



Programmazione B
Ingegneria e Scienze Informatiche - Cesena
A.A. 2021-2022

Cenni sull'architettura del calcolatore

Catia Prandi - catia.prandi2@unibo.it

Credit: Pietro Di Lena

hard-ware /h:dwɛər/ n.

The part of the computer that you can kick.

R.A.M. /ræm/ n.

Rarely Adequate Memory.

Architettura del calcolatore

- Il calcolatore è uno strumento **programmabile** per memorizzare ed elaborare dati.

Architettura del calcolatore

- ▶ Il calcolatore è uno strumento **programmabile** per memorizzare ed elaborare dati.
- ▶ Il calcolatore consiste di due macro-componenti:
 - ▶ Hardware
 - ▶ Software
- ▶ L'**hardware** di un calcolatore consiste delle componenti *fisiche* della macchina, come *scheda madre, monitor, tastiera, hard-disk, scheda audio, ecc.*
- ▶ Il **software** consiste di istruzioni che possono essere immagazzinate ed eseguite dalla componente hardware della macchina.

Architettura del calcolatore

- ▶ Il calcolatore è uno strumento **programmabile** per memorizzare ed elaborare dati.
- ▶ Il calcolatore consiste di due macro-componenti:
 - ▶ Hardware
 - ▶ Software
- ▶ L'**hardware** di un calcolatore consiste delle componenti *fisiche* della macchina, come *scheda madre, monitor, tastiera, hard-disk, scheda audio, ecc.*
- ▶ Il **software** consiste di istruzioni che possono essere immagazzinate ed eseguite dalla componente hardware della macchina.
- ▶ L'architettura hardware della maggior parte dei calcolatori moderni si basa sul modello noto come **architettura di Von Neumann**.

Architettura di Von Neumann

- ▶ L'**architettura di Von Neumann** è una tipologia di architettura per il calcolatore.
- ▶ Prende il nome dal matematico/informatico John Von Neumann, che nel 1945 contribuì a idearne la struttura per lo sviluppo di uno dei primi calcolatori elettronici digitali della storia, l'EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer).

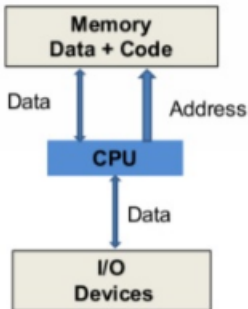
Architettura di Von Neumann

- ▶ L'**architettura di Von Neumann** è una tipologia di architettura per il calcolatore.
- ▶ Prende il nome dal matematico/informatico John Von Neumann, che nel 1945 contribuì a idearne la struttura per lo sviluppo di uno dei primi calcolatori elettronici digitali della storia, l'EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer).
- ▶ Una delle caratteristiche principali dell'architettura di Von Neumann consiste nella scelta progettuale di memorizzare dati e istruzioni del programma nello stesso spazio di memoria:
 - ▶ le operazioni di scrittura/lettura dati e lettura istruzioni non possono essere eseguite in parallelo.

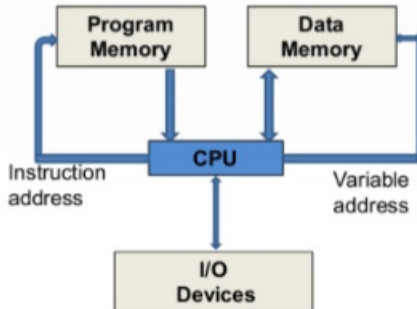
Architettura di Von Neumann

- ▶ L'**architettura di Von Neumann** è una tipologia di architettura per il calcolatore.
- ▶ Prende il nome dal matematico/informatico John Von Neumann, che nel 1945 contribuì a idearne la struttura per lo sviluppo di uno dei primi calcolatori elettronici digitali della storia, l'EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer).
- ▶ Una delle caratteristiche principali dell'architettura di Von Neumann consiste nella scelta progettuale di memorizzare dati e istruzioni del programma nello stesso spazio di memoria:
 - ▶ le operazioni di scrittura/lettura dati e lettura istruzioni non possono essere eseguite in parallelo.
- ▶ Si differenzia da altri tipi di architetture, come ad esempio l'architettura Harvard, in cui dati e istruzioni sono memorizzati in spazi di memoria distinti:
 - ▶ le operazioni di scrittura/lettura dati e lettura istruzioni possono essere eseguite in parallelo. Tuttavia, l'architettura complessa non fa altro che aumentare i costi di sviluppo dell'unità di controllo rispetto ai minori costi di sviluppo dell'architettura Von Neumann meno complessa che impiega una singola cache unificata.

Architettura di Von Neumann VS architettura Harvard



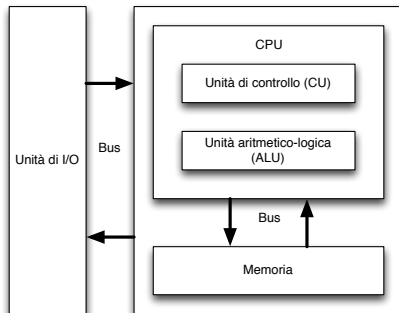
Von Neumann Machine



Harvard Machine

Architettura di Von Neumann: struttura

- ▶ L'architettura di Von Neumann si basa su 4 componenti principali:
 - 1 CPU (Central Process Unit) che è a sua volta costituita da:
 - ▶ CU (Control Unit), che coordina l'esecuzione delle istruzioni sul calcolatore.
 - ▶ ALU (Arithmetic-Logic Unit), che esegue i calcoli aritmetici e logici
 - 2 Unità di memoria, utilizzata per memorizzare dati ed istruzioni.
 - 3 Bus di sistema, che permette il trasferimento di dati tra le varie componenti.
 - 4 Unità di input/output, utilizzate per ricevere e trasmettere dati.

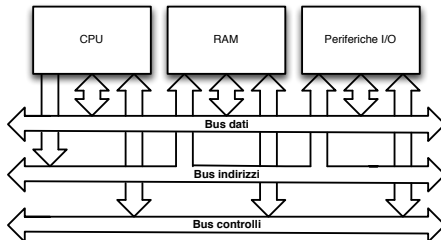


Bus di sistema

- ▶ Il **bus di sistema** è un canale di comunicazione.
- ▶ Permette alla CPU di comunicare con le periferiche del sistema, scambiando dati.
- ▶ E' costituito da più fili di rame, ognuno dei quali può trasmettere cifre binarie.

Bus di sistema

- ▶ Il **bus di sistema** è un canale di comunicazione.
- ▶ Permette alla CPU di comunicare con le periferiche del sistema, scambiando dati.
- ▶ E' costituito da più fili di rame, ognuno dei quali può trasmettere cifre binarie.
- ▶ Il bus di sistema è costituito da tre bus distinti.
- ▶ **Bus dati.** E' un bus bidirezionale che permette il trasferimento di dati tra la CPU e le periferiche di sistema.
- ▶ **Bus indirizzi.** E' un bus unidirezionale attraverso il quale la CPU indica l'indirizzo di memoria della periferica dal quale vuole scrivere o leggere informazioni.
- ▶ **Bus controlli.** E' un bus bidirezionale che viene utilizzato dalla CPU per coordinare le attività del sistema. Tramite di esso la CPU impartisce istruzioni alle periferiche (ad esempio, lettura o scrittura d dati) e riceve indietro segnali di stato.



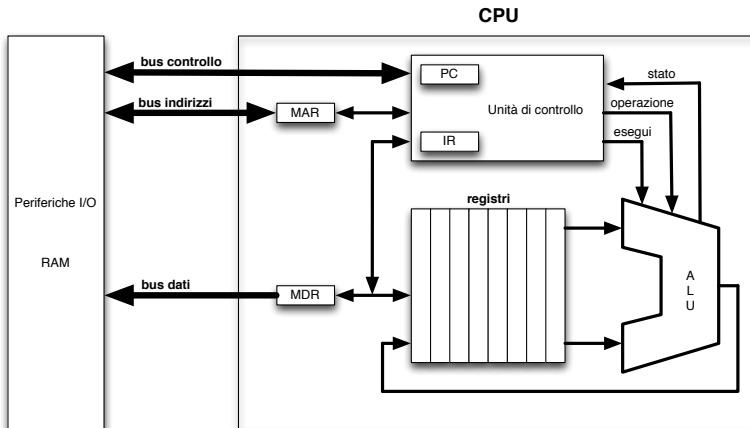
CPU: caratteristiche

- ▶ La **CPU** (Central Process Unit) è l'unità di elaborazione centrale del calcolatore.
 - ▶ Esegue le istruzioni di programmi caricati in memoria.
 - ▶ Coordina in maniera centralizzata tutte le unità di elaborazione presenti sul calcolatore.
 - ▶ Esegue calcoli aritmetici e logici sui dati.

CPU: caratteristiche

- ▶ La **CPU** (Central Process Unit) è l'unità di elaborazione centrale del calcolatore.
 - ▶ Esegue le istruzioni di programmi caricati in memoria.
 - ▶ Coordina in maniera centralizzata tutte le unità di elaborazione presenti sul calcolatore.
 - ▶ Esegue calcoli aritmetici e logici sui dati.
- ▶ La CPU è composta da:
 - ▶ **Unità di controllo** (CU, Control Unit). Legge le istruzioni dalla memoria principale, i dati necessari all'esecuzione dell'istruzione, esegue l'istruzione e memorizza il risultato (se necessario).
 - ▶ **Unità Aritmetico-Logica** (ALU, Arithmetic-Logic Unit). Esegue le operazioni di calcolo aritmetico e logico. Include IR = registro istruzioni e PC = program counter.
 - ▶ **Registri**. Speciali locazioni di memoria ad accesso rapido interne alla CPU. Contengono informazioni relative al programma attualmente in esecuzione.
 - ▶ **Clock**. E' l'*orologio di sistema*, utilizzato per sincronizzare le azioni dei circuiti digitali.

CPU: struttura



- ▶ **MAR:** contiene l'indirizzo della locazione di memoria da leggere o scrivere (la dimensione di MAR determina l'ampiezza dello spazio di memoria fisica, quindi 32 o 64 bit);
- ▶ **MDR:** Registro attraverso il quale viene scambiata l'informazione tra la memoria e la CPU (tradizionalmente la dimensione di MDR dà la misura del grado di parallelismo della macchina (8, 16, 32, 64 bit)).

CPU: registri

- ▶ I registri sono locazioni di memoria interne alla CPU.
- ▶ Sono utilizzati per velocizzare l'esecuzione dei programmi.
- ▶ Costituiscono il meccanismo più rapido a disposizione delle CPU per manipolare dati.

CPU: registri

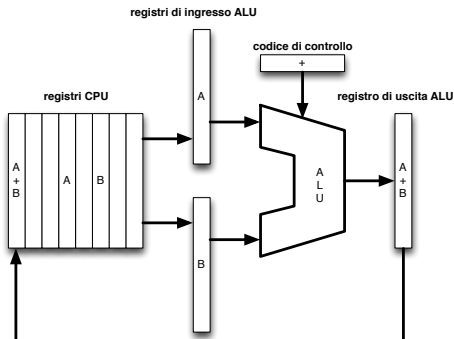
- ▶ I registri sono locazioni di memoria interne alla CPU.
- ▶ Sono utilizzati per velocizzare l'esecuzione dei programmi.
- ▶ Costituiscono il meccanismo più rapido a disposizione delle CPU per manipolare dati.
- ▶ La CPU è dotata di un ristretto numero di registri, tra cui i seguenti.
- ▶ **Registri di dati:** sono utilizzati per memorizzare tipi di dato intero.
- ▶ **Registri di indirizzo:** contengono indirizzi di memoria.
- ▶ **Registri generici:** possono contenere sia dati che indirizzi.
- ▶ **Registri floating-point:** contengono tipi di dato in virgola mobile.
- ▶ **Registri costanti:** contengono dati a sola lettura.

CPU: registri

- ▶ I registri sono locazioni di memoria interne alla CPU.
- ▶ Sono utilizzati per velocizzare l'esecuzione dei programmi.
- ▶ Costituiscono il meccanismo più rapido a disposizione delle CPU per manipolare dati.
- ▶ La CPU è dotata di un ristretto numero di registri, tra cui i seguenti.
- ▶ **Registri di dati:** sono utilizzati per memorizzare tipi di dato intero.
- ▶ **Registri di indirizzo:** contengono indirizzi di memoria.
- ▶ **Registri generici:** possono contenere sia dati che indirizzi.
- ▶ **Registri floating-point:** contengono tipi di dato in virgola mobile.
- ▶ **Registri costanti:** contengono dati a sola lettura.
- ▶ **Registri speciali:**
 - ▶ **PC** (Program Counter): contiene l'indirizzo della prossima istruzione da eseguire.
 - ▶ **IR** (Instruction Register): contiene l'istruzione correntemente eseguita.
 - ▶ **SP** (Stack Pointer): contiene l'indirizzo che punta alla testa dello **stack frame**.
 - ▶ **MAR** (Memory Address Register): contiene un indirizzo di memoria RAM che si vuole scrivere/leggere.
 - ▶ **MDR** (Memory Data Register): contiene il valore da scrivere/letto all'indirizzo specificato in MAR.

CPU: unità aritmetico-logica

- ▶ La **ALU** (unità aritmetico-logica) è un circuito digitale che esegue operazioni aritmetiche e logiche (bitwise) su numeri binari di tipo intero.
- ▶ E' una componente distinta dalla **FPU** (Floating-Point Unit) che invece opera su numeri binari in virgola mobile.
- ▶ La ALU prende in input un codice di controllo indicante l'operazione da eseguire e i due operandi su cui eseguire l'operazione.



CPU: clock

- ▶ Il **clock** è l'orologio interno del processore.
- ▶ Emette un segnale di sincronizzazione ad intervalli regolari.
- ▶ Lo stato della CPU cambia ogni volta che riceve un impulso dal clock di sistema.
- ▶ Il clock determina la velocità operativa del processore.
- ▶ Per poter aumentare la velocità del processore è possibile agire sul clock (*overclocking*).
- ▶ I limiti sono imposti dal tempo che ci mette il circuito più lento a completare il calcolo.
- ▶ Il tempo di esecuzione di un'istruzione si misura in cicli di clock.

CPU: unità di controllo

- ▶ La **CU** (unità di controllo) è la componente che dirige le operazioni del processore.
- ▶ Ogni componente del calcolatore esegue le operazioni che vengono richieste dalla CU.
- ▶ La CU si occupa di coordinare temporalmente le istruzioni che invia alle periferiche di I/O, la memoria e la ALU.
- ▶ Il controllo avviene in modo sincrono rispetto al segnale emesso dal clock di sistema.

RAM: caratteristiche

- ▶ La **RAM** è la memoria centrale del calcolatore.
- ▶ Contiene le istruzioni e i dati dei programmi in esecuzione sulla macchina.
- ▶ E' una memoria **volatile**: il suo contenuto viene perso allo spegnimento del calcolatore.

RAM: caratteristiche

- ▶ La **RAM** è la memoria centrale del calcolatore.
- ▶ Contiene le istruzioni e i dati dei programmi in esecuzione sulla macchina.
- ▶ E' una memoria **volatile**: il suo contenuto viene perso allo spegnimento del calcolatore.
- ▶ RAM è acronimo di **Random Access Memory**, ovvero *memoria ad accesso casuale*.
 - ▶ Il tempo di accesso ad un dato è indipendente dalla posizione del dato in memoria.

RAM: caratteristiche

- ▶ La **RAM** è la memoria centrale del calcolatore.
- ▶ Contiene le istruzioni e i dati dei programmi in esecuzione sulla macchina.
- ▶ E' una memoria **volatile**: il suo contenuto viene perso allo spegnimento del calcolatore.
- ▶ RAM è acronimo di **Random Access Memory**, ovvero *memoria ad accesso casuale*.
 - ▶ Il tempo di accesso ad un dato è indipendente dalla posizione del dato in memoria.
- ▶ Si contrappone alle:
 - ▶ **memorie ad accesso sequenziale** (Ex. nastri magnetici), in cui i dati sono salvati in modo sequenziale e per accedere ad un dato è necessario scorrere tutti quelli che lo precedono.
 - ▶ **memorie ad accesso diretto** (Ex. hard-disk), che permette l'accesso diretto di un qualunque dato ma il tempo di accesso dipende dall'indirizzo di memoria visitato precedentemente.

RAM: caratteristiche

- ▶ La **RAM** è la memoria centrale del calcolatore.
- ▶ Contiene le istruzioni e i dati dei programmi in esecuzione sulla macchina.
- ▶ E' una memoria **volatile**: il suo contenuto viene perso allo spegnimento del calcolatore.
- ▶ RAM è acronimo di **Random Access Memory**, ovvero *memoria ad accesso casuale*.
 - ▶ Il tempo di accesso ad un dato è indipendente dalla posizione del dato in memoria.
- ▶ Si contrappone alle:
 - ▶ **memorie ad accesso sequenziale** (Ex. nastri magnetici), in cui i dati sono salvati in modo sequenziale e per accedere ad un dato è necessario scorrere tutti quelli che lo precedono.
 - ▶ **memorie ad accesso diretto** (Ex. hard-disk), che permette l'accesso diretto di un qualunque dato ma il tempo di accesso dipende dall'indirizzo di memoria visitato precedentemente.
- ▶ Le RAM hanno tempi di accesso ridotti rispetto alle memorie sequenziali e dirette.
- ▶ Le altre due tipologie sono generalmente non volatili, meno costose, e quindi utilizzate per salvare grandi quantità di dati.

RAM: lettura e scrittura

- ▶ Ogni cella di memoria RAM è caratterizzata da:
 - ▶ un **indirizzo**: numero che identifica la cella e ne consente l'accesso,
 - ▶ un **valore**: sequenza di bit memorizzati nella cella.

RAM: lettura e scrittura

- ▶ Ogni cella di memoria RAM è caratterizzata da:
 - ▶ un **indirizzo**: numero che identifica la cella e ne consente l'accesso,
 - ▶ un **valore**: sequenza di bit memorizzati nella cella.
- ▶ Fornisce operazioni di:
 - ▶ **lettura**: consultazione del valore memorizzato ad un dato indirizzo.
 - ▶ **scrittura**: modifica del valore memorizzato ad un dato indirizzo.

RAM: lettura e scrittura

- ▶ Ogni cella di memoria RAM è caratterizzata da:
 - ▶ un **indirizzo**: numero che identifica la cella e ne consente l'accesso,
 - ▶ un **valore**: sequenza di bit memorizzati nella cella.
- ▶ Fornisce operazioni di:
 - ▶ **lettura**: consultazione del valore memorizzato ad un dato indirizzo.
 - ▶ **scrittura**: modifica del valore memorizzato ad un dato indirizzo.
- ▶ Il numero di celle indirizzabili dipende dalla dimensione del registro MAR:
 - ▶ processori a 32bit possono indirizzare fino a 2^{32} byte (4 GigaByte),
 - ▶ processori a 64bit possono indirizzare fino a 2^{64} byte (16 ExaByte).

RAM: lettura e scrittura

- ▶ Ogni cella di memoria RAM è caratterizzata da:
 - ▶ un **indirizzo**: numero che identifica la cella e ne consente l'accesso,
 - ▶ un **valore**: sequenza di bit memorizzati nella cella.
- ▶ Fornisce operazioni di:
 - ▶ **lettura**: consultazione del valore memorizzato ad un dato indirizzo.
 - ▶ **scrittura**: modifica del valore memorizzato ad un dato indirizzo.
- ▶ Il numero di celle indirizzabili dipende dalla dimensione del registro MAR:
 - ▶ processori a 32bit possono indirizzare fino a 2^{32} byte (4 GigaByte),
 - ▶ processori a 64bit possono indirizzare fino a 2^{64} byte (16 ExaByte).
- ▶ Le operazioni di lettura/scrittura sono controllate dalla CPU.
 - ▶ Operazione di lettura:
 - 1 il registro MAR viene caricato con l'indirizzo da cui leggere,
 - 2 il bus indirizzi trasporta l'indirizzo in memoria,
 - 3 il bus dati carica il registro MDR con il contenuto della locazione di memoria.

RAM: lettura e scrittura

- ▶ Ogni cella di memoria RAM è caratterizzata da:
 - ▶ un **indirizzo**: numero che identifica la cella e ne consente l'accesso,
 - ▶ un **valore**: sequenza di bit memorizzati nella cella.
- ▶ Fornisce operazioni di:
 - ▶ **lettura**: consultazione del valore memorizzato ad un dato indirizzo.
 - ▶ **scrittura**: modifica del valore memorizzato ad un dato indirizzo.
- ▶ Il numero di celle indirizzabili dipende dalla dimensione del registro MAR:
 - ▶ processori a 32bit possono indirizzare fino a 2^{32} byte (4 GigaByte),
 - ▶ processori a 64bit possono indirizzare fino a 2^{64} byte (16 ExaByte).
- ▶ Le operazioni di lettura/scrittura sono controllate dalla CPU.
 - ▶ Operazione di lettura:
 - 1 il registro MAR viene caricato con l'indirizzo da cui leggere,
 - 2 il bus indirizzi trasporta l'indirizzo in memoria,
 - 3 il bus dati carica il registro MDR con il contenuto della locazione di memoria.
 - ▶ Operazione di scrittura:
 - 1 Il registro MDR viene caricato con il valore da scrivere,
 - 2 il registro MAR viene caricato con l'indirizzo a cui scrivere,
 - 3 i bus indirizzi e dati trasportano il tutto in memoria.