

Lezione 3: Architettura del calcolatore

Architettura di Von Neumann
CPU e Memoria centrale
Ciclo di esecuzione delle istruzioni

Introduzione all'Informatica - corso G (L. Pontieri)

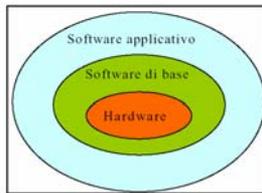
Architettura del calcolatore

- ◆ Il calcolatore è:
 - uno strumento programmabile per rappresentare, memorizzare ed elaborare informazioni
 - un **sistema**, costituito da molte componenti
- ◆ Studiare l'architettura di un sistema significa:
 - individuare ciascun componente del sistema
 - comprendere i principi generali di funzionamento di ciascun componente
 - comprendere come le varie componenti interagiscono

Introduzione all'Informatica - corso G (L. Pontieri)

Architettura del calcolatore

- ◆ La prima decomposizione di un calcolatore è relativa a due macro-componenti:
 - Hardware
 - Software



Introduzione all'Informatica - corso G (L. Pontieri)

Hardware: architettura

- ◆ L'architettura dell'hardware di un calcolatore reale è molto complessa
- ◆ La **macchina di Von Neumann** è un modello semplificato dei calcolatori moderni
 - Von Neumann progettò, nel 1945, il primo calcolatore con programmi memorizzabili anziché codificati mediante cavi e interruttori

Introduzione all'Informatica - corso G (L. Pontieri)

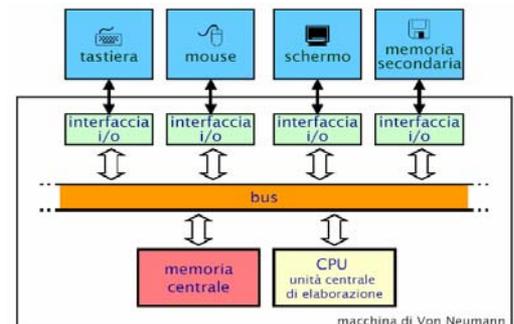
Macchina di Von Neumann

E' composta da 4 tipi di componenti funzionali:

- unità centrale di elaborazione (CPU)
 - esegue istruzioni per l'elaborazione dei dati
 - svolge anche funzioni di controllo
- memoria centrale
 - memorizza e fornisce l'accesso a dati e programmi in esecuzione
- interfacce di ingresso e uscita
 - componenti di collegamento con le periferiche del calcolatore
- bus
 - svolge funzioni di trasferimento di dati e di informazioni di controllo tra le varie componenti funzionali

Introduzione all'Informatica - corso G (L. Pontieri)

Macchina di Von Neumann



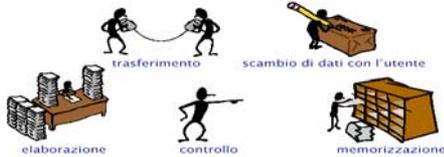
Introduzione all'Informatica - corso G (L. Pontieri)

macchina di Von Neumann

Macchina di Von Neumann

Il funzionamento di un calcolatore è descrivibile in termini di poche **componenti** (macro-unità) **funzionali**

- ogni componente è specializzata nello svolgimento di una tipologia omogenea di funzionalità
- eccezione:** l'unità centrale di elaborazione svolge sia funzionalità di elaborazione sia di controllo



Elaborazione

- Le istruzioni del linguaggio macchina corrispondono ad operazioni elementari di elaborazione
 - operazioni aritmetiche
 - operazioni relazionali (confronto tra dati)
 - operazioni su caratteri e valori di verità
 - altre operazioni numeriche
- Un calcolatore sa svolgere poche tipologie di operazioni elementari ma in modo molto efficiente
 - un calcolatore può eseguire decine o centinaia di milioni di istruzioni del linguaggio macchina al secondo
- L'elaborazione è svolta dall'**unità aritmetico-logica**, che è un componente dell'unità centrale di elaborazione

Memorizzazione

- Un calcolatore memorizza
 - i dati, che rappresentano informazioni di interesse
 - i programmi per l'elaborazione dei dati
- Unità responsabile della memorizzazione: **memoria**
 - una unità di memoria è organizzata in celle
 - a ciascuna cella è associato un indirizzo, che la identifica
 - ciascuna cella è in grado di memorizzare un singolo dato
- Un'unità di memoria fornisce due sole operazioni
 - memorizzazione di un valore in una cella (**scrittura**)
 - accesso al valore memorizzato in una cella (**lettura**)

Trasferimento

- Obiettivo: permettere lo scambio di informazioni tra le varie componenti funzionali del calcolatore
 - trasferimento dei dati e delle informazioni di controllo
- Due possibili soluzioni
 - collegare ciascun componente con ogni altro componente
 - collegare tutti i componenti a un unico canale (**bus**)
- L'utilizzo di un bus favorisce la modularità e l'espandibilità del calcolatore

Controllo

- Il coordinamento tra le varie parti del calcolatore è svolto dall'**unità di controllo**
 - è un componente dell'unità centrale di elaborazione
 - ogni componente dal calcolatore esegue solo le azioni che gli vengono richieste dall'unità di controllo
- il controllo consiste nel coordinamento dell'esecuzione temporale delle operazioni
 - sia internamente all'unità di elaborazione sia negli altri elementi funzionali
 - il controllo avviene in modo sincrono rispetto alla scansione temporale imposta dall'orologio di sistema (**clock**)

Unità centrale di elaborazione

- L'**unità centrale di elaborazione** (CPU) o **processore** presiede all'esecuzione di un programma
 - il programma è memorizzato in memoria centrale come sequenza di istruzioni del linguaggio macchina
- La CPU è composta da
 - unità di controllo
 - unità aritmetico-logica

Periferiche e interfacce di ingresso-uscita (I/O)

- ◆ Un calcolatore può essere collegato a vari dispositivi di ingresso e/o uscita (**periferiche**)
 - esempi: tastiera, mouse, schermo, stampanti, modem
 - anche le memorie di massa (es., unità disco e lettore di CD-ROM) sono considerate periferiche
- ◆ Nella macchina di Von Neumann, le periferiche non fanno parte del calcolatore
 - ogni periferica è controllata con un'opportuna **interfaccia**
 - una interfaccia ha il compito di tradurre i segnali interni del calcolatore in un formato comprensibile alla periferica stessa, e viceversa

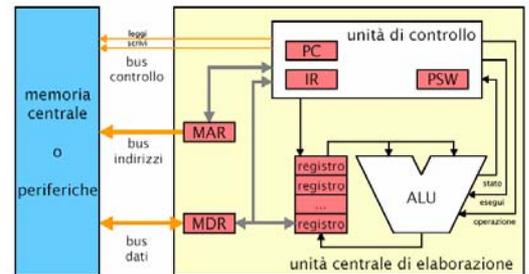
Componenti e funzionamento del calcolatore

CPU
Memoria centrale

Unità centrale di elaborazione

- ◆ L'unità centrale di elaborazione è realizzata fisicamente sotto forma di **microprocessore**
 - i microprocessori sono dispositivi elettronici molto complessi
 - Es: un Pentium II è composto da oltre 7 milioni di transistor in un singolo circuito integrato
- ◆ L'unità centrale di elaborazione è costituita da
 - Unità di controllo
 - Unità Aritmetico-Logica
 - Registri

Struttura del microprocessore



Registri

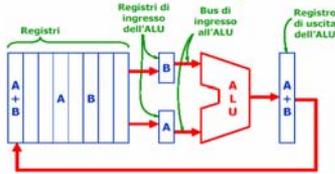
- ◆ Un microprocessore ha un numero limitato di celle di memoria (registri) con scopi specifici:
 - **PC**: contatore delle istruzioni (program counter)
 - contiene l'indirizzo della prossima istruzione da eseguire
 - **IR**: registro delle istruzioni (instruction register)
 - contiene l'istruzione che deve essere eseguita
 - **PSW**: parola di stato del processore
 - contiene informazioni, opportunamente codificate, sull'esito dell'ultima istruzione che è stata eseguita

Registri

- **MAR**: registro indirizzi della memoria
 - indirizzo della cella di memoria che deve essere acceduta o memorizzata
- **MDR**: registro dati della memoria
 - dato che è stato acceduto o che deve essere memorizzato
- **registri generali**
 - per memorizzare gli operandi ed il risultato di una operazione

Unità Aritmetico-Logica

- ◆ L'**Unità Aritmetico-Logica (ALU)** è costituita da un insieme di circuiti in grado di svolgere le operazioni di tipo aritmetico e logico
- ◆ La ALU legge i valori presenti in alcuni registri, esegue le operazioni e memorizza il risultato in un altro registro



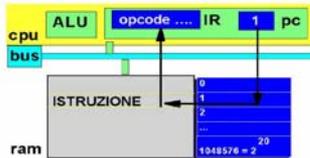
Unità di controllo: ciclo di esecuzione delle istruzioni

- ◆ L'unità di controllo esegue un'istruzione mediante le tre seguenti operazioni di base:
 - **Fetch** (lettura)
 - **Decode** (decodifica)
 - **Execute** (esecuzione)
- ◆ Un programma è eseguito applicando ad ogni istruzione la sequenza fetch-decode-execute
 - *ciclo di esecuzione dell'istruzione o ciclo macchina o ciclo fetch-decode-execute*

Ciclo fetch-decode-execute

1) FETCH:

- si accede alla prossima istruzione, riferita dal registro contatore dell'istruzione (PC)
- si porta tale istruzione dalla memoria centrale al Registro Istruzioni (IR)



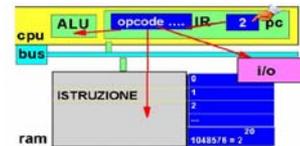
Ciclo fetch-decode-execute

2) DECODE: decodifica dell'istruzione

- si individua il tipo dell'operazione e gli operandi (dati) usati
- si trasferiscono i dati nei registri opportuni

3) EXECUTE: esecuzione dell'istruzione

- si incrementa il registro contatore dell'istruzione (PC)
- ciascuna azione viene richiesta al componente opportuno



Istruzioni del linguaggio macchina

- ◆ Istruzioni per l'**elaborazione dei dati**
 - aritmetiche
 - logiche (AND, OR, NOT)
 - relazionali (maggiore, minore, uguale, ...)
- ◆ Istruzioni per il **controllo del flusso** di esecuzione
 - sequenza
 - selezione
 - ciclo
 - salto (*Jump*) ad una data istruzione
- ◆ Istruzioni per il **trasferimento** di informazioni
 - dati ed istruzioni fra CPU e memoria
 - dati fra CPU e dispositivi di I/O (tramite interfacce)

Clock

- ◆ L'orologio interno (**clock**) del microprocessore emette un segnale di sincronizzazione per tutto il sistema
 - si misura in cicli/secondo [Hz]
 - 400 MHz = $400 \times 10^6 \text{ Hz} = 4 \times 10^8 \text{ Hz}$
 - ⇒ ciclo è eseguito in $2.5 \times 10^{-9} \text{ s} = 2.5 \text{ ns}$
- ◆ Ad ogni impulso di clock si esegue un ciclo macchina
 - la velocità di un microprocessore dipende dalla frequenza del suo clock, ma non solo poiché l'esecuzione di un'istruzione può richiedere più cicli

Caratteristiche dei microprocessori

- ◆ Repertorio di istruzioni
 - L'insieme delle istruzioni che costituiscono il linguaggio macchina del processore
- ◆ Frequenza di clock
- ◆ Ampiezza del bus
 - numero di bit nel bus interno del processore
- ◆ Co-processori
 - processori specializzati per operazioni complesse
 - (es: co-processore matematico)
- ◆ Memoria cache
 - memoria veloce interna al processore, che consente di accedere più velocemente ai dati da elaborare

Evoluzione dei microprocessori

CPU	Anno	Frequenza (MHz)	Dimensione registri / bus dati	Numero di transistor
8086	1978	4.77 — 12	8 / 16	29 000
80286	1982	8 — 16	16 / 16	134 000
80386	1986	16 — 33	32 / 32	275 000
80386 SX	1988	16 — 33	32 / 16	275 000
80486	1989	33 — 50	32 / 32	1 200 000
Pentium	1993	60 — 200	32 / 64	3 100 000
Pentium II	1997	233 — 400	32 / 64	7 500 000
Pentium III	1999	450 — 1133	32 / 64	24 000 000
Pentium 4	2000	1600 — 2000	32 / 64	42 000 000

Memoria centrale

- ◆ La **memoria centrale** (o **principale**) è la componente in cui si immagazzinano e da cui si accedono dati e programmi
- ◆ È l'unico tipo di memoria che può essere acceduto direttamente dal processore
 - è costituita da **celle** (o **locazioni**)
 - ogni cella può contenere una quantità fissata di memoria (numero di bit), detta **parola**

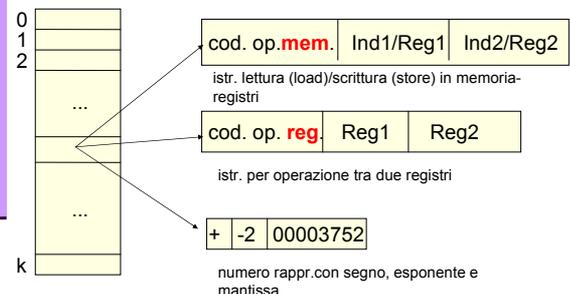
Memoria centrale

- ◆ Ogni cella è caratterizzata da
 - **indirizzo**, un numero che identifica la cella e ne consente l'accesso
 - **valore**, la sequenza di bit memorizzata in essa
- ◆ La memoria fornisce le operazioni di:
 - **lettura**: consultazione del valore di una cella con un dato indirizzo
 - **scrittura**: modifica del valore di una cella con un dato indirizzo

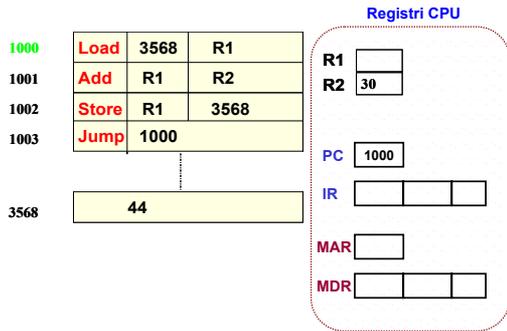
Memoria centrale

- ◆ Le operazioni avvengono sotto il controllo della CPU
 - La CPU seleziona una particolare cella di memoria ponendone l'indirizzo nel **Registro Indirizzi (MAR)**
- ◆ Se il Registro Indirizzi (MAR) è costituito da N bit, si possono indirizzare 2^N celle di memoria, da 0 a $2^N - 1$
 - Nei PC attuali il MAR è almeno di 32 bit
- ◆ Operazione di **lettura**:
 - copia nel Registro Dati (MDR) il contenuto della cella di memoria indirizzata dal Registro Indirizzi (MAR)
- ◆ Operazione di **scrittura (store)**
 - copia il contenuto del Registro Dati (MDR) nella cella di memoria indirizzata dal Registro Indirizzi (MAR)

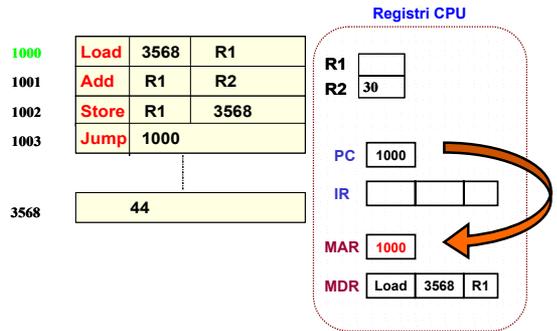
Memoria centrale



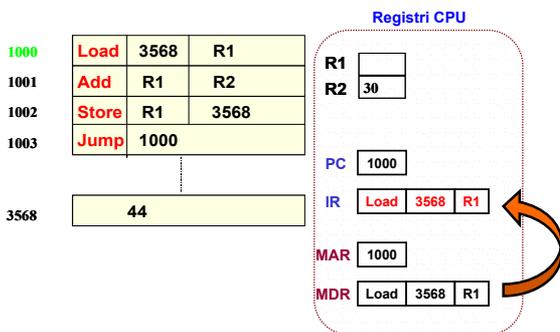
Esempio di esecuzione di un programma in linguaggio macchina



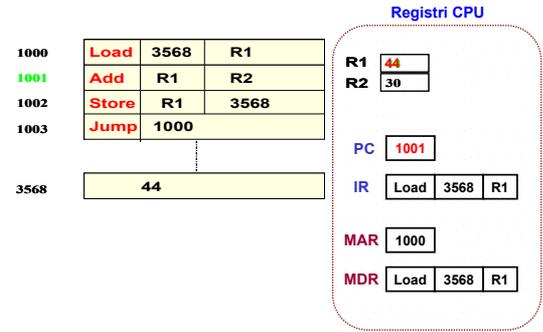
Esecuzione istruzione 1000: fetch



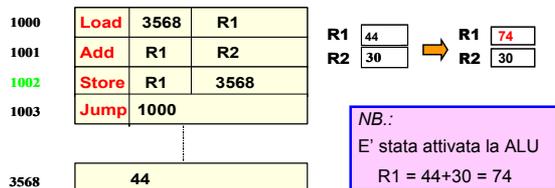
Esecuzione istruzione 1000 (2): fetch



Esecuzione istruzione 1000 (3): decode + execute



Esecuzione istruzione 1001



Esecuzione istruzione 1002



Esecuzione istruzione 1003

1000	Load	3568	R1
1001	Add	R1	R2
1002	Store	R1	3568
1003	Jump	1000	

R1	74
R2	30

