



Università degli Studi di Cagliari
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

ELEMENTI DI INFORMATICA

<http://people.unica.it/gianlucamarcialis/>

A.A. 2020/2021

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.)



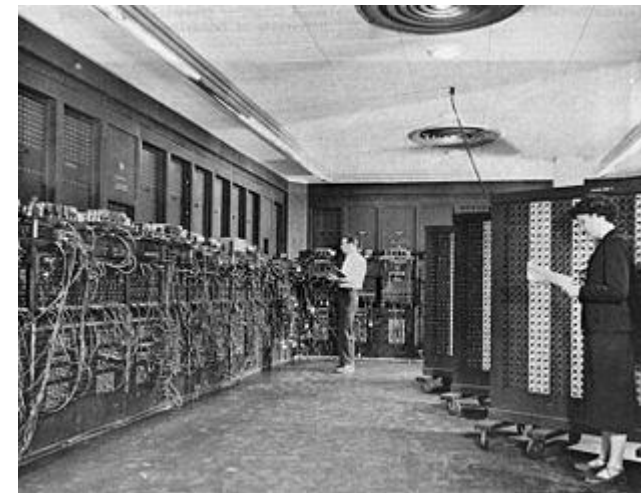
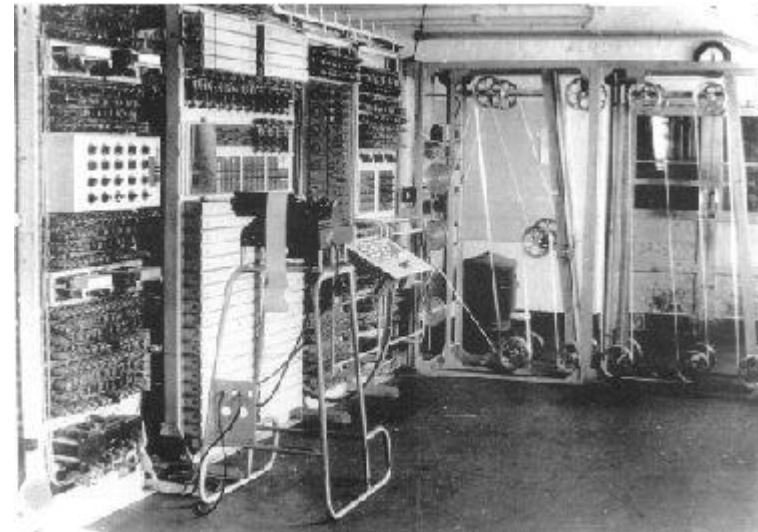
Gli anni '30 - '50: l'era dei Colossi

➤ 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

➤ 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



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...



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, prelievamento 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

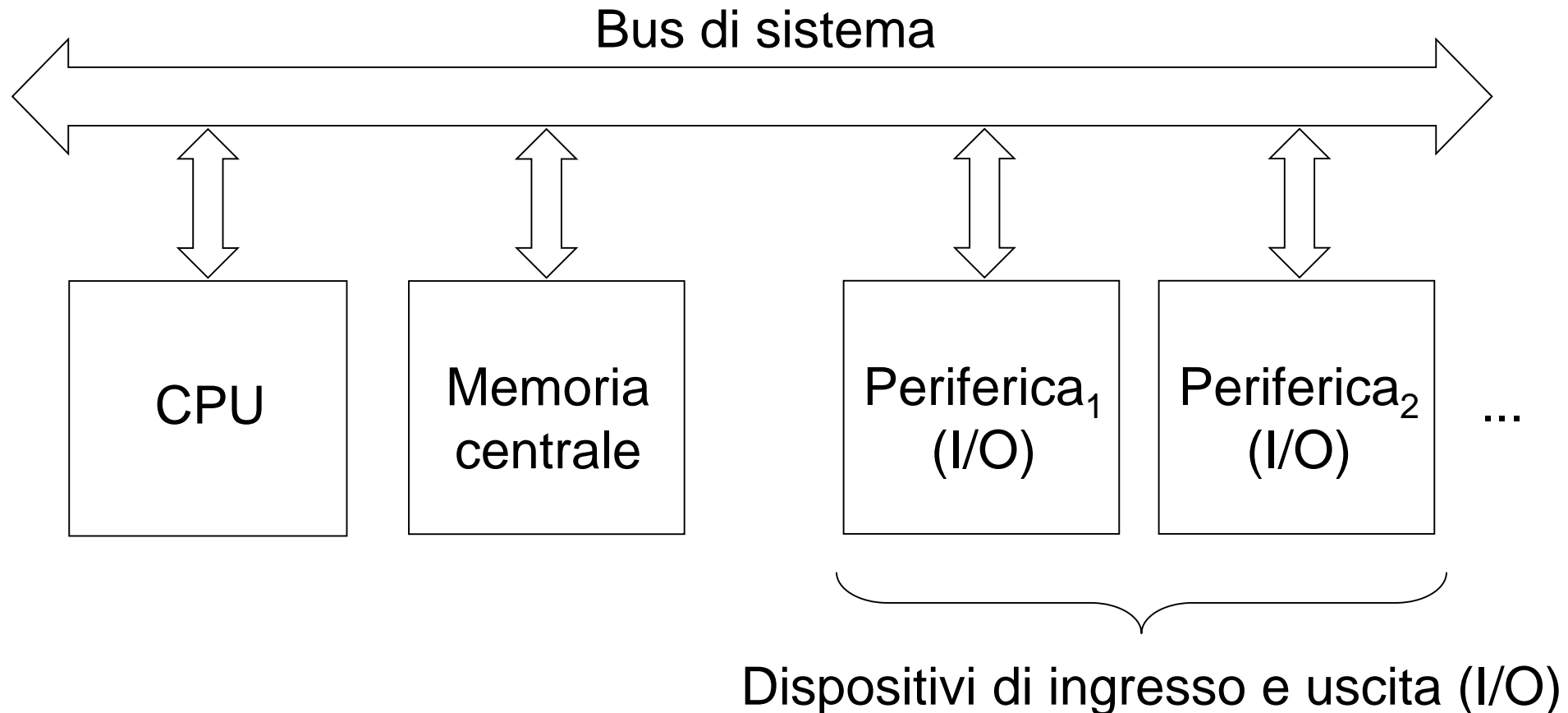
- Ogni calcolatore mette a disposizione un certo numero (finito) di operazioni elementari su dati rappresentati in codifica binaria
- Qualsiasi algoritmo deve essere espresso come sequenza di operazioni elementari effettivamente eseguibili dal calcolatore (**programma**)

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

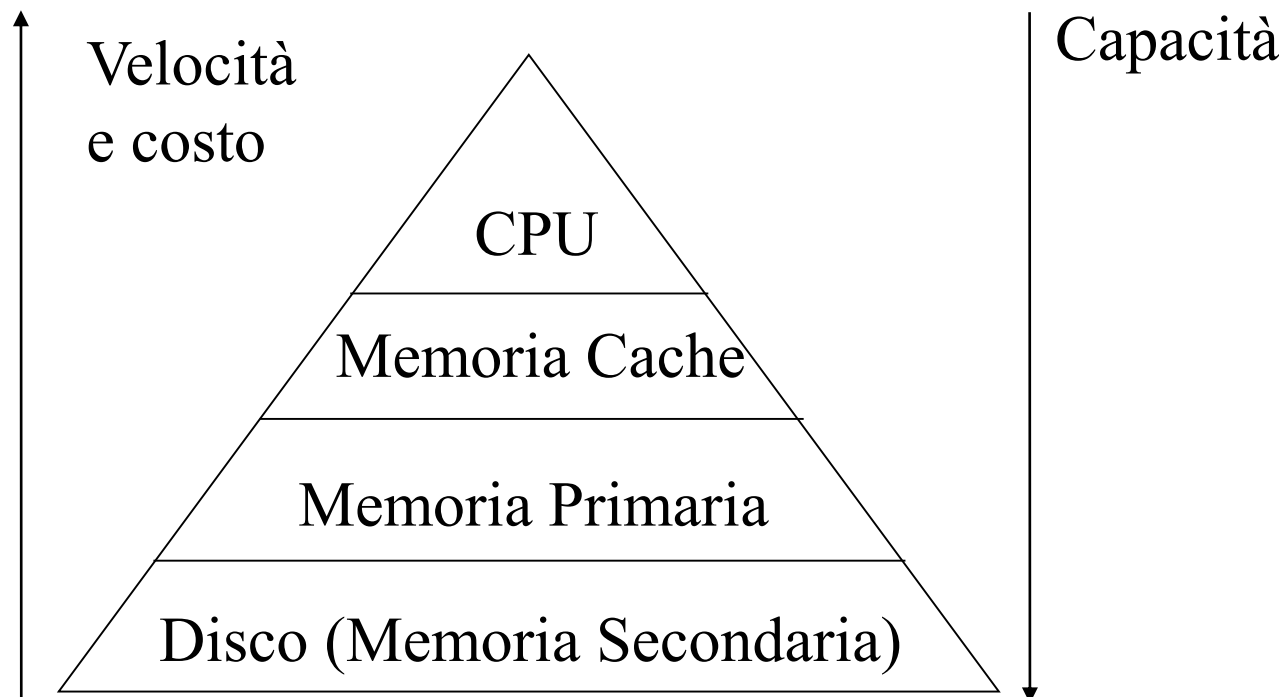
- I programmi sono composti da istruzioni codificate in binario:
 - istruzioni di elaborazione (ad es. operazioni numeriche)
 - istruzioni di trasferimento di dati tra due componenti della macchina
- Il funzionamento della macchina di Von Neumann è un ciclo continuo:
 - la CPU estrae le istruzioni e 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

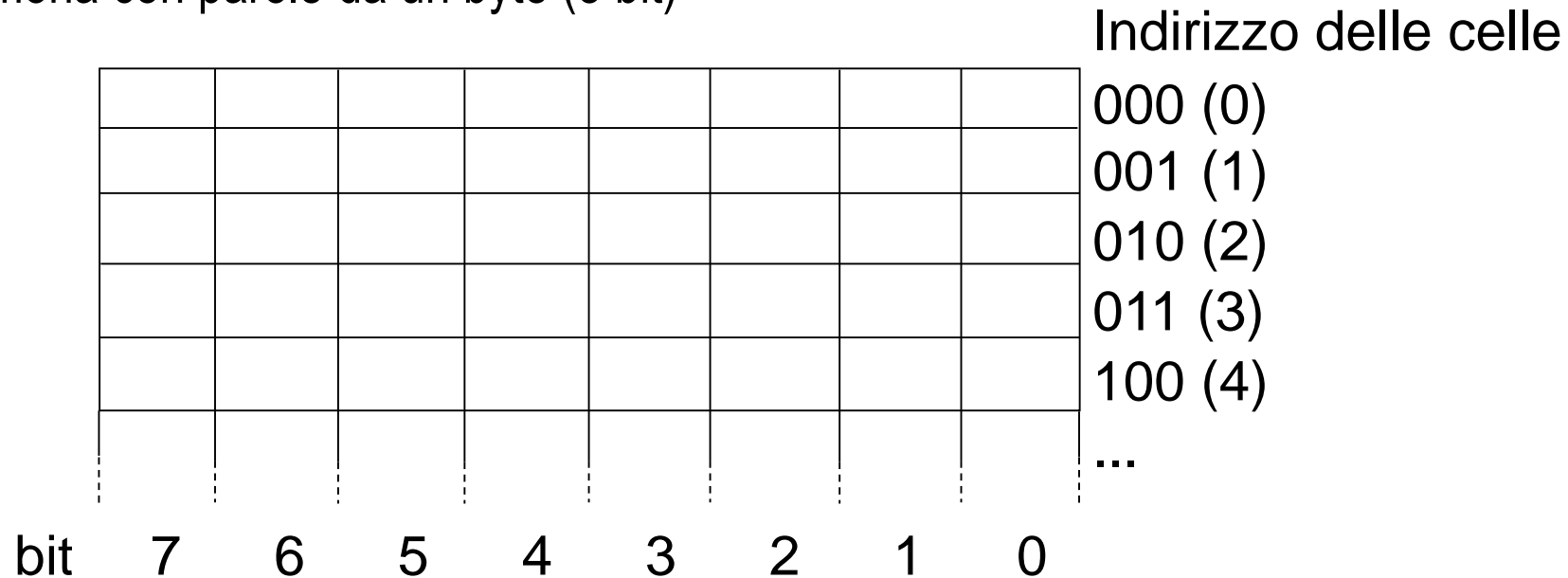
- Conserva le istruzioni e i dati dei programmi *in esecuzione*
- Dati memorizzati in *bit* (*binary digit*): ogni unità elementare di memoria contiene un'informazione di tipo *binario*: 1 oppure 0
 - realizzazione mediante dispositivi *fisici a due stati* (transistor a semiconduttori, due livelli di 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)



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 interne

EIDE o SCSI (collegamento con “flat cable”)

Hard Disk / CDROM / DVD

Connettore floppy (“flat cable”)

Floppy Disk

Slot PCI (Peripheral Component Interconnect)

Schede varie (rete, audio, modem interno, grafica)

Slot AGP (Accelerated Graphic Port)

Scheda grafica 3D

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