

# Fondamenti di Informatica

Prof.ssa Cinzia Pizzi

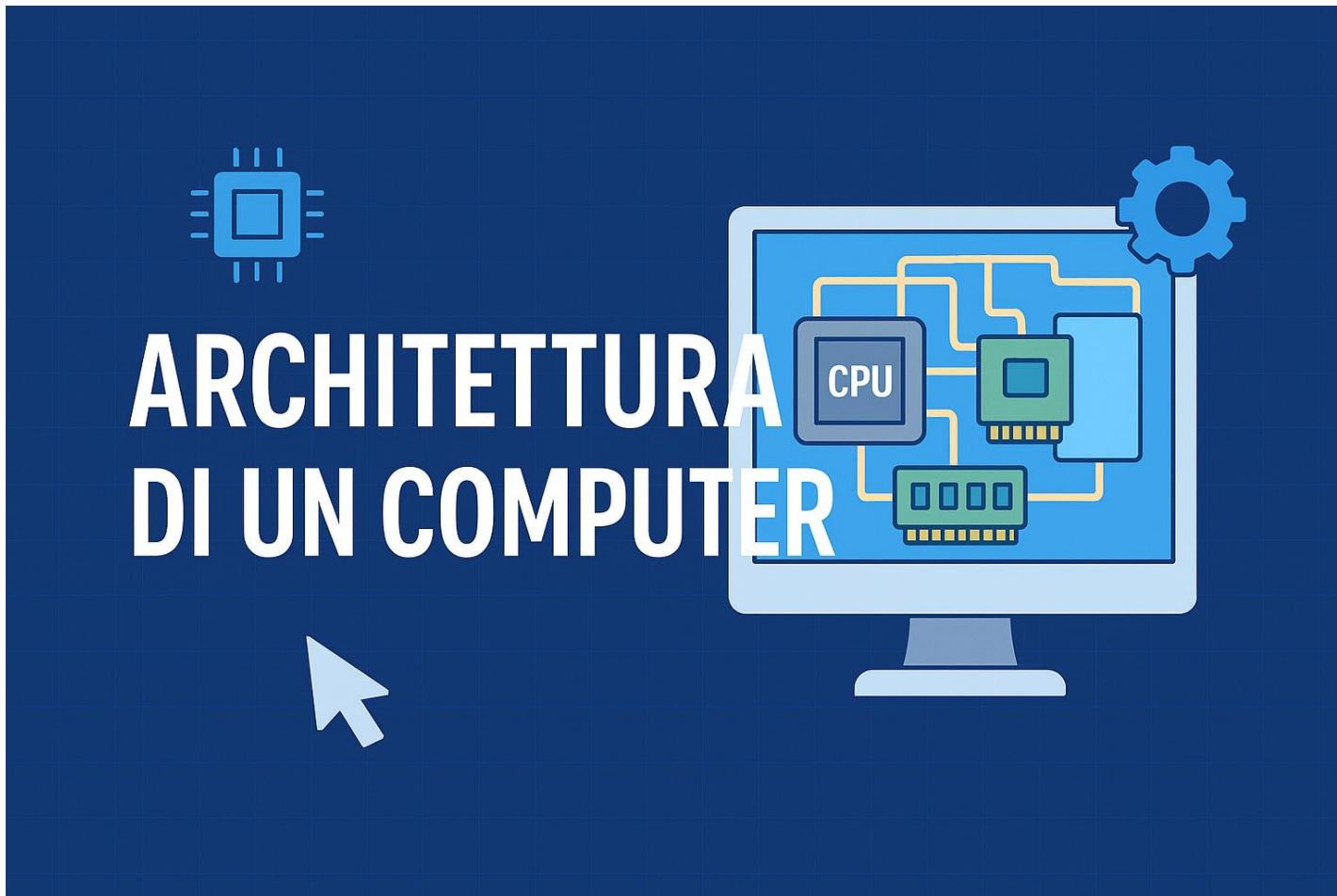
Prof. Luca Trevisan ([luca.trevisan.2@unipd.it](mailto:luca.trevisan.2@unipd.it))

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione  
Università degli Studi di Padova





DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'INFORMAZIONE



# ARCHITETTURA DI UN COMPUTER



DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'INFORMAZIONE

# Il modello di von Neumann

John von Neumann

*First draft of a report on  
the EDVAC*

Moore School of Electrical  
Engineering

University of Pennsylvania,  
June 30, 1945

First Draft of a Report  
on the EDVAC

by

John von Neumann

Contract No. W-670-ORD-4926

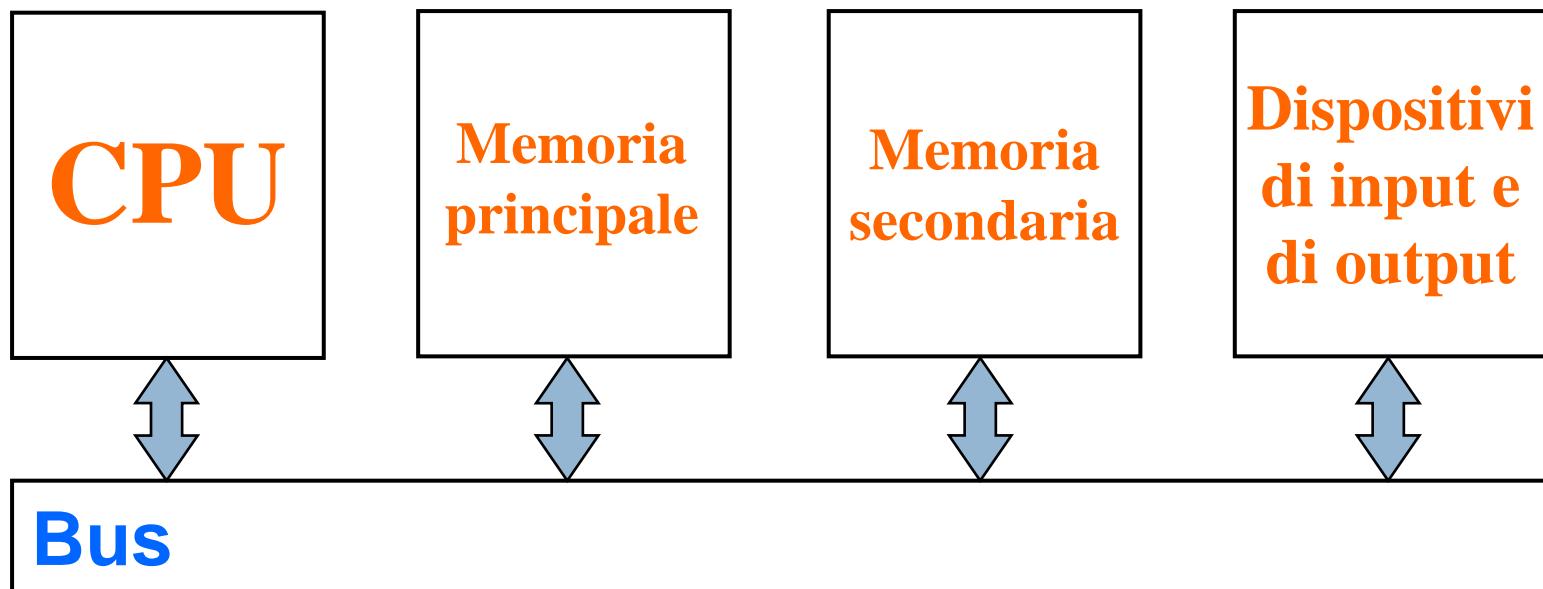
Between the

United States Army Ordnance Department  
and the

University of Pennsylvania

# Il modello di von Neumann

- L'architettura di von Neumann è composta da **quattro blocchi** comunicanti tra loro per mezzo di un **bus**, un canale di scambio di informazioni



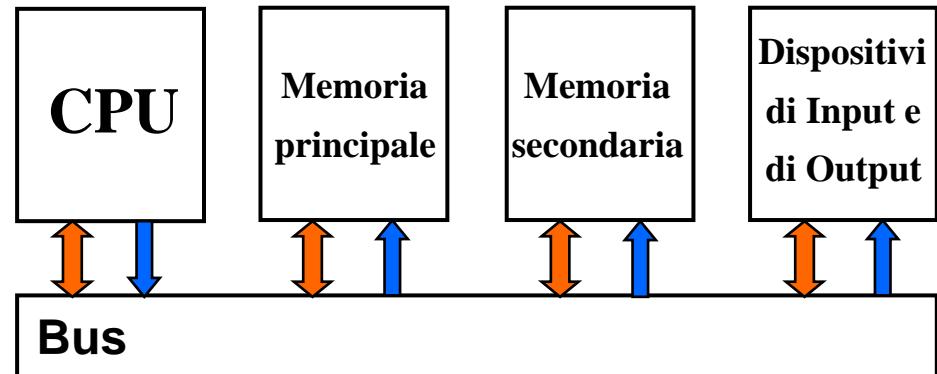
*Stored-program machine:*

Sia le istruzioni dei programmi che i dati si trovano in memoria.

# System bus

- Il bus è in realtà costituito da diversi bus distinti

- bus dei **dati**
- bus degli **indirizzi**
- bus dei **segnali di controllo**

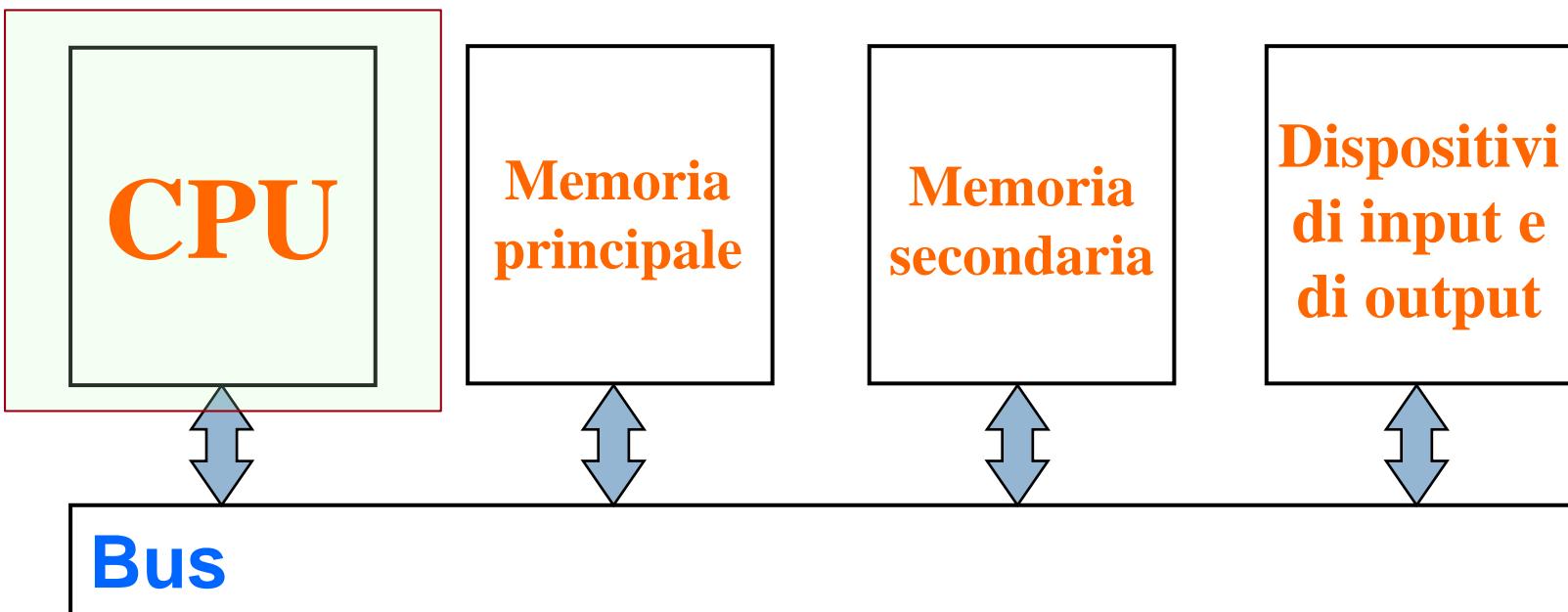


Nota la direzionalità delle frecce e i colori:  
Arancione = **dati**  
Blu = **indirizzi e segnali di controllo**

- Sul bus dei dati viaggiano dati **da e verso la CPU**
- Sugli altri bus viaggiano indirizzi e segnali di controllo che **provengono soltanto dalla CPU**

# Il modello di von Neumann: CPU

- L'architettura di von Neumann è composta da **quattro blocchi** comunicanti tra loro per mezzo di un **bus**, un canale di scambio di informazioni



# CPU – Central Processing Unit

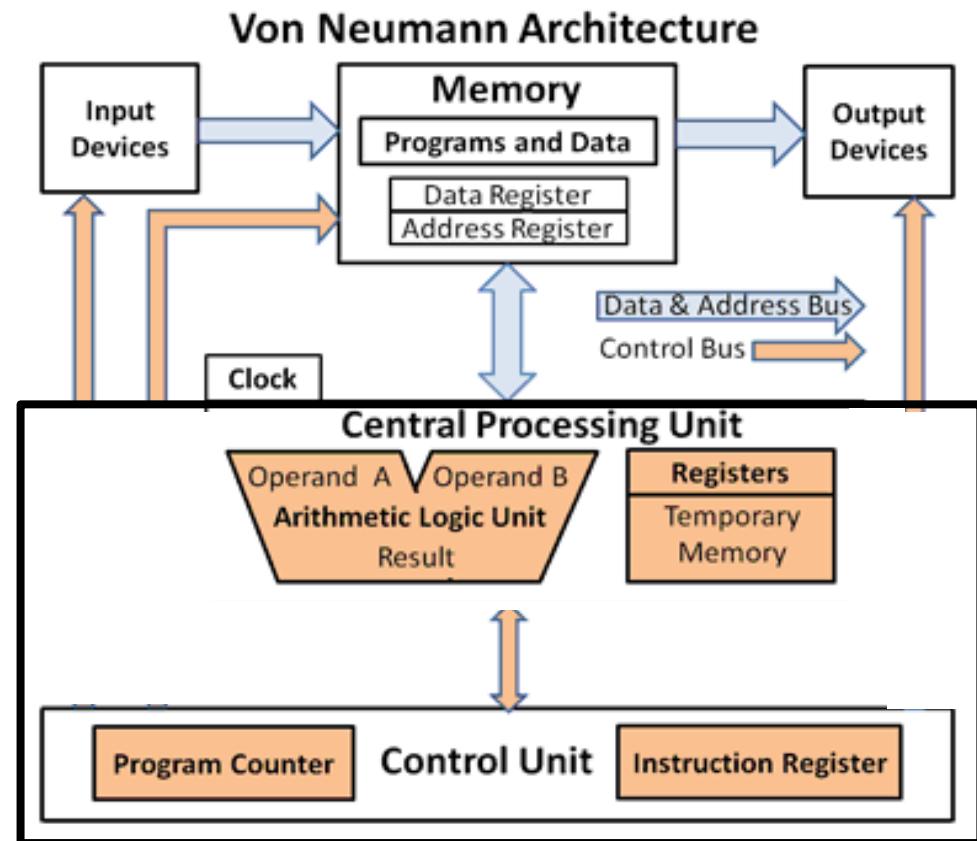
## unità centrale di elaborazione

- La CPU è il cuore del computer
  - Individua ed esegue le istruzioni del programma
  - Effettua elaborazioni aritmetiche e logiche con la sua unità logico-aritmetica
  - Reperisce i dati dalla memoria esterna e da altri dispositivi periferici e ve li rispedisce dopo averli elaborati
  - È costituita da uno o più **chip** (microprocessori)



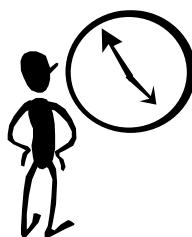
# L'unità centrale di elaborazione

- Dal punto di vista logico, la **CPU** (*Central Processing Unit*) è costituita da tre parti principali
  - L'unità logico-aritmetica: **ALU**
  - Un insieme di **registri**
  - L'unità di **controllo**



# L'unità centrale di elaborazione

- Il funzionamento della CPU è **ciclico** e il periodo di tale ciclo viene scandito dall'orologio di sistema (**clock**), la cui **frequenza** costituisce una delle caratteristiche tecniche più importanti della CPU (es. 3.1 GHz, tre miliardi di cicli al secondo)





# Ciclo di funzionamento della CPU

- Ogni ciclo di funzionamento è composto da tre fasi
  - **Accesso**: lettura dell'istruzione da eseguire e sua memorizzazione nel **registro istruzione**
  - **Decodifica**: decodifica dell'istruzione da eseguire
  - **Esecuzione**: esecuzione dell'istruzione

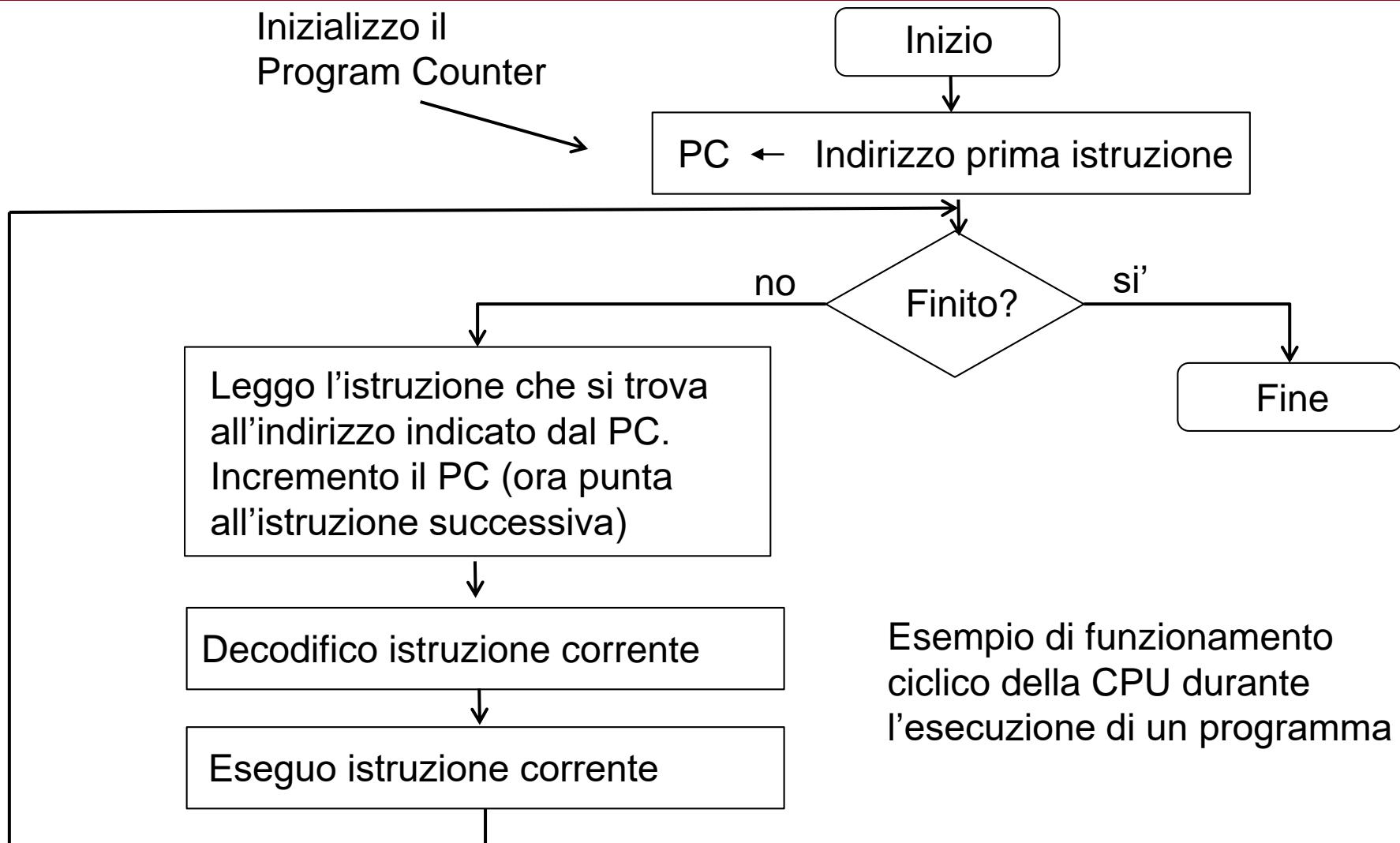
Si parla di ciclo **fetch-decode-execute**



# Ciclo di funzionamento della CPU

- La posizione dell'istruzione a cui si accede durante la fase di *fetch* è contenuta nel ***Program Counter*** (PC)
- Il PC viene incrementato di un'unità ad ogni ciclo, in modo da **eseguire istruzioni in sequenza**, cioè istruzioni memorizzate in celle di memoria aventi indirizzi **consecutivi**
- Esistono istruzioni particolari che permettono di modificare il contenuto del PC
  - Salti condizionali
  - Subroutine

# Ciclo di funzionamento della CPU





# Limiti alle prestazioni

- La **frequenza di clock** influenza direttamente il tempo di esecuzione delle istruzioni ed è limitata da diversi fattori (tempi di commutazione dei transistor, dalla dissipazione del calore e dall'integrità dei segnali, ...).
- Il modello di von Neumann è un modello sequenziale
  - Le operazioni sono eseguite secondo un ordine specifico



# Parallelismo

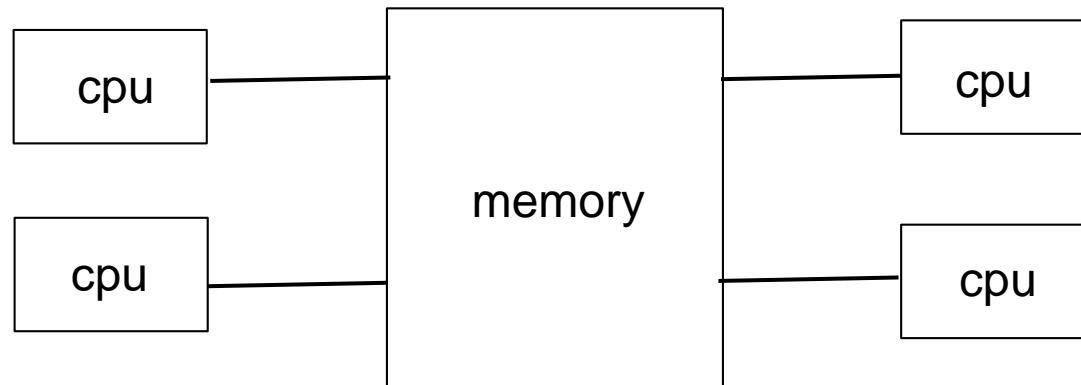
- Il **parallelismo (fare più operazioni contemporaneamente)** permette di migliorare le prestazioni senza modificare la frequenza di clock.
- **Parallelismo a livello delle istruzioni (architetture pipeline e superscalari)**
  - Organizza la CPU come una catena di montaggio
- **Parallelismo a livello di processori**
  - **Multiprocessori**
  - **Multicomputer**



# Architettura pipeline

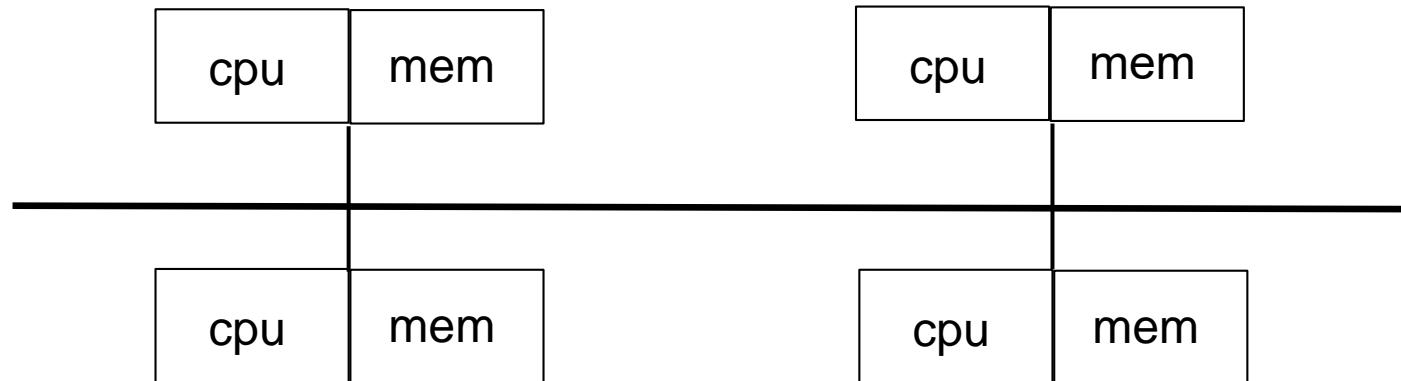
- Organizza la CPU come una “catena di montaggio”
  - La CPU viene suddivisa in **stadi**, ognuno dedicato all'esecuzione di un compito specifico
  - L'esecuzione di una istruzione richiede il **passaggio attraverso** tutti o alcuni degli **stadi della pipeline**
  - In un certo istante, ogni stadio esegue la parte di istruzione di sua “competenza”
  - In un certo istante esistono diverse **istruzioni contemporaneamente in esecuzione**, una per stadio.

# Multiprocessori (multicore)



- Diverse CPU condividono una **memoria comune**
- Le **CPU devono** coordinarsi per accedere alla memoria
- Esistono diversi schemi di collegamento tra CPU e memoria

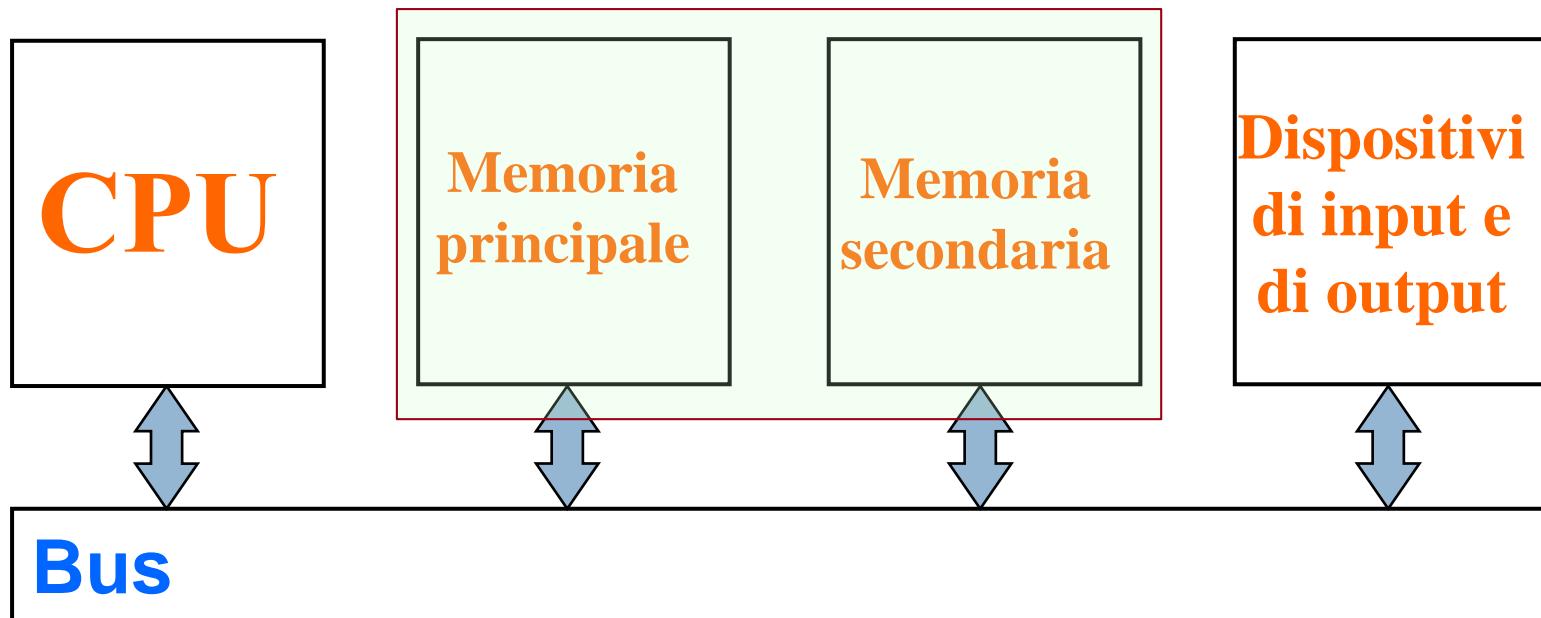
# Multicalcolatori (macchine parallele)



- Si utilizzano più calcolatori, ognuno dotato di una **memoria privata**
- Comunicazione tra CPU basata su **scambio di messaggi** in una rete che può essere
  - Specializzata (Massive Parallel Processing)
  - Di uso comune (cluster)
  - Internet (grid/cloud)

# Il modello di von Neumann: Memoria

- L'architettura di von Neumann è composta da **quattro blocchi** comunicanti tra loro per mezzo di un **bus**, un canale di scambio di informazioni





# La memoria del computer

- La memoria serve a **immagazzinare dati e programmi** all'interno del computer

- La memoria è suddivisa in **celle** o locazioni di memoria, ognuna delle quali ha un **indirizzo**

indirizzo    contenuto

0x1001034	15
0x1001038	2
0x100103C	c
0x1001040	4
0x1001044	?



# La memoria del computer

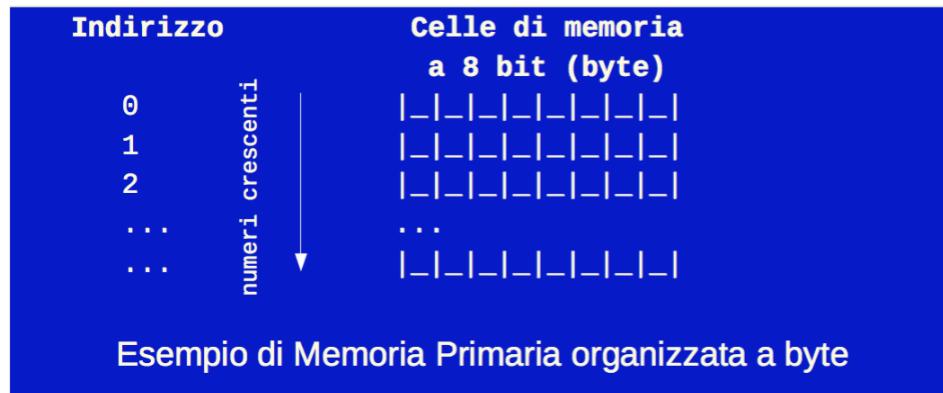
- Ogni cella contiene un numero predefinito di **bit**
- Un **bit** è un dato elementare che può assumere due valori, convenzionalmente chiamati **zero** e **uno**
- Il bit è l'**unità di misura dell'informazione**
  - **bit = binary digit**, una cifra in un sistema di numerazione in base 2 ... (eg, numero binario di 32 bit)

01101010010011010000111010010111

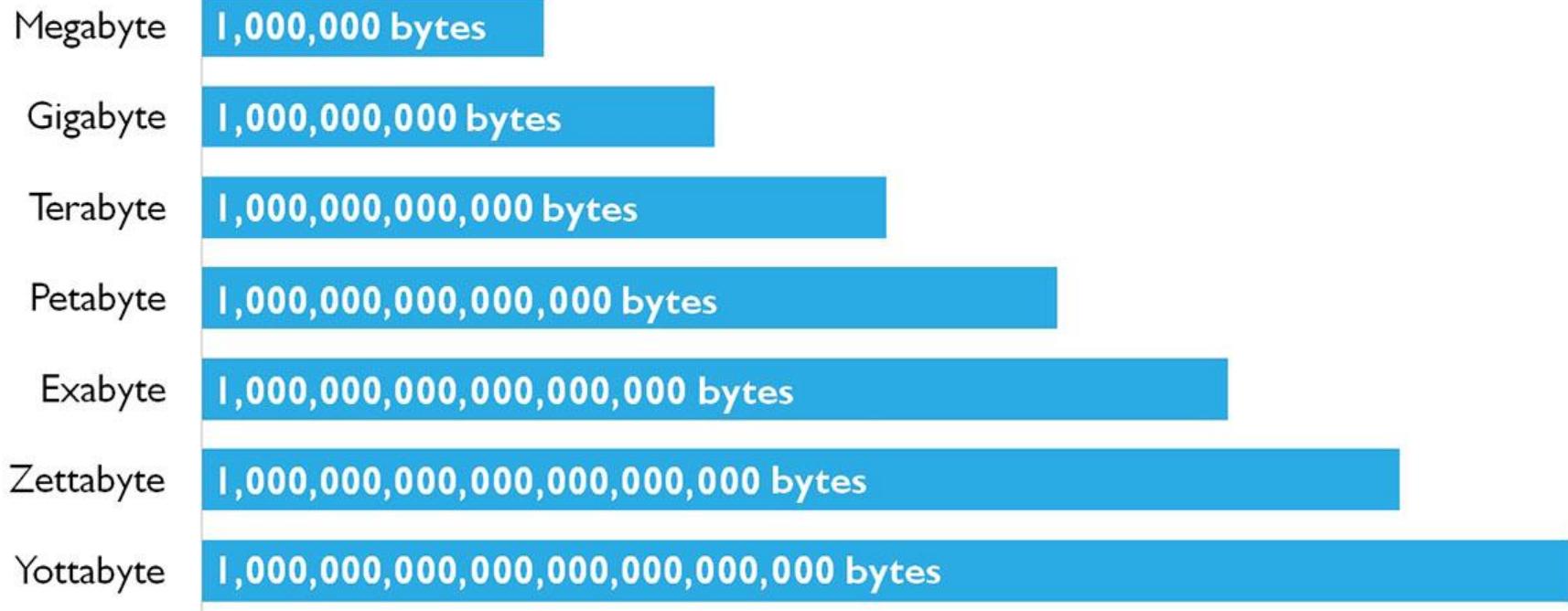
NB: vedremo piu' avanti i dettagli della rappresentazione di un numero in base 2

# La memoria del computer

- Un insieme di otto bit si chiama **byte**
  - Unità di misura della memoria
  - Unità minima di memoria accessibile singolarmente



# Di solito si usano multipli del byte



HOW BIG ARE THEY?



# La memoria primaria

- La memoria **primaria** è **veloce** ma **costosa**
- È costituita da **chip di memoria** realizzati con la stessa tecnologia (al silicio) utilizzata per la CPU ed è suddivisa in due parti, con funzionalità distinte
  - Memoria **di sola lettura** (**ROM**, Read-Only Memory)
  - Memoria ad accesso casuale (**RAM**, Random Access Memory)
    - **accesso casuale** significa che **il tempo per accedere ad un dato non dipende dalla sua posizione nella memoria**



# Spazio di indirizzamento

- Il processore può
  - **Scrivere** un numero in una cella di memoria
  - **Leggere** un numero da una cella di memoria
- L'accesso avviene tramite l'**indirizzo** della cella
  - L'indirizzo è un numero → sequenza di bit



# Spazio di indirizzamento

- l'indirizzo deve avere una **lunghezza prefissa**
  - Limitando tale lunghezza, limito anche il numero di indirizzi che posso esprimere
  - Le architetture a 32 bit hanno un limite massimo di memoria RAM indirizzabile
    - indirizzo 32 bit =>  $2^{32}$  celle = 4 GB
  - Per poter indirizzare (e quindi avere disponibile) più memoria: architetture a 64bit
- Il numero di celle indirizzabili è detto **spazio di indirizzamento**



# La memoria ROM

- Conserva i dati e i programmi in essa memorizzati anche quando il computer viene spento
  - È una memoria ***non volatile***
  - Contiene i programmi necessari all'avvio del computer, programmi che devono essere **sempre disponibili**
    - nei PC, sono chiamati **BIOS** (**B**asic **I**nput/**O**utput **S**ystem)
- Scritta una volta sola direttamente alla fabbricazione
  - In realtà, il BIOS è aggiornabile perché risiede in una **EPROM** (o tecnologia simile), memoria riscrivibile



# La memoria RAM

- La memoria ad accesso casuale, **RAM**
  - È una memoria che consente la **lettura** e la **scrittura** dei dati e dei programmi in essa contenuti
  - Contiene dati in fase di modifica e programmi che non devono essere sempre disponibili
- **Perde i dati quando si spegne il computer**  
(è un supporto **volatile**)



# Il principio di località: la memoria cache

- **Località spaziale:** quando si accede all'indirizzo A, è *molto probabile* che gli accessi successivi richiedano **celle vicine ad A**.
- **Località temporale:** quando si accede all'indirizzo A, è *molto probabile* che gli accessi richiedano **di nuovo** la cella A.
- **Cache:** memoria che consenta accessi estremamente veloci su blocchi utilizzati di recente
  - **veloce ma molto costosa, quindi piccola**



# La memoria secondaria (o di massa)

- È un supporto di memoria **non volatile**
- Rispetto alla memoria primaria:
  - È circa 100 volte **meno costosa** della memoria primaria
  - È molto **più lenta** (tempi di accesso in lettura/scrittura)
- Programmi e dati
  - Risiedono nella memoria secondaria
  - Vengono caricati nella RAM quando necessario
  - Possono tornare in memoria secondaria aggiornati se e quando necessario

# La memoria secondaria (o di massa)

## Supporti per la memorizzazione permanente dei dati

Hard disk (disco rigido)



Dispositivi allo stato solido



# La memoria secondaria (o di massa)

- **Supporti per la memorizzazione permanente dei dati**
- **Disco rigido (o disco fisso, hard disk)**
  - Supporto magnetico, meno costoso (~100 volte) della RAM ma piu' lento
  - Attuale capacità max (max 2025): 32 **Terabyte** ( $10^{12}$  byte) a circa \$600
- **Dispositivo allo Stato Solido (SSD)**
  - Basati su tecnologia microelettronica (Flash)
  - vs HD: + costoso, + capacità, + veloci
  - Attuale capacità max: 245 **Terabyte** (però costa circa \$30000! )





# La memoria secondaria

- Memoria secondaria a tecnologia **ottica**
  - **CD-ROM** (*Compact Disc Read-Only Memory*), viene letto da un dispositivo laser, esattamente come un CD audio; ha una elevata capacità ed è molto economico e affidabile; è un supporto di sola lettura, utilizzato per distribuire programmi e informazioni (1989)
  - **CD-R** (*Compact Disc Recordable*), utilizza una tecnologia simile al CD-ROM ma può essere scritto dall'utente (una sola volta; più volte se CD-RW) (1990)
  - **DVD**, ha rappresentato la nuova frontiera per questa tecnologia, con elevatissima capacità (1997)
    - Blu-Ray (2002), capacità ancora più elevata, ma ancora troppo costoso



# La memoria secondaria

- Sono molto diffusi anche altri tipi di memoria secondaria a tecnologia **microelettronica**: le **“Chiavette” USB**
  - Usano la tecnologia Flash-EPROM, molto simile a quella per il BIOS dei PC
    - Hanno sostituito i floppy disk per la portabilità
    - Più lente dei dischi rigidi, più veloci dei CD
    - Costo intermedio tra RAM e disco rigido, ma **non volatile** e soprattutto **portatile!**

# Archiviazione: il presente

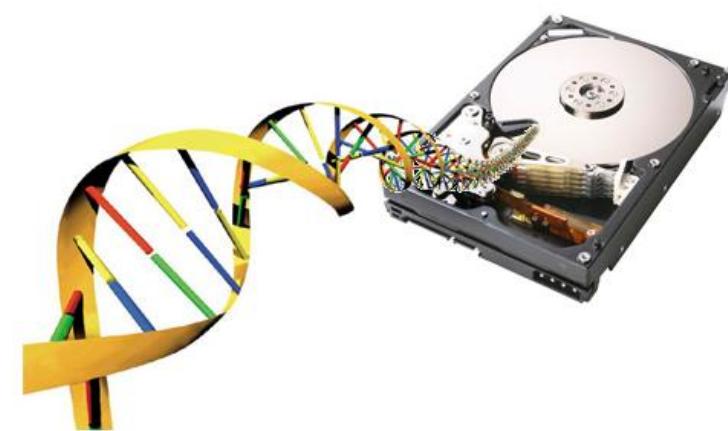
- Nastri: memoria “terziaria” per archiviazione
  - ▣ di capacità elevatissima, molto economici, ma molto lenti
    - accesso ai dati è sequenziale (si scorre il nastro)
    - Utilizzati per l'archiviazione di grandi quantità di dati cui si accede raramente

IBM TS1160 Tape Drive

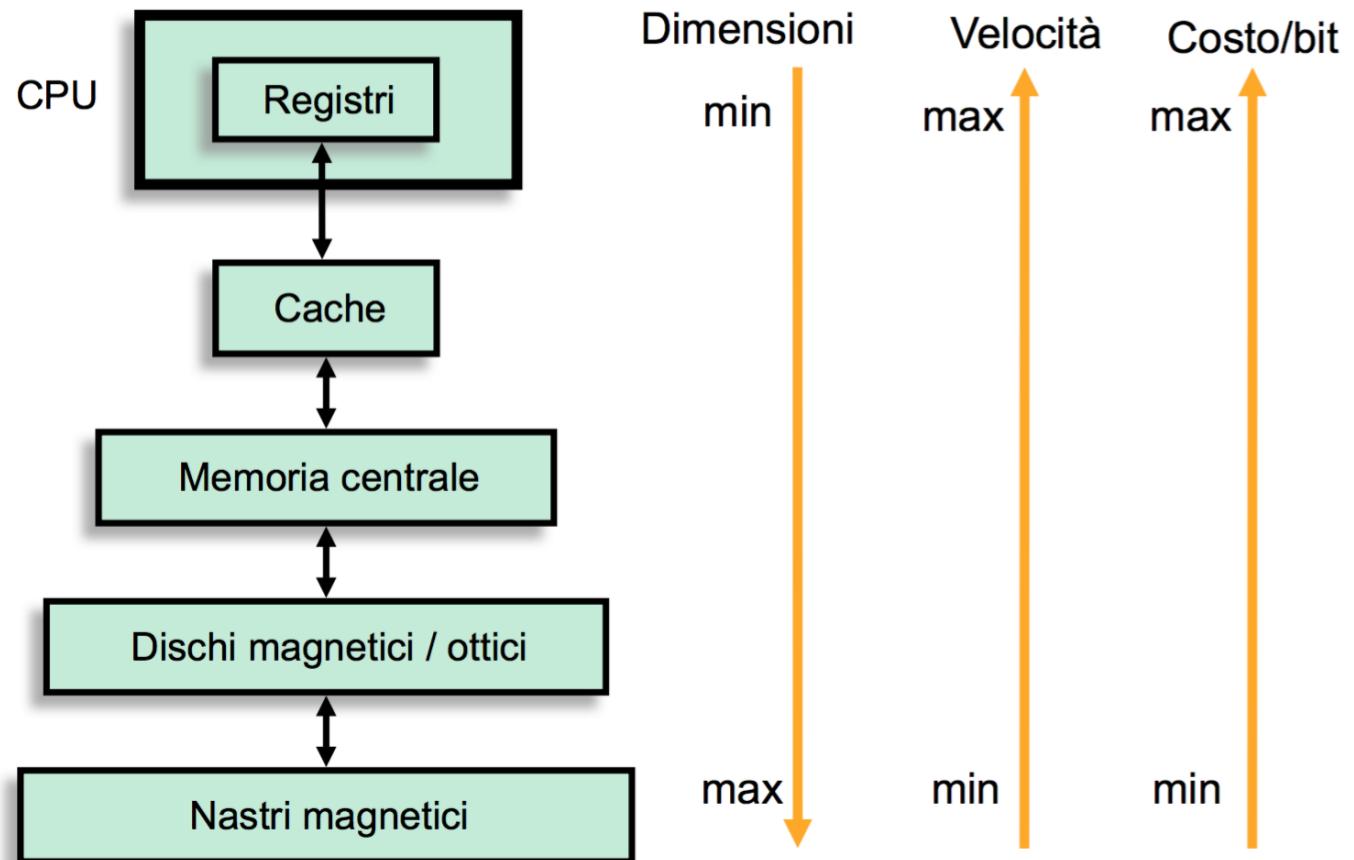


# Archiviazione: il futuro

- Memorizzare l'informazione nei nucleotidi del DNA.
- Fatto per la prima volta nel 2012
  - 1.28 petabytes per gram of DNA
- Marzo 2017: algoritmo DNA fountain raggiunge 85% del limite teorico: 215 petabytes per gram of DNA

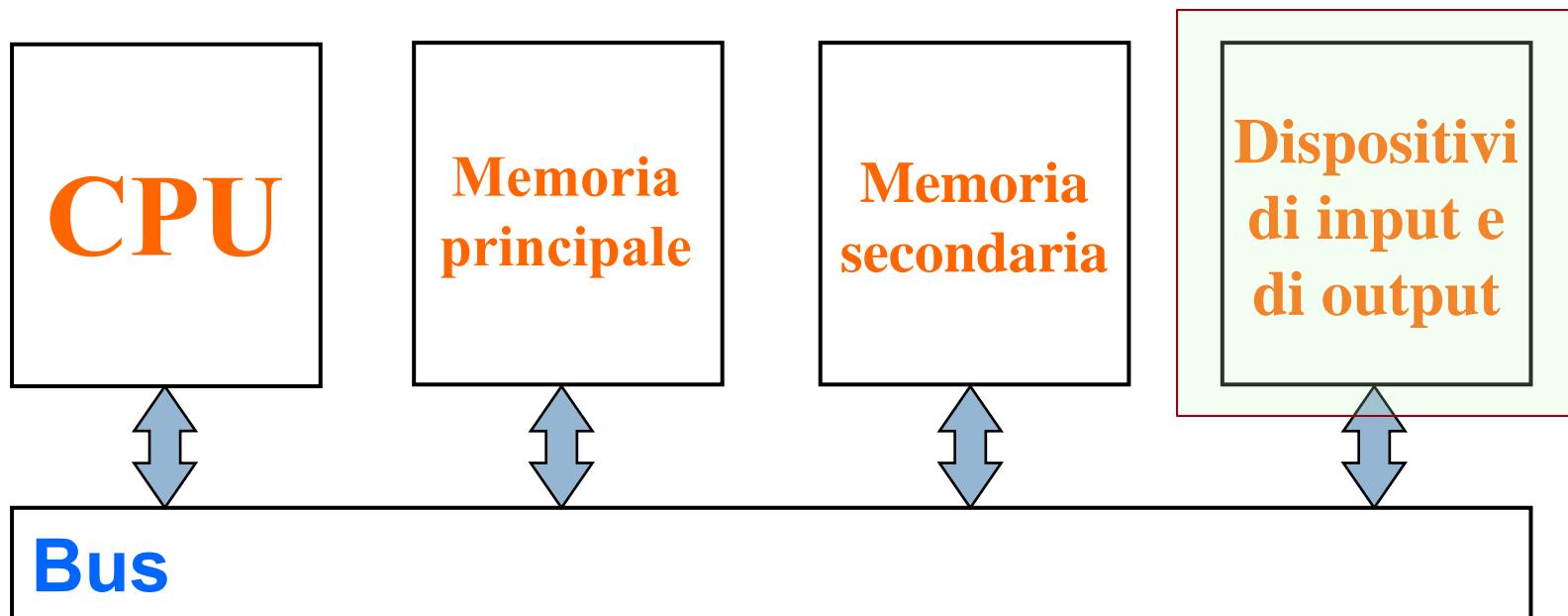


# Gerarchie di memoria



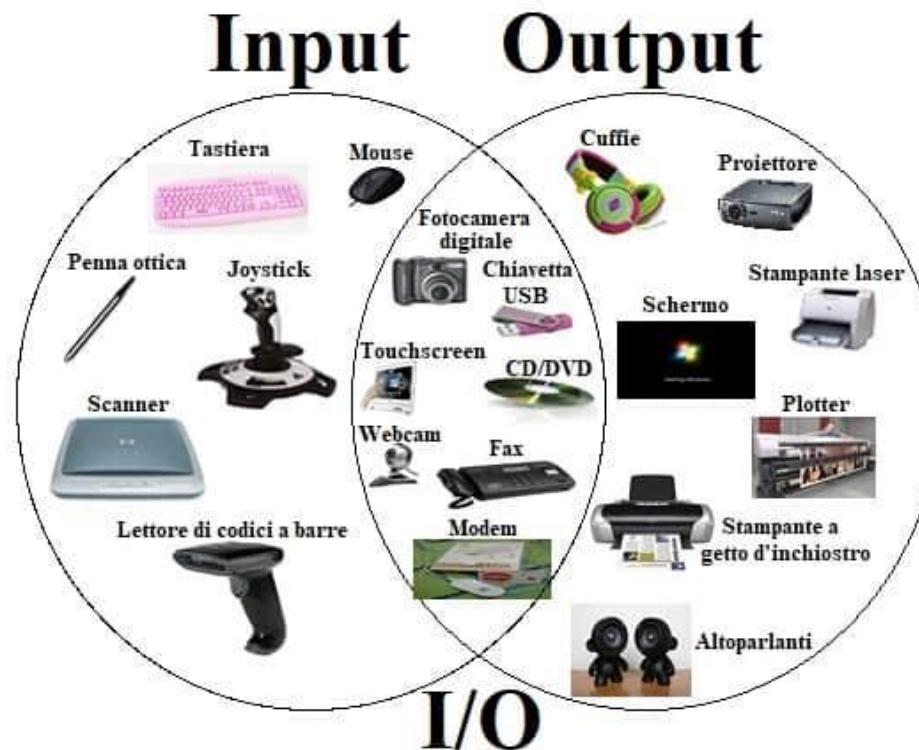
# Il modello di von Neumann

- L'architettura di von Neumann è composta da **quattro blocchi** comunicanti tra loro per mezzo di un **bus**, un canale di scambio di informazioni



# Dispositivi periferici di interazione

- L'interazione fra l'utente umano ed il computer avviene mediante i cosiddetti **dispositivi periferici di Input/Output** (dispositivi di I/O)

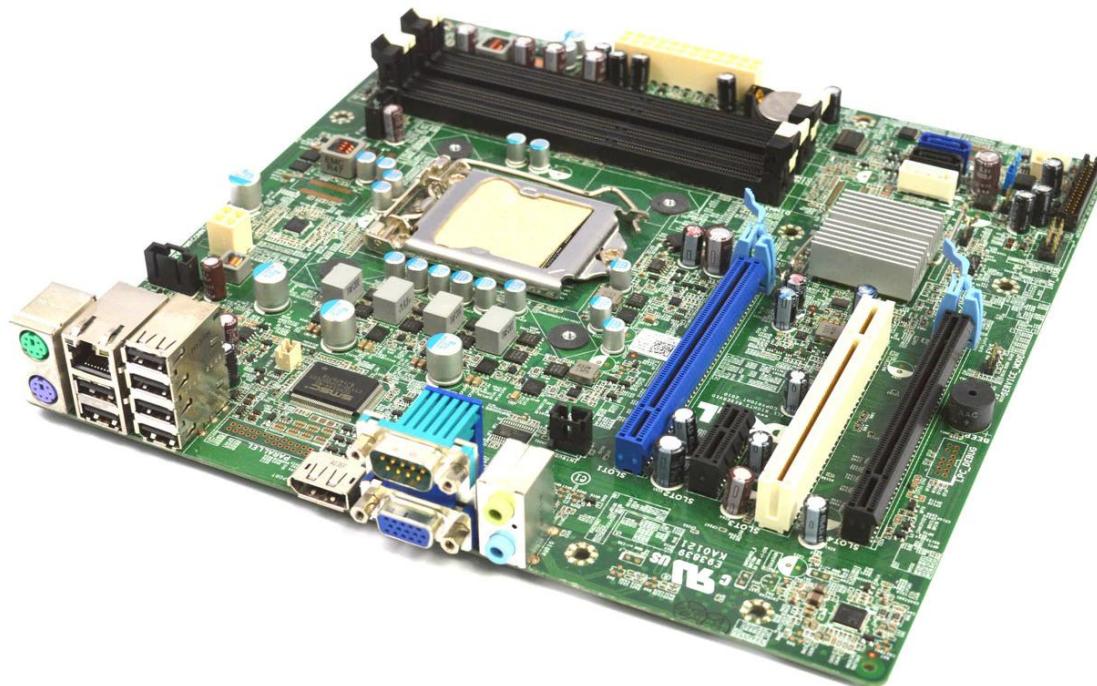


# Dispositivi periferici di interazione

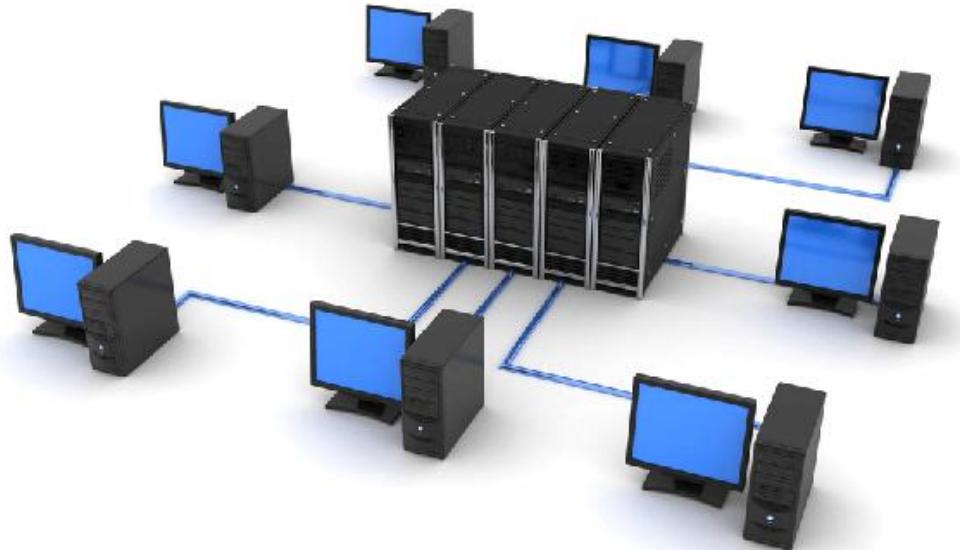
- Tipici dispositivi di **input** sono
  - la **tastiera**
  - il **mouse** (dispositivo di puntamento)
  - il **microfono** (per impartire comandi vocali)
  - il **joystick** (per i giochi)
  - lo **scanner** (per la scansione digitale di documenti e immagini )
- Tipici dispositivi di **output** sono lo **schermo** (*monitor*), le **stampanti**, gli **altoparlanti**

# La scheda madre di un PC

- All'interno del PC si trova la **scheda madre** (*mother-board*), che contiene la CPU, la memoria primaria, il bus e gli alloggiamenti (*slot*) di espansione per il controllo delle periferiche



# Infine... reti di calcolatori e internet





# Take home message

- Il computer ha componenti fisiche (HW) e componenti logiche (SW)
- Le componenti fisiche sono organizzate secondo un'architettura nota come architettura di von Neumann
  - CPU, memoria primaria, memoria secondaria, I/O
  - Interconnesse da bus
- Ogni componente ha un compito specifico che permette l'esecuzione dei programmi