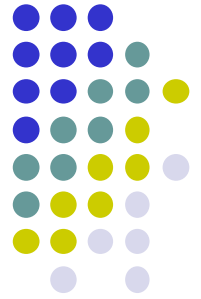
(3 copie in biblioteca)

# Copyright e ringraziamenti



- ©: questi lucidi si basano, quasi interamente, sui lucidi del Prof. Michele Flammini che è stato titolare del corso fino al A.A. 2014/2015
- ©: alcuni di questi lucidi sono tratti dal materiale distribuito dalla McGraw-Hill
- Un ringraziamento va
  - al Prof. Flammini per avermi fornito i suoi lucidi e altro materiale relativo al corso
  - all'autore del libro di testo, il Prof. Giacomo Bucci, per il supporto fornito durante la preparazione della precedente edizione del corso ed in particolare per l'aver fornito parte dei lucidi



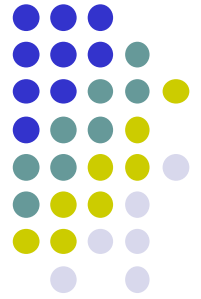


# Ausili didattici

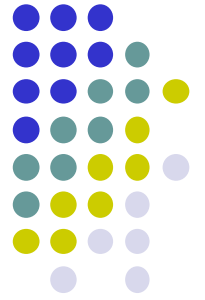
Oltre al libro di testo

- Sul sito [www.ateneonline.it/bucci/](http://www.ateneonline.it/bucci/):
  - Alcuni esercizi svolti
  - Errata corrige (siete tutti invitati a segnalare qualunque errore rileviate)
- Sul sito personale docente <http://www.di.univaq.it/tivoli/>
  - Programma del corso
  - Lucidi in formato pdf
  - Altre informazioni sul corso

# Altri testi per approfondimenti



- F. Preparata, “Introduzione alla organizzazione e progettazione di un elaboratore elettronico”, Franco Angeli, 6<sup>a</sup> edizione, 2002
- G. Bucci, “Architetture dei calcolatori elettronici”, McGraw-Hill, 2001
- W. Stallings, “Architettura e organizzazione dei calcolatori: progetto e prestazioni”, 6<sup>°</sup> edizione, Pearson, 2004
- Hamacher, Vranesic e Zaky, “Introduzione all’ architettura dei calcolatori”, McGraw-Hill, 2002.
- J.L. Hennessy, D.A. Patterson, “Architettura dei computer: un approccio quantitativo”, Jackson Libri, 2001
- A. Tanenbaum, “Architettura dei calcolatori – un approccio strutturale, 5<sup>°</sup> edizione, Pearson, 2006
- ...



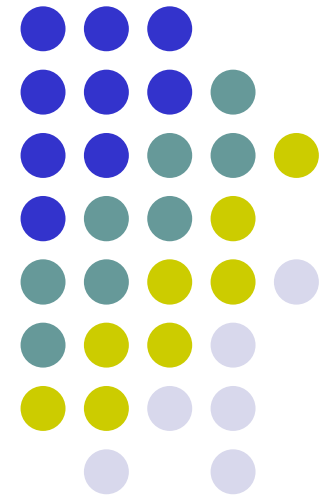
# Alcuni consigli utili

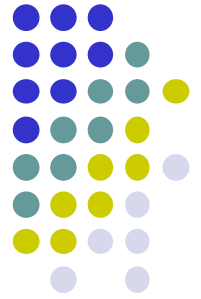
- Studiare giorno per giorno, svolgendo regolarmente gli esercizi
- Studiare sul libro di testo: i lucidi possono contenere sviste e si limitano ad esporre solo un estratto dei contenuti del corso

# Introduzione

---

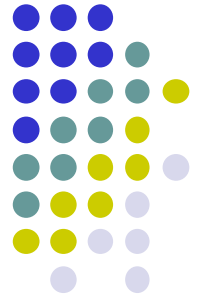
- Oggetto di studio
- Storia dei calcolatori
- Evoluzione e tendenze attuali



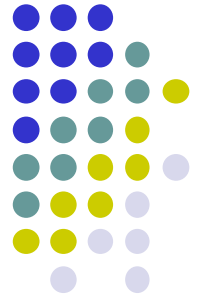


# Oggetto di studio

- Oggetto di studio del corso è l' *architettura* e l' *organizzazione* dei calcolatori elettronici.
- *Architettura*: riguarda le caratteristiche del sistema che sono visibili al programmatore ed in particolare il modello di programmazione:
  - Numero di bit utilizzato per rappresentare i dati (numerici, e testuali)
  - Numero di registri di macchina
  - Modalità di indirizzamento
  - Il repertorio delle istruzioni

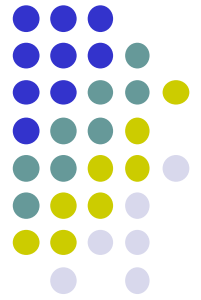


- **Organizzazione:** riguarda le relazioni strutturali tra le unità funzionali e il modo in cui esse realizzano una data architettura ed è tendenzialmente non visibile al programmatore:
  - la tecnologia impiegata
  - frequenza di clock
  - modalità di esecuzione di una istruzione.
- Decidere se l'istruzione di moltiplicazione farà parte del repertorio di istruzioni è una questione architettureale; decidere se per l'esecuzione di questa istruzione è prevista una specifica unità di moltiplicazione o se è ottenuta attraverso l'impiego dell'unità di somma comunque presente nella macchina è una decisione *organizzativa*.



# Suddivisione per livelli di astrazione

- Nelle scienze la realtà è rappresentata attraverso modelli
- Poiché un calcolatore costituisce un sistema estremamente complesso, risulta conveniente una rappresentazione per livelli di astrazione
- Ad ogni livello si evidenziano gli aspetti di interesse tralasciando quelli non necessari (astrazione)
- Ciò consente di affrontare l'analisi e il progetto in modo ordinato: ogni livello, sfruttando quello inferiore, costruisce l'insieme di astrazioni rilevanti per il livello superiore
- Più precisamente, è costituito da un insieme di componenti e un insieme di modi per combinarli in strutture
- Tali strutture costituiscono le componenti di partenza del livello superiore



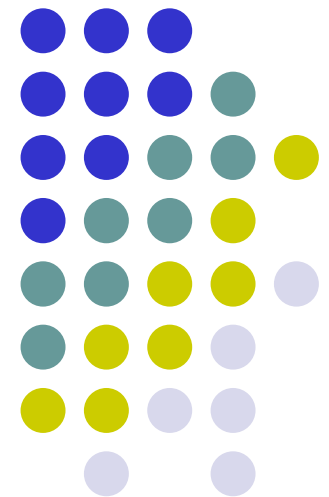
ARCHITETTURA E ORGANIZZAZIONE		Livello delle applicazioni	Strutture: programmi applicativi Componenti: sistema operativo, librerie, file system
		Livello linguaggio macchina	Strutture: programmi Componenti: modello di programmazione, repertorio istruzioni
		Livello funzionale (RTL)	Strutture: unità di controllo, modello di programmazione Componenti: registri, bus, memorie
		Livello della logica	Strutture: registri, contatori, unità aritmetiche, memorie Componenti: porte, flip-flop, clock
		Livello dei circuiti	Strutture: porte logiche, flip-flop, driver Componenti: transistori, resistenze, capacità

**Figura 1.4** - Schematizzazione a livelli di un sistema di elaborazione. Vengono evidenziati i livelli che interessano l'architettura e l'organizzazione dei calcolatori.

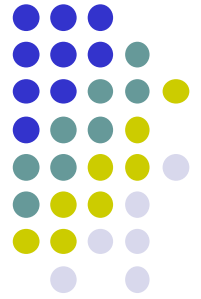


# Storia dei calcolatori

---

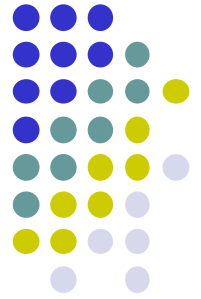


# In principio era ... meccanica ( $\approx$ 1600-1945)



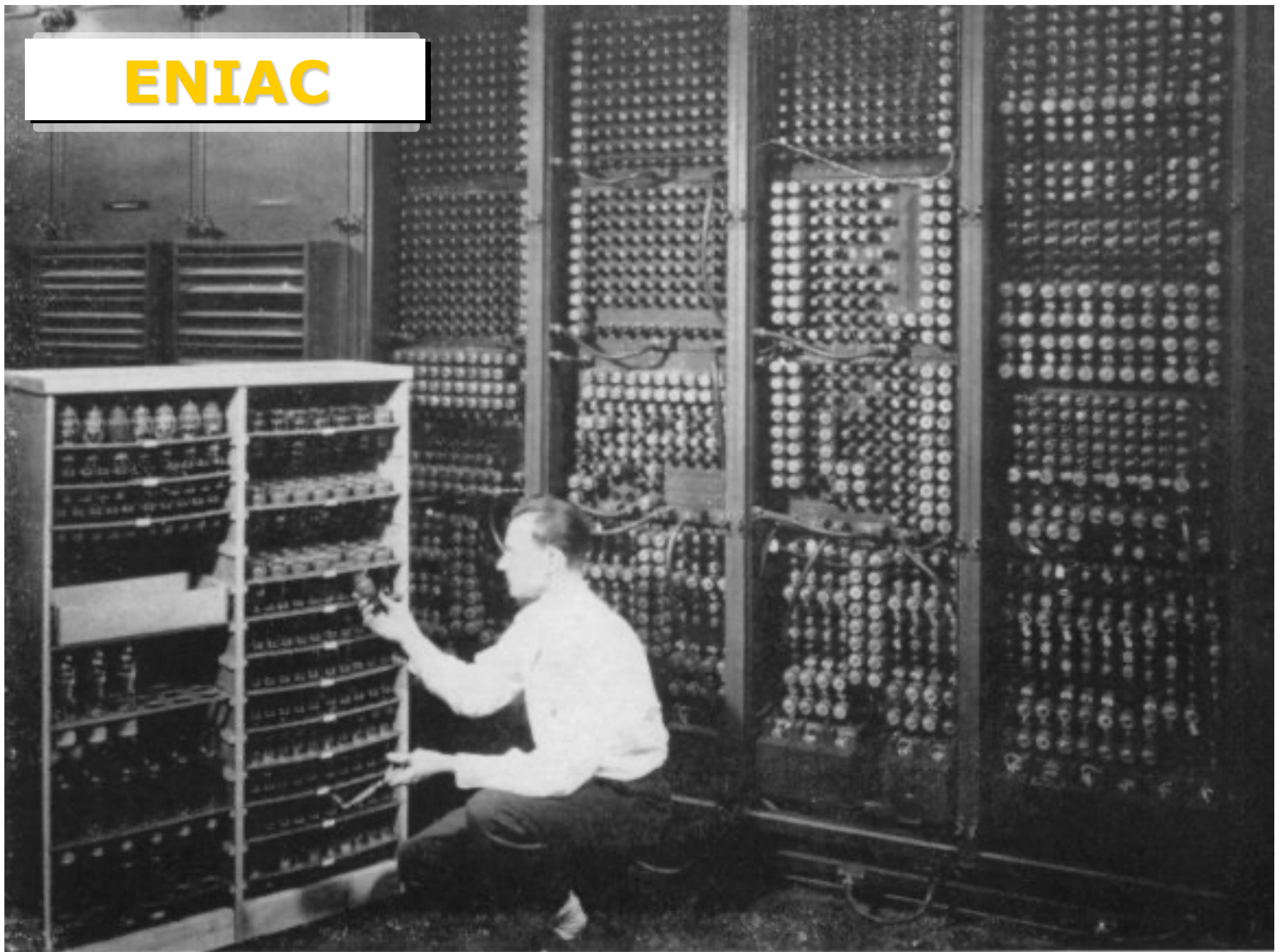
- Furono proposti diversi calcolatori in grado di svolgere le semplici operazioni aritmetiche Schickhard (1623), Blaise Pascal (1642), Leibniz (1673), Babbage (1822), Boole (1847), Boole (1847), Zuse (1938), Aiken (1943)
- I calcolatori meccanici furono progettati per ridurre i tempi richiesti per i calcoli e migliorare l'accuratezza dei risultati
- Due difetti principali:
  - Velocità di funzionamento limitata dall'inerzia nel moto delle parti meccaniche (ingranaggi e carrucole)
  - Ingombranti, inaffidabili e costosi

# Il primo calcolatore elettronico

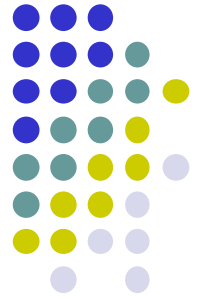


- ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator)
  - Sviluppato presso l'Università della Pennsylvania
  - Finanziato dal Ministero della Difesa USA
  - Divenne operativo durante la II guerra mondiale
  - Costruito tra il 1943 e il 1946
  - Reso pubblico nel 1946
- I progettisti erano J.P. Eckert e J. Mauchly

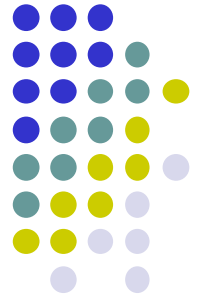
# ENIAC



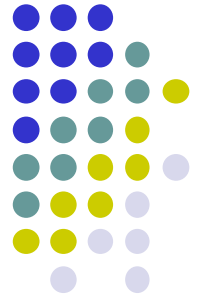
# ENIAC



- Macchina di uso generale usata per il calcolo delle tabelle di tiro dell' artiglieria
- Una "U" di 30 metri alta 2m e di 1m di spessore
- 30 tonnellate
- 18.000 tubi a vuoto (valvole)
- 20 registri di 10 cifre (ogni registro lungo oltre mezzo metro)
- 200 microsec per un' addizione
- 180 KW di consumo. Quanto venne messo in funzione per la prima volta l' intero quartiere ovest di Filadelfia andò al buio.
- Programmazione manuale attraverso fili e interruttori
- Dati introdotti attraverso schede perforate
- Tediosa da programmare

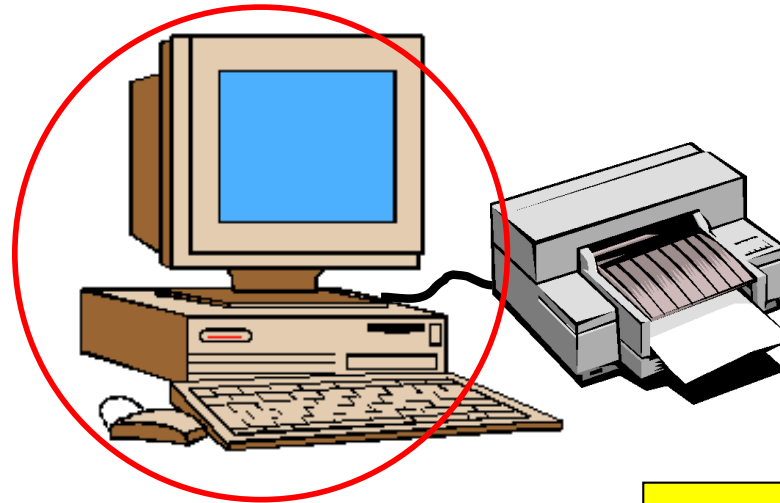
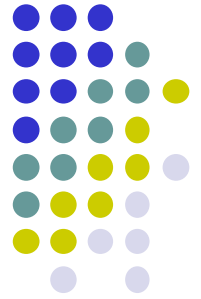


- Del gruppo di ENIAC faceva parte John Von Neuman
- Scrisse un memo basandosi su ENIAC proponendo un calcolatore chiamato EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer)
- Passato alla storia, anche se le idee erano di altri
- Caratteristica fondamentale: programma memorizzato (nella mem. centrale)
- Tutti i calcolatori si basano su tale modello, ormai universalmente noto come la Macchina di Von Neuman



- Tale modello si basa sulle seguenti osservazioni fondamentali
  - il calcolatore dovrà eseguire con maggiore frequenza operazioni aritmetiche, per cui e' ragionevole che abbia uno o più dispositivi specializzati per tali operazioni
  - il controllo logico del dispositivo, ossia la corretta sequenza con cui effettuare tali operazioni, può essere effettuato in modo più efficiente da un controllore centrale **flessibile**, che distingua tra ordine di esecuzione delle istruzioni (dipendono dal problema da risolvere, per cui devono essere memorizzate) e modalità di esecuzione delle singole istruzioni (dipendono dal calcolatore, per cui gestite dal dispositivo stesso)
  - la sequenza di istruzioni e i dati su cui opera devono essere immagazzinati in memoria
  - dati e risultati devono poter essere scambiati con l' esterno attraverso unità di ingresso/uscita (input/output)
  - tutti i dispositivi citati devono poter colloquiare tra loro attraverso opportuni collegamenti
- Vediamo brevemente il modello derivante

# La macchina di Von Neumann



Bus di sistema

Collegamento

Unità di  
Elaborazione  
(CPU)

Memoria  
Centrale

Interfaccia  
Periferica  $P_1$

Interfaccia  
Periferica  $P_2$

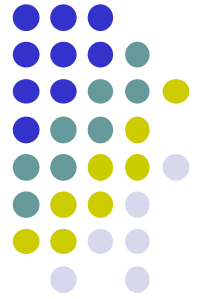
Esecuzione istruzioni

Memoria di lavoro

Memoria di massa,  
stampante, terminale...

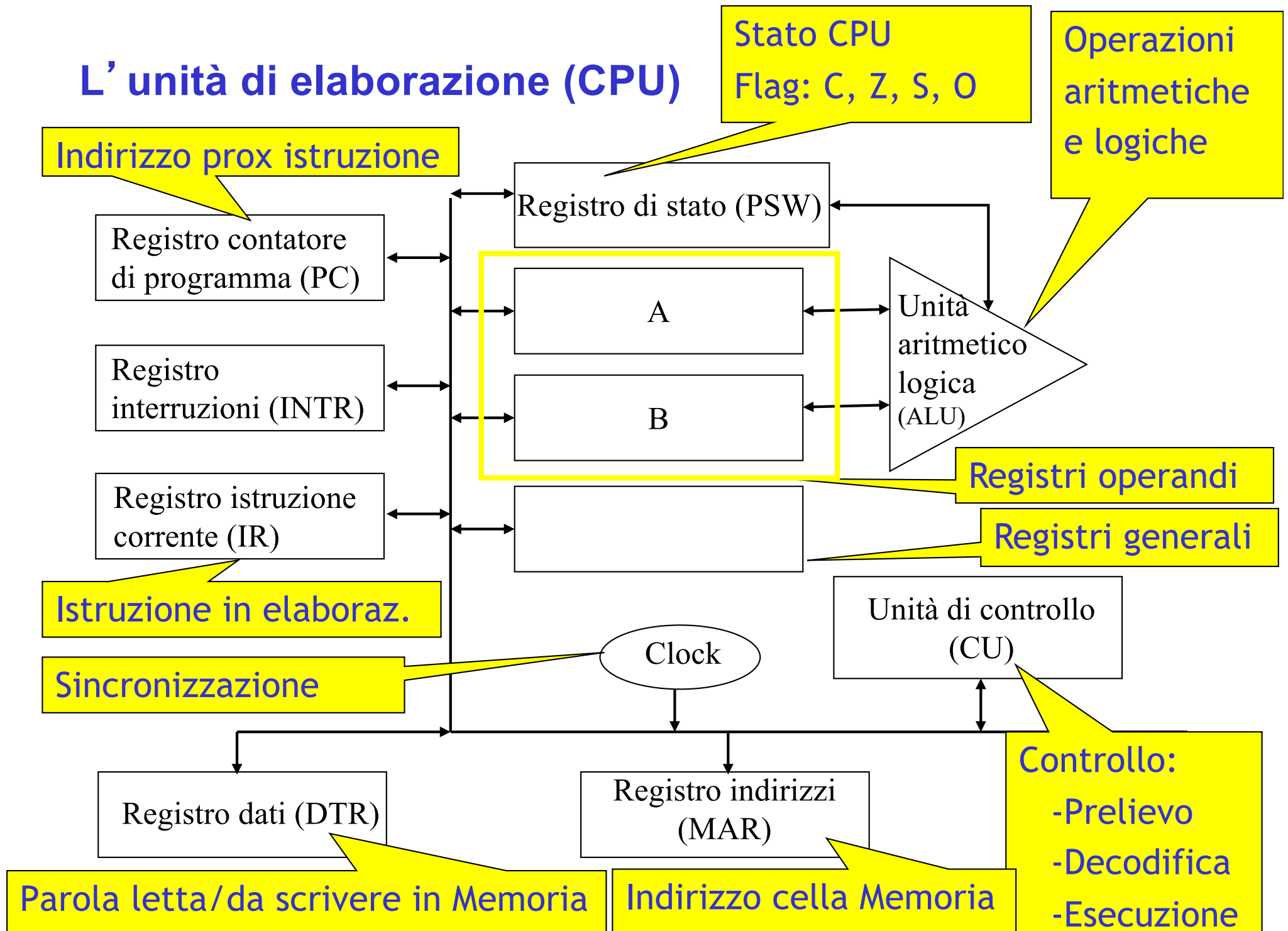


# C.P.U.

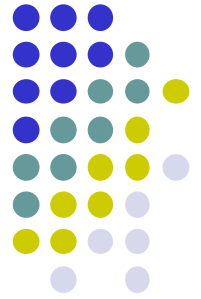


- Central Processing Unit o Unità di Elaborazione Centrale
- è il cervello dell'elaboratore, in quanto coordina e gestisce tutti i vari dispositivi hardware ai fini dell'esecuzione dei programmi
- al suo interno è composta da:
  - **C.U.** (Unità di Controllo) : si occupa dell'interpretazione e della esecuzione delle istruzioni
  - **A.L.U.** (Unità Logico-Aritmetica): svolge le operazioni logiche ed aritmetiche
  - **REGISTRI**: dispositivi elettronici capaci di memorizzare sequenze di bit fungendo da piccole memorie interne alla C.P.U.
  - **CLOCK**:
    - scandisce gli intervalli di tempo in cui agiscono in modo sincrono i dispositivi interni alla C.P.U.
    - determina la velocità della C.P.U., espressa come frequenza o numero di intervalli scanditi nell'unità di tempo (es., 512MHz, 1GHz, 2GHz ...)
- alcuni esempi di CPU: Intel® Core™ I7, AMD® Phenom II, ...

# L' unità di elaborazione (CPU)

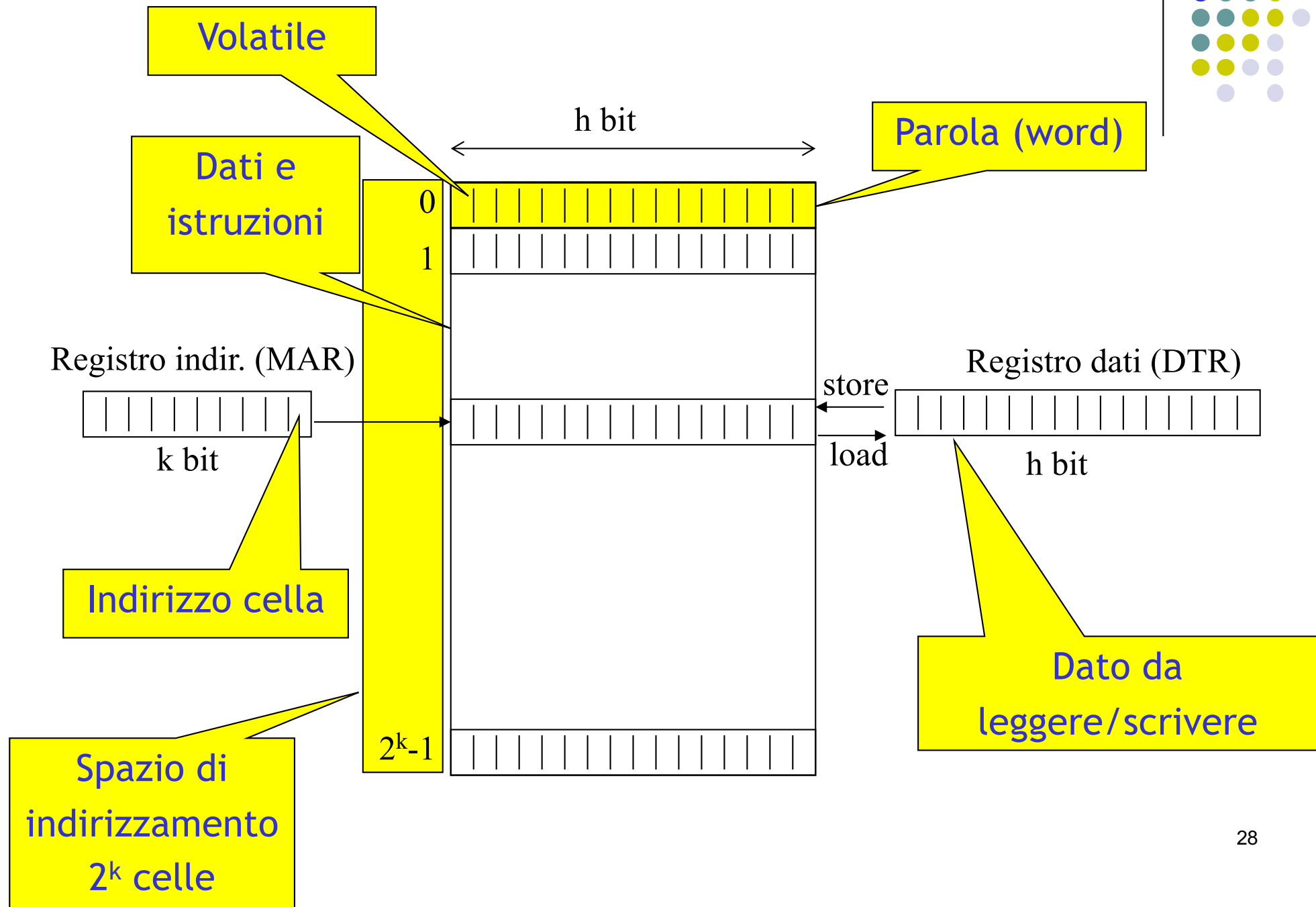
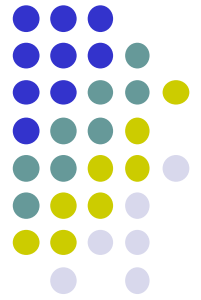


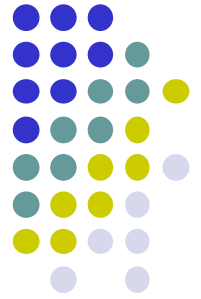
# Memoria Centrale



- Comunemente nota anche come RAM (Random Access Memory)
- In essa transitano le istruzioni (in linguaggio macchina) che devono essere eseguite ed i dati su cui operano
- Ha la caratteristica di essere
  - **volatile**: il suo contenuto viene perso quando viene spento l'elaboratore
  - **veloce** (ordine dei nanosecondi, ossia  $10^{-9}$  secondi)
  - **costosa**
  - di **dimensioni medio-piccole**, da qualche centinaia di megabyte (es. 512MB in dispositivi mobili) a qualche gigabyte (macchine desktop e server)

# La memoria centrale

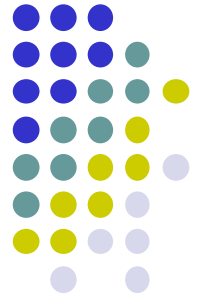




# Memoria di Massa

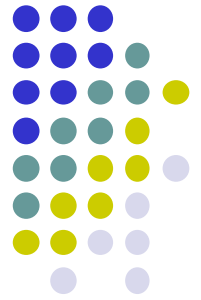
- Anche se è una componente fondamentale, non fa parte della macchina di Von Neumann in senso stretto
- È costituita dai dischi rigidi, nastri, CD e DVD ROM, ...
- Rispetto alla memoria centrale ha la caratteristica di essere
  - non volatile
  - lenta (per hard disk ordine dei millisecondi, ossia  $10^{-3}$  secondi)
  - economica
  - di grandi dimensioni (per hard disk centinaia di gigabyte, qualche terabyte)

# Unità di I/O

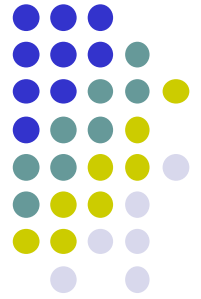


- Consentono la comunicazione dell'elaboratore con l'esterno ed in particolare la lettura di dati in input e la restituzione dei risultati delle elaborazioni in output.
- Ne fanno parte terminali (tastiera e schermo), mouse, stampanti, scanner, ...

# Bus di sistema



- Consente la comunicazione tra le varie componenti
- Si suddivide in
  - **Bus dati**: per la trasmissione di dati
  - **Bus indirizzi**: per la trasmissione di indirizzi di memoria centrale
  - **Bus di controllo**: per la trasmissione di comandi alle varie unità e di informazioni di controllo

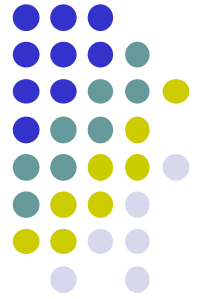


## ... torniamo alla nostra storia

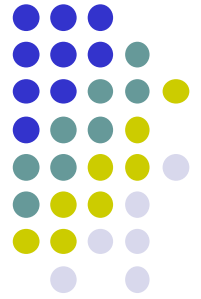
- Come dicevamo, del gruppo di ENIAC faceva parte **John Von Neuman**
  - Scrisse un memo basandosi su ENIAC proponendo un **calcolatore a programma memorizzato** detto EDVAC, (Electronic Discrete Variable Automatic Computer)
  - Passato alla storia, anche se le idee erano di altri
- Eckert e Mauchly fondarono una società e costruirono BINAC. In seguito la società acquistata da Remington Rand che nel 1951 produsse UNIVAC I, il primo calcolatore commerciale (\$250.000, prodotto in 48 esemplari)
- Nel 1950 entrò in scena l' IBM con i primi mainframe e nel 1964 annunciò il sistema S/360, introducendo il **concetto di famiglia (architettura)**
- Vennero quindi i primi mini-calcolatori, come il PDP11 e il VAX780 delle Digital (DEC)
- E quindi i primi Personal Computer (Apple II, PC IBM, ...) e Workstation (Apollo DN 300, Sun, ...)
- Alcune foto: ...



# IBM System 360 mainframe computer



# MINICOMPUTER



**PDP11**



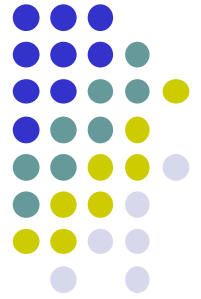
**VAX780**

**La Digital (DEC) introdusse tra il 1968 e il 1980 sistemi per applicazioni sul campo basati su tecnologie a media scala di integrazione**

# UNO DEI PRIMI CALCOLATORI PERSONALI

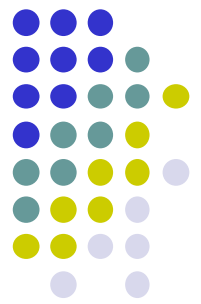


**Personal computer Apple II**



# Legge di Moore

- La capacità elaborativa raddoppia ogni 18 mesi  
(quadruplica ogni 3 anni)
- Enunciata nel 1965. Modificata varie volte
  - inizi '70: 2x ogni 12 mesi (per gli anni '70)
  - 1975: 2x ogni 2 anni (per gli anni '70)
  - metà '80: 2x ogni 18 mesi (da allora in avanti)
- Si riferiva al numero di transistori per unità di superficie



## ... Legge di Moore (famiglia Intel)

Data di introduzione	Nome del chip	N. di transistori (/1000)	Tecnologia ( $\mu m$ )	Frequenza (MHz)
Novembre 1971	4004	2,3	10	0,108
Aprile 1972	8008	3,5	10	0,500
Aprile 1974	8080	4,5	6	2
Giugno 1978	8086	29	3	5
Febbraio 1982	80286	134	1,5	8
Ottobre 1985	80386	275	1,5	16
Aprile 1989	80486	1.200	1	25
Marzo 1993	Pentium	3.100	0,8	60
Novembre 1995	PentiumPro	5.500	0,6	150
Maggio 1997	Pentium II	7.500	0,35	233
Febbraio 1999	Pentium III	9.500	0,25	450
Novembre 2000	Pentium 4	42.000	0,18	1400
Marzo 2003	Pentium M	77.000	0,13	1300
Gennaio 2006	Core 2	291.000	0,065	1200
Gennaio 2008	Core 2 Quad	820.000	0,045	2500

**Tabella 1.2** - Aumento del numero di transistori delle CPU Intel. I dati riportati si riferiscono al modello di introduzione. Per i modelli introdotti in più versioni, la tabella riporta i dati relativi alla versione di più bassa capacità. Per esempio, il PentiumPro è stato introdotto in ben quattro versioni, di cui la meno potente (quella riportata) era tecnologia a  $0,6 \mu m$  e frequenza pari a 150 MHz, mentre la più avanzata era in tecnologia a  $0,35 \mu m$  e frequenza pari a 200 MHz.



## ... Legge di Moore

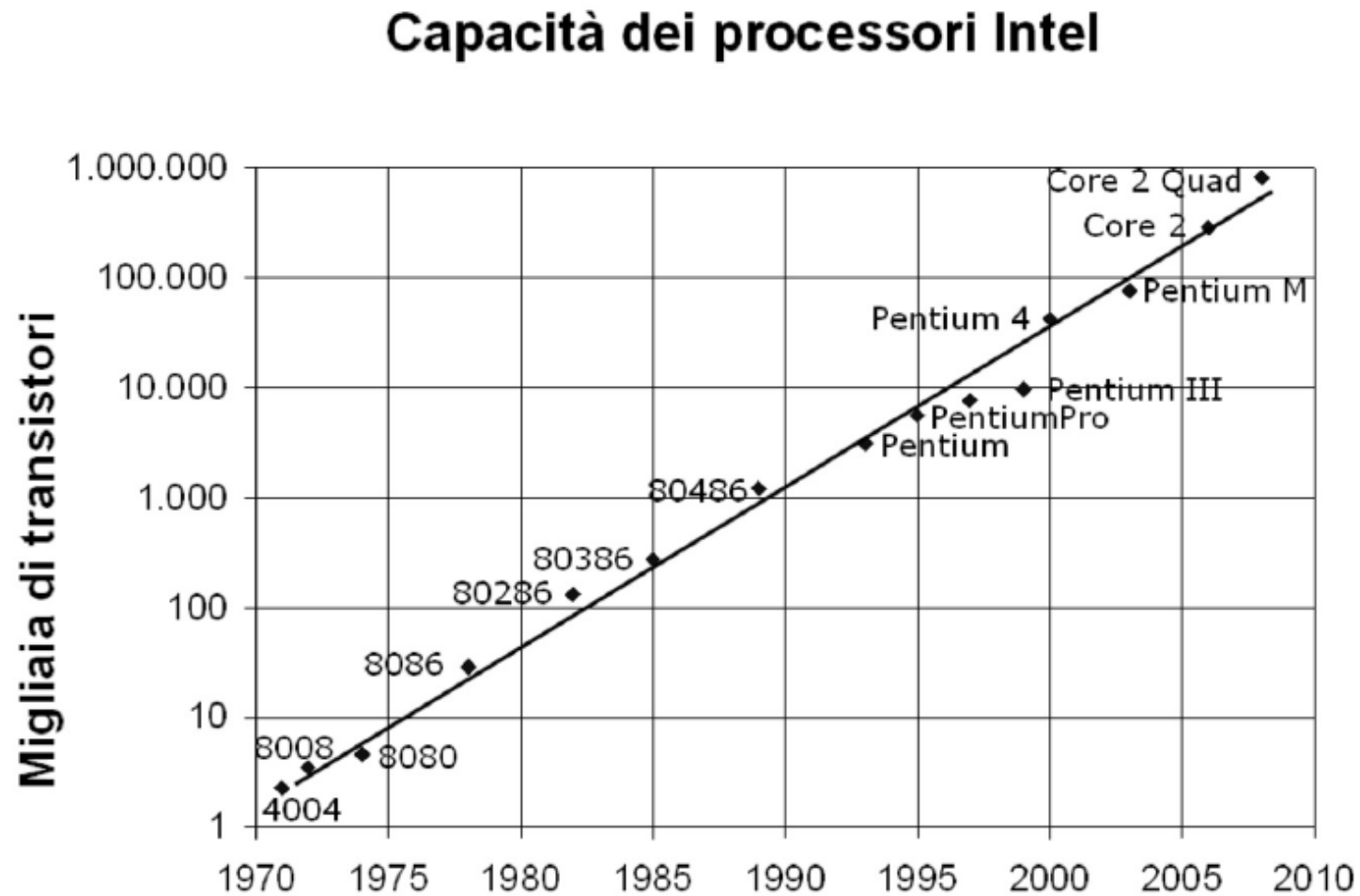
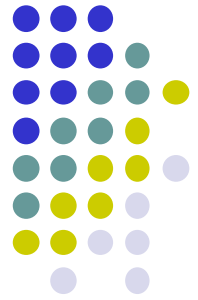
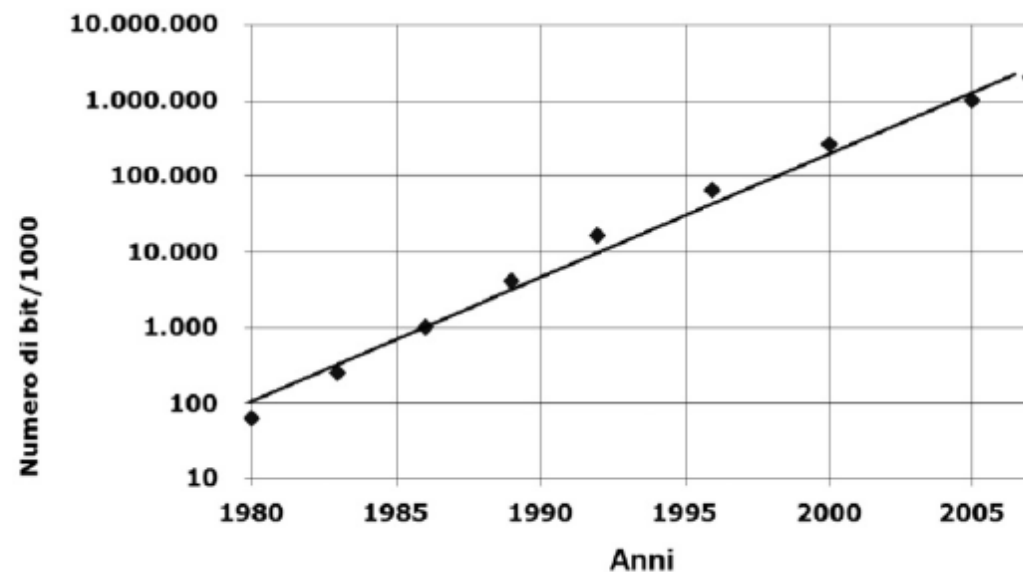


Figura 1.1 - Aumento del numero dei transistori nelle CPU Intel.

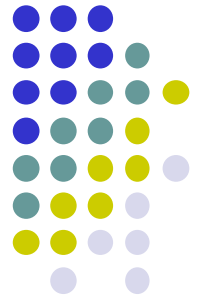


## ... Legge di Moore (memorie)

Anno	Capacità (Mb)	Tempo di ciclo (ns)
1980	0,0625	250
1983	0,25	220
1986	1	1902
1989	4	165
1992	16	145
1996	64	120
2000	256	100
2005	1000	10
2007	2000	2



**Figura 1.2** - Aumento della capacità per gli integrati DRAM. La capacità è misurata in Mb, il tempo di ciclo in ns. Le ultime due righe, che si riferiscono a integrati di tipo SDRAM, mostrano valori molto più bassi del tempo di ciclo.



## .. Legge di Moore

- Riassunto

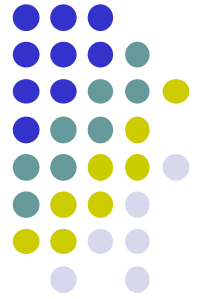
	Capacità		Velocità	
	Crescita	Tasso annuo	Crescita	Tasso annuo
Logica	2× in 3 anni	26%	4× in 3 anni	60%
DRAM	4× in 3 anni	60%	2× in 10 anni	7%
Dischi magnetici	4× in 3 anni	60%	2× in 10 anni	7%

**Tabella 1.3** - Tendenza di sviluppo delle tre principali tecnologie impiegate nei sistemi di elaborazione.

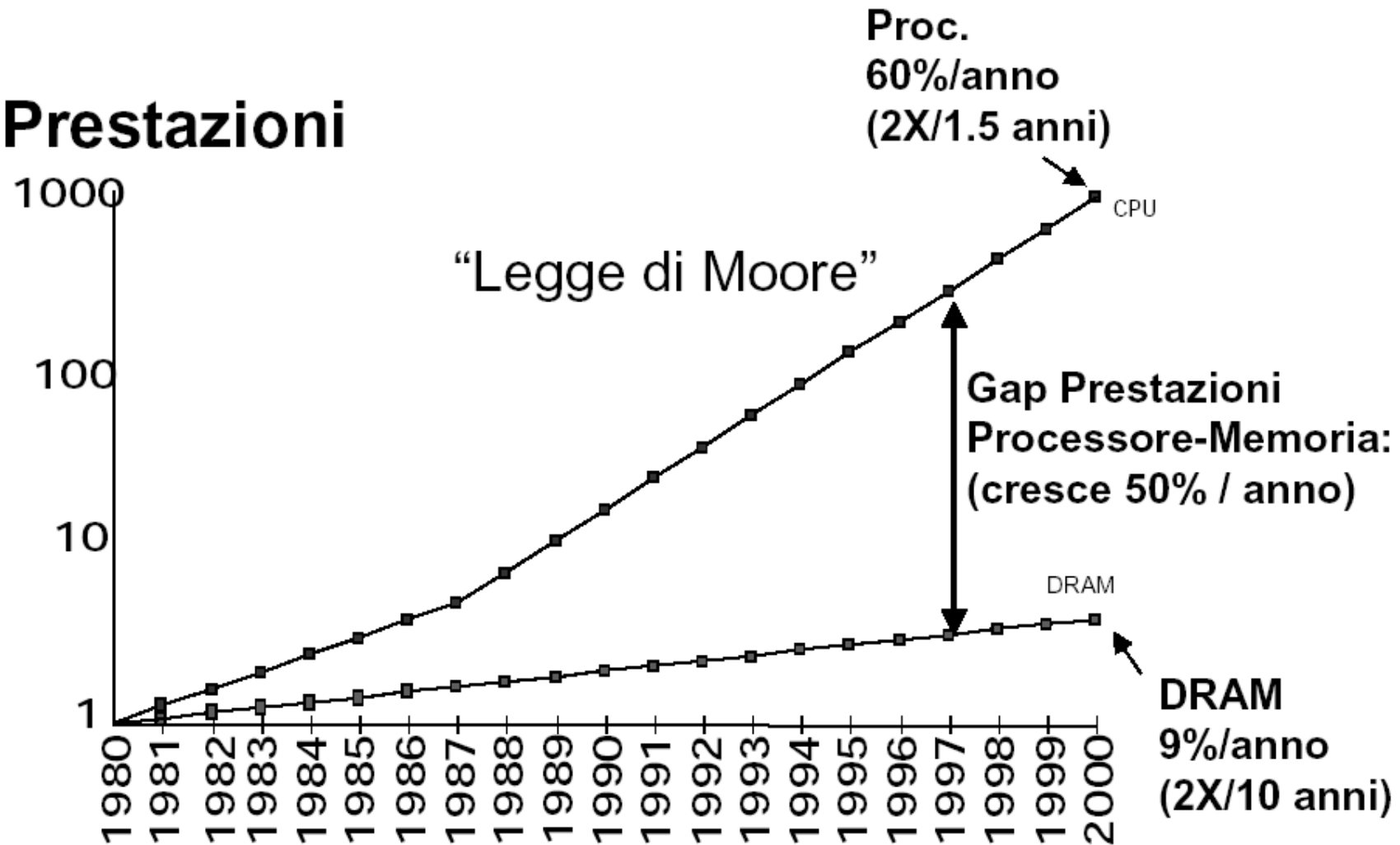
C'è una forbice che si apre sempre più tra le prestazioni della logica e quelle delle DRAM

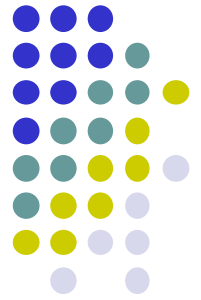


# Il gap



## Prestazioni





# Prezzi Dram

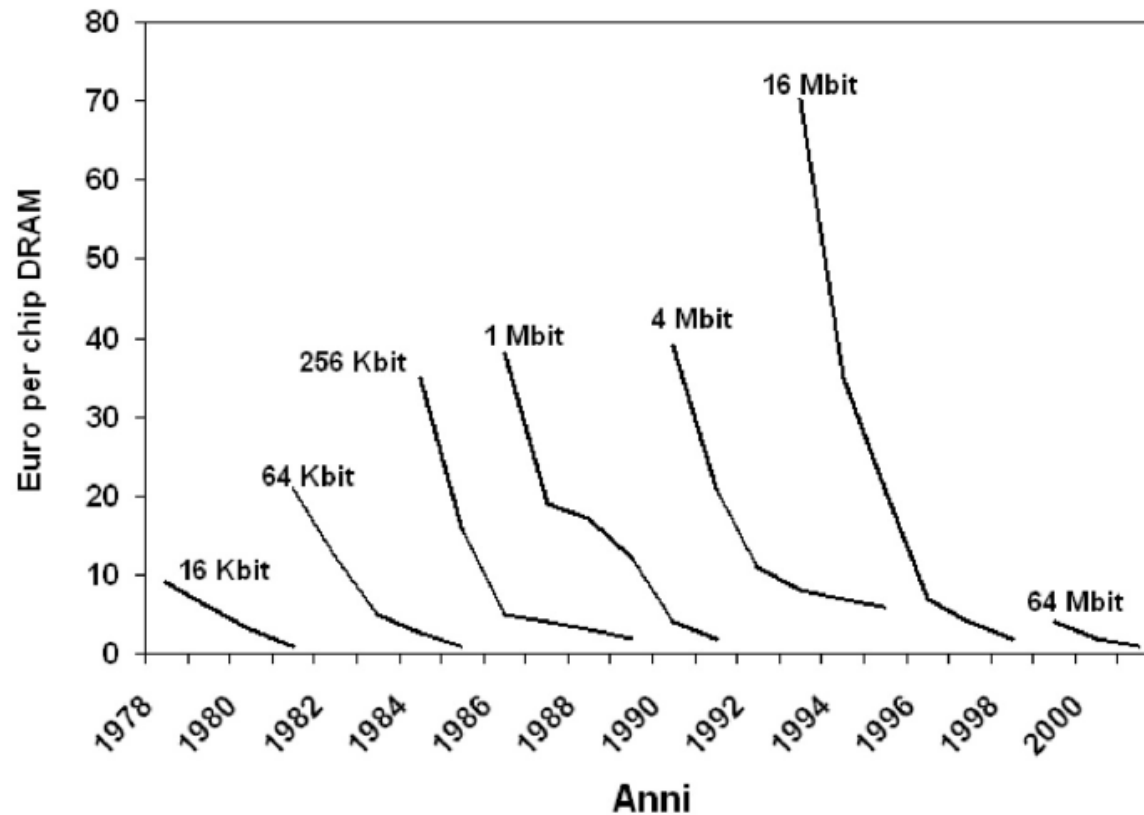
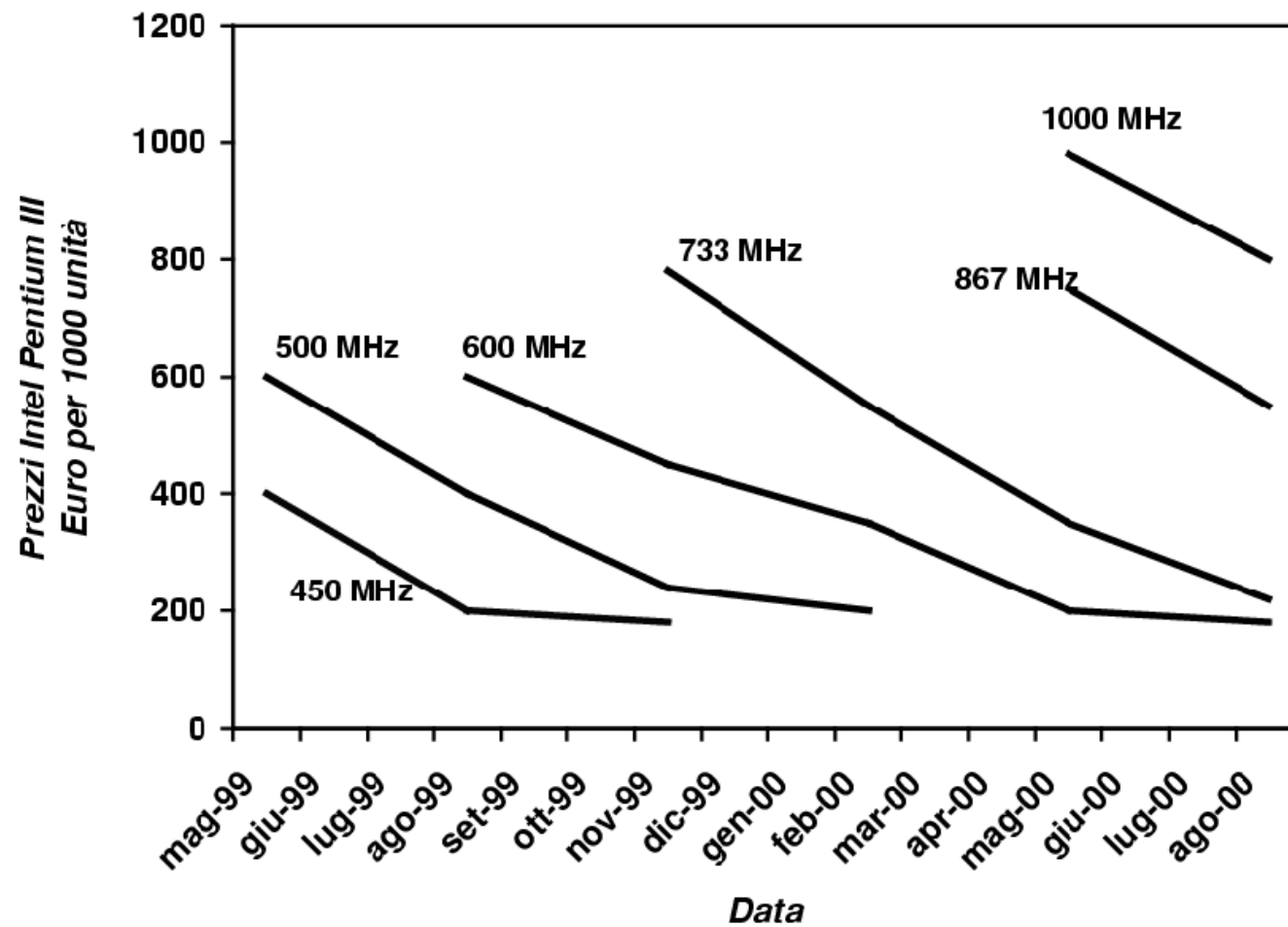
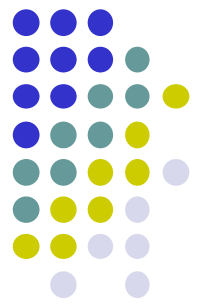


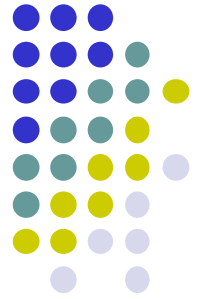
Figura 1.3 - Andamento dei costi per gli integrati DRAM.

Costo di 1MByte: € 5000 nel 1977; € 32 nel 1990; € 0,25 nel 2000; 0,125 Euro nel 2001; 0,024 € nel 2012

# Prezzi CPU

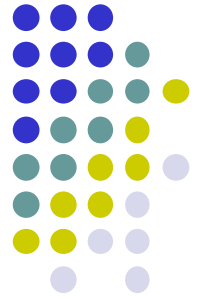


# Un confronto: Core2 Quad e 8086 (solo rispetto a frequenze)



- Rapporto frequenze:  $2500/5 = 500$
- Ipotesi: nel '78 ci voleva un'ora d'auto da L'Aquila a Roma
- Se l'auto avesse progredito in velocità allo stesso modo, oggi basterebbero 7,2 s

# Stato dell' arte (2014)



## **Mainframes e Supercalcolatori**

IBM, Cray, SGI, HP, Fujitsu  
SO Unix, Linux, Proprietari

## **Workstations**

Sun, HP, IBM, DEC  
CPU: Intel, AMD, Motorola, proprietarie  
SO UNIX, GNU/Linux, MS Windows Server

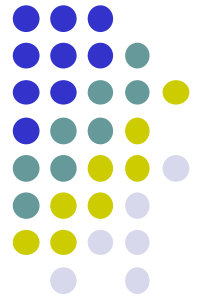
## **PC (Desktop)**

Una pletora di costruttori  
CPU: Intel, AMD, Motorola  
SO Microsoft Windows (NT, v7, v8),  
MacOS, GNU/Linux (Ubuntu, Debian, etc.)

## **Laptop, Tablet e Smartphone**

Anche qui una pletora di costruttori  
Samsung, Acer, Asus, Apple  
SO Proprietari, iOS, Android

# Curiosità attuali sulla Legge di Moore



- La legge di Moore, ormai, appartiene al passato (articolo su Repubblica):
  - [http://www.repubblica.it/tecnologia/2016/02/16/news/legge\\_di\\_moore\\_nature\\_ormai\\_appartiene\\_al\\_passato\\_-133551018/](http://www.repubblica.it/tecnologia/2016/02/16/news/legge_di_moore_nature_ormai_appartiene_al_passato_-133551018/)
- The chips are down for Moore's law (articolo su Nature):
  - <http://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338>