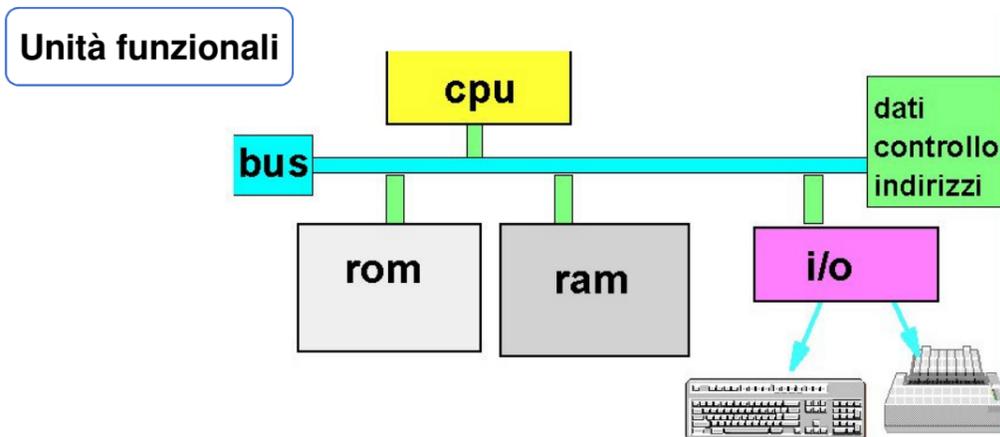


# ARCHITETTURA DI UN ELABORATORE



Ispirata al modello della **Macchina di Von Neumann** (Princeton, Institute for Advanced Study, anni '40).

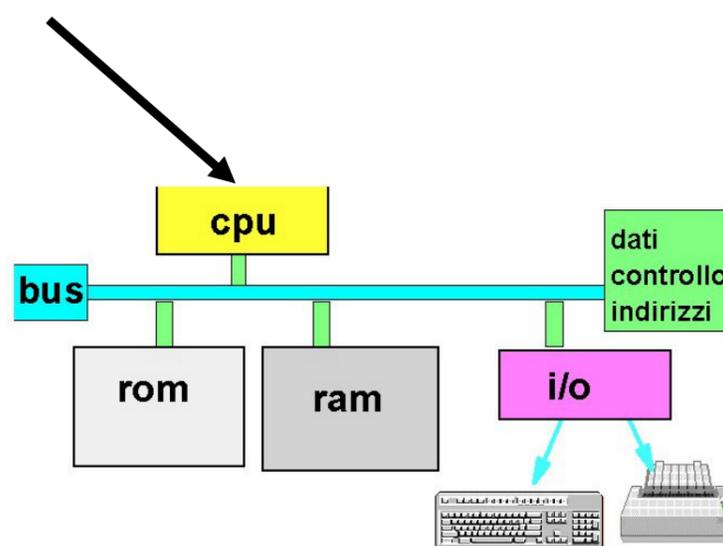
La macchina di Von Neumann:

- Non distingueva fra RAM e ROM
- Non aveva un bus ma collegamenti punto-punto

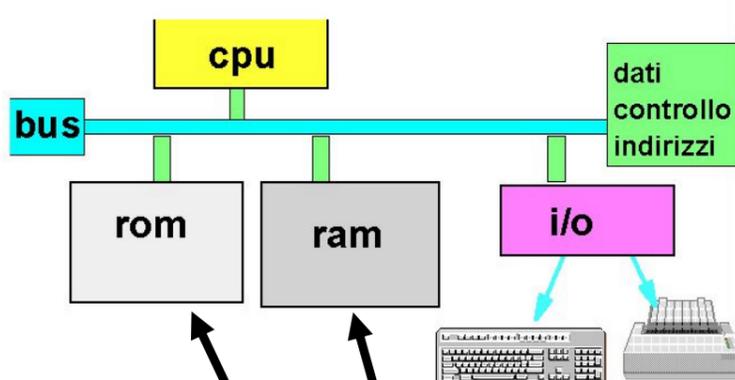
## HARDWARE

**CPU** (Central Processing Unit), o **Processore**

**CPU:** Svolge le elaborazioni e il trasferimento dei dati, cioè *esegue i programmi*



## HARDWARE



### RAM & ROM

- Dimensioni relativamente limitate
- Accesso molto rapido

**RAM** (*Random Access Memory*), e **ROM** (*Read Only Memory*)  
Insieme formano la **Memoria centrale**

## HARDWARE

**RAM** è **volatile** (perde il suo contenuto quando si spegne il calcolatore)

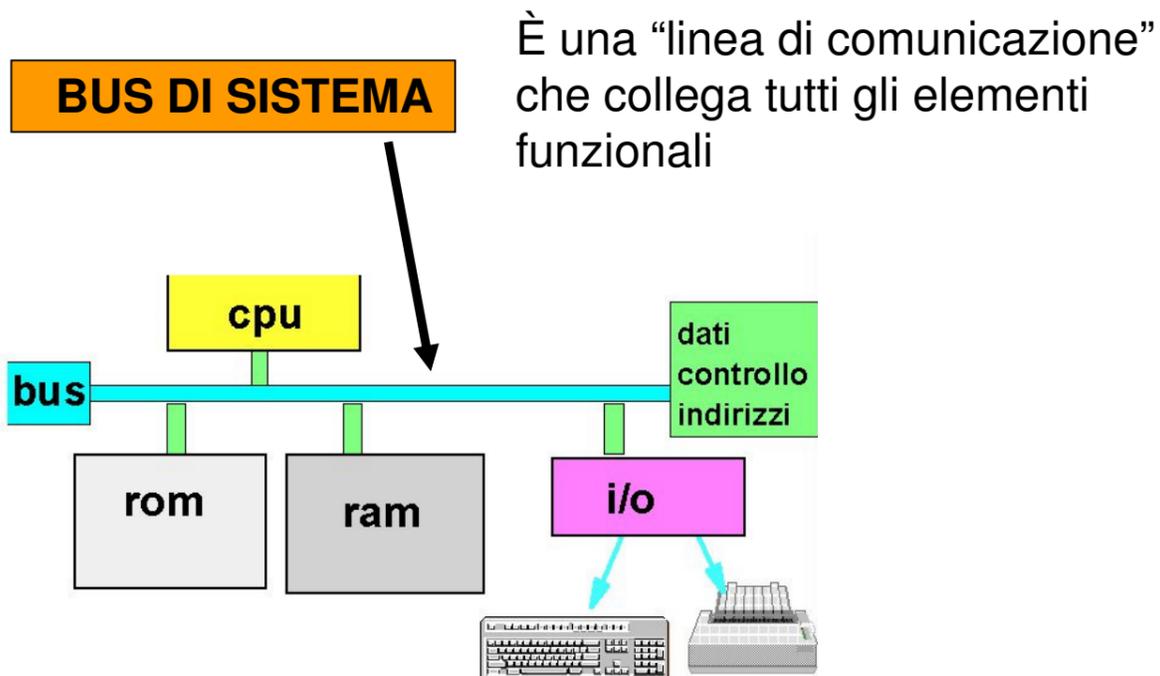
- usata per memorizzare dati e programmi

### ATTENZIONE

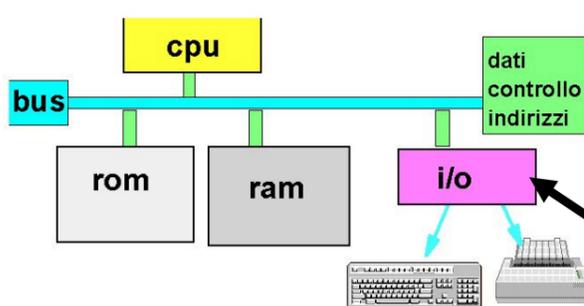
**ROM** è **persistente** (mantiene il suo contenuto quando si spegne il calcolatore) ma il suo **contenuto è fisso e immutabile**

- usata per memorizzare programmi di sistema (tipicamente *firmware*)

## HARDWARE



## HARDWARE



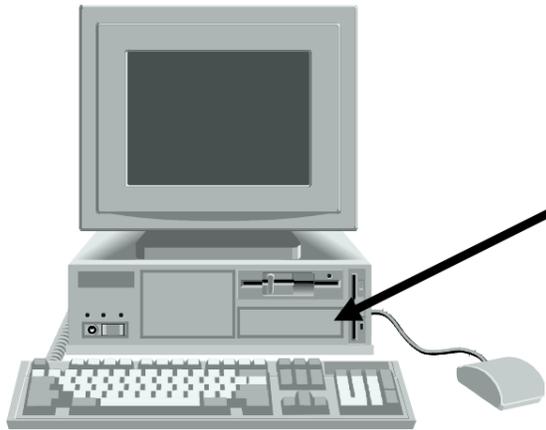
Sono usate per far comunicare il calcolatore con l'esterno (in particolare con l'utente)

### UNITÀ DI INGRESSO / USCITA (I/O)

- Tastiera e Mouse
- Video e Stampante
- Scanner
- Tavoleta grafica
- **Dispositivi di memoria di massa**
- ...

## HARDWARE

---



### MEMORIA DI MASSA

- HD
- CD
- DVD
- ...
- PenDrive
- ...

- memorizza **grandi quantità** di informazioni
- **persistente** (le informazioni non si perdono spegnendo la macchina)
- **accesso molto meno rapido** della memoria centrale (**millisecondi** contro **nanosecondi**; differenza  $10^6$ )

## TECNOLOGIA DIGITALE

---

CPU, memoria centrale e dispositivi sono realizzati con **tecnologia elettronica digitale**

Dati ed operazioni vengono codificati a partire da due valori distinti di grandezze elettriche:

- tensione alta ( $V_H$ , ad es. 5V)
- tensione bassa ( $V_L$ , ad es. 0V)

A tali valori vengono convenzionalmente **associate le due cifre binarie 0 e 1:**

- **logica positiva:**  $1 \leftrightarrow V_H$ ,  $0 \leftrightarrow V_L$
- **logica negativa:**  $0 \leftrightarrow V_H$ ,  $1 \leftrightarrow V_L$

## TECNOLOGIA DIGITALE (segue)

---

Dati ed operazioni vengono codificati tramite **sequenze di bit**

**01000110101 ....**

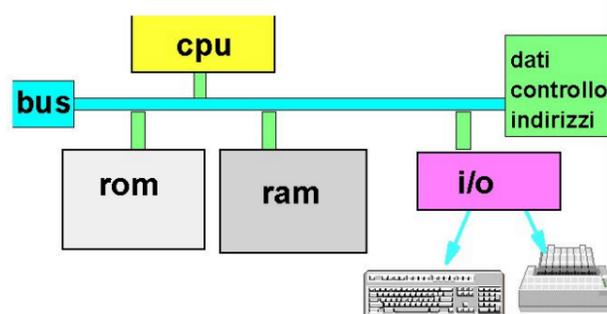
CPU è in grado di operare soltanto in aritmetica binaria, effettuando operazioni *elementari*:

- somma e differenza
- scorrimento (shift)
- ...

Lavorando direttamente sull'hardware, **l'utente è forzato a esprimere i propri comandi al livello della macchina, tramite sequenze di bit**

## MACCHINA DI VON NEUMANN

---



### UNITÀ FUNZIONALI fondamentali

- Processore (CPU)
- Memoria Centrale (RAM & ROM)
- Unità di I/O (ingresso / uscita)
- Bus di sistema

## CPU & MEMORIA



- **ALU (Arithmetic & Logic Unit)**
- **Unità di Controllo**
- **Registri**

## UNITÀ DI ELABORAZIONE (CPU)

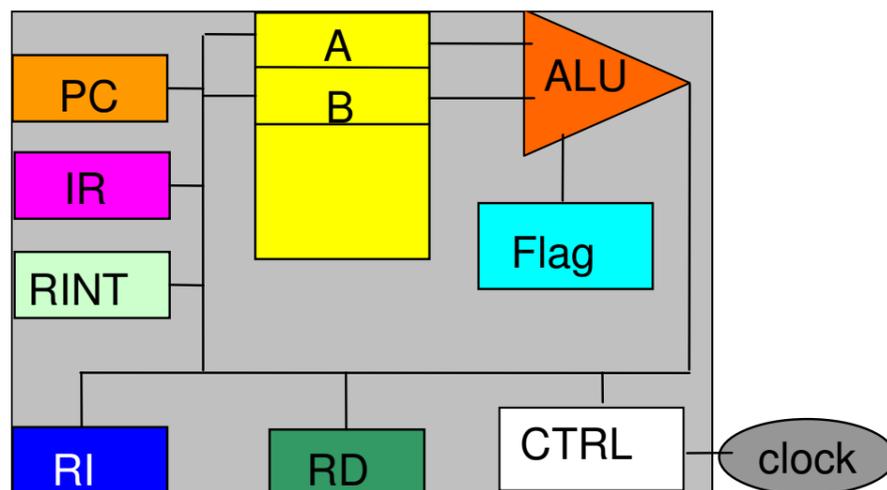
### **ALU (Arithmetic / Logic Unit)**

Esegue le operazioni aritmetiche e logiche elementari

**Unità di Controllo** (*Control Unit*): controlla e coordina l'attività della CPU, in particolare, controlla il trasferimento dei dati tra memoria e registri e la decodifica e l'esecuzione delle istruzioni.

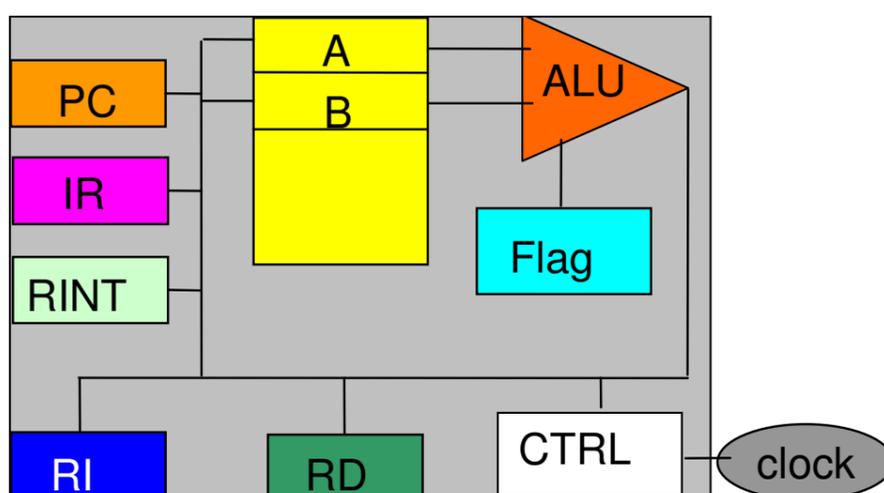
**I registri** sono *locazioni* usate per memorizzare dati, istruzioni, o indirizzi **all'interno della CPU**. L'accesso ai registri è *molto veloce*.

## UNITÀ DI ELABORAZIONE (CPU)



Il **clock** dà la base dei tempi necessaria per mantenere il sincronismo fra le operazioni

## UNITÀ DI ELABORAZIONE (CPU)



I **registri** (qui **A**, **B**, **PC**, **Flag**,...) sono *locazioni* usate per memorizzare dati, istruzioni, o indirizzi **all'interno della CPU**. L'accesso ai registri è *molto veloce*.

## UNITÀ DI ELABORAZIONE (CPU)



La memoria centrale è una collezione di celle *numerate*, che possono contenere **DATI** e **ISTRUZIONI**.  
Le istruzioni sono disposte in memoria in *celle di indirizzo crescente*.

## UNITÀ DI ELABORAZIONE (CPU)

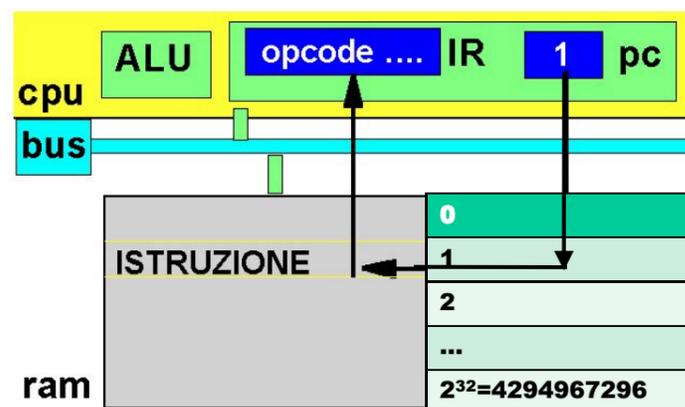


L'**unità di controllo** fa funzionare l'elaboratore.  
Da quando viene acceso a quando è spento, essa esegue in continuazione il **ciclo di prelievo / decodifica / esecuzione** (**fetch / decode / execute**).

## IL CICLO fetch / decode / execute

### FETCH

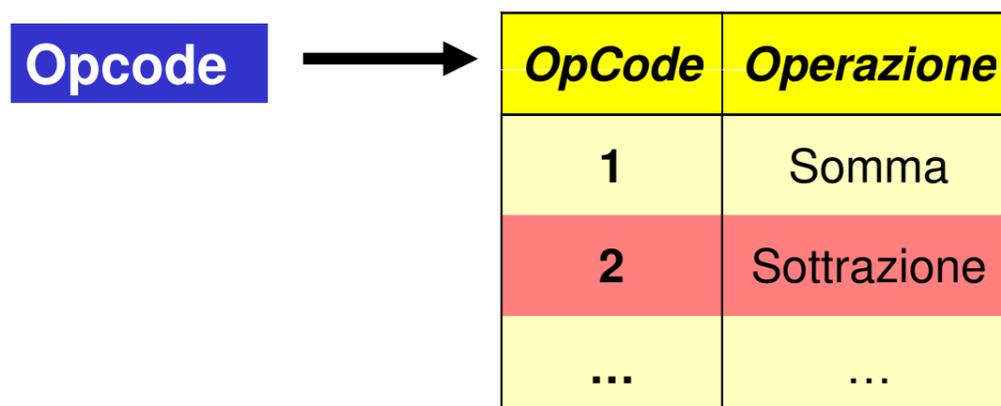
- si accede alla **prossima istruzione** (cella il cui indirizzo è contenuto nel registro **PC**) ...
- ... e **la si porta dalla memoria centrale**, memorizzandola nel **Registro Istruzioni (IR)**



## IL CICLO fetch / decode / execute

### DECODE

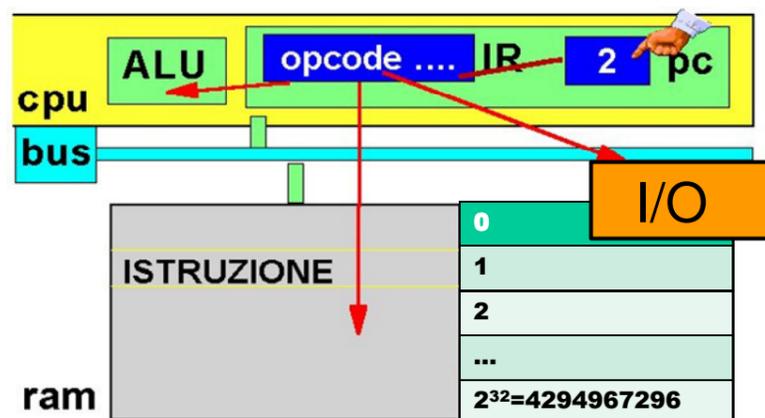
- si **decodifica il tipo dell'istruzione** in base al suo **OpCode** (codice operativo)



## IL CICLO fetch / decode / execute

### EXECUTE

- si individuano i dati usati dall'istruzione
- si trasferiscono tali dati nei registri opportuni
- si esegue l'istruzione.



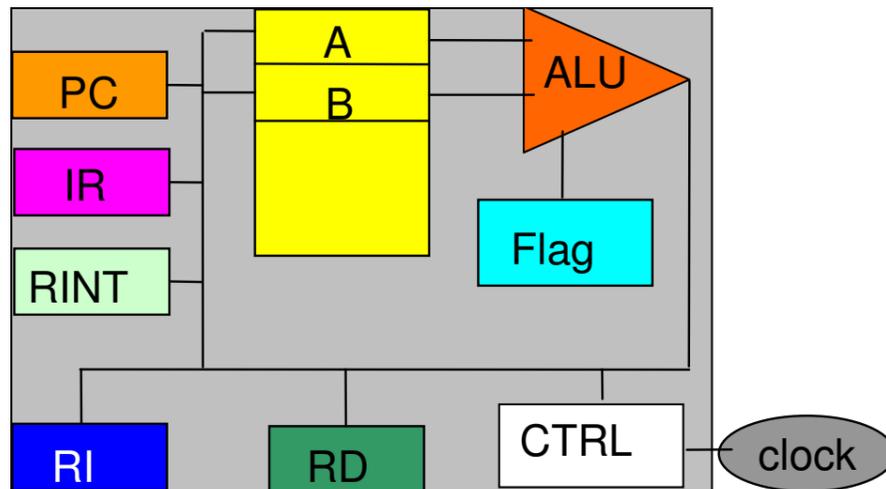
## IL CICLO fetch / decode / execute

### ATTENZIONE

Istruzioni particolari possono *alterare il prelievo delle istruzioni da celle consecutive*:

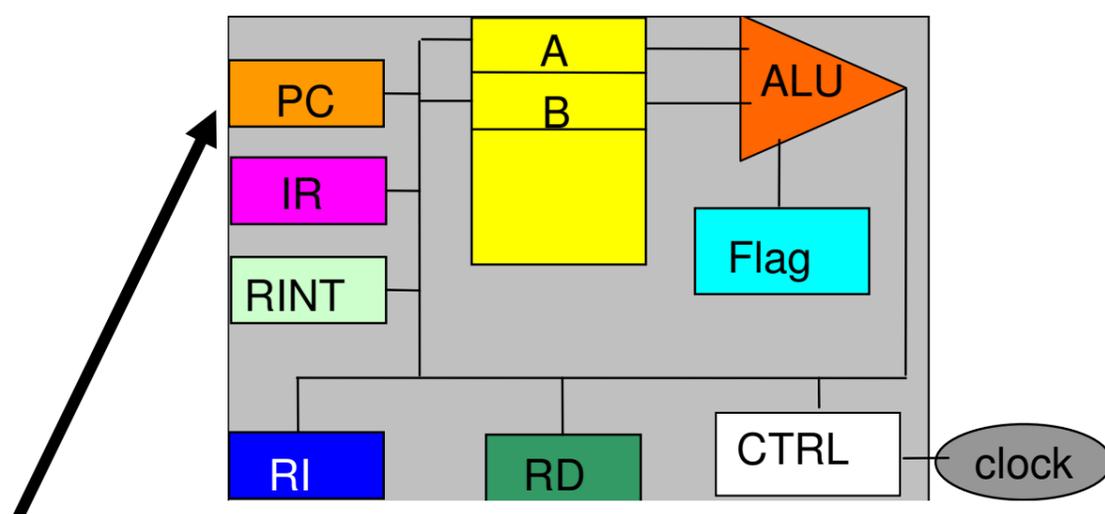
- istruzioni di **salto**
- istruzioni di **chiamata a sotto-programmi**
- istruzioni di **interruzione**

## I REGISTRI



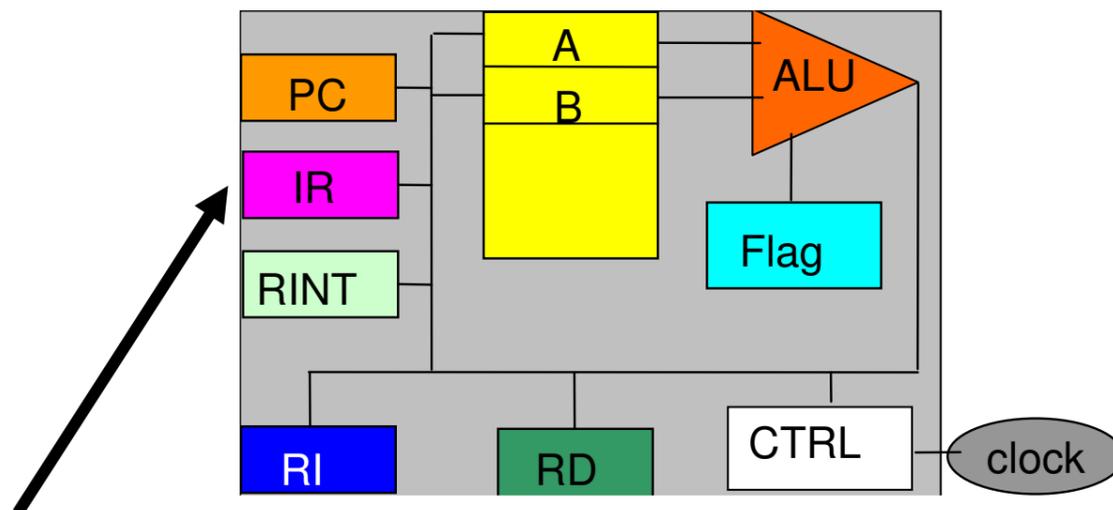
I registri sono *locazioni* di memoria *interne a CPU*, e come tali *molto veloci*.

## I REGISTRI



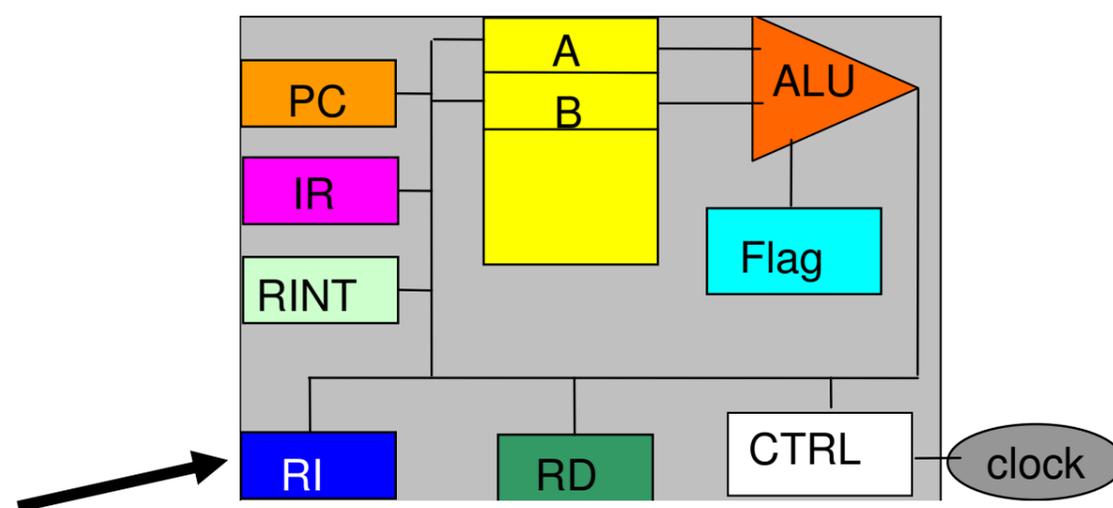
**Program Counter (PC)**  
Indica l'indirizzo della cella di memoria che contiene la prossima istruzione da eseguire

## I REGISTRI



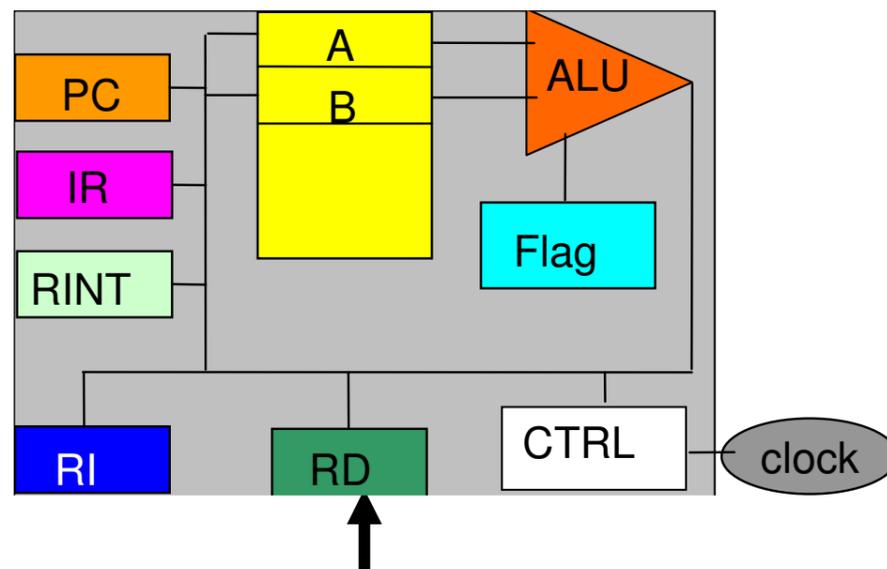
**Instruction Register (IR)**  
Contiene l'istruzione da eseguire.

## I REGISTRI



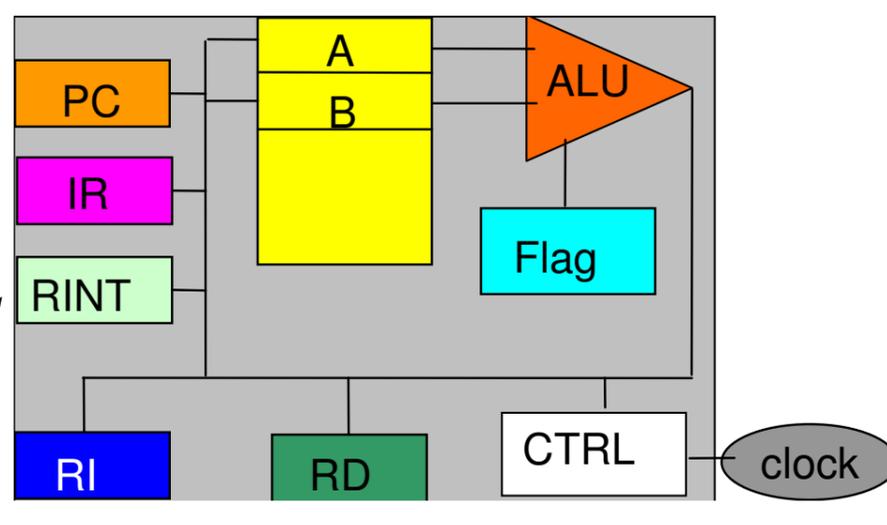
**Registro Indirizzi (RI)**  
Contiene l'indirizzo della cella di memoria da selezionare per il trasferimento di un dato con la CPU

## I REGISTRI



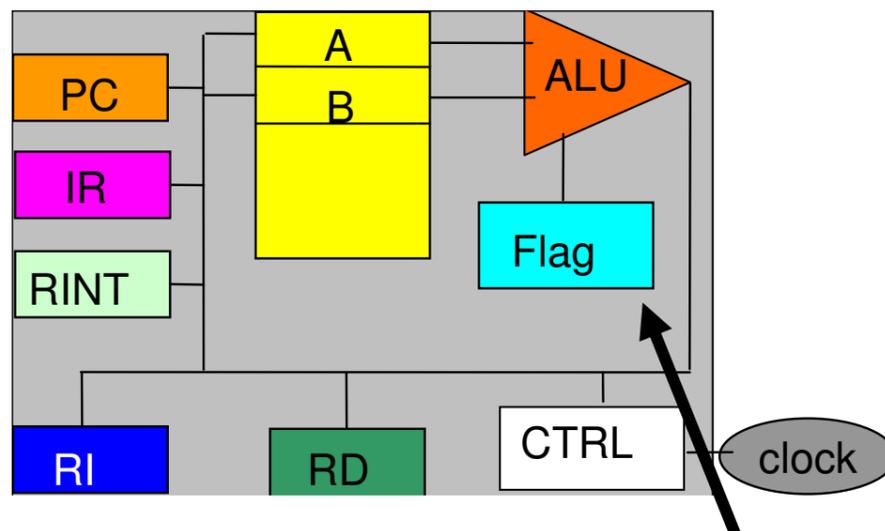
**Registro Dati (RD) o Accumulatore**  
Contiene il dato attualmente oggetto di elaborazione e il risultato al termine dell'esecuzione

## I REGISTRI



**Registro Interruzioni (RINT)**  
Serve per scopi particolari (non discussi)

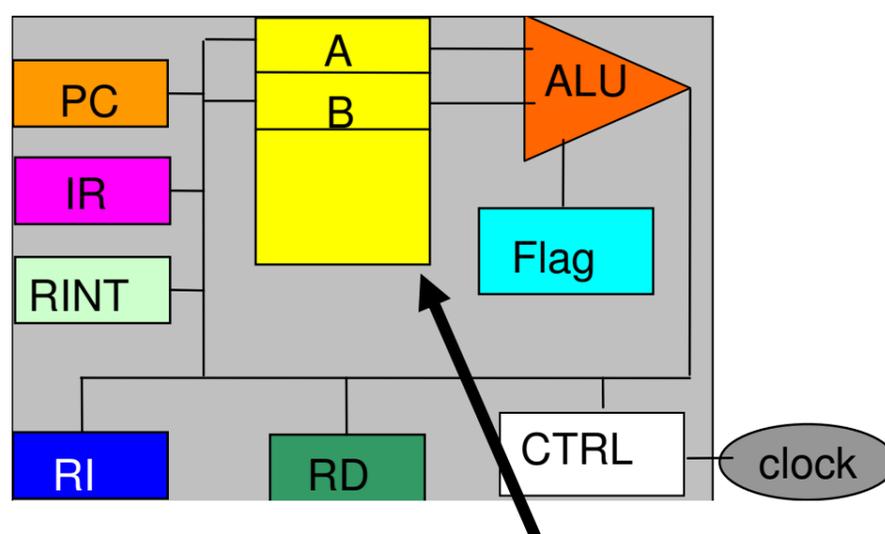
## I REGISTRI



### Registro dei Flag (Flag)

Ogni flag indica la presenza/assenza di una proprietà nell'ultimo risultato generato dalla ALU. Altri bit riassumono lo stato del processore.

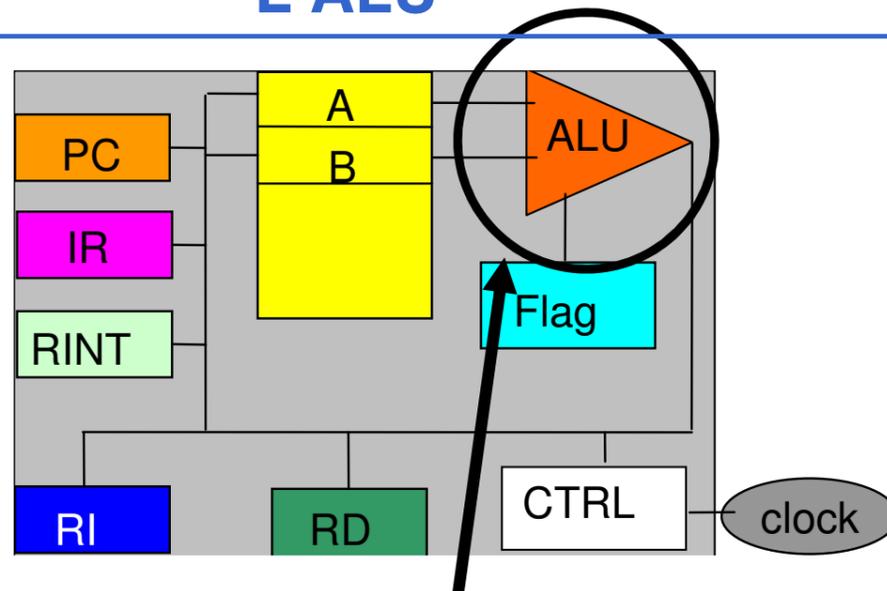
## I REGISTRI



### Registri di uso generale (A,B,C,...)

Sono usati per contenere sia dati (in particolare, operandi di operazioni aritmetico/logiche) sia indirizzi.

## L'ALU



Esegue operazioni aritmetiche, logiche e confronti sui dati della memoria centrale o dei registri. Può essere semplice oppure (più spesso) molto complessa e sofisticata.

## L'ALU (segue)

### ESEMPIO SEMPLICE:

ALU in grado di eseguire **somma**, **sottrazione**, **prodotto**, **divisione** con due operandi contenuti nei registri A e B.

1. I due operandi vengono caricati nei registri A e B;
2. La ALU viene attivata da un comando inviato dalla CPU che specifica il tipo di operazione;
3. Nel registro A viene caricato il risultato dell'operazione eseguita dalla ALU;
4. Il registro FLAG riporta sui suoi bit indicazioni sul risultato dell'operazione (riporto, segno, etc.).



Alterazione di due bit nel registro **Flag**:  
**carry** (riporto) e **sign** (segno)

## LA MEMORIA CENTRALE

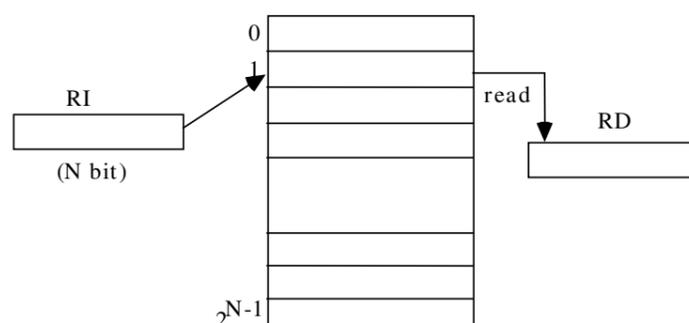
### INDIRIZZAMENTO

- E' l'attività con cui l'elaboratore seleziona una particolare cella di memoria
- Per farlo, l'elaboratore pone l'indirizzo della cella desiderata nel Registro Indirizzi (RI).
  - **se il RI è lungo  $N$  bit, si possono indirizzare  $2^N$  celle di memoria** (numerate da 0 a  $2^N-1$ )
  - esempio:  $N=10 \Rightarrow 1024$  celle.
- **Oggi, RI è lungo tipicamente 32/64 bit**
  - **SPAZIO INDIRIZZABILE di 4 GB**
  - **SPAZIO INDIRIZZABILE di 16 ExaByte = 17,179,869,184 GByte**

## LA MEMORIA CENTRALE (2)

### OPERAZIONI

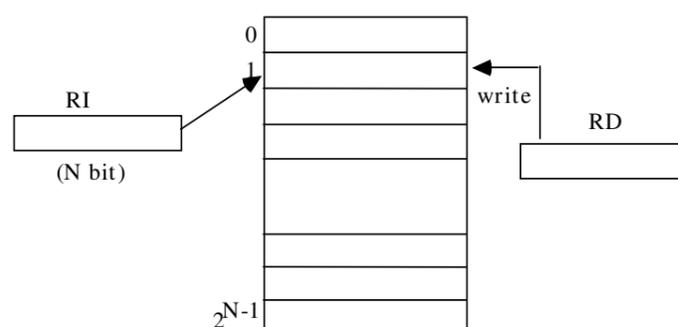
- **Lettura (Read):** il contenuto della cella di memoria indirizzata dal Registro Indirizzi è copiato nel Registro Dati.



## LA MEMORIA CENTRALE (3)

### OPERAZIONI

- **Scrittura (*Write*):** il contenuto del Registro Dati è copiato nella cella di memoria indirizzata dal Registro Indirizzi.



## DISPOSITIVI DI MEMORIA

### DISPOSITIVI FISICI

- **RAM:** Random Access Memory (ad accesso casuale): su di essa si possono svolgere operazioni sia di lettura che di scrittura
- **ROM:** Read Only Memory (a sola lettura): non volatili e non scrivibili dall'utente (che la ordina con un certo contenuto); in esse sono contenuti i dati e programmi per inizializzare il sistema
- **PROM:** Programmable ROM. Si possono scrivere soltanto una volta, mediante particolari apparecchi (detti programmatori di PROM).

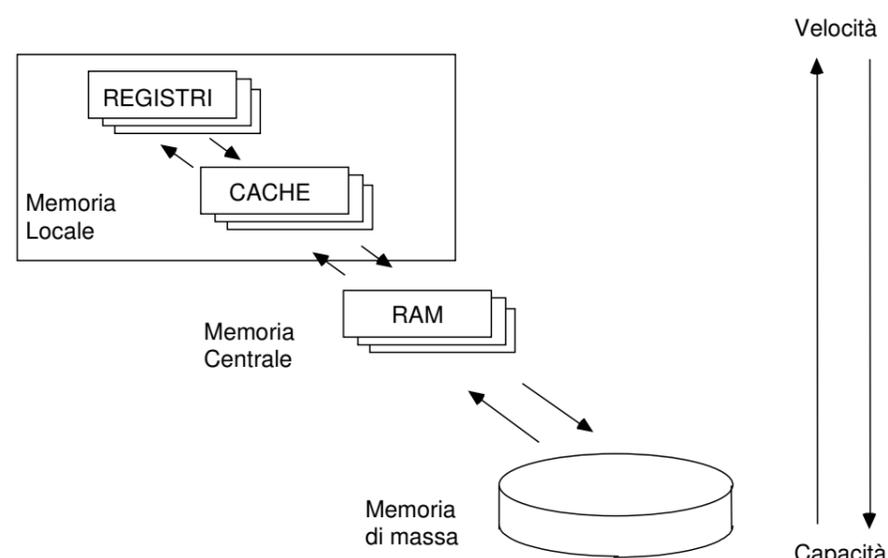
## DISPOSITIVI DI MEMORIA (segue)

### DISPOSITIVI FISICI (segue)

- **EPROM**: Erasable-Programmable ROM (si cancellano sottoponendole a raggi ultravioletti).
- **EEPROM**: Electrically-Erasable-PROM (si cancellano elettricamente).

Il **Firmware** è costituito da software memorizzato su ROM, EPROM, etc. (codice microprogrammato).

## GERARCHIA DELLE MEMORIE



## MEMORIE CACHE

---

### PROBLEMA:

Sebbene la RAM sia veloce, non è **abbastanza** veloce da “star dietro” ai moderni processori.

### CONSEGUENZA:

il processore *perde tempo* ad aspettare l'arrivo dei dati dalla RAM.

## MEMORIE CACHE (2)

---

### SOLUZIONE:

Inserire **tra processore e RAM** una *memoria particolarmente veloce* dove tenere i dati usati più spesso (*memoria cache*)

**In questo modo,**

- ◆ **la prima volta** che il microprocessore carica dei dati dalla memoria centrale, tali dati vengono caricati *anche sulla cache*
- ◆ **le volte successive**, i dati possono essere *letti dalla cache (veloce)* invece che dalla memoria centrale (più lenta)

## MEMORIE CACHE (3)

### DUBBIO:

Ma se abbiamo memorie così veloci,  
***perché non le usiamo per costruire  
tutta la RAM?***

Semplice...

**perché costano molto!!**

**OGGI**, la cache è tipicamente già integrata dentro al processore (**cache di I/II livello**), e altra può essere aggiunta (**cache di II/III livello**).

Nei processori con architettura *multi-core* ogni singolo *core* ha la propria cache di I livello, mentre la cache di II livello (sempre integrata) è normalmente condivisa.

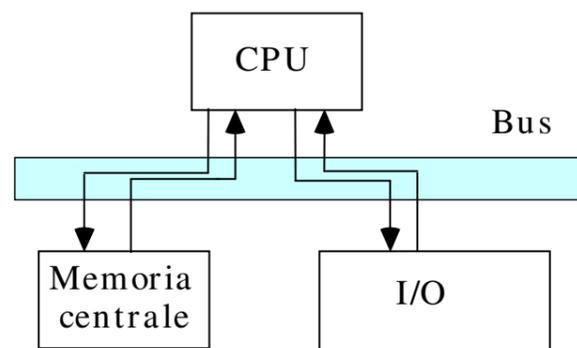
## BUS DI SISTEMA



**Il Bus di Sistema** interconnette la CPU, la memorie e le interfacce verso dispositivi periferici (I/O, memoria di massa, etc.)

## BUS DI SISTEMA (2)

---



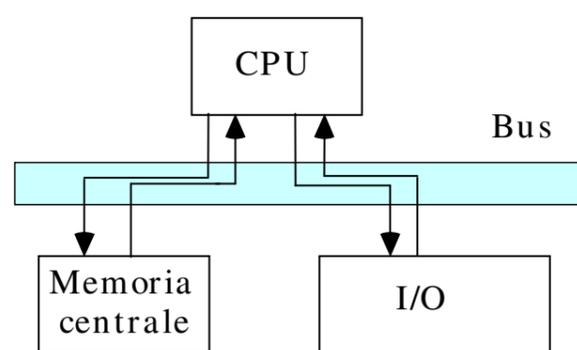
Il Bus collega **due unità funzionali alla volta**:

- **una trasmette...**
- **... e l'altra riceve.**

Il trasferimento dei dati avviene o *sotto il controllo della CPU*.

## BUS DI SISTEMA (3)

---



Il Bus è in realtà **un insieme di linee diverse**:

- **bus dati (*data bus*)**
- **bus indirizzi (*address bus*)**
- **bus comandi (*command bus*)**

## BUS DI SISTEMA (4)

---

### **BUS DATI**

- **bidirezionale**
- serve per trasmettere dati *dalla memoria o viceversa*.

### **BUS INDIRIZZI**

- **unidirezionale**
- serve per trasmettere *il contenuto del registro indirizzi alla memoria*  
(si seleziona una specifica cella su cui viene eseguita o un'operazione di lettura o una operazione di scrittura)

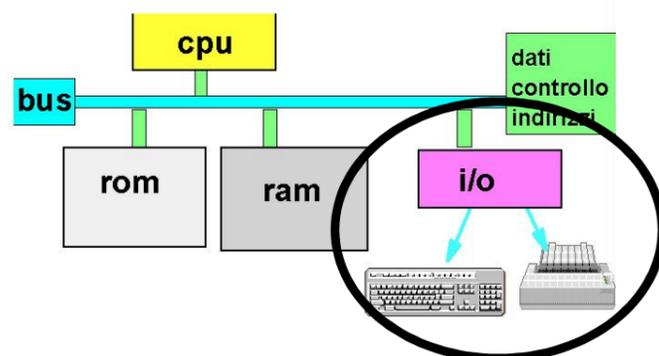
## BUS DI SISTEMA (5)

---

### **BUS COMANDI**

- **bidirezionale**
- tipicamente usato per *inviare comandi verso la memoria* (es: lettura o scrittura) o *verso una periferica* (es. stampa verso la stampante → interfaccia)
- può essere usato in alcuni casi per *inviare comandi verso il processore*

## INTERFACCE DI I/O



**Le interfacce sono molto diverse tra loro**, e dipendono dal tipo di unità periferica da connettere.

Una **interfaccia** è un dispositivo che consente all'elaboratore di **comunicare con una periferica** (tastiere, mouse, dischi, terminali, stampanti, ...).

## OLTRE la macchina di Von Neumann

- **Problema:** nella Macchina di Von Neumann le operazioni sono **strettamente sequenziali**.
- Altre soluzioni introducono forme di **parallelismo**
  - **processori dedicati** (*coprocessori*) al calcolo numerico, alla gestione della grafica, all'I/O.
  - **esecuzione in parallelo** delle varie fasi di un'istruzione: mentre se ne esegue una, si acquisiscono e decodificano le istruzioni successive (**pipeline**)
  - **architetture completamente diverse:** sistemi multi-processore, macchine dataflow, LISP macchine, reti neurali.