

ARCHITETTURA DI UN CALCOLATORE

Ing. Daniele Corti



copyright

all rights reserved

Copyright © Ing. Daniele Corti 2013

www.ingdanielecorti.it

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali.

Ver.1.0

PREREQUISITI

- ✓ Sistemi di elaborazione.

OBIETTIVI

- ✓ Comprendere l'architettura di von Neumann e dei moderni calcolatori.

ARGOMENTI

- ✓ Architettura di un calcolatore.
- ✓ Architettura di von Neumann.
- ✓ La struttura logica di un computer: CPU, memoria e periferiche.
- ✓ Architetture dei moderni calcolatori.
- ✓ I BUS.
- ✓ Il CLOCK.

CAP 3 – ARCHITETTURA DI UN CALCOLATORE

INTRODUZIONE

“Ho un processore Pentium 4 core i7, la RAM del mio computer è di 4 Giga, il mio nuovo hard disk è da 1 Tera”.

Spesso si leggono frasi di questo genere, ma, non sempre, si comprende a fondo il loro significato. Cosa fa il processore e a cosa serve? Perché avere più memoria migliora le prestazioni del computer (non sempre)? Perché un quadri-core è più veloce di un dual-core? Perché un hard disk da 2 TeraByte occupa più dati di uno da 1 Tera Byte? Perché un hard disk allo stato solido è più prestante di uno classico magnetico?

A queste e a tante altre domande risponderemo nei prossimi capitoli ma inizialmente è opportuno illustrare le basi della cosiddetta “architettura degli elaboratori”, o detto più semplicemente “come è fatto un computer”.

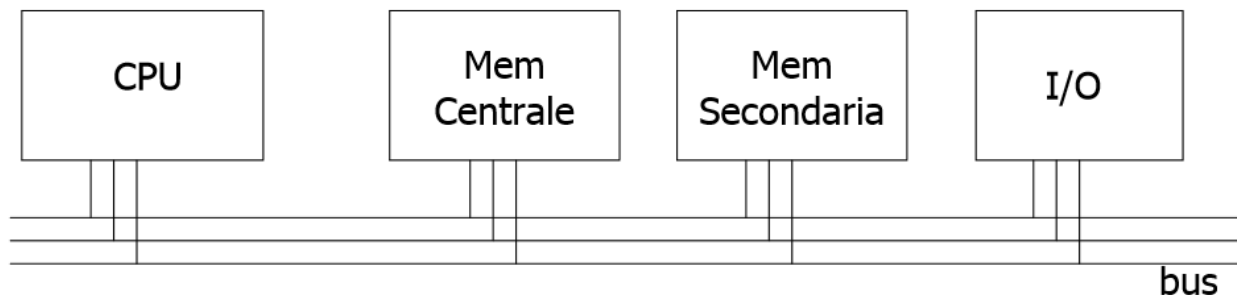
ARCHITETTURA DI UN CALCOLATORE

L’architettura, o struttura, di un computer è la **complessità tecnologica** con cui è costruito un calcolatore elettronico: è quindi l’insieme delle tipologie di componenti hardware (in particolar modo la famiglia di CPU) e di Sistema Operativo (il tipo di software di base su tale struttura hardware).

Studiare l’architettura di un computer significa analizzare il modo in cui sono collegati tra loro i componenti.

Lo schema funzionale di un calcolatore digitale moderno corrisponde ancora oggi a quello della macchina di von Neumann (si pronuncia “fon noiman”). Il calcolatore nasce all’inizio degli anni ’40 del XX secolo per merito di John von Neumann, J. Presper Eckert e John William Mauchly, i quali concettualizzarono l’idea della **macchina ad accesso casuale (RAM Random Access Machine)**. Tale macchina a registri è stata introdotta per sviluppare la teoria della calcolabilità con un modello di macchina che potesse essere una ragionevole astrazione di un calcolatore (la macchina di von Neumann). Il nome random deriva dal fatto che in questa macchina l’accesso alla memoria non

avviene in modo sequenziale come nella macchina di Turing ma in modo diretto (accesso casuale equiprobabile).



CPU: CU, ALU, Registri

I/O: input, output

Memoria Principale: memoria di lavoro ad accesso rapido

Memoria secondaria: contiene informazioni a lungo termine
(*memoria non volatile*, conserva informazione anche dopo lo spegnimento del computer, es. Disco Rigido, CDROM, floppy disk)

Bus: comunicazione tra le unità (dati/indirizzi/comandi)

John von Neumann, J. Presper Eckert e John William Mauchly collaborarono allo sviluppo e alla realizzazione di ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) fra il 1946 e il 1955, uno dei primi calcolatori elettronici digitali, prototipo dei moderni calcolatori, che operava con programmi immagazzinati in memoria ma operava ancora con aritmetica decimale e non binaria e l'input avveniva attraverso le schede perforate. La progettazione di tale macchina fu voluta dal Governo degli Stati Uniti per la risoluzione di problemi di calcolo balistico per il lancio dei proiettili d'artiglieria durante la Seconda guerra mondiale.

La collaborazione di von Neumann con Eckert e Mauchly fece nascere il progetto di una macchina assolutamente rivoluzionaria nota come **Architettura di von Neumann**.

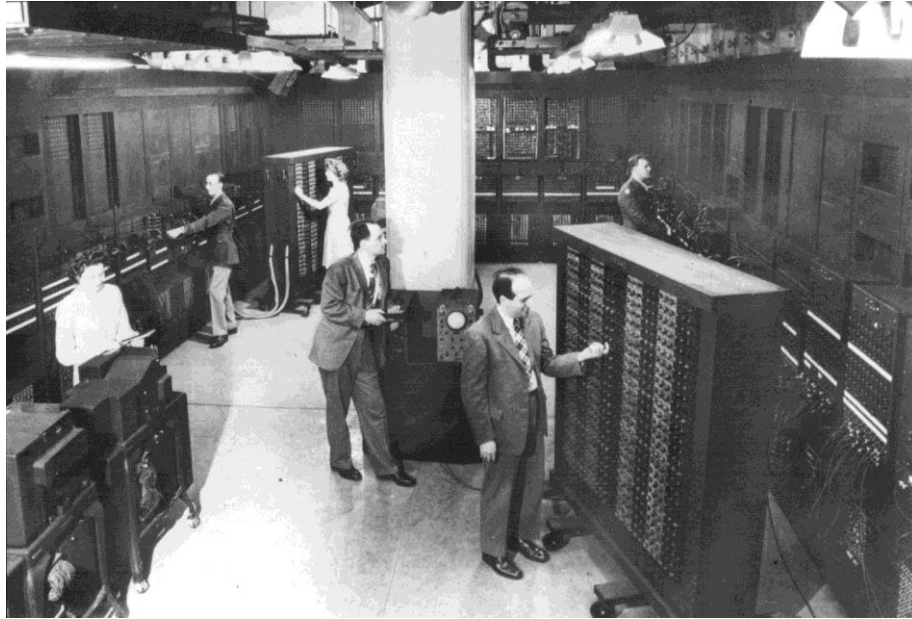


Figura 1 - ENIAC

Rispetto ai calcolatori utilizzati in quell'epoca, ENIAC incluso, erano delle macchine costruite per svolgere solo ben determinate operazioni (come le calcolatrici tascabili di oggi) e il programma era concettualmente e fisicamente disgiunto dai dati su cui operava. In altre parole il programma si “metteva” in una parte della macchina mentre i dati si “mettevano” in un'altra. Nelle macchine dotate dell'architettura di von Neumann invece, dati e programmi sono fra loro indistinguibili e vengono memorizzati su un'unica memoria, usando le stesse tecniche di gestione. In questo modo è quindi possibile collegare fra loro più programmi, modificarne agevolmente la struttura ed eventualmente scambiarli fra macchine diverse.

Il primo calcolatore che utilizzò l'architettura di von Neumann fu l'EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer), il successore dell'ENIAC. Progettato sempre da Eckert e Mauchly, divenne operativo nel 1951 e fu impiegato anch'esso per scopi balistici.

Cap3. Architettura di un Calcolatore

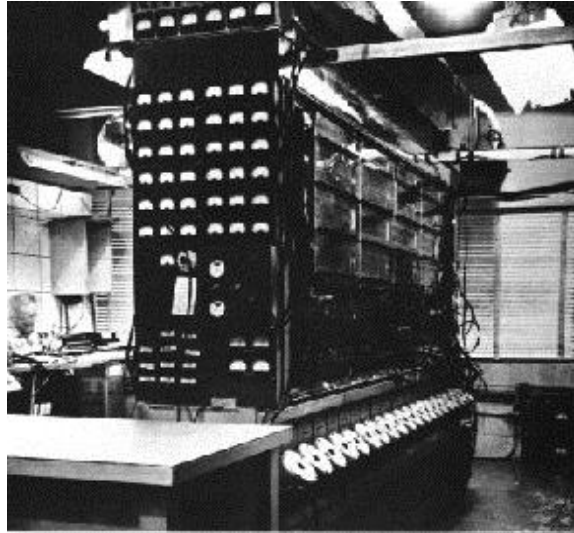


Figura 2 - EDVAC

NB Nel Cap 9 studieremo più in dettaglio la storia dei calcolatori.

Nella seguente figura possiamo osservare la gerarchia delle astrazioni a livelli di un calcolatore.

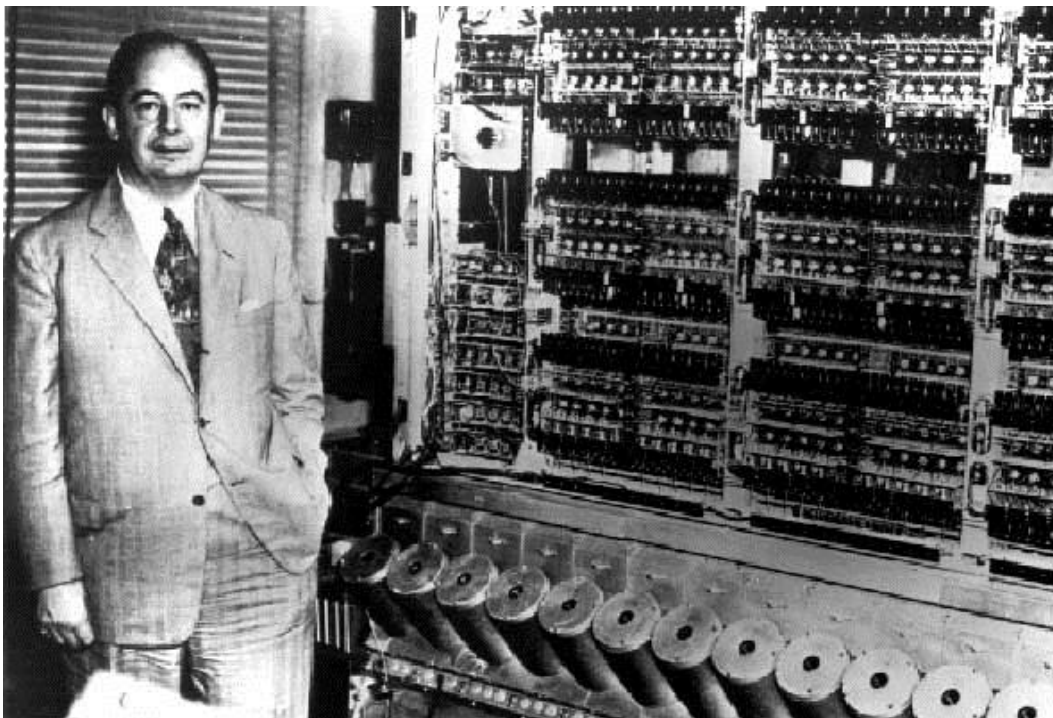
Programmi applicativi	SOFTWARE
Linguaggi di programmazione ad alto livello	
Linguaggio assemblativo (Assembly)	
Sistema Operativo	
Linguaggio Macchina	
ISA	
Architettura di un calcolatore	HARDWARE
CPU Memoria I/O	
Reti sequenziali e combinatorie	
Algebra di Boole e aritmetica binaria	
Codifica binaria dell'informazione	
Elettronica	
BASI FISICO-MATEMATICHE	

ISA = Instruction Set Architecture: definizione del set di istruzioni a livello di linguaggio macchina.

ARCHITETTURA DI VON NEUMANN

Le architetture attuali dei calcolatori si basano ancora sul modello ideato e realizzato da John von Neumann. Von Neumann era un matematico, fisico e informatico ungherese di origini ebraiche. Nato agli inizi del '900, fuggì negli Stati Uniti d'America a causa delle leggi razziali di Hitler. A lui si devono fondamentali contributi in numerosi campi.

L'elemento che contraddistingue il modello di macchina di von Neumann è la sua proceduralità: la macchina si aspetta un programma costituito da un insieme di istruzioni che le dica cosa fare un istante dopo l'altro.



Un calcolatore, secondo il modello di von Neumann è costituito da una memoria e da un processore. La caratteristica fondamentale di questa macchina è che **la memoria contiene sia programmi che dati**.

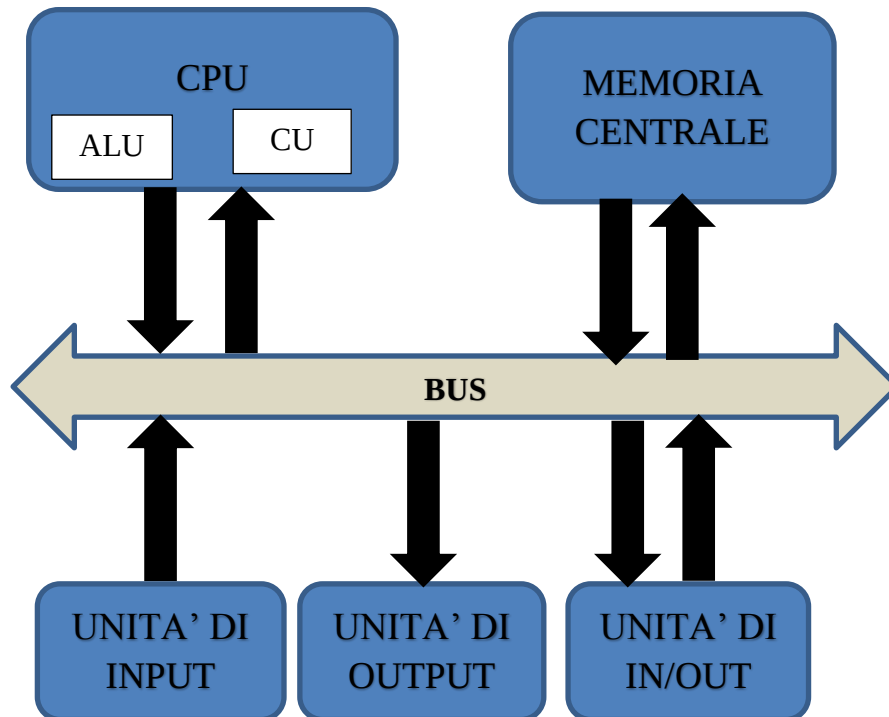
Il programma è la sequenza di istruzioni che devono essere eseguite e i dati sono le informazioni che il programma elabora per produrre il risultato. Queste informazioni includono i **dati d'ingresso**, parte dei **dati intermedi** (che possono anche essere memorizzati in unità di memoria interne alla CPU, **registri** per poi essere cancellati) e i risultati dell'elaborazione.

Il processore ha il compito di estrarre le istruzioni del programma dalla memoria, interpretarle ed eseguirle una dopo l'altra. I dati vengono trasformati dal programma in esecuzione attraverso una successione di stati l'ultimo dei quali è rappresentato dal risultato finale.

Cap3. Architettura di un Calcolatore

Benché ci siano in memoria una quantità di istruzioni e di dati che attendono di essere elaborati, il processore estrae le istruzioni una alla volta ed elabora i dati uno alla volta.

Nella seguente figura è rappresentata l'architettura di von Neumann a “**programma memorizzato**” nella quale si possono identificare 4 differenti componenti funzionali:



NB si faccia molta attenzione ai versi di percorrenza delle informazioni da un sottosistema all'altro. Per esempio, per le unità di output, le informazioni vengono trasmesse dalla CPU verso l'unità attraverso il canale di comunicazione BUS. A sua volta la CPU reperisce le informazioni nella memoria centrale, come studieremo più avanti.

Lo schema descritto illustra sinteticamente come è fatto un qualsiasi elaboratore elettronico, dal Commodore 64 a un PC moderno sebbene l'evoluzione tecnologica abbia portato nel tempo ad alcuni miglioramenti e ottimizzazioni.

Ogni componente funzionale del modello di von Neumann ha le seguenti caratteristiche:

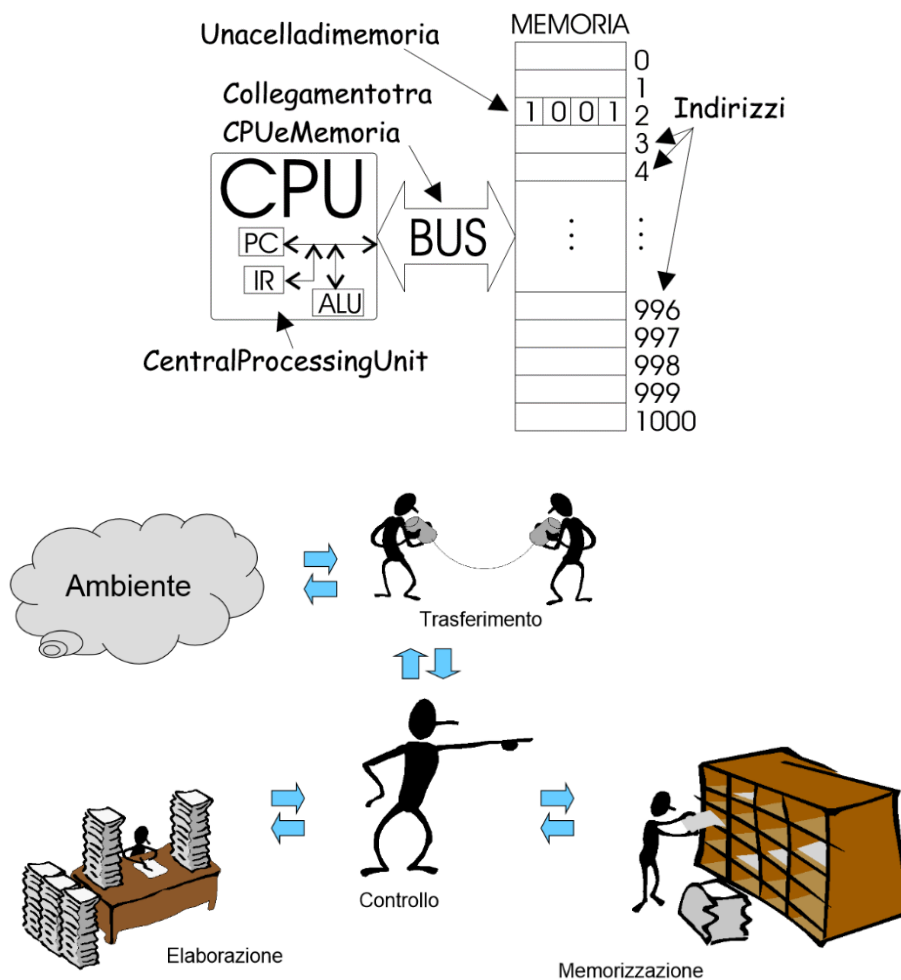
- Ha una **funzionalità propria**.
- **Interagisce** con gli altri componenti e con l'esterno.
- È, a sua volta, dotato di una **struttura interna**.

Le funzionalità principali sono:

- **Scambio dati con l'esterno** (I/O, Input/Output) che si realizza mediante

- Dispositivi di I/O (es. tastiera, mouse, monitor, stampante, etc.).
- Connessione di rete (es. scheda di rete).
- **Memorizzazione**, realizzata da unità di memoria che possono essere
 - A breve termine (es. RAM).
 - A lungo termine (es. Hard Disk).
- **Elaborazione** dei dati, realizzata dall'unità di elaborazione centrale.
- **Controllo**, anch'essa realizzata dall'unità di elaborazione centrale.

Nella seguente figura, che studieremo dettagliatamente nel capitolo 5, mette in evidenza la CPU che elabora i dati contenuti nella memoria RAM. Un dato può occupare una o più celle. Le celle hanno una dimensione fissa. Nelle celle si possono salvare dati sotto forma di cifra binaria (sequenza di bit). Ogni cella viene individuata da un indirizzo e CPU e RAM sono collegati da un canale BUS su cui transitano sia indirizzi che dati.

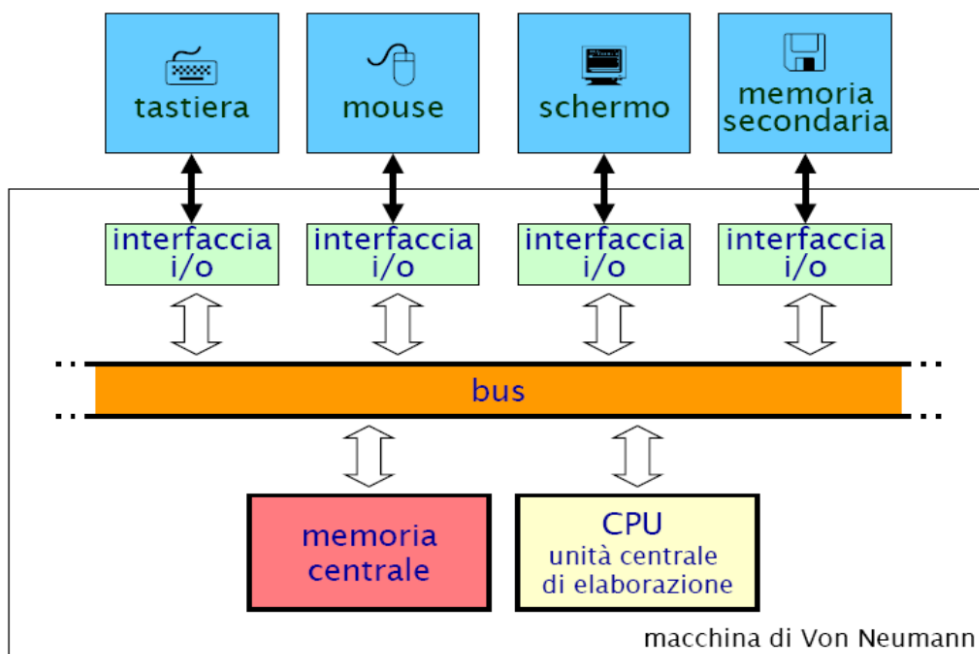


I quattro componenti funzionali dell'architettura di von Neumann sono:

Cap3. Architettura di un Calcolatore

- Una unità centrale di elaborazione, chiamata **CPU** (Central Processing Unit).
 - Esegue le istruzioni che consentono l'**elaborazione** dei dati.
 - Svolge anche funzioni di **controllo** sugli altri componenti.
 - Svolge anche funzioni di **coordinamento** delle operazioni.
- Un dispositivo di **Memoria Centrale**.
 - Costituito da un insieme di elementi (celle) adiacenti identificabili tramite il loro indirizzo.
 - Memorizza i programmi da eseguire e i dati da elaborare.
- **Unità di Input/Output**, dispositivi (periferiche) che permettono l'interazione della macchina con l'esterno attraverso le interfacce di I/O.
- Una linea di interconnessione, detta **Bus**, che permette ai dati e alle informazioni di controllo di essere trasferite da un componente funzionale all'altro, con modalità Master/Slave.

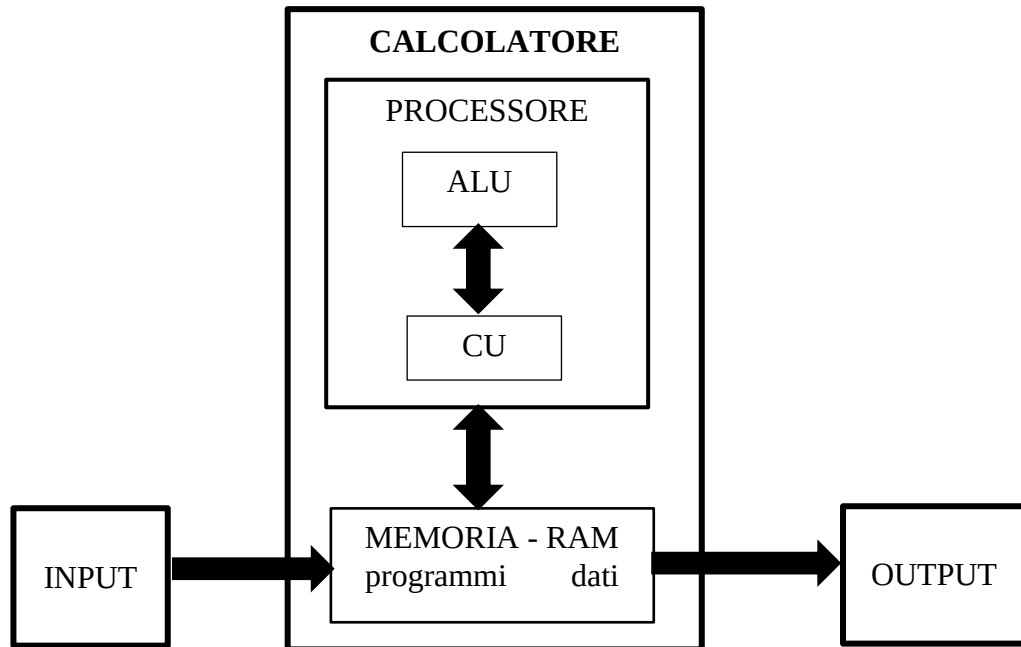
Nel seguente schema logico, viene messo in evidenza il concetto di **interfaccia di ingresso e uscita**. Le interfacce I/O consentono la corretta comunicazione del sistema con le unità periferiche. In generale un'interfaccia hardware è un dispositivo che consente il dialogo standardizzato tra sistemi o sottosistemi di natura differente.



Nell'architettura di von Neumann, quindi, è più corretto indicare non tanto le unità di I/O ma le relative interfacce di I/O grazie alle quali è possibile interfacciare il sistema che le unità periferiche.

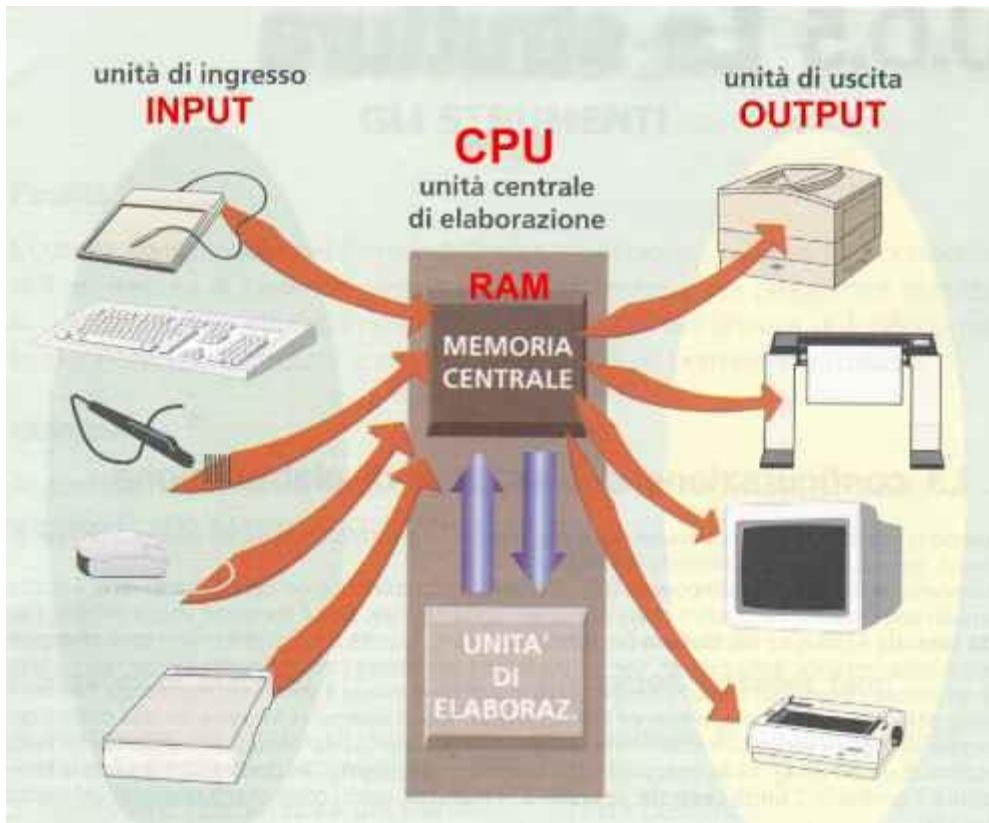
Gli schemi precedentemente descritti sono anche detti **architetture a bus**.

Un altro possibile schema, concettualmente identico ai precedenti, utilizzato per lo studio del modello di von Neumann è il seguente:

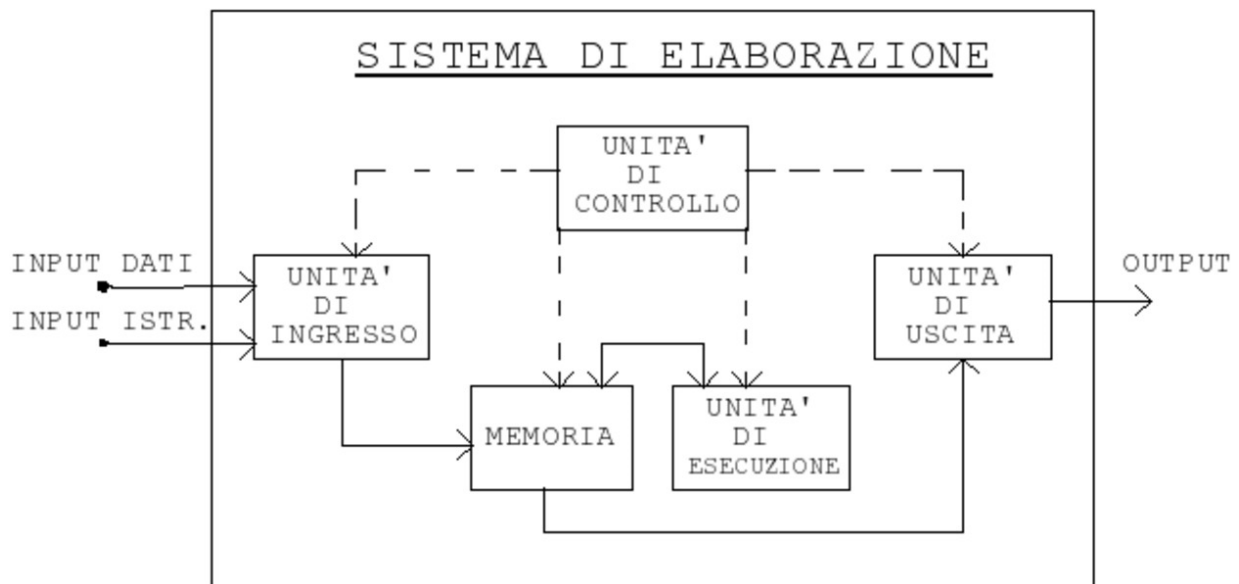


In questo schema si pone l'accento sulla memoria RAM; essa salva i dati d'input e, sotto il controllo dell'unità CU (l'unità che controlla) l'AU li elabora per fornire in uscita i risultati dei calcoli. La memoria RAM è l'unità dalla quale il processore preleva le varie istruzioni del programma che deve essere eseguito e i dati su cui lavora.

Cap3. Architettura di un Calcolatore



Lo stesso schema può essere riveduto nel seguente, in cui oltre alle linee di trasferimento dati, abbiamo evidenziato anche le linee tratteggiate utilizzate dall'unità CU per coordinare i lavori svolti dalle altre unità:



Le linee continue rappresentano il flusso dei dati, mentre quelle tratteggiate indicano il flusso dei segnali di controllo; si può, quindi, comprendere come tutte le unità agiscono in base ai segnali inviati da un componente denominato **Unità di Controllo**.

Le tre funzioni svolte, in modo automatico (senza l'intervento diretto dell'uomo) dal sistema di elaborazione, già analizzate, sono quindi:

- Funzione di memoria.
- Funzione di esecuzione (calcoli e confronti).
- Funzione di controllo e governo (gestione).

NB La cooperazione tra le unità di controllo, esecuzione e memoria permette di eseguire algoritmi opportunamente descritti secondo determinati linguaggi ed inseriti in memoria.

Al seguente link

http://www.laughton.com/obrien/foothill/001/cis001_applets/APPLETS/CPU/applet_frame.htm

è possibile vedere all'opera un simulatore della macchina di von Neumann.

The image shows a web-based simulator titled "Super Simple CPU". The interface is divided into several sections:

- CPU Section:** Contains fields for "INPUT", "OUTPUT" (with a red bar), "PC", "ACC", "TEMP", and "IR". There is a "binary" checkbox checked.
- MEMORY Section:** A vertical list of 16 memory slots, numbered 0 to 15. Slot 0 has a red arrow pointing to it. Each slot is a text input field. A "binary" checkbox is checked at the bottom.
- Control Section:** Includes a dropdown menu labeled "-- examples --", a "normal" dropdown, and buttons for "Run", "1 Step", "Stop", "Reset", and "Clear Mem".
- Advanced Section:** Includes buttons for "Advance", "Log Window", "Assemble Window", "Help", "Opcode list", and "More info".

Red lines connect the INPUT and OUTPUT fields to a central horizontal red bar, which then connects to the CPU section.

STRUTTURA DI UN CALCOLATORE

Studiare il funzionamento di un computer e di ognuna delle sue parti significa studiarne la **struttura**.

La struttura di un oggetto è l'insieme degli elementi (unità) che lo costituiscono.

In particolare diciamo:

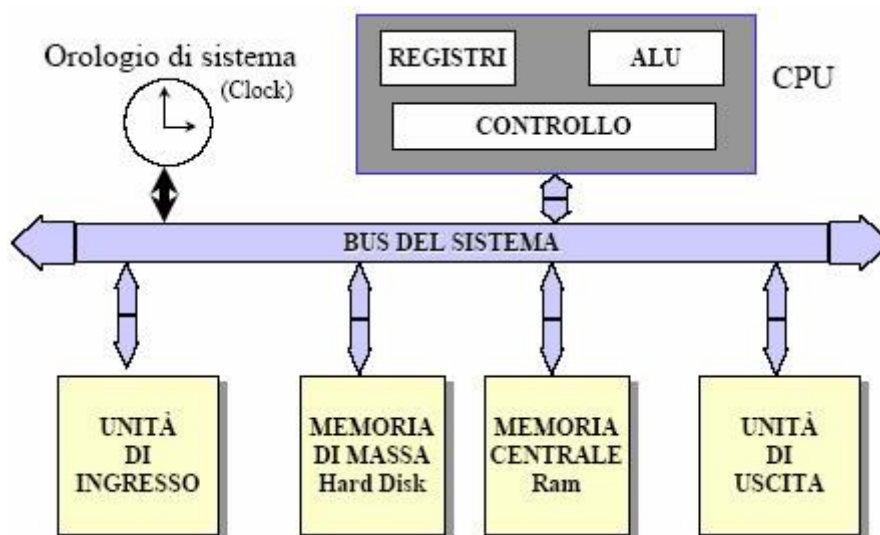
- **Struttura logica:** l'insieme delle unità che funzionalmente costituiscono il calcolatore, basata sul modello di von Neumann.
- **Struttura fisica:** l'insieme delle parti che realmente (fisicamente) costituiscono il calcolatore.

In questo capitolo studieremo la struttura logica di un calcolatore.

STRUTTURA LOGICA DI UN CALCOLATORE

Il calcolatore è un sistema di elaborazione costituita da differenti unità logiche che collaborano fra loro al fine di far fare al computer quelle operazioni richieste dall'utente.

Il COMPUTER è una macchina costituita da vari organi - le UNITA'.



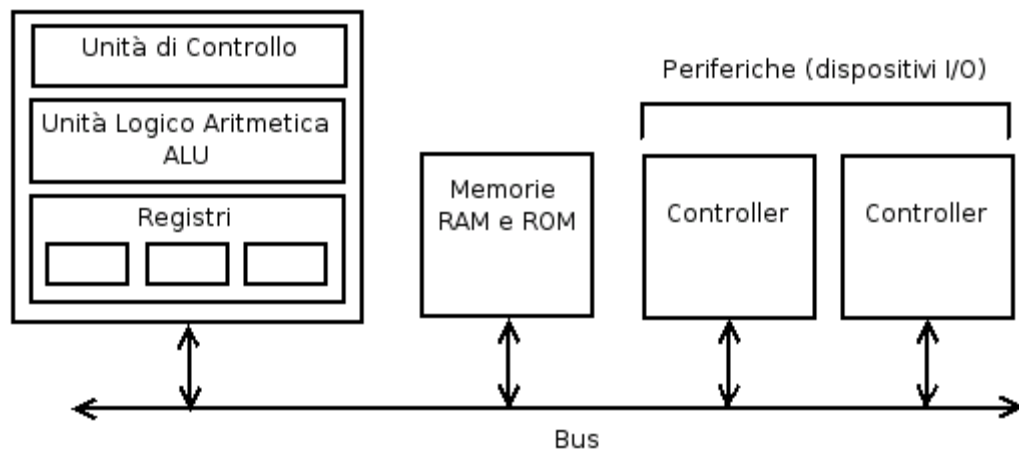
La struttura logica di un moderno computer è riconducibile alla struttura di Von Neumann ed è essenzialmente costituita dalle seguenti cinque unità o sottosistemi:

- **Il Microprocessore** contenente la **CPU (Unità Centrale di Elaborazione, Central Processing Unit)**, il cervello del computer; legge le istruzioni (dei programmi) memorizzate nella RAM, elaborare le informazioni e coordina le operazioni da svolgere. Si divide a sua volta in
 - **Unità Operativa** nella quale uno dei sottosistemi più rilevanti è l'ALU (Arithmetic Logic Unit) che esegue le operazioni aritmetiche e logiche. L'ALU esegue una specifica gamma di operazioni (aritmetiche e logiche), potendo determinare l'operazione da eseguire tra quelle a disposizione (set d'istruzioni) e specificando gli operandi (dati) su cui essa deve operare.
 - **Unità di Controllo** CU (Control Unit) che 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). La CU esegue il riconoscimento delle istruzioni da eseguire (interpretazione) e conseguente avvio della loro esecuzione mediante opportuni segnali inviati alla ALU. Controlla, inoltre, la successione di istruzioni che compongono il programma.
 - **Registri**, locazioni usate per memorizzare temporaneamente i dati, le istruzioni o gli indirizzi e l'accesso ad essi risulta essere molto più veloce di quello della RAM.
- **Unità di Memoria Centrale e di Memoria di Massa** (Nastri e Dischi Rigidi). L'Unità di Memoria Centrale è scomponibile in:
 - **RAM**, Random Access Memory – Memoria ad Accesso Casuale, la memoria di lavoro o memoria principale che consente la memorizzazione della codifica delle informazioni (programmi e dati) per il tempo necessario alla elaborazione.
 - **ROM**, Read Only Memory – Memoria di Sola Lettura, utilizzata durante la fase di accensione del calcolatore.
 - **Cache**, memoria molto veloce usata per velocizzare le operazioni.Questi sono tutti i dispositivi atti a contenere informazioni binarie, con metodi differenti secondo la tecnologia usata; la scrittura e la lettura di queste informazioni avvengono sotto il controllo della CPU. Vedremo meglio come si differenziano queste tipologie di memorie. Osserviamo che anche le memorie di massa sono considerate delle periferiche.
- **Unità di INPUT e OUTPUT**, in pratica tutti quei dispositivi che consentono di immettere informazioni nel sistema e di leggerne le risposte. Le unità di input sono tutte quelle apparecchiature utilizzate dall'uomo per comunicare con l'elaboratore (es tastiera e mouse). Le unità di output sono tutte quelle apparecchiature utilizzate dall'elaboratore per comunicare con l'esterno (es monitor e stampante).

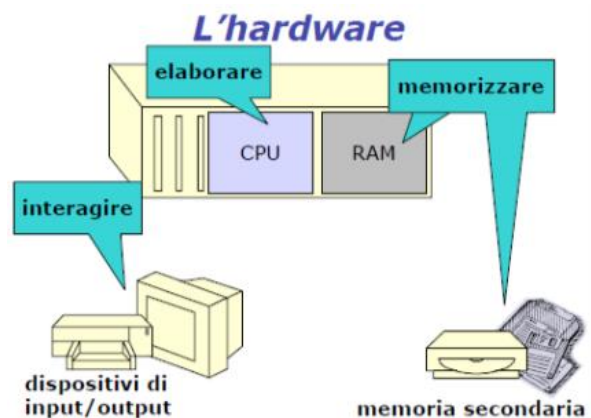
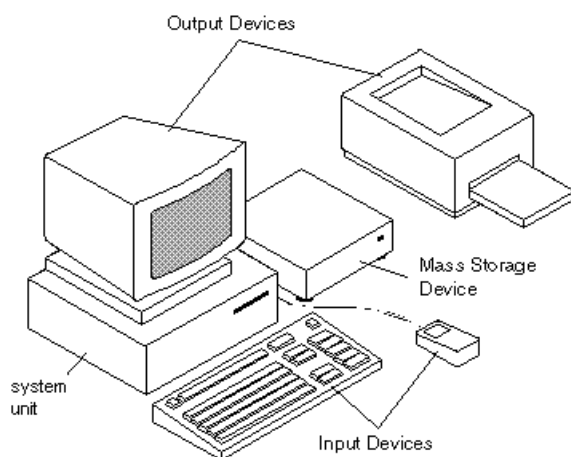
Cap3. Architettura di un Calcolatore

- Unità di INPUT, tramite la quale i dati e i programmi vengono introdotti nel calcolatore (i dati verranno successivamente elaborati grazie agli opportuni programmi).
- Unità di OUTPUT, necessaria affinché i dati elaborati possano essere comunicati all'esterno (per far sì che l'uomo o altri sistemi possano utilizzarli).
- **BUS di Sistema (Canale di comunicazione)** è il canale che mette in comunicazione tutti i componenti fra loro (suddiviso in bus dati, bus indirizzi e bus controllo).
- **Schede Elettroniche di Espansione**, le schede elettroniche, non disponibili di serie nel computer, che ne ampliano le funzionalità (scheda audio, scheda di rete, ecc.).

Unità Centrale di Elaborazione (CPU)



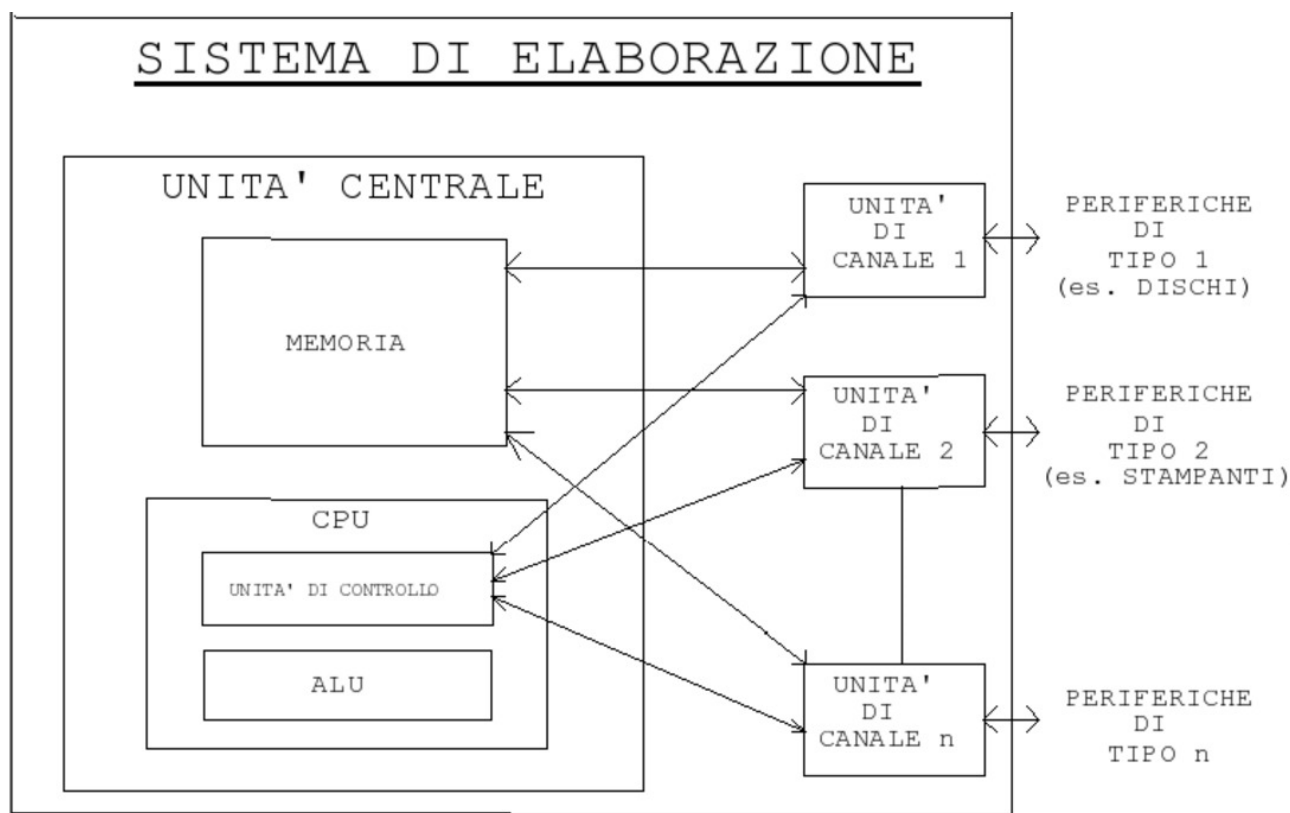
Questa struttura venne proposta per la prima volta da John von Neumann all'interno di uno scritto informale del 1945 in relazione al progetto ENIAC. Questa struttura è comune sia ad un grande elaboratore sia un microcomputer; tutti i componenti fisici che costituiscono la base dell'elaboratore sono indicati con il termine **HARDWARE**, mentre l'insieme dei programmi che consentono alla macchina di funzionare formano il **SOFTWARE**.



Nel seguente schema possiamo rivedere la struttura del calcolatore in cui sono state messe in evidenza le linee di flusso dei dati e di controllo che entrano o escono dalla Unità Centrale (CPU + Memoria).

Nello schema possiamo riconoscere le seguenti unità:

- **Unità Centrale:** costituita dalla CPU e dalla Memoria, adibita alla memorizzazione e all'elaborazione dei dati al salvataggio dei programmi e alla loro esecuzione e al controllo generale del sistema.
- **Unità di Canale:** unità adibite al collegamento con le **periferiche**, cioè i dispositivi che permettono il colloquio del sistema con l'ambiente esterno o la memorizzazione permanente di dati e programmi (tastiera, video, stampante, memorie di massa, ecc.).

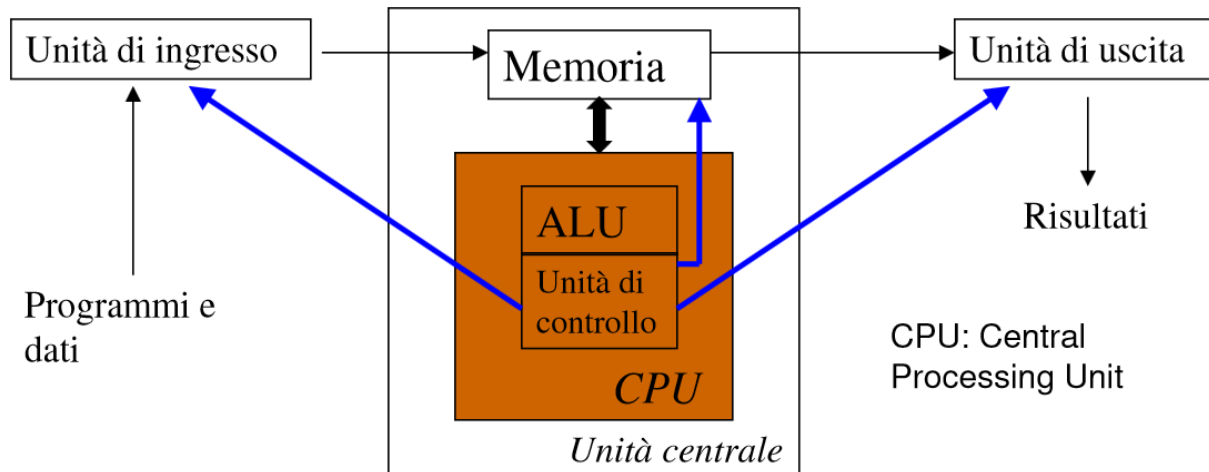


La caratteristica di questa architettura (del 1946), che la differenzia dalle altre, è la capacità di memorizzare dati e istruzioni (codificati opportunamente come sequenze di bit) nello stesso luogo (la memoria di lavoro RAM).

NB Lo schema di von Neumann è stato profondamente influenzato dagli studi di Alan Turing, il quale ideò un modello di macchina ideale, la Macchina di Turing. La storia dei calcolatori verrà descritta dettagliatamente nel relativo capitolo (Cap8).

ARCHITETTURE DEI MODERNI CALCOLATORI

Come abbiamo già analizzato, il modello di von Neumann rimane sempre alla base dell'architettura dei moderni calcolatori. In un computer moderno troviamo una Motherboard dove trovano posto la CPU, la ROM, la RAM, il clock di sistema, le memorie di massa, le interfacce di I/O. Lo sviluppo tecnologico e del software ha permesso la realizzazione di computer sempre più veloci e a basso costo.



NB I **microprocessori** attuali sono dispositivi elettronici in grado di implementare all'interno di un unico circuito integrato le funzioni di un'intera CPU.

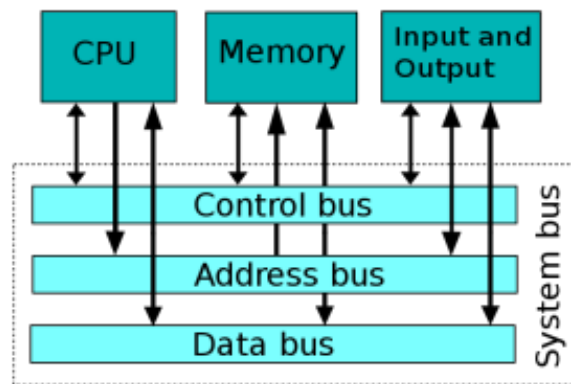
I BUS

La CPU deve essere collegata alle altre componenti del calcolatore alle quali invia segnali di controllo ed in particolare alla memoria centrale con la quale deve avvenire un continuo scambio di segnali binari corrispondenti ad indirizzi di memoria o al contenuto (dati o istruzioni) delle celle di memoria o dei registri. Questo comporta la necessità di collegamenti fisici che vengono chiamati **bus**.

Possiamo distinguere tre differenti tipologie di BUS:

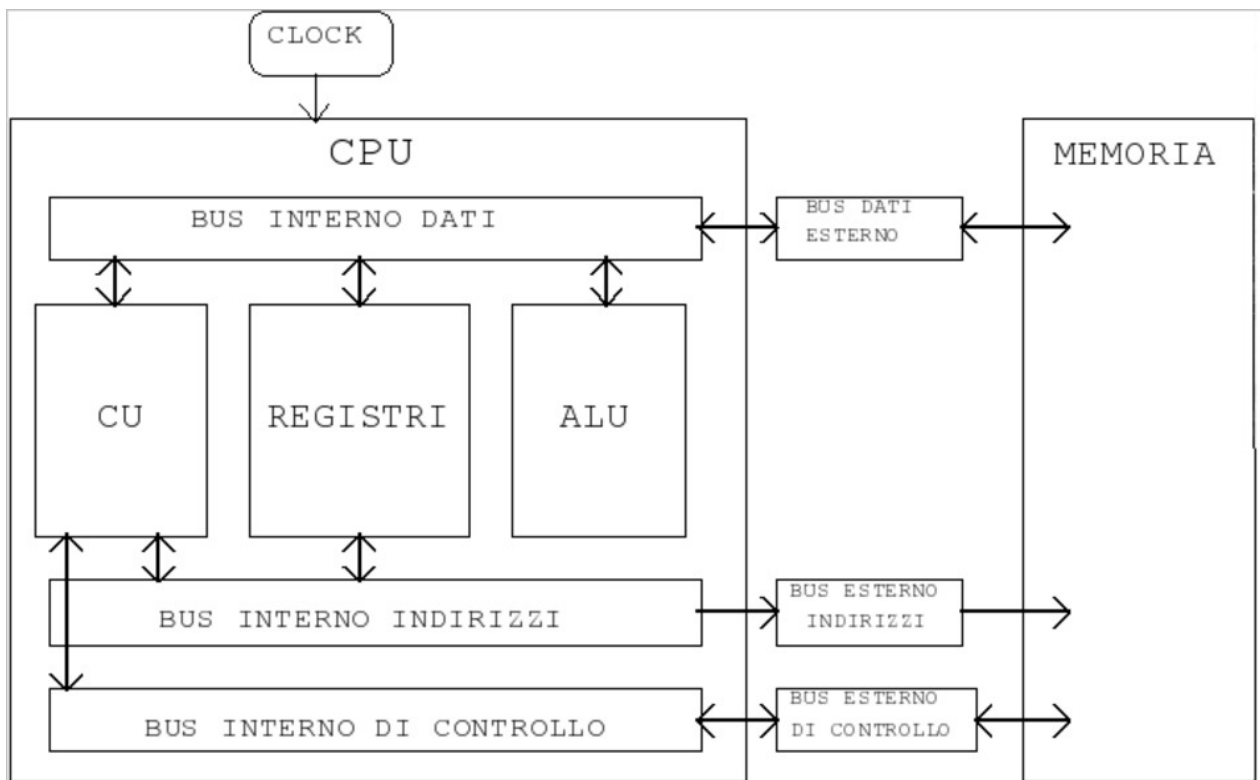
- **Bus Dati** (Data Bus): utilizzato per trasferire i dati (es. fra memoria e CPU, fra CPU e interfacce di I/O).
- **Bus Indirizzi** (Address Bus): che identifica la posizione delle celle di memoria in cui la CPU va a scrivere o leggere.
- **Bus di Controllo** (Control Bus): in cui transitano i segnali di controllo che consentono di selezionare le unità coinvolte in un trasferimento dati (sorgente e destinazione), di definire la direzione dello scambio (scrittura o lettura).

Anche all'interno della CPU sono presenti dei collegamenti che assicurano lo scambio di segnali tra le sue componenti interne; in questo caso si parla di **Bus Interno**.



IL CLOCK

Affinché la CPU possa funzionare correttamente è necessaria la presenza di un dispositivo importante: il **clock**. Il clock è un generatore di impulsi di durata costante emessi uno dopo l'altro ad intervalli di tempo regolari. Lo scopo di questi impulsi è di fornire la base di tempi necessaria per mantenere il sincronismo fra tutti gli elementi interni alla CPU.



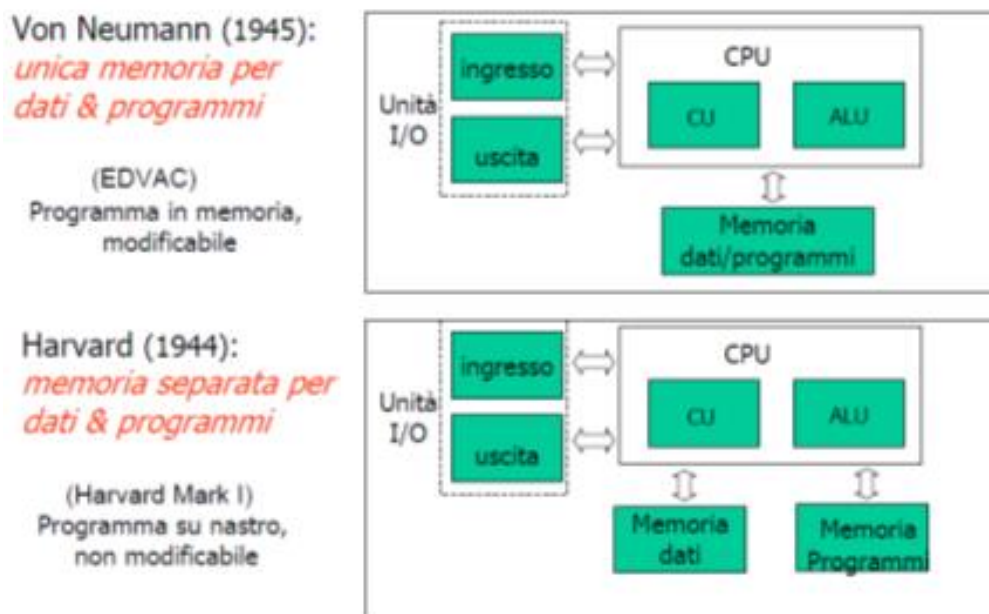
APPROFONDIMENTO – CLASSIFICAZIONE DELLE MACCHINE PROGRAMMABILI

In base all'organizzazione della memoria si possono distinguere due famiglie di macchine programmabili:

- Architetture basate su microprocessore: parliamo di **architettura di von Neumann**, in cui i dati e le istruzioni risiedono nella stessa memoria. Questa è l'architettura utilizzata nella costruzione dei calcolatori basati su microprocessori.
- Architetture basate su microcontrollori: parliamo di **architettura Harvard**, in cui i dati e le istruzioni risiedono in due memorie separate. Questa architettura, utilizzata nei sistemi industriali basati sui microcontrollori, garantisce migliori prestazioni poiché le due memorie possono lavorare in parallelo riducendo i tempi di esecuzione delle operazioni, ma ovviamente è più complessa da gestire. È tipicamente utilizzata nei DSP (Digital Signal Processor, processore di segnale digitale).

Vedi. http://it.wikipedia.org/wiki/Digital_Signal_Processor).

Entrambe le architetture sono comunque basate sui registri generali.



STUDIARE IL FUNZIONAMENTO DI UN COMPUTER

Studiare che cos'è un computer e qual è il suo funzionamento significa, in definitiva, studiare l'architettura del computer stesso.

Il computer sappiamo essere un sistema costituito da sottosistemi (componenti) che interagiscono, collaborano, al fine di produrre un certo comportamento e, quindi, per studiarne l'architettura dobbiamo:

- Individuare ciascun componente del sistema.
- Comprendere i principi generali di funzionamento di ciascun componente.
- Comprendere come i vari componenti interagiscono tra di loro.

La prima decomposizione, che studieremo nel successivo capitolo, è relativa ai seguenti macro-argomenti:

- Hardware.
- Software.