

Modulo Calcolatori Elettronici

Proff. Gian Luca Marcialis, Giulia Orrù, Lorenzo Putzu, Fabio Roli

Corsi di Laurea in Ingegneria Biomedica Ingegneria Elettrica, Elettronica ed Informatica

Contatti:

marcialis@unica.it, giulia.orrù@unica.it, lorenzo.putzu@unica.it

Capitolo 1

Introduzione

Scopi del Corso

- Il corso si occupa dei **concetti fondamentali** relativi alla struttura ed al funzionamento dei calcolatori elettronici
 - Significa che cercheremo di capire quali sono le metodiche di progetto, le tecnologie, ecc., di validità generale. Cercheremo cioè di capire quali sono i concetti che sono rimasti validi, e molto probabilmente lo resteranno almeno per i prossimi anni, nonostante i cambiamenti rapidissimi della tecnologia
- Ci occuperemo soprattutto di **Organizzazione** ed **Architettura** dei calcolatori
 - Cercando di analizzarle, dove possibile in questo corso, nell'ottica del paradigma costo/prestazioni che sta alla base della progettazione di un calcolatore
- Esemplificheremo alcuni concetti con riferimento alle attuali architetture di calcolatore

Ancora due parole sugli scopi del corso

Scopo principale:

studiare gli aspetti relative all'organizzazione ed architettura del calcolatore che sono rimasti validi, e molto probabilmente lo resteranno almeno per i prossimi anni, nonostante i cambiamenti rapidissimi della tecnologia

In questo corso non impareremo né ad installare un dispositivo, hw o sw, né a utilizzare un calcolatore per "programmare" l'impianto di irrigazione del giardino.....**cose utilissime**...ma che un ingegnere può e deve imparare dopo aver imparato come funziona l'indirizzamento della memoria "cache"

Non spiegheremo come funziona e perché si deve usare il "deframmentatore" di Windows....ma cercheremo di capire come mai il disco si "frammenta" per capire se e come lo si potrebbe evitare

Cercheremo sostanzialmente di imparare bene quei concetti senza i quali si rischia, pur diventando degli "esperti", di non essere in grado di governare le tecnologie e l'innovazione

Contenuti Fondamentali del Corso

1. Introduzione
2. Reti Logiche
3. Unità di Memoria
4. CPU – Set di Istruzioni
5. Linguaggio Assembly del MIPS
6. CPU – ALU
7. Unità di I/O

Obiettivi del Corso

- Alla fine del corso l'allievo deve conoscere:
 - Le metodiche di base per l'analisi e la sintesi delle reti logiche combinatorie e sequenziali
 - I concetti e le tecniche fondamentali relativi alla organizzazione e all'architettura di un moderno calcolatore
 - I concetti di base del linguaggio assembly MIPS
- Alla fine del corso l'allievo deve saper fare:
 - Risolvere semplici esercizi sulla analisi e sintesi di reti logiche
 - Risolvere esercizi di media complessità sulla analisi e progetto dei moduli fondamentali di un calcolatore (CPU, Memoria, Unità I/O), e sulla organizzazione e funzionamento di un calcolatore
 - Scrivere e/o leggere semplici procedure in assembly MIPS

Valutazione dell'Apprendimento (in presenza)

- Prova scritta obbligatoria
 - Sostenibile durante i normali appelli di esame
 - Oppure mediante due prove intermedie in corso di semestre
 - Prova orale facoltativa se voto prova scritta nei normali appelli d'esame è maggiore od uguale a 18/30 **e** non ci sono dubbi da parte del docente sulla modalità svolta in ciascun esercizio
 - Voto finale = 70% Prova Scritta, 30% Prova Orale
-
- **N.B.** Durante le normali prove scritte d'esame, gli allievi che avendo consegnato la prova scritta dopo la correzione degli esercizi d'esame in aula conseguiranno un punteggio minore di 16/30, sono consigliati, nell'interesse della loro preparazione specifica e formazione professionale complessiva, di non sostenere la prova scritta immediatamente successiva (che tipicamente si svolge circa 2 settimane dopo) ma quella immediatamente dopo.
 - **N.B.** Gli esiti e la data dell'orale sono comunicati via email. Chiunque non si presenti all'orale senza una motivata e ben documentata ragione perderà il diritto di fare l'orale.

Materiale didattico

➤ Testo di consultazione

Patterson, A.D., Hennessy, J., "Struttura e progetto dei calcolatori elettronici", Zanichelli editore, 2019

➤ I lucidi utilizzati a lezione dal docente, testi d'esame, esercitazioni, ecc. sono disponibili in rete:
https://www.unica.it/unica/page/it/calcolatori_elettronici

➤ **NOTA BENE:** Gli allievi non possono prepararsi all'esame soltanto con i lucidi, che non sono dispense e pertanto presentano gli argomenti in modo sintetico. I lucidi vanno integrati con gli appunti presi a lezione (modalità consigliata) e/o con lo studio del testo di consultazione. Raccomandiamo di consultare il testo di riferimento, disponibile in Biblioteca, per chiarimenti ed approfondimenti. Per ogni capitolo del programma sono indicati sui lucidi del docente i principali testi di riferimento o di approfondimento .

Orari del corso

- Lunedì dalle 8 alle 11
- Venerdì dalle 8 alle 10 e dalle 15 alle 16
- Aula 1
- Tutorato
 - Venerdì dalle 16 alle 18
 - Aula 1
 - Inizio: 11 marzo
 - Si può seguire anche da remoto nel gruppo di «Calcolatori Elettronici»

Co-docenza con Dr. Lorenzo Putzu

Giorno	Argomento	Docente
28-feb	Introduzione al corso	GLM
4-mar	Reti logiche – fino a reti combinatorie/progetto di	GLM
7-mar	Reti logiche – reti sequenziali	GLM
11-mar	Esercitazione su reti logiche	LP
14-mar	Unità di memoria parte 1 (struttura/indirizzamento/gerarchia)	GLM
18-mar	Unità di memoria parte 2 (gerarchia/algoritmi)	GLM
21-mar	Unità di memoria parte 3 (disco/Hamming)	LP
25-mar	Unità di memoria parte 4 (esercitazione)	LP
28-mar	CPU – set di istruzioni	GLM
1-apr	Esercitazione di ripasso	LP
4-apr	Assembly parte 1	GLM
8-apr	Assembly parte 2	GLM
11-apr	Esercitazione in preparazione prima prova intermedia	LP
29-apr	Assembly – ripresa e parte 3	GLM
2-mag	Assembly – esercitazione	LP
6-mag	CPU-ALU	LP
9-mag	CPU-ALU conclusione ed esercizi	LP
13-mag	Unità di I/O	GLM
16-mag	Unità di I/O conclusione ed esercizi	LP
20-mag	Esercitazione conclusiva per seconda prova intermedia	LP

Prima prova intermedia a.a. 2021/2022

20 aprile 2022 ore 9:00: prova scritta in presenza organizzata per turni – i dettagli saranno forniti in seguito

Durata: 60 minuti

A breve gli allievi potranno iscriversi alla prima prova intermedia sul sistema ESSE3

Concetti di Architettura e Organizzazione

- Architettura
 - tutti gli aspetti di un calcolatore che sono “visibili” al programmatore
 - esempio: disponibilità di una istruzione “macchina” per moltiplicazione in virgola mobile
 - orientato alla programmazione
- Organizzazione
 - unità funzionali ed interconnessioni che realizzano l’architettura non visibili al programmatore
 - esempio: come la moltiplicazione in virgola mobile è realizzata
 - orientata all’hardware

Architettura ed organizzazione

- Tutti i calcolatori della famiglia Intel x86 avevano la stessa architettura di base, ma diversi calcolatori avevano diverse organizzazioni
- Mantenere uguale l'architettura favorisce la "portabilità" del software
- Cambi nell'organizzazione possono necessitare cambi dell'architettura

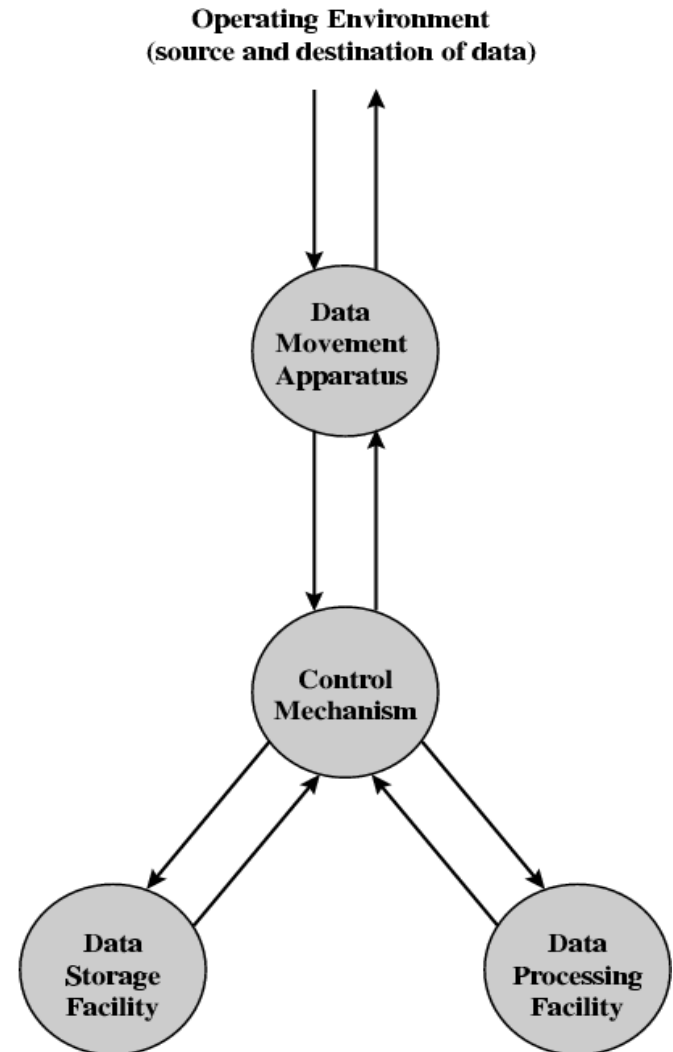
Concetti di Struttura e Funzione

- Un calcolatore elettronico è un sistema “complesso” costituito da tanti “moduli” e sotto moduli.
 - livelli di ***“astrazione”***
- A ciascun livello si analizza la *Struttura* e la *Funzione* di un modulo/sotto modulo
- La **Struttura** è il modo in cui i diversi moduli sono interconnessi fra di loro
- La **Funzione** è il funzionamento di ciascun modulo nell’ambito dell’intero sistema di elaborazione

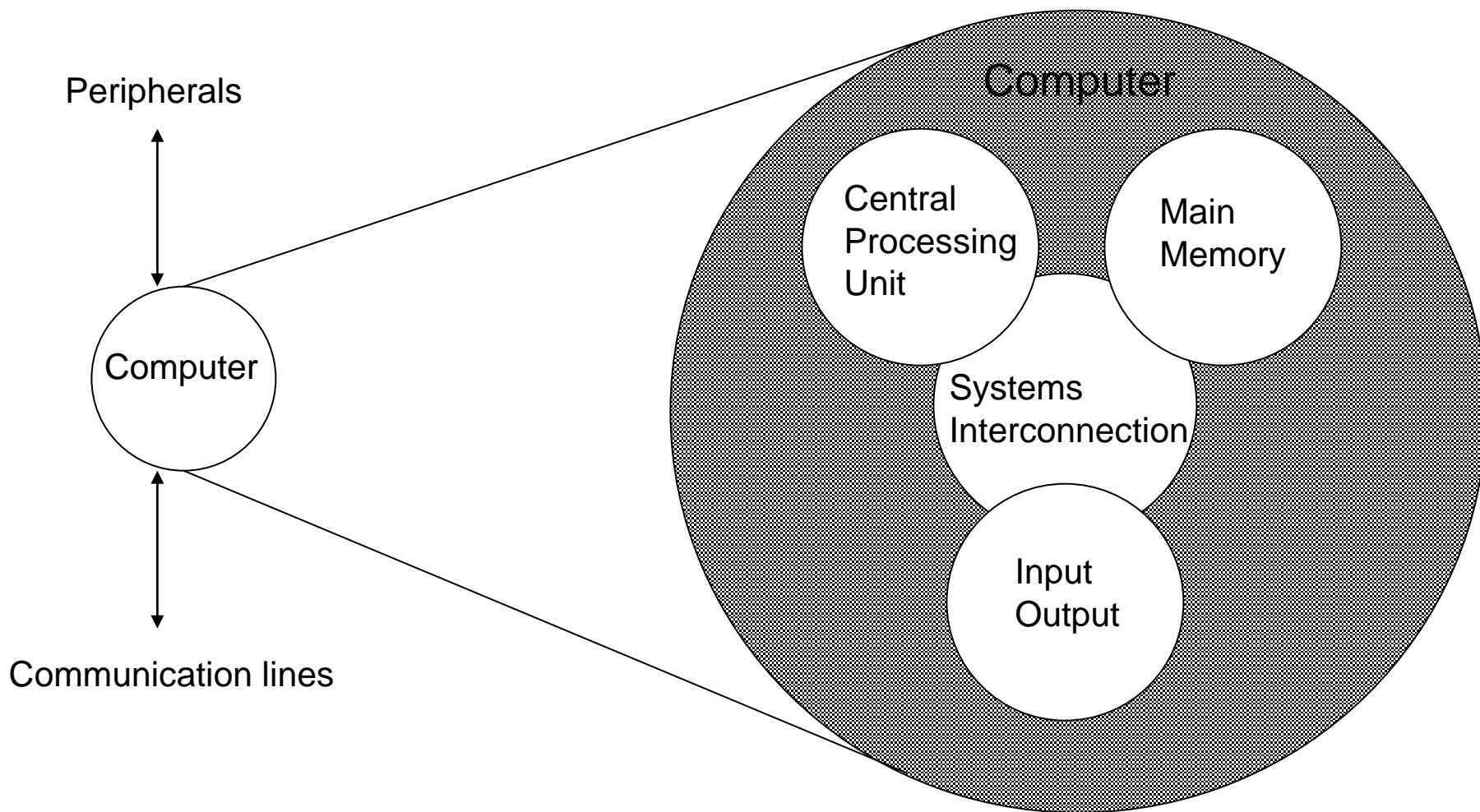
Le Funzioni di un Calcolatore

• Le funzioni di un calcolatore sono:

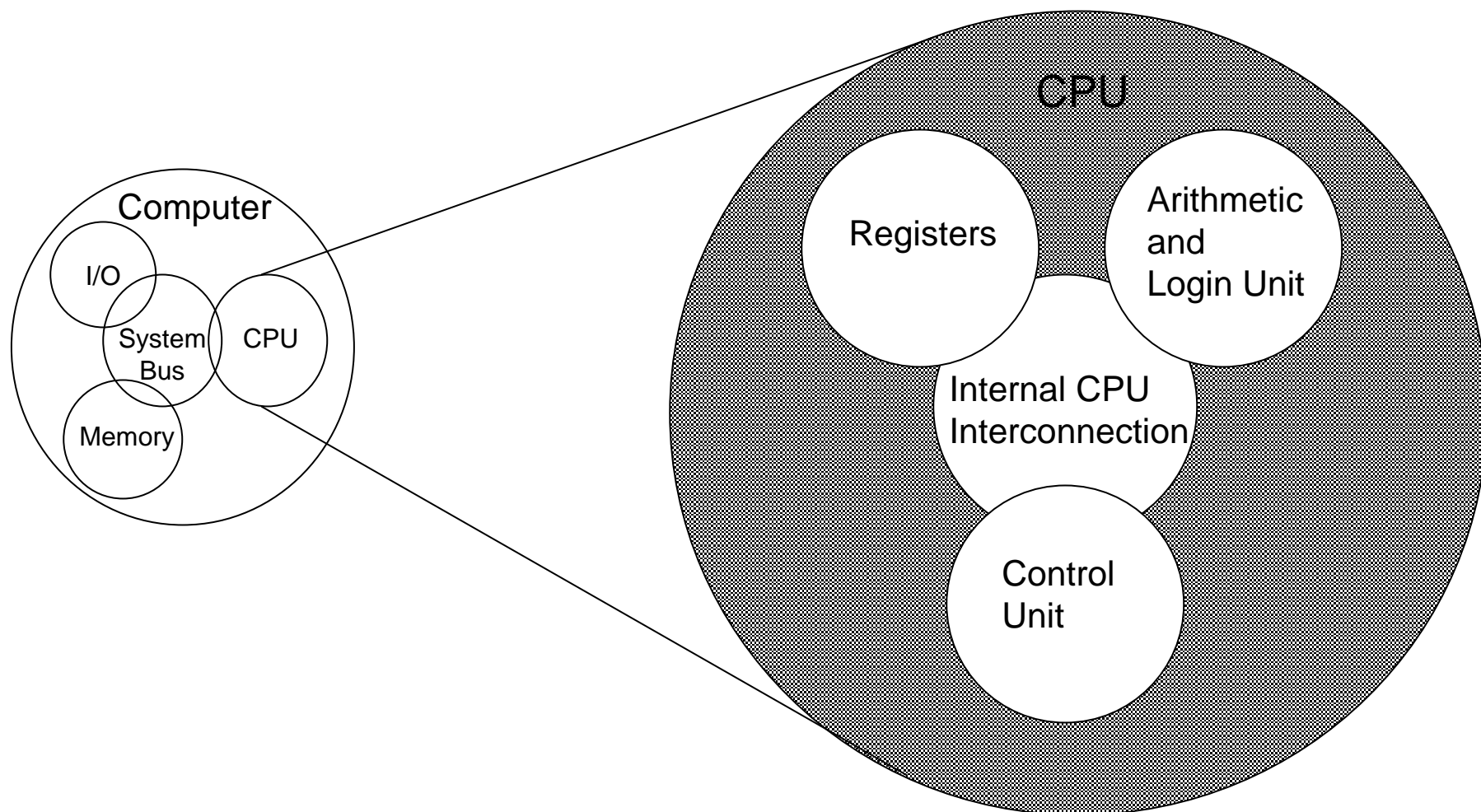
- Elaborazione dati
- Memorizzazione dati
- Trasferimento dati
- Controllo



La Struttura di un Calcolatore



Struttura – La CPU

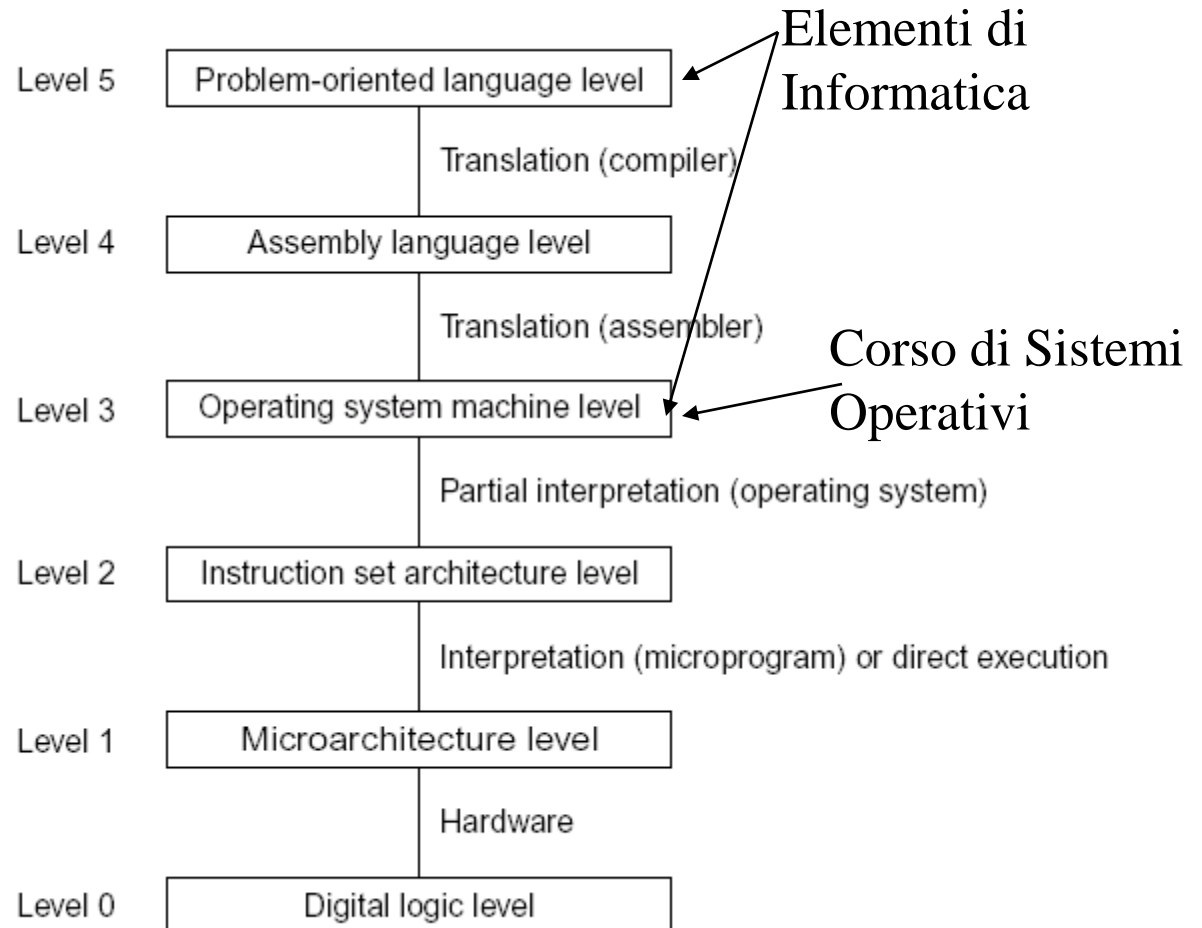


Calcolatore come macchina “virtuale” – Livelli di Astrazione

A.S. Tanenbaum

Structured Computer
Organization

Prentice Hall 2001



Elettronica dei Sistemi Digitali

Elettronica dello Stato solido

Calcolatore come macchina “virtuale” – Livelli di Astrazione

Programma
scritto
in linguaggio
ad alto livello (in C)

```
Scambia(int v[], int k)
{int temp;
  temp = v[k];
  v[k] = v[k+1];
  v[k+1] = temp;
}
```

↓

Compilatore

↓

Programma
scritto
in linguaggio
assembler
(per il MIPS)

```
Scambia:
  multi $9, $5,$2
  add   $9, $4,$9
  lw    $15, 0($9)
  lw    $16, 4($9)
  sw    $16, 0($9)
  sw    $15, 4($9)
  jr    $31
```

↓

Assemblatore

↓

Programma
scritto
in linguaggio
macchina
(del MIPS)

```
0000000000000010101001000100000000
0000000010010010010001000001000000
1000110100101111000000000000000000
1000110100110000000000000000000000
1010110100101111000000000000000000
1010110100110000000000000000000000
10101101001100000000000000000000100
00000011111000000000000000000001000
```

Quattro livelli di descrizione di un calcolatore

1. Livello Globale
 - Processore
 - Memoria
 - Etc.
2. Livello del Processore
 - Set Istruzioni Macchina
 - Rappresentazione dei dati
 - Etc.
3. Livello Registri:
 - Elaborazione di insiemi di bit ("word")
4. Livello Porte Logiche
 - Elaborazione a livello di bit

Breve Storia dei Calcolatori

L'Era “Meccanica”

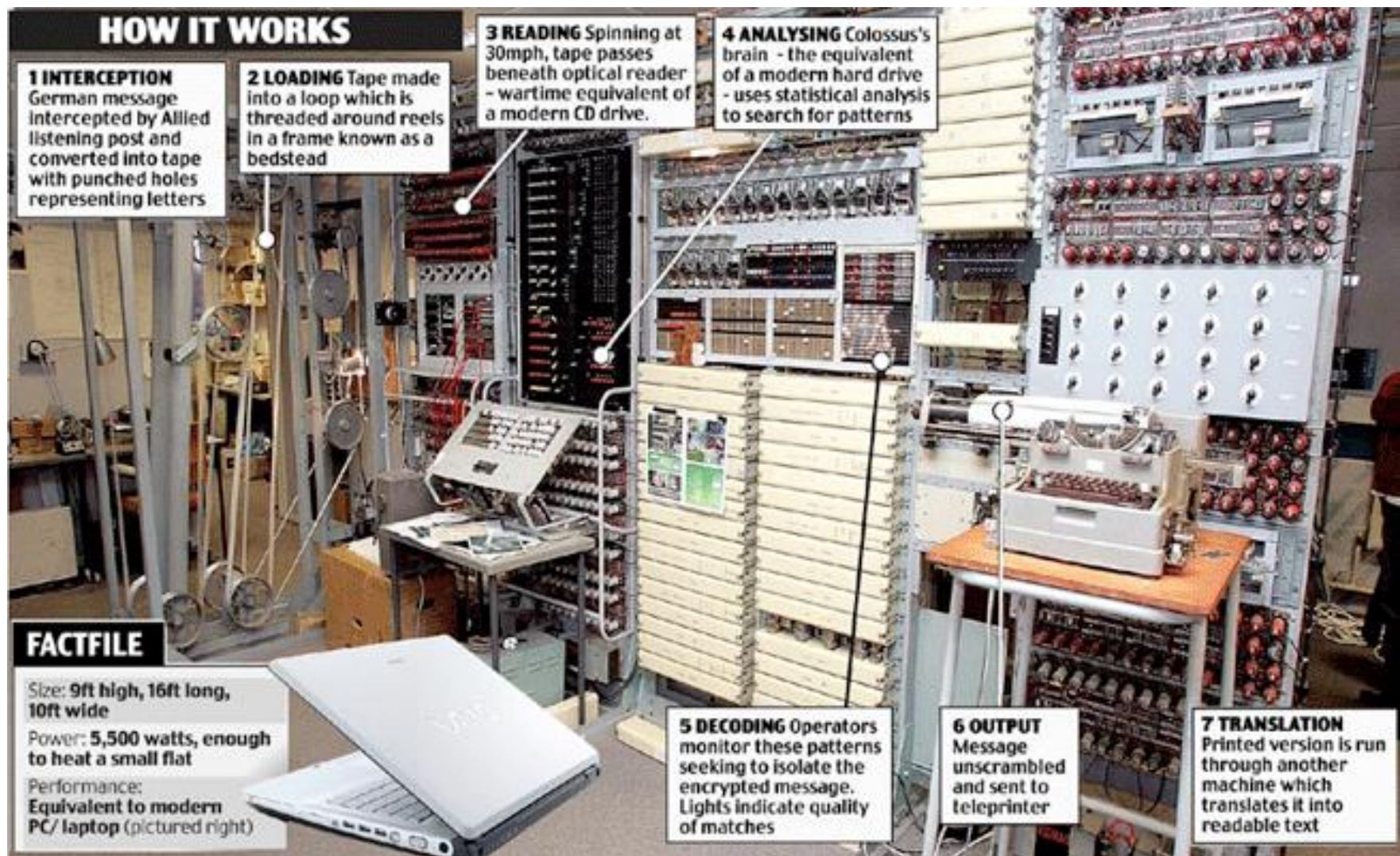
.

L'Era Elettronica

Breve storia dei calcolatori

- Era «meccanica»
 - Blaise Pascal (1642), Gottfried Leibniz (1673), George Boole (1847), etc., fino alla seconda guerra mondiale
 - Velocità di elaborazione limitata dall'inerzia meccanica
 - Difficoltà d'uso, scarsamente affidabili e molto costosi
- Era «elettronica»
 - ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), Eckert and Mauchly, Univ. of Pennsylvania, 1943-1946
 - John Von Neumann introduce, parallelamente ad Alan Turing, il concetto di programma memorizzato e realizza il calcolatore IAS
 - EDVAC (Elec. Discrete Variable Computer)

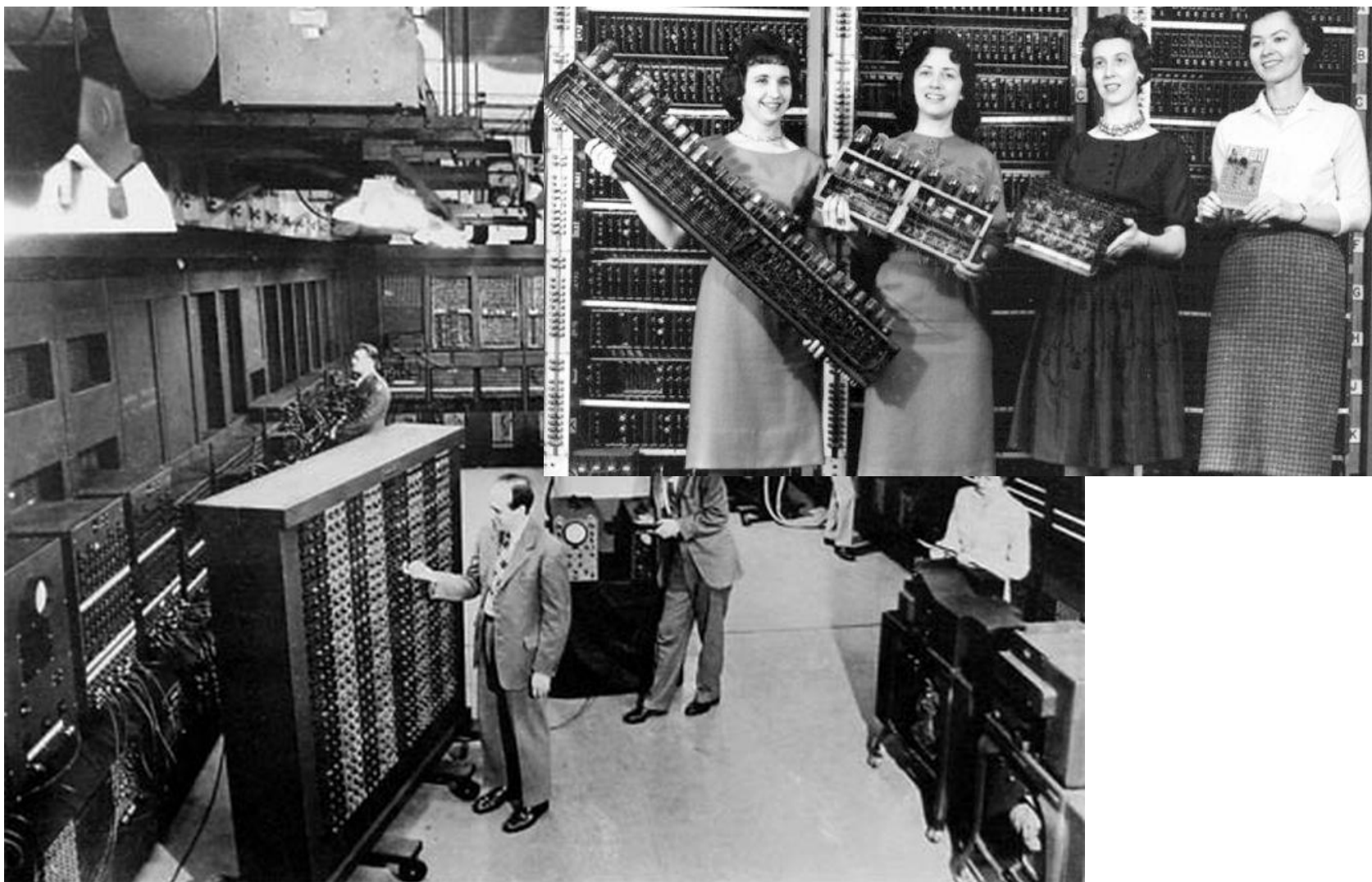
I «colossi»



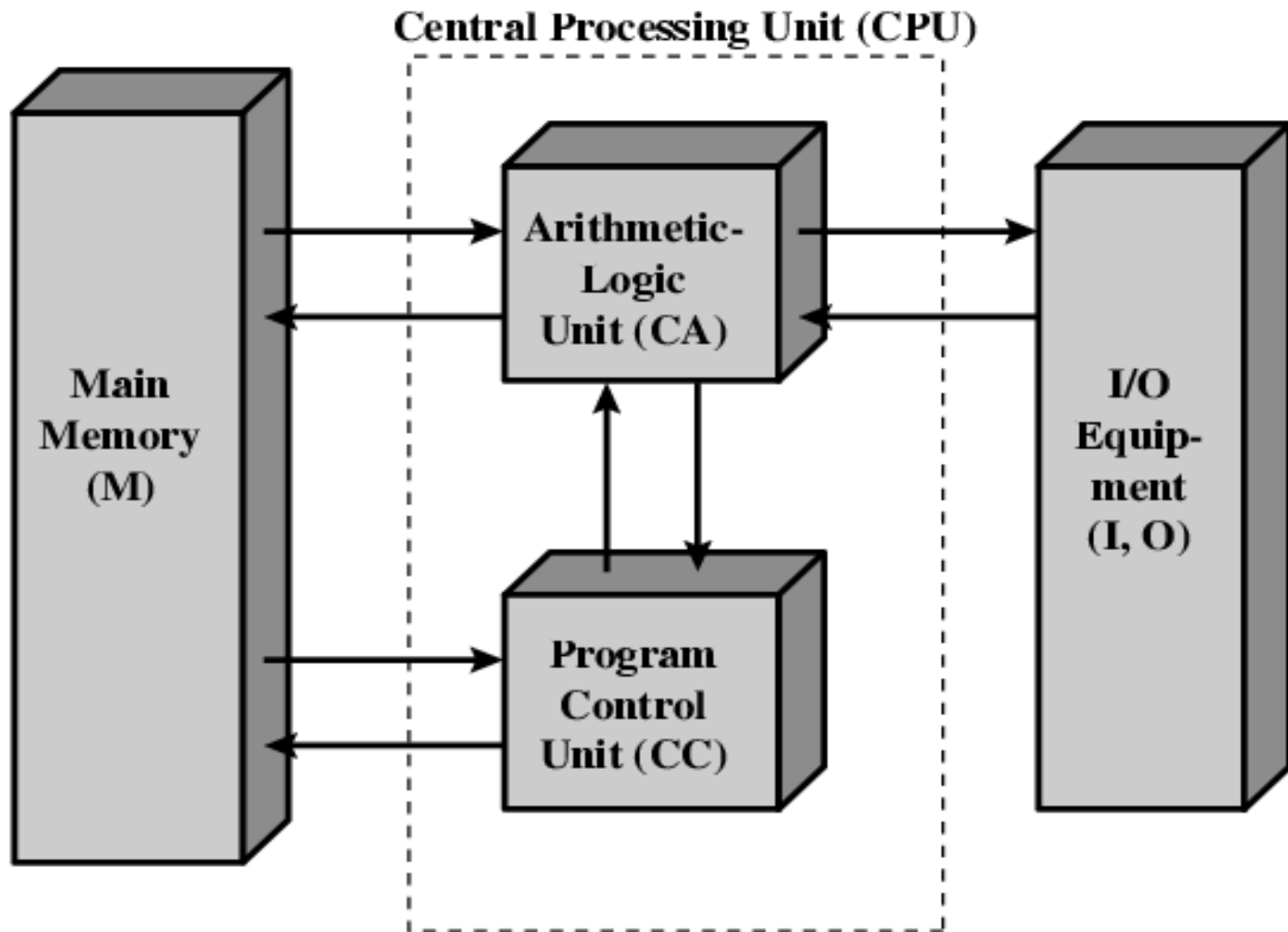
ENIAC

- Decimale (non binario)
- 20 accumulatori da 10 cifre
- Programmato “manualmente”
- 18.000 tubi a vuoto
- 30 tonnellate di peso
- 140 kW di potenza consumata
- 5.000 addizioni per secondo

Foto ricordo



Architettura di von Neumann



Calcolatore IAS

Da "Institute for Advanced Study", Princeton, N.Jersey

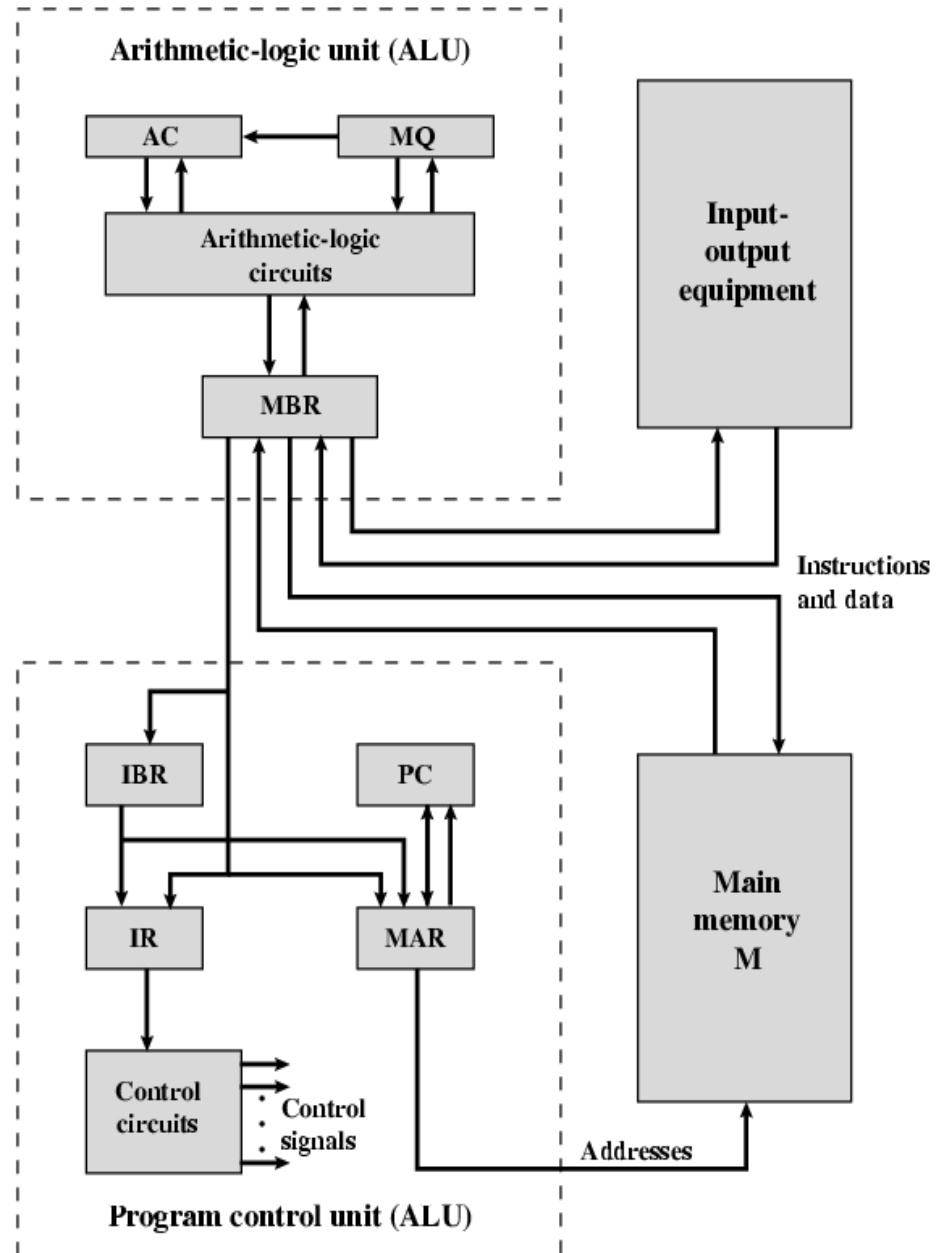
- 1000 x 40 bit "words"
- Istruzioni da 2 x 20 bit

Set di registri della CPU

- MBR, MAR, IR, IBR
- Program Counter
- Accumulatore

Funzioni

- Moltiplicatore/Quoziente



Generazioni di Calcolatori

2[^] Generazione

- Cambio di tecnologia –Transistor
- Aritmetica in virgola mobile
- Linguaggi di alto livello

3[^] Generazione (1964 – 1974)

- Circuiti Integrati
- Memorie a Semiconduttore
- Microprogrammazione / Multiprogrammazione

4[^] Generazione (1974 – oggi)

- LSI / VLSI
- Calcolatori paralleli, multicore, embedded systems, etc.

5[^] Generazione (? – ?)

- ULSI, PDA, Tablet PC
- Intelligenza Artificiale

Legge di Moore

Gordon Moore – uno dei creatori di Intel

*Il numero di transistor su un circuito integrato
raddoppierà ogni anno*

- Dal 1970 questo incremento è stato quasi rispettato
 - Raddoppio ogni 18 mesi
- Il costo di un “chip” è rimasto quasi lo stesso
- L’ aumento del numero di transistor su “chip” (“densità” di integrazione) significa aumento delle prestazioni
- Riduzione del consumo di potenza
- Aumento affidabilità

Moore, Gordon E., *Cramming more components onto integrated circuits*, Electronics, Vol 32, No. 8, April 19, 1965



Legge di Moore : lettura consigliata

RODNEY BROOKS

Robots, AI, and other stuff

BLOG MIT RETHINK 



POST: THE END OF MOORE'S LAW

FEBRUARY 4, 2017 — ESSAYS

The End of Moore's Law  

rodneybrooks.com/the-end-of-moores-law/

Misura delle Prestazioni

Problema estremamente complesso !

In questo corso vedremo solo gli aspetti più semplici

Es. Quanto conta la frequenza di clock della CPU ?

In assoluto sapere che ho comprato il PC X da Y GHz non vuol dire nulla. Se almeno non ho un'idea sulla ampiezza di banda della memoria, e non ho chiaro cosa ne voglio fare.

Amdahl's Law

«The performance improvement to be gained from using some faster mode of execution is limited by the fraction of time the faster mode can be used»

Misura delle Prestazioni: Analogia

Vogliamo lasciare un'area civilizzata per respirare aria buona. Supponiamo di dovere attraversare le montagne e questo viaggio richieda 20 ore. Una volta superate le montagne, dobbiamo percorrere 320 km utilizzando uno dei modi descritti sotto.

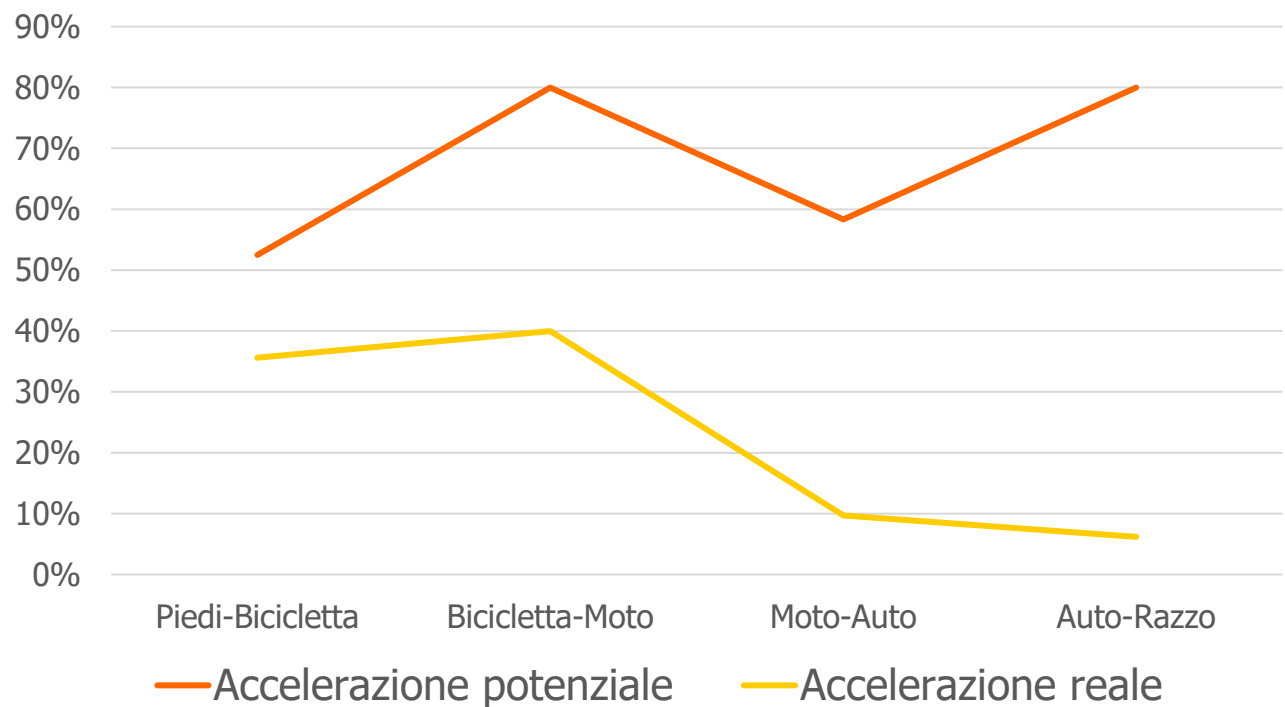
Calcolate il tempo complessivo di viaggio per ognuna delle modalità e il guadagno di tempo passando da una modalità all'altra.

Modalità:

- » Camminare a 7,4 km/h
- » Utilizzare una bicicletta a 16 km/h
- » Guidare una moto Honda Excel a 80 km/h
- » Guidare una Ferrari a 192 km/h
- » Pilotare un razzo a 960 km/h

Soluzione

Mezzo	Tempo tratto (ore)	Tempo tratto (minuti)	Complessivo (minuti)
Piedi	42,11	2526	3726
Bicicletta	20,00	1200	2400
Moto	4,00	240	1440
Auto	1,67	100	1300
Razzo	0,33	20	1220



Misura delle prestazioni

MIPS (Millions of instructions per second)

Apparentemente più sono meglio è.....ma i MIPS non servono per confrontare macchine che hanno set di istruzioni diversi

MFLOPS (Millions of floating point operations per second)

Anche in questo caso le operazioni FP possono essere diverse

Programmi di Benchmark

Altri parametri: Costo, Affidabilità, Portabilità del SW, etc

Cosa ne devo fare del calcolatore....

Per saperne di più: J. L. Hennessy, D. A. Patterson,
Architetture dei Calcolatori: Metodi di Valutazione e di
Progetto, Zanichelli

Per saperne di più

- Per la storia dei calcolatori vedi il sito del Charles Babbage Institute (www.cbi.umn.edu)
- Manoscritto originale di John von Neumann - Draft of a Report on the EDVAC (June 30, 1945)
<http://web.eah-jena.de/~kleine/history/machines/VonNeumann-1stDraftReportEDVAC.pdf>.