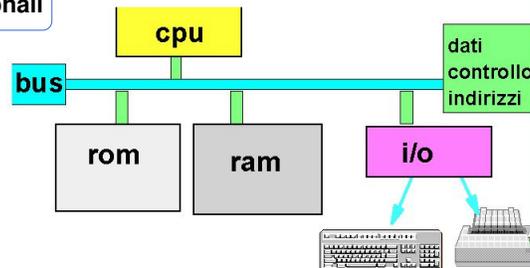


ARCHITETTURA DI UN ELABORATORE

Unità funzionali



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

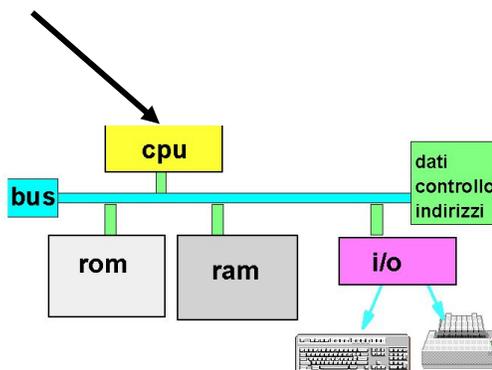
La macchina di Von Neumann:

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

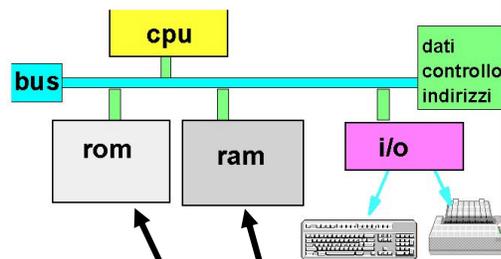
HARDWARE

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

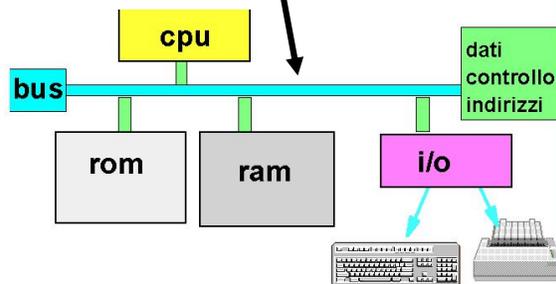
ROM è persistente (mantiene il suo contenuto quando si spegne il calcolatore) ma il suo **contenuto è fisso e immutabile**

- usata per memorizzare programmi di sistema

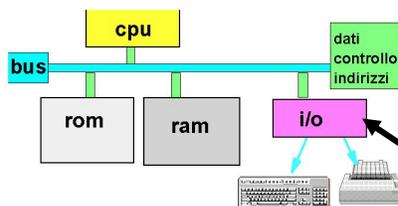
HARDWARE

BUS DI SISTEMA

È una "linea di comunicazione"
che collega tutti gli elementi
funzionali



HARDWARE

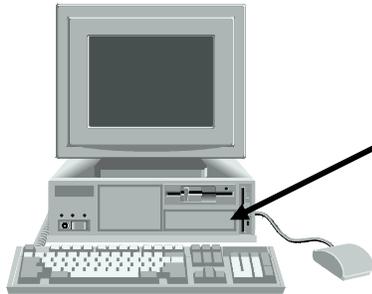


Sono usate per far
comunicare il calcolatore con
l'esterno (in particolare con
l'utente)

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**

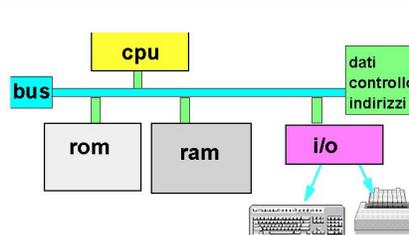
01000110101

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)

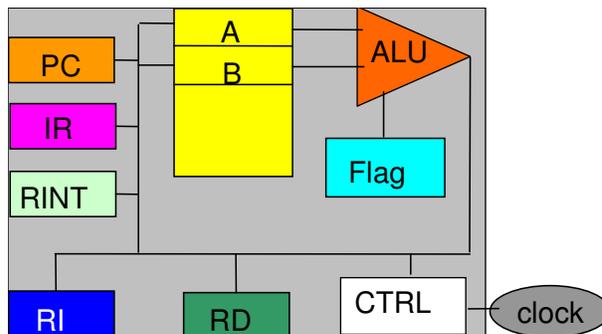
ALU (Arithmetic / Logic Unit)

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.

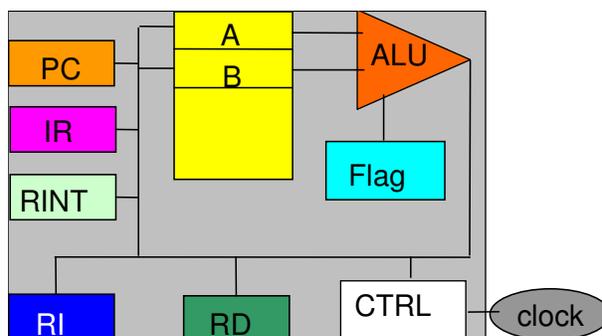
I registri sono *locazioni* usate per memorizzare dati, istruzioni, o indirizzi **all'interno della CPU**. L'accesso ai registri è *molto veloce*.

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)

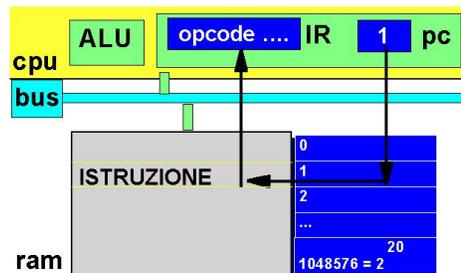


L'**unità di controllo** fa funzionare l'elaboratore.
Da quando viene acceso a quando è spento, essa esegue in continuazione il **ciclo di prelievo / decodifica / esecuzione (fetch / decode / execute)**.

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

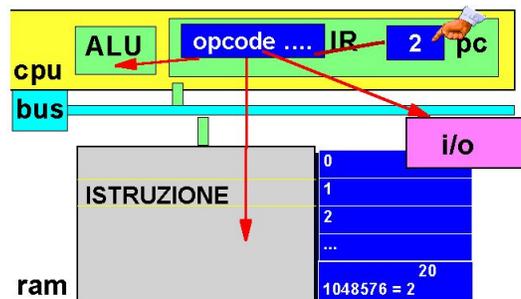
- si **decodifica il tipo dell'istruzione** in base al suo **OpCode** (codice operativo)

Opcode	→	OpCode	Operazione
		1	Somma
		2	Sottrazione
	

IL CICLO fetch / decode / execute

EXECUTE

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



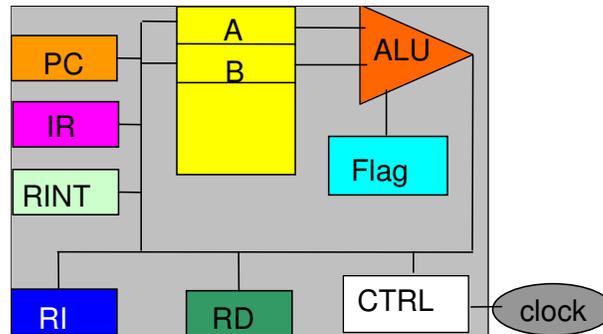
IL CICLO fetch / decode / execute

ATTENZIONE

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

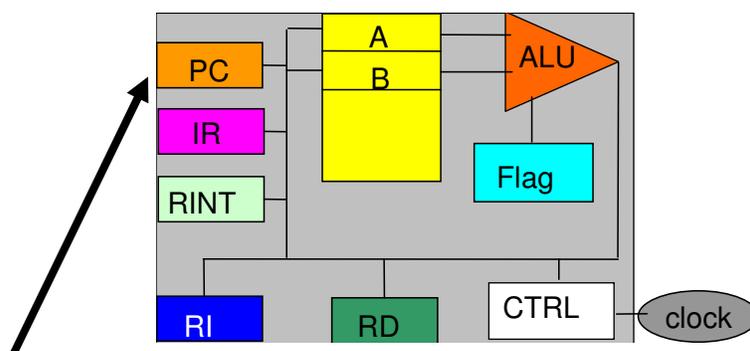
- istruzioni di **salto**
- istruzioni di **chiamata a sotto-programmi**
- istruzioni di **interruzione**

I REGISTRI



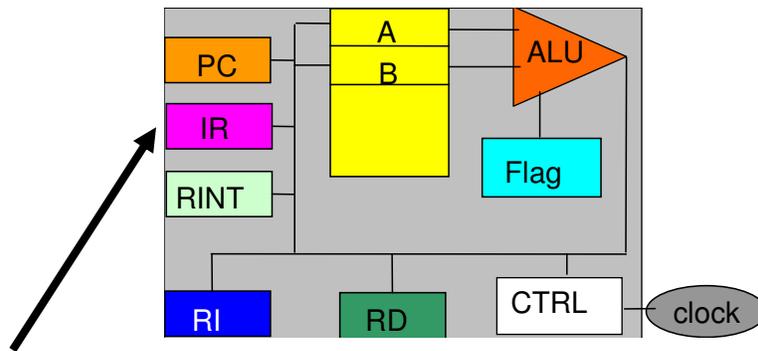
I registri sono *locazioni di memoria interne a CPU*, e come tali *molto veloci*.

I REGISTRI



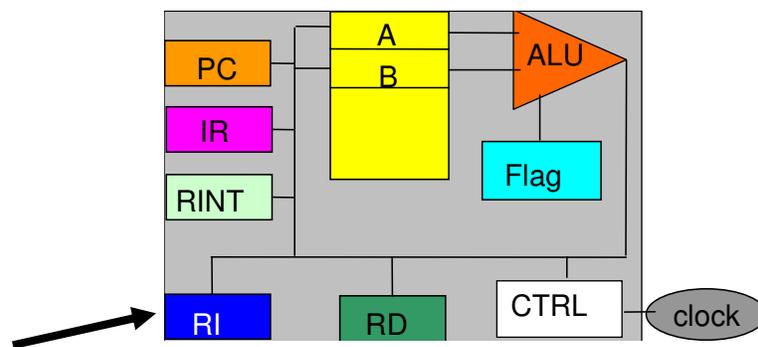
Program Counter (PC)
Indica l'indirizzo della cella di memoria che contiene la prossima istruzione da eseguire

I REGISTRI



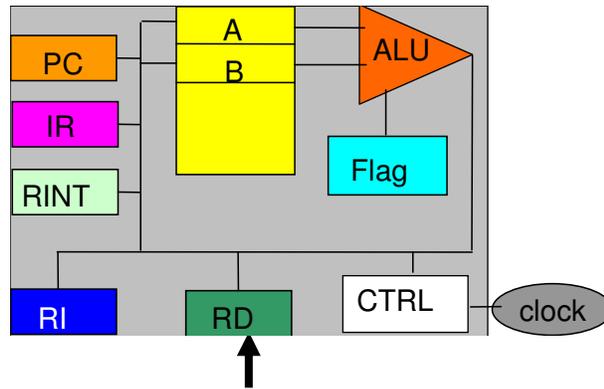
Instruction Register (IR)
Contiene l'istruzione da eseguire.

I REGISTRI



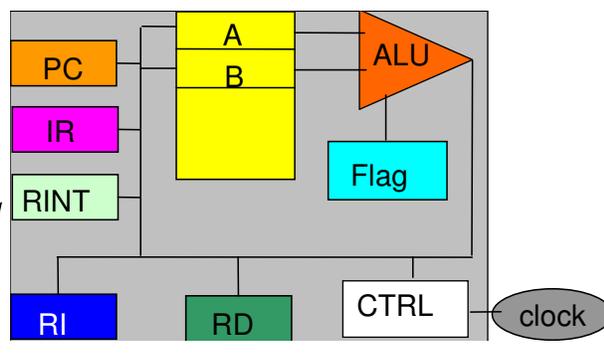
Registro Indirizzi (RI)
Contiene l'indirizzo della cella di memoria da selezionare per il trasferimento di un dato con la CPU

I REGISTRI



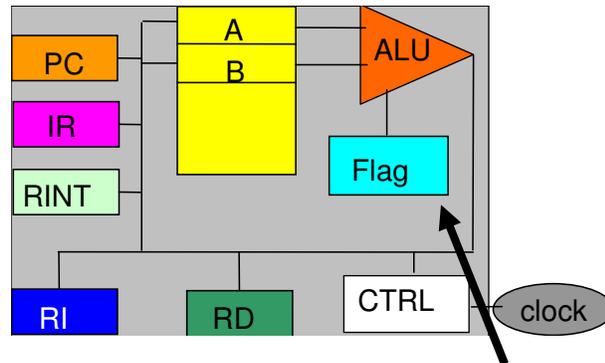
Registro Dati (RD) o Accumulatore
Contiene il dato attualmente oggetto di elaborazione e il risultato al termine dell'esecuzione

I REGISTRI



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

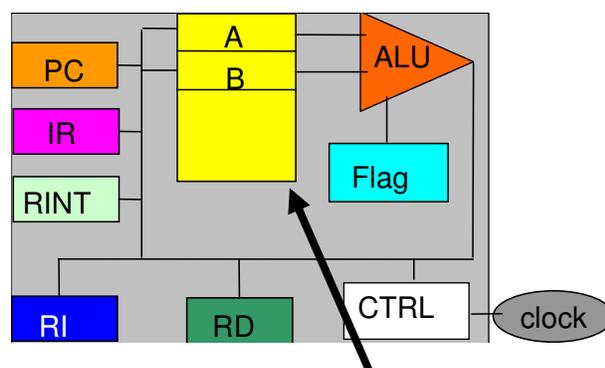
I REGISTRI



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.

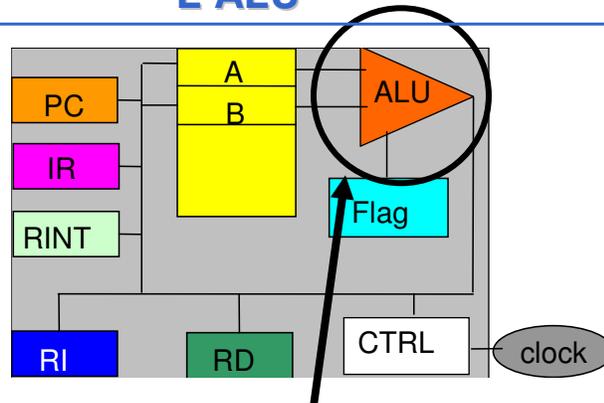
I REGISTRI



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

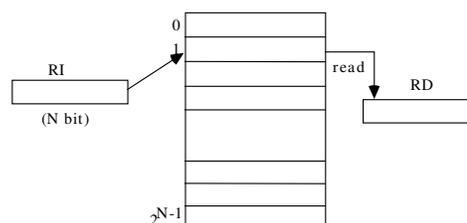
INDIRIZZAMENTO

- 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 bit**
→ **SPAZIO INDIRIZZABILE di 4 GB**
- Sono già in commercio processori a 64 bit
→ **SPAZIO INDIRIZZABILE di 16 ExaByte = 17,179,869,184 GByte**

LA MEMORIA CENTRALE (2)

OPERAZIONI

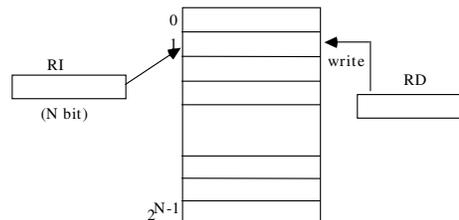
- **Lettura (Read)**: il contenuto della cella di memoria indirizzata dal Registro Indirizzi è copiato nel Registro Dati.



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).

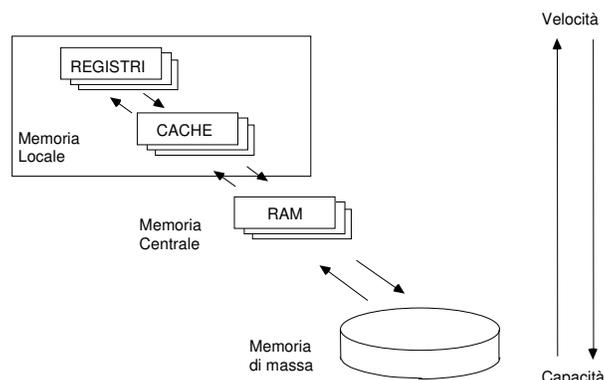
DISPOSITIVI DI MEMORIA (segue)

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!!

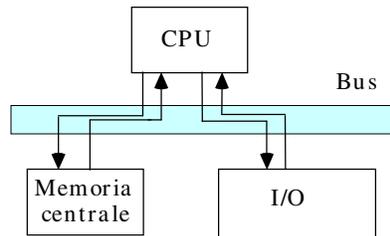
OGGI, la cache è spesso già presente dentro al processore (**cache di I° livello**), e altra può essere aggiunta (**cache di II° livello**)

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)

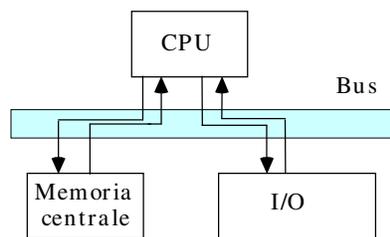


Il Bus collega **due unità funzionali alla volta**:

- **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

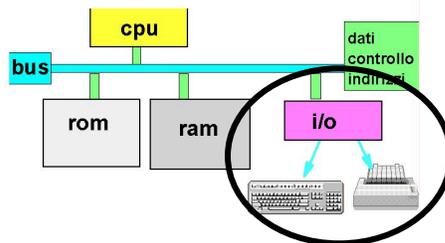
- **unidirezionale**
- serve per trasmettere **il contenuto del registro indirizzi alla memoria**
(si seleziona una specifica cella su cui viene eseguita o un'operazione di lettura o una operazione di scrittura)

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.