



Università degli Studi di Cagliari
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

ELEMENTI DI INFORMATICA

https://www.unica.it/unica/page/it/gianluca_marcialis

A.A. 2021/2022

Docente: **Gian Luca Marcialis**

ARCHITETTURA DEI CALCOLATORI

Sommario

- Breve storia dell'informatica e dei calcolatori elettronici
- Calcolatori elettronici come esecutori di algoritmi
- Architettura di Von Neumann
 - la memoria centrale
 - l'unità centrale di elaborazione (CPU)
 - i dispositivi di ingresso e uscita
 - il bus di sistema
 - estensioni

Breve storia dell'informatica

- La storia dell'informatica non inizia con quella del suo strumento principale (il calcolatore), nel XX secolo, ma ha radici in discipline molto antiche come l'aritmetica
- Si può considerare la sua evoluzione da tre punti di vista
 - metodi e modelli teorici alla base della disciplina
 - strumenti hardware (calcolatori, reti,...) e software (sistemi operativi, linguaggi di programmazione,...)
 - applicazioni

La preistoria (metodi e modelli teorici)

- Informatica: disciplina dell'elaborazione precisa e rigorosa dell'informazione
- Primi elementi di informatica si trovano in:
 - Euclide, 300 a.C. circa (es.: algoritmo per il calcolo del MCD)
 - Aristotele , 384-322 a.C. (es.: sillogismi, codifica rigorosa di alcuni sistemi di ragionamento umano)
 - XX sec.: assiomatizzazione dell'aritmetica (G. Peano) e definizione di Algebra Booleana (G. Boole)
 - anni '30 (XX sec.): sviluppo della teoria degli algoritmi e della loro esecuzione automatica (Church, Gödel, Turing)

La preistoria (i primi strumenti meccanici)

➤ Primi calcolatori meccanici: XVII sec.

- Pascal (1642): addizione e sottrazione
- Leibniz (1700): le 4 operazioni fondamentali

➤ Nuove idee solo 150 anni più tardi!

- Babbage (1834): “motore analitico” (a vapore), un calcolatore programmabile, capace di eseguire *istruzioni elementari* per risolvere diversi problemi

➤ XX sec.: inizia l'era calcolatori *general purpose*

- uno stesso calcolatore può essere programmato per svolgere compiti diversi (es. elaborazione testo, calcoli scientifici, posta elettronica, ecc.)



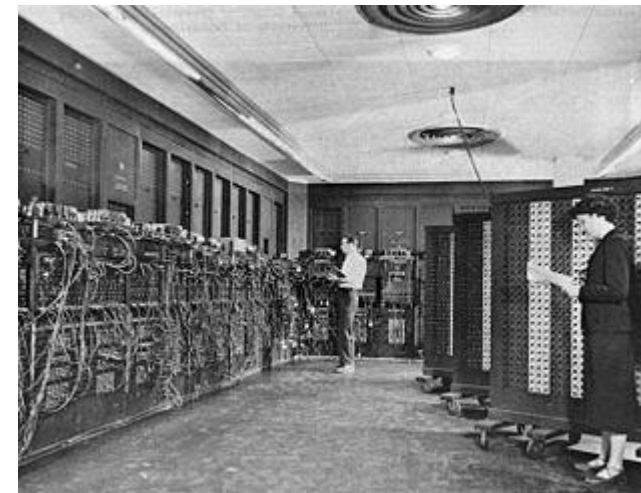
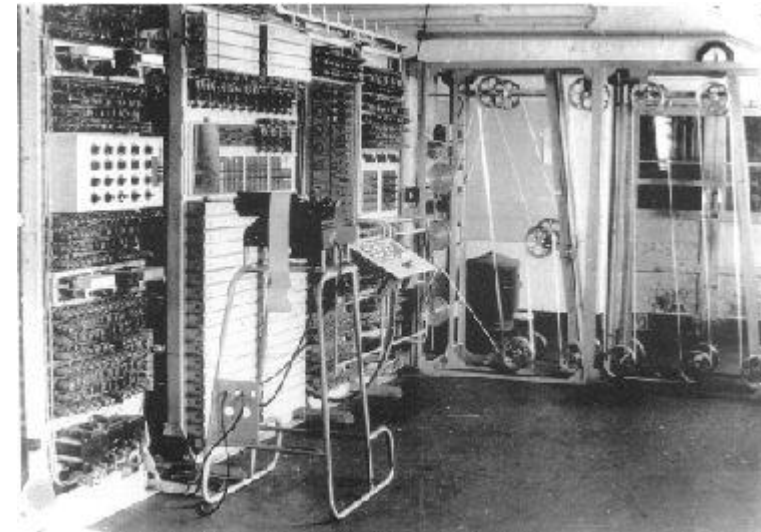
Gli anni '30 - '50: l'era dei Colossi

➤ Anni '30 - '40

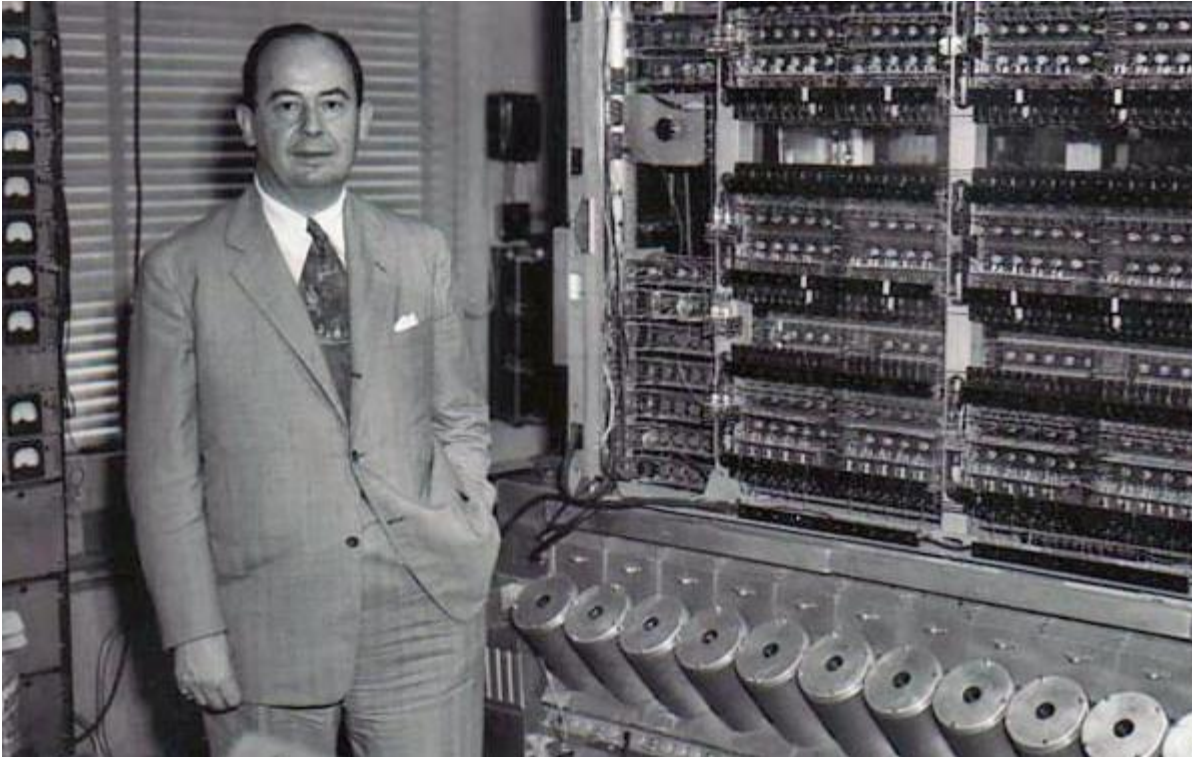
- 1936: primo calcolatore elettromeccanico (funzionante con relé)
- 1943: primo calcolatore elettronico (valvole termoioniche): **il Colosso Mark I, progettato per la decifratura del codice Lorenz**
- 1946: ENIAC - J. Von Neumann per applicazioni militari (calcoli balistici): è considerato il primo calcolatore moderno, benché ancora a programma **cablato** – **sei programmatrici** impostavano i settaggi

➤ Anni '50

- applicazione principale: calcoli numerici per elaborazioni scientifiche
- limitazioni fisiche: tecnologia delle valvole elettroniche
- sviluppo dei linguaggi Assembler e dei primi linguaggi di alto livello



John Von Neumann e l'EDVAC (1949)



János Lajos (John Von) Neumann
(Budapest, 1903-Washington, 1957)

- **Electronic Discrete Variables Automatic Computer** - calcolatore automatico con variabili ad elettronica discreta (binaria)
- Progettato da John Mauchly e J. Presper Eckert
- Il primo calcolatore «programmabile» via software
- Concepito in base all'architettura di Von Neumann

Gli anni '60 e '70: dal salone alla scrivania

➤ Anni '60

- nuovi metodi di progettazione del software (Ingegneria del Software)
- tecnologia dei semiconduttori (minori dimensioni dei calcolatori, maggiore affidabilità)
- sviluppo dei primi Sistemi Operativi e sistemi di gestione di basi di dati

➤ Anni '70

- rapido sviluppo dell'hardware (maggiore potenza di calcolo, riduzione di costi e dimensioni): primi personal computer
- linguaggio C, sistema operativo Unix
- applicazioni diverse da quelle scientifiche



Gli anni '80 e '90: dalla scrivania alla tasca

➤ Anni '80

- strumenti di sviluppo per hardware e software
- elaborazione distribuita
 - interazione tra tecnologia informatica e telecomunicazioni: nascita della **telematica**
- nuove applicazioni: controllo dei processi industriali, calcolatori *embedded* (centraline elettroniche per auto, elettrodomestici ecc.)



➤ Anni '90

- reti di calcolatori, Internet
- rapida obsolescenza dei prodotti hardware e software

➤ Finalmente il 2000...



Calcolatori degli anni 2000



Definizione di algoritmo

- Sequenza **precisa** (comprensibile) di **passi elementari** che consentono di realizzare un compito
 - passi elementari: eseguibili dall'esecutore dell'algoritmo
 - es.: istruzioni di montaggio di un mobile, prelevamento di denaro da un terminale Bancomat, calcolo del massimo comun divisore di due numeri naturali...
- Compito principale di un calcolatore:
 - esecuzione di un algoritmo espresso sotto forma di **programma**
 - programma: sequenza di operazioni elementari (direttamente eseguibili dal calcolatore) su dati codificati in forma binaria

Algoritmi e programmi

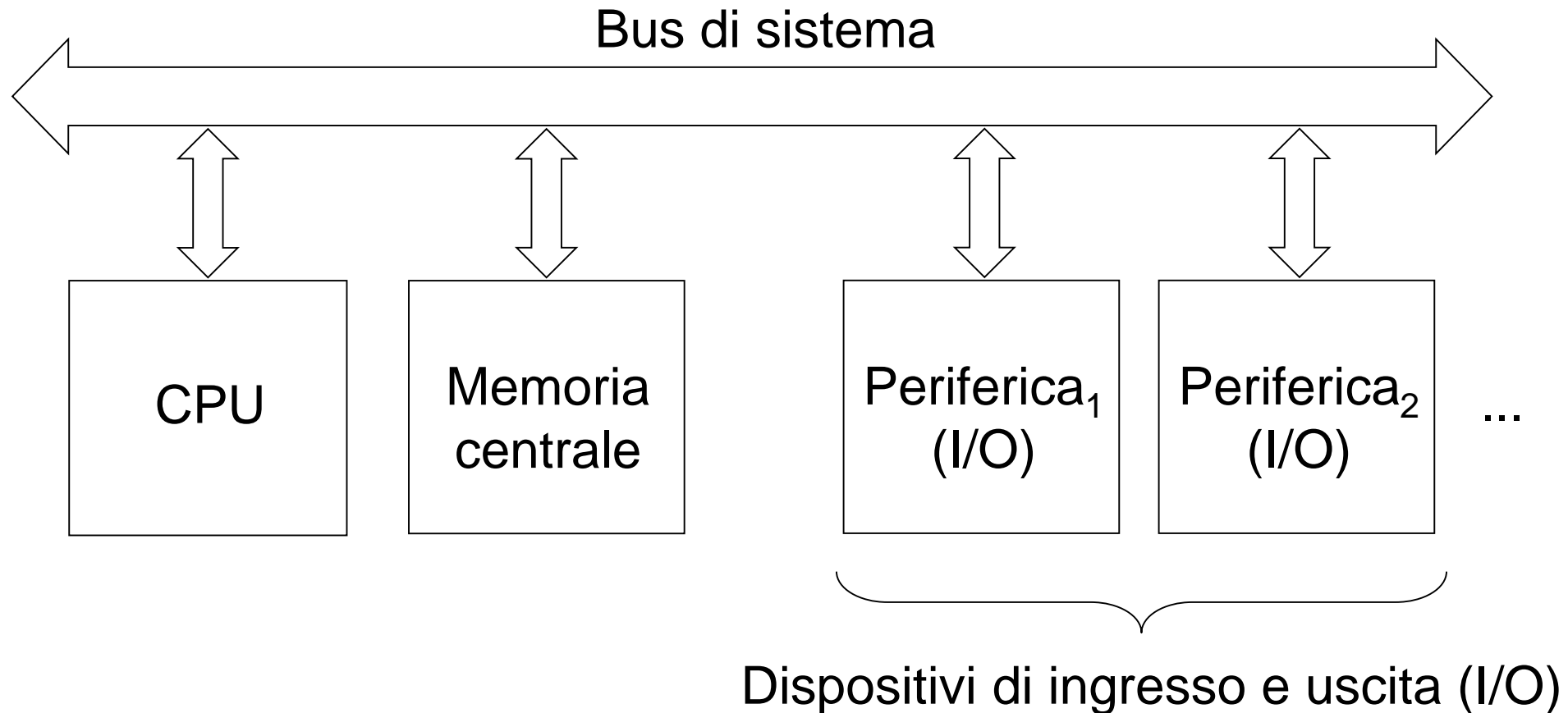
- Ogni calcolatore mette a disposizione un certo numero (finito) di operazioni elementari su dati rappresentati in codifica binaria
- Qualsiasi algoritmo deve essere espresso come sequenza di operazioni elementari effettivamente eseguibili dal calcolatore (**programma**)

es.: molti calcolatori non forniscono l'operazione di estrazione della radice quadrata, ma solo le operazioni di somma e prodotto; l'estrazione della radice quadrata deve essere espressa come sequenza di somme e prodotti

Architettura di un calcolatore

- Con il termine “architettura” di un calcolatore intenderemo **l'insieme delle parti e delle loro interconnessioni che consentono determinate funzionalità “visibili” al programmatore**
 - Es. un calcolatore mette a disposizione un'operazione per fare la somma di due numeri. Questa operazione fa parte dell'architettura del calcolatore e potrà essere usata dal programmatore
- L'architettura può essere vista a vari **livelli di astrazione**
 - Livello puramente “fisico”: unità centrale, tastiera, monitor, disco
 - Livello “logico” (nel senso “non fisico”) o delle istruzioni: architettura di Von Neumann

Architettura di Von Neumann



Componenti dell'architettura di *Von Neumann*

- **Memoria centrale**

contiene i programmi in esecuzione e i dati su cui operano

- **Unità di elaborazione (Central Processing Unit, CPU)**

contiene i dispositivi elettronici in grado di eseguire le istruzioni (operazioni elementari) del programma, e di coordinare il funzionamento dell'intero calcolatore

- **Periferiche**

dispositivi che permettono l'ingresso e l'uscita (I/O) delle informazioni (dati e programmi).
Es.: tastiera, monitor, stampante, ecc.

- **Bus di sistema**

collega i diversi componenti dell'architettura

Schema di funzionamento della macchina di Von Neumann

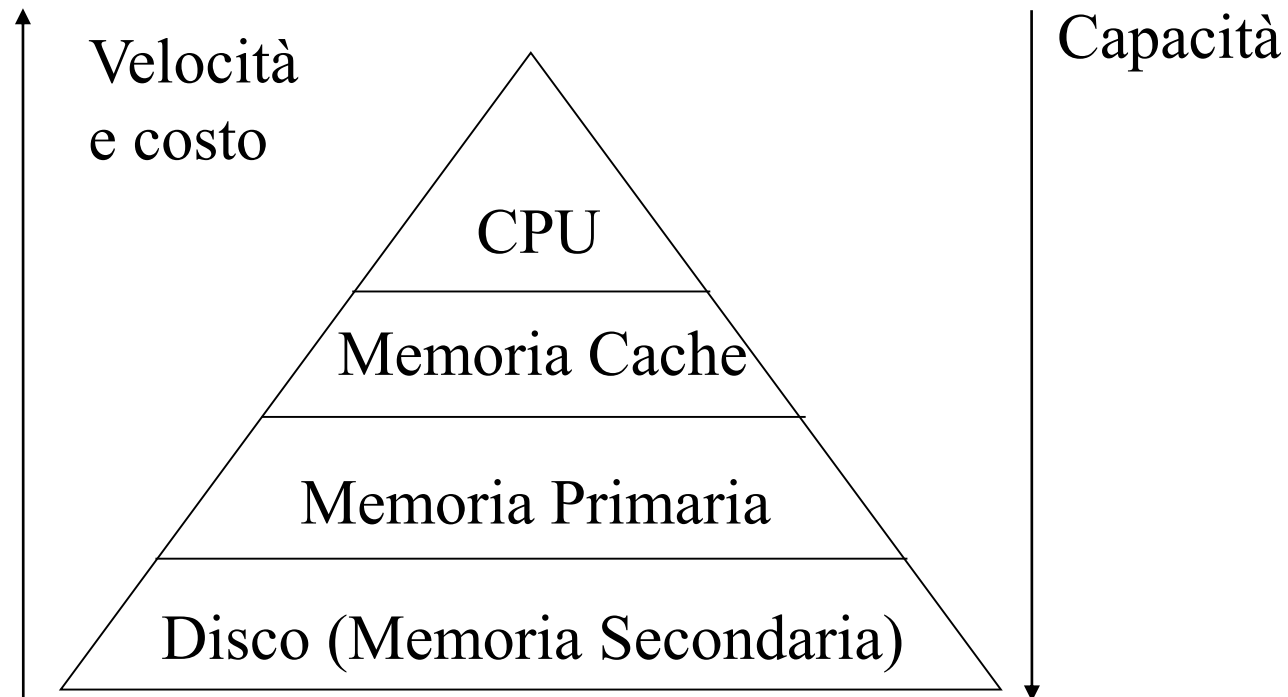
- I programmi sono composti da istruzioni codificate in binario:
 - istruzioni di elaborazione (ad es. operazioni numeriche)
 - istruzioni di trasferimento di dati tra due componenti della macchina
- Il funzionamento della macchina di Von Neumann è un ciclo continuo:
 - la CPU estrae le istruzioni e i dati dalla memoria principale...
 - ...le decodifica (determina l'operazione da eseguire e i gli operandi)...
 - ...e le esegue

Il modulo di memoria

➤ Quattro livelli:

- Registri, capaci di memorizzare parole singole
 - Tipicamente dati “in transito” relativi ad un particolare dato o istruzione in esecuzione
- Memoria cache
 - Area di memoria ad accesso rapido finalizzata a contenere istruzioni e dati usati più frequentemente
- Memoria centrale o primaria
 - Contiene istruzioni e dati del programma in esecuzione
- Memoria secondaria
 - Fa parte dei moduli periferici

Gerarchie di memoria



- Purtroppo, le esigenze di basso costo, alta capacità e velocità sono in contrasto fra loro
- L'uso di gerarchie di memoria consente una maggiore velocità media di accesso ai dati e alle istruzioni

La memoria centrale

- Conserva le istruzioni e i dati dei programmi *in esecuzione*
- Dati memorizzati in *bit* (*binary digit*): ogni unità elementare di memoria contiene un'informazione di tipo *binario*: 1 oppure 0
 - realizzazione mediante dispositivi *fisici a due stati* (transistor a semiconduttori, due livelli di tensione)
- E' organizzata come sequenza di *celle* o *parole*:
 - **Parola**: insieme di più byte (una potenza di 2: tipicamente 1, 2, 4, 8)
 - **Byte**: insieme di 8 bit
- Ogni cella è individuata da un indirizzo:
 - numero che indica la posizione relativa rispetto alla prima cella, che ha indirizzo 0
 - Parallelo tra:
 - Indirizzo == numero di collocazione in una biblioteca
 - Cella == scaffale corrispondente alla collocazione
 - Contenuto (Dato) == libro

Struttura della memoria centrale

➤ Può essere pensata come una tabella:

- ogni riga corrisponde ad una “parola”, multipli di byte
- il numero di colonne è pari al numero di bit componenti la “word”

Es.: memoria con parole da un byte (8 bit)

								Indirizzo delle celle
								000 (0)
								001 (1)
								010 (2)
								011 (3)
								100 (4)
								...
bit	7	6	5	4	3	2	1	0

Capacità della memoria

- Con un registro indirizzi di k bit, si possono indirizzare 2^k parole di memoria: gli indirizzi vanno da 0 a 2^k-1
es.: $k=10$: $2^{10} = 1024$ celle (una kilo-parola)
 $k=20$: $2^{20} = 1048576$ celle (una mega-parola)
- **La capacità della memoria si misura sempre in byte** (non si esprime in “parole”, che, a seconda della memoria, possono avere dimensioni differenti)
es.: $k=10$, parole di 2 byte: $2 \cdot 2^{10} = 2^{11} = 2048$ byte (2 kilo-byte)
 $k=20$, parole di 4 byte: $4 \cdot 2^{20} = 2^2 \cdot 2^{20} = 2^{22} = 4194304$ byte (4 mega-byte)

Caratteristiche della memoria centrale

- Velocità di accesso elevata: decine di ns (10^{-9} sec)
- Tempo di accesso indipendente dalla posizione del dato nella memoria
 - RAM: Random Access Memory
 - si contrappongono alle memorie ad accesso sequenziale, come i nastri magnetici
- Dimensione limitata: oggi alcuni GB
 - 2^{30} byte = 1073741824 byte $\cong 10^9$ byte (un giga-byte)
- L'informazione viene persa se si interrompe l'alimentazione elettrica (*volatilità*)

Memorie RAM e ROM

- Un valore può essere memorizzato/recuperato dalla memoria specificando l'indirizzo
 - il tempo di *accesso* è indipendente dall'indirizzo (ecco perché il nome di RAM)
- Memorie ROM (*Read Only Memory*)
 - sono memorie di sola lettura, pre-impostate dal fabbricante
 - sono di fatto memorie RAM (ROM e RAM non sono termini contrapposti!) **ma** non sono volatili
 - tipicamente contengono le istruzioni per l'avvio del calcolatore (firmware)
 - sono usate anche in auto, elettrodomestici, ecc.

Quesiti

- In un modulo di memoria le parole sono indirizzate da 32 bit. Quante parole sono indirizzabili?
- L'indirizzo $2^{64}+1$ appartiene ad una parola presente in memoria?
- Si supponga che ciascuna parola sia di 64 bit. Considerando l'indirizzamento del punto precedente, esprimere la dimensione della memoria in GB.
- Si consideri una memoria RAM costituita da 1024 parole. Se il tempo di accesso alla parola di indirizzo 0 è 40 ns, si indichi il tempo di accesso complessivo alla sequenza di indirizzi: 5, 45, 1018, 1, 0, 256.

Il processore

- Il Processore (CPU, *Central Processing Unit*) contiene tre elementi funzionali:
 - **Unità di controllo:**
 - *recupera le istruzioni* dalla memoria centrale
 - *decodifica* le istruzioni
 - *preleva i dati* necessari e li trasferisce alle unità coinvolte nell'esecuzione
 - *invia i segnali di controllo* alle unità coinvolte nell'esecuzione
 - **Unità Aritmetico-Logica (ALU, *Arithmetic and Logic Unit*)**
 - Modulo capace di eseguire un certo insieme di operazioni aritmetiche e logiche
 - **Orologio (clock) di sistema**
 - sincronizza le operazioni di tutto il sistema
 - la frequenza di clock vincola il numero di istruzioni che possono essere eseguite dal calcolatore

Unità di memorizzazione secondaria

- Servono per archiviare in modo *permanente* programmi e dati (su supporti non volatili)
 - dischi magnetici, ottici (CD-ROM) e magneto-ottici
 - nastri magnetici
- Rispetto alla memoria principale: *elevata capacità* di memorizzazione, *bassa velocità* di accesso, *basso costo*
 - l'accesso avviene per mezzo di *organi meccanici*
 - tempo di accesso a un disco dell'ordine dei ms (10^{-3} sec.), tempo d'accesso alla memoria centrale dell'ordine dei ns! (10^{-9} sec.)
 - il tempo d'accesso varia a seconda della posizione del dato nel dispositivo di memorizzazione: non sono RAM!

Interfacciamento di unità periferiche

- Le periferiche hanno caratteristiche molto diverse tra loro
 - velocità di trasferimento
 - es.: un monitor richiede una quantità di dati molto maggiore rispetto ad una stampante, nell'unità di tempo
 - operazioni di I/O eseguibili
- Il trasferimento di dati e istruzioni fra CPU e periferiche avviene per mezzo di elementi circuitali detti *interfacce*
 - fanno parte del calcolatore, non della periferica
 - contengono *registri* (insiemi di bit per memorizzazione temporanea di informazioni) per inviare comandi alla periferica, scambiare dati e controllare lo stato della periferica

Interfacce e connettori

➤ Interfacce interne

- Elementi circuitali che destinati a contenere i dati da inviare/ricevere (buffer)
- Registri di comando e registri di controllo (stato della periferica)
- Presenti sia lato ricevente che lato mittente

➤ Connettori tra i due estremi del calcolatore ricevente/mittente

- Permettono il flusso di informazione

➤ La connessione può avvenire anche attraverso mezzo non guidato (etere)

➤ Es. Bluetooth, USB...



Il bus di sistema

- Insieme di connessioni elementari (linee) lungo le quali viene trasferita l'informazione
 - ogni linea trasporta un bit (bus a 32 bit == bus a 32 linee)
- Collega il processore, la memoria e le interfacce di I/O
- In ogni istante di tempo (*intervallo di clock*) il bus è dedicato a collegare due unità: una trasmette, l'altra riceve
- Tre insiemi di linee
 - Dati
 - Indirizzi
 - Controllo

Il bus di sistema (cont.)

- **Bus dati:** l'insieme di linee impiegate per trasmettere i dati tra due unità; il numero di linee è di norma pari al numero di bit di una parola di memoria (ad es. 32, 64 bit)
- **Bus indirizzi:** l'insieme di linee impiegate per trasmettere l'indirizzo del dato che si deve trasferire (ad es. l'indirizzo della cella di memoria che contiene l'istruzione da trasferire al processore, ecc.); l'ampiezza è pari a quella del registro indirizzi del processore
- **Bus controllo:** l'insieme di linee impiegate per trasmettere i codici di controllo della trasmissione (ad es. i segnali di controllo della CPU per l'esecuzione delle operazioni della ALU, ecc.)

Estensioni dell'architettura di Von Neumann

- I miglioramenti tecnologici hanno permesso uno sfruttamento delle risorse di sistema (CPU e memoria), ma nello stesso tempo si sono sviluppati calcolatori dotati di istruzioni sempre più «espressive»
- Ciò ha richiesto l'introduzione di meccanismi di ottimizzazione ulteriori:
 - «Parallelismo» tra istruzioni
 - Architetture multi-processore
 - Miglioramento della gestione del ciclo di esecuzione delle istruzioni (carica-esegui-memorizza)
 - Ulteriori livelli nella gerarchia di memoria

Per saperne di più...

- Architettura dei calcolatori
 - Ceri, et al., Capitolo 2
- Estensioni dell'architettura di Von Neumann: architetture CISC e RISC
 - Ceri, et al., Capitolo 12