

Introduzione all'Informatica

Giuseppe Manco

Architettura del Calcolatore

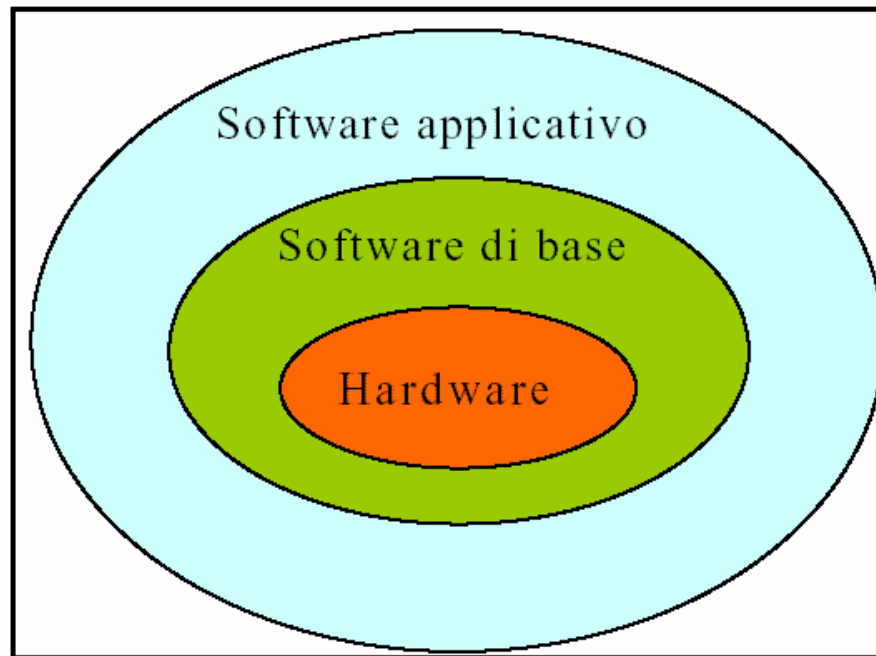
Lezione 3
17 Ottobre 2003

Architettura del calcolatore

- ◆ Il calcolatore è uno strumento programmabile per la rappresentazione, la memorizzazione e l'elaborazione delle informazioni
 - un calcolatore è 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

Architettura del calcolatore

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



Hardware: architettura

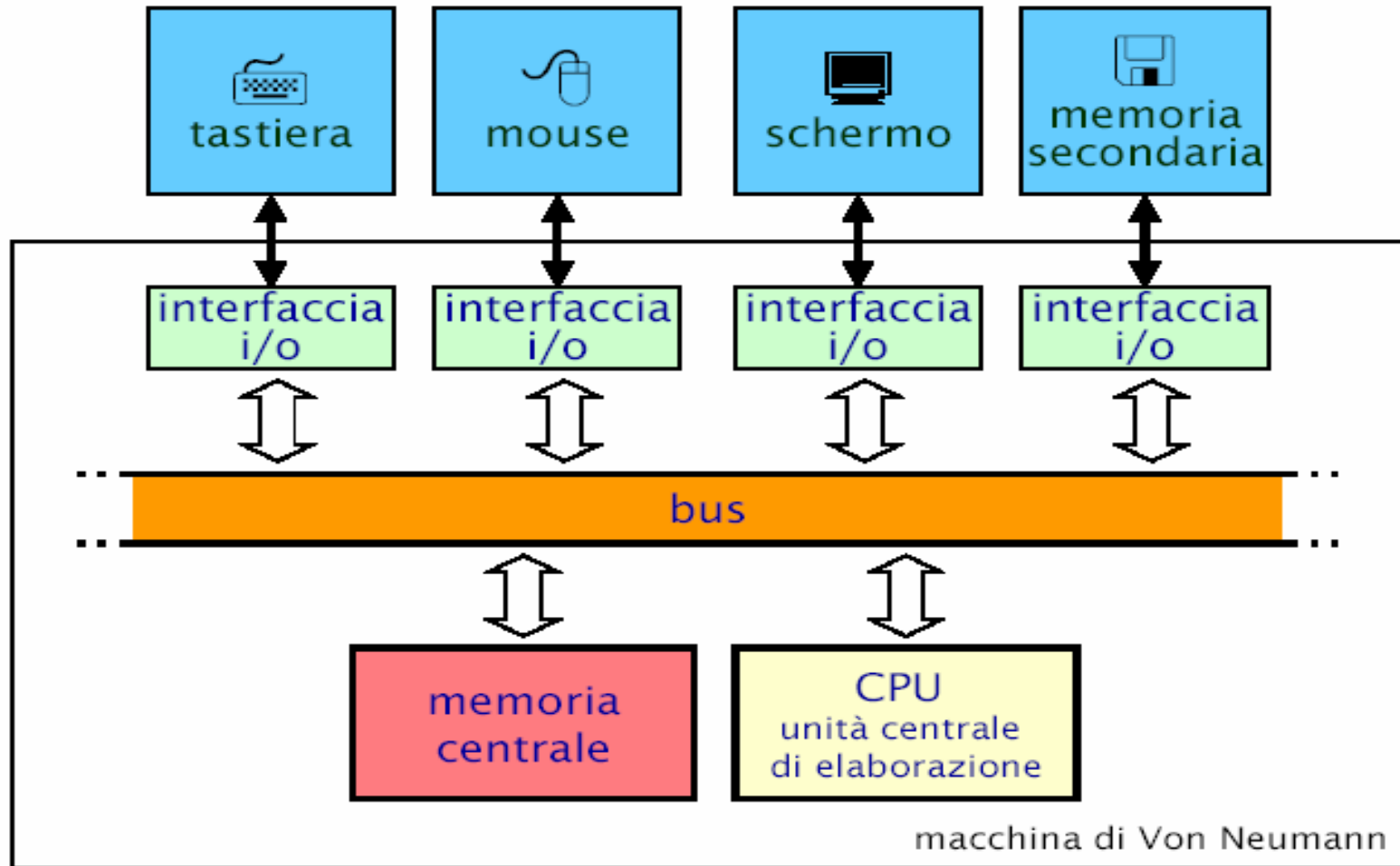
- ◆ L'architettura dell'**hardware** di un calcolatore reale è molto complessa
- ◆ La **macchina di Von Neumann** è un modello semplificato dei calcolatori moderni
 - **Von Neumann** progettò, verso il 1945, il primo calcolatore con programmi memorizzabili anziché codificati mediante cavi e interruttori

Macchina di Von Neumann

E' composta da 4 tipologie 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
- ◆ interfacce di ingresso e uscita
 - componenti di collegamento con le periferiche del calcolatore
- ◆ bus
 - svolge la funzionalità di trasferimento di dati e di informazioni di controllo tra le varie componenti funzionali

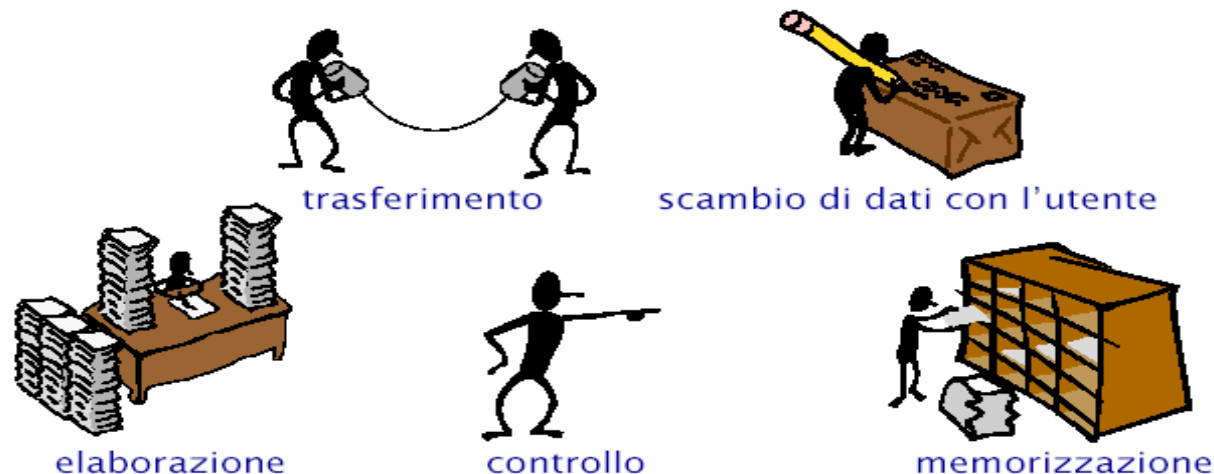
Macchina di Von Neumann



Macchina di Von Neumann

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

- ogni macro-unità è specializzata nello svolgimento di una tipologia omogenea di funzionalità
- *Eccezione*: l'unità centrale di elaborazione, che svolge sia funzionalità di elaborazione che 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 dei dati viene 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
- ◆ La **memoria** è l'unità responsabile della memorizzazione dei dati
 - 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
- ◆ Una 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 del 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

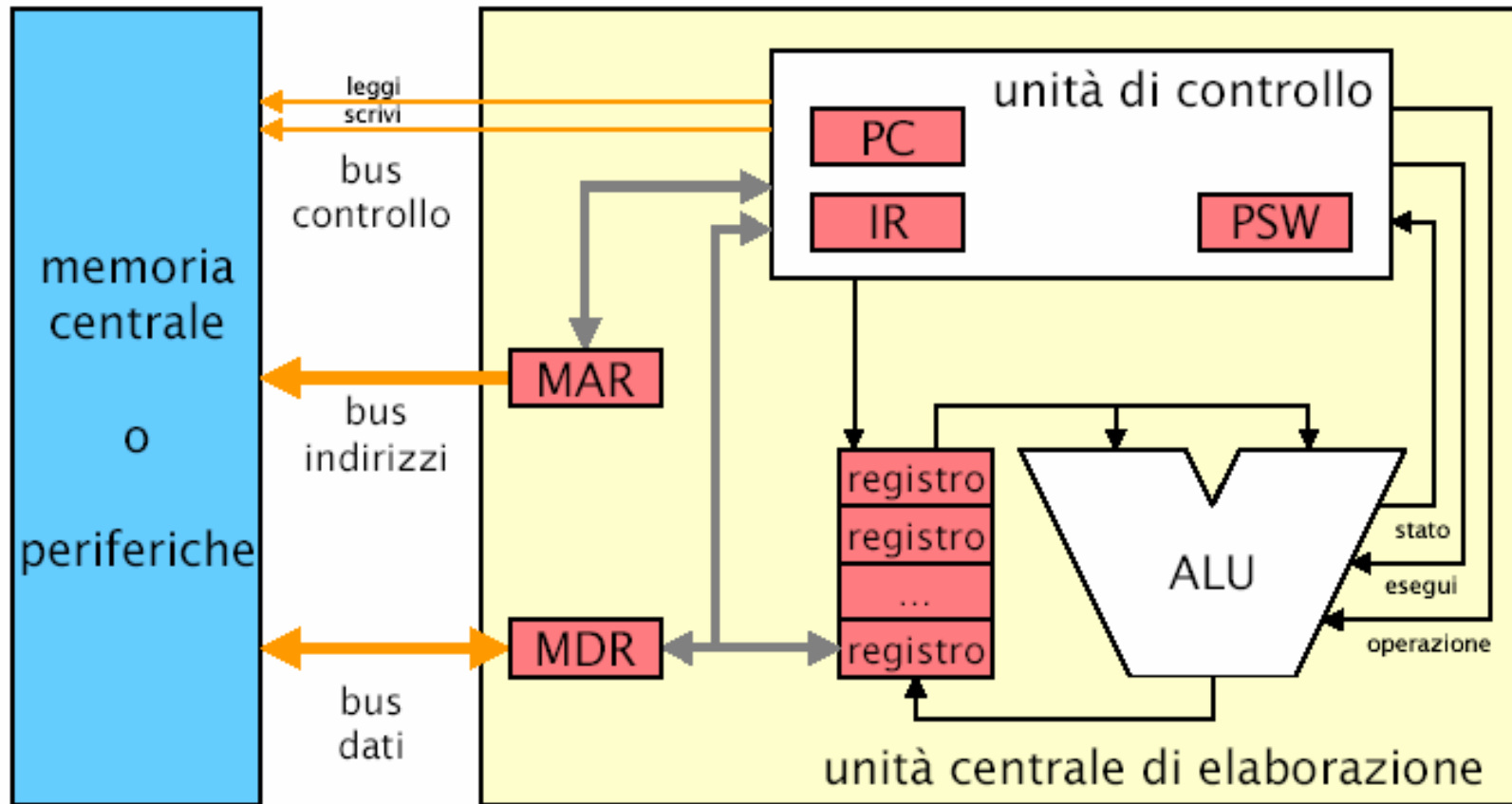
- ◆ Un calcolatore può essere collegato a vari dispositivi di ingresso e/o uscita (chiamati **periferiche**)
 - *esempi*: tastiera, mouse, schermo, stampanti, modem
 - anche le memorie di massa (es., unità disco e lettore di CD-ROM) sono considerate periferiche
- ◆ Nella macchina di Von Neumann, le periferiche 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

Unità centrale di elaborazione

- ◆ L'unità centrale di elaborazione è realizzata fisicamente sotto forma di **microprocessore**
 - i microprocessori sono dispositivi elettronici estremamente complessi
 - ad esempio, 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 contiene un numero limitato di celle di memoria (**registri**) con scopi specifici

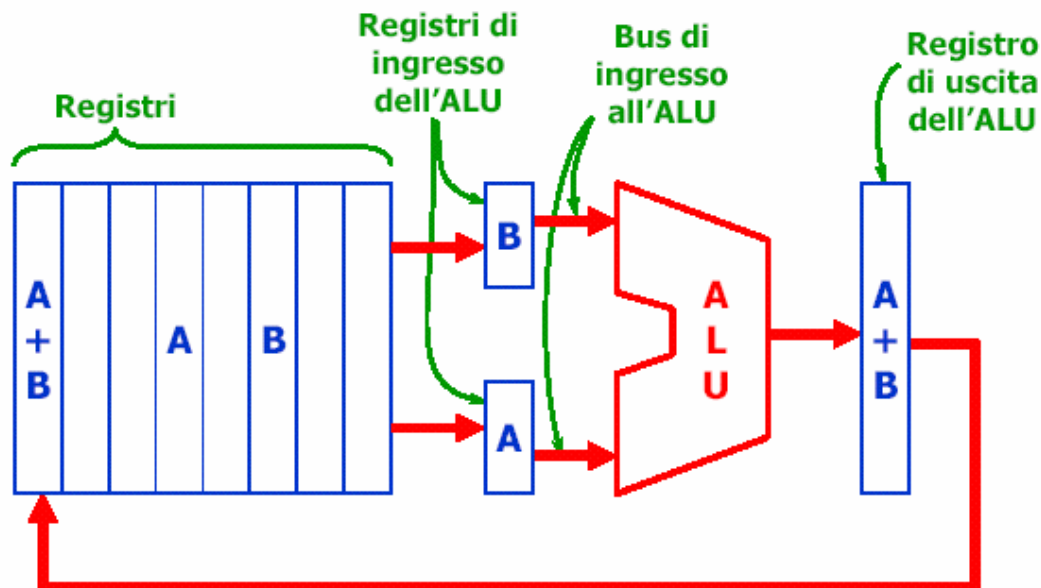
- **registro contatore delle istruzioni (PC, program counter)**
indirizzo della prossima istruzione da eseguire
- **registro delle istruzioni (IR, instruction register)**
istruzione che deve essere eseguita (codificata)
- **parola di stato del processore (PSW)**
contiene informazioni, opportunamente codificate, circa l'esito dell'ultima istruzione che è stata eseguita

Registri

- **registro indirizzi della memoria (MAR)**
indirizzo della cella di memoria che deve essere acceduta o memorizzata
- **registro dati della memoria (MDR)**
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



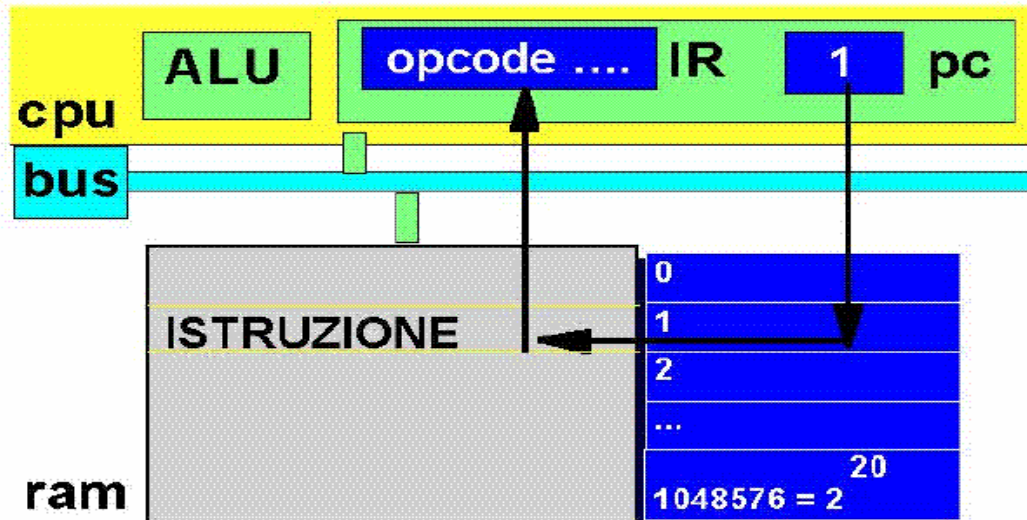
Unità di controllo

- ◆ L'unità di controllo del microprocessore esegue una istruzione svolgendo le seguenti tre operazioni di base
 - **Fetch** (lettura)
 - **Decode** (decodifica)
 - **Execute** (esecuzione)
- ◆ Un programma è eseguito reiterando il ciclo *fetch-decode-execute* (**ciclo macchina**) per eseguire ordinatamente le sue istruzioni

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)



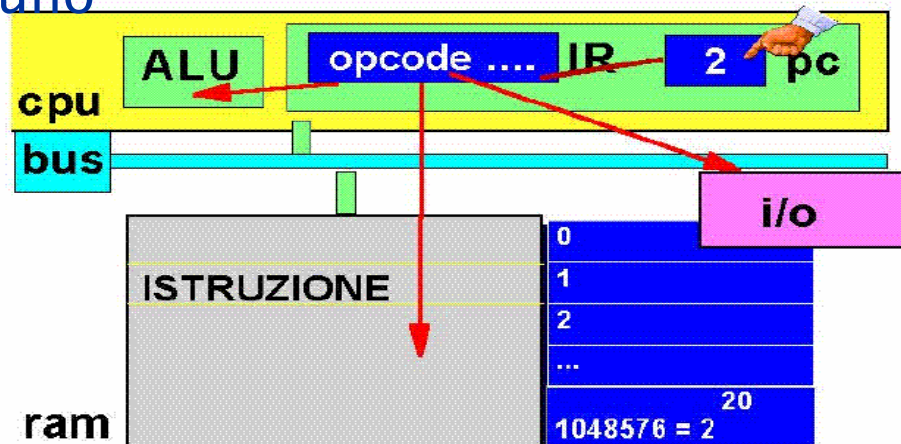
Ciclo *fetch-decode-execute*

2) **DECODE**: decodifica dell'istruzione

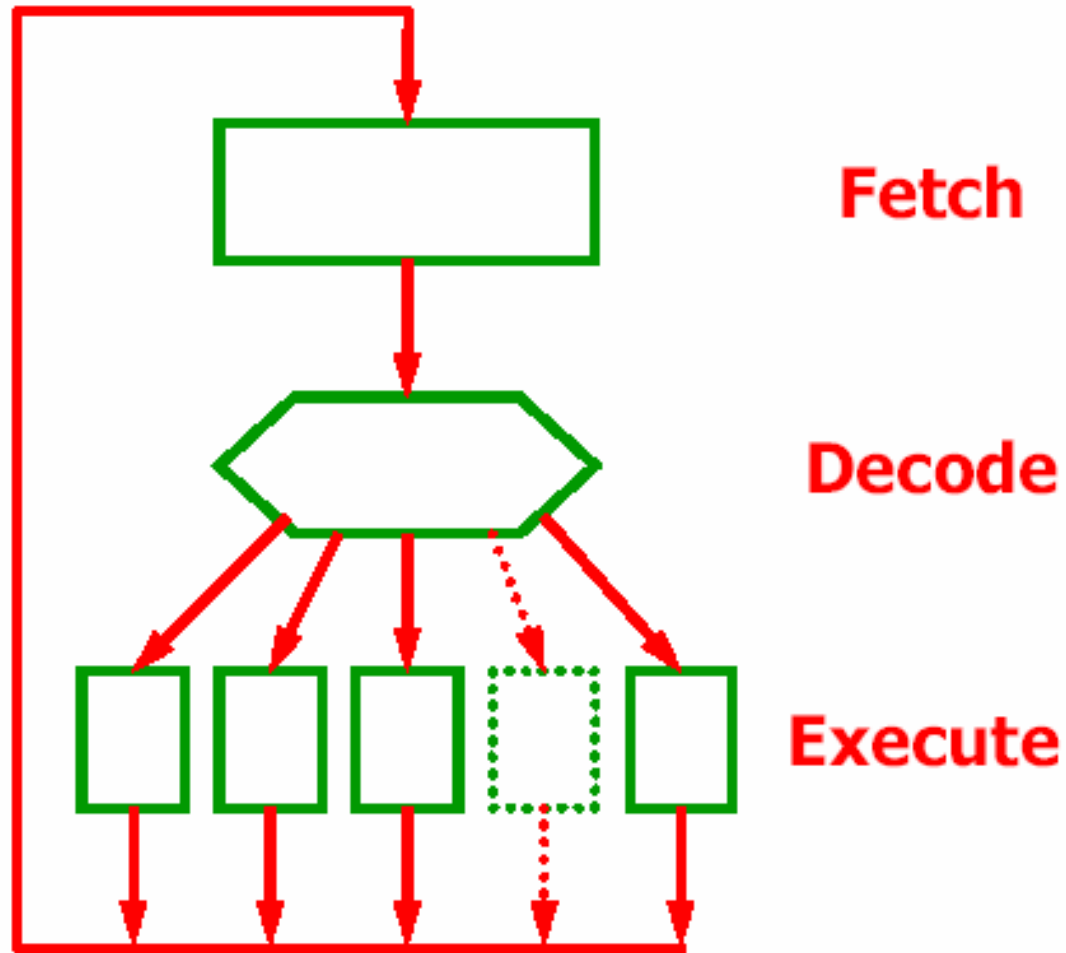
- si individua il tipo dell'operazione e gli operandi (dati) usati
- si trasferiscono i dati nei registri opportuni

3) **EXECUTE**: esecuzione dell'istruzione

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



Ciclo fetch-decode-execute



Istruzioni del linguaggio macchina

- ◆ Istruzioni per l'elaborazione dei dati
 - aritmetiche
 - logiche (AND, OR, NOT)
 - relazionali (maggiore, minore, uguale, ...)
- ◆ Controllo del flusso delle istruzioni
 - sequenza
 - selezione
 - ciclo
- ◆ 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]
 - $400 \text{ MHz} = 400 \times 10^6 \text{ Hz} = 4 \times 10^8 \text{ Hz}$ \Rightarrow
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

- l'esecuzione di una istruzione può richiedere più cicli macchina

◆ ampiezza del bus

- numero di bit nel bus interno del processore

◆ co-processor

- processori specializzati per operazioni complesse (es: co-processore matematico)

◆ memoria cache

- una memoria veloce locale 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**

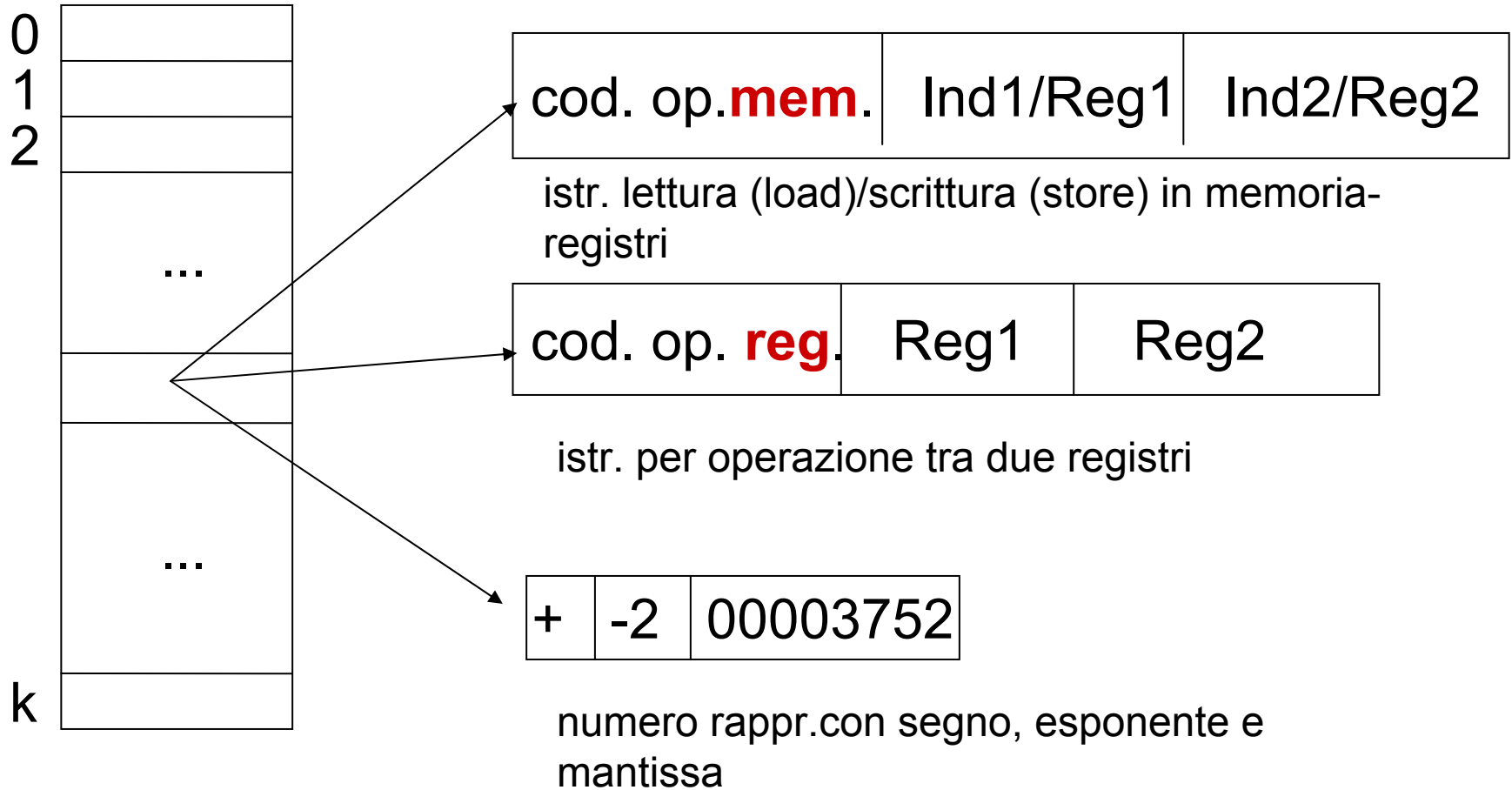
Memoria centrale

- ◆ 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

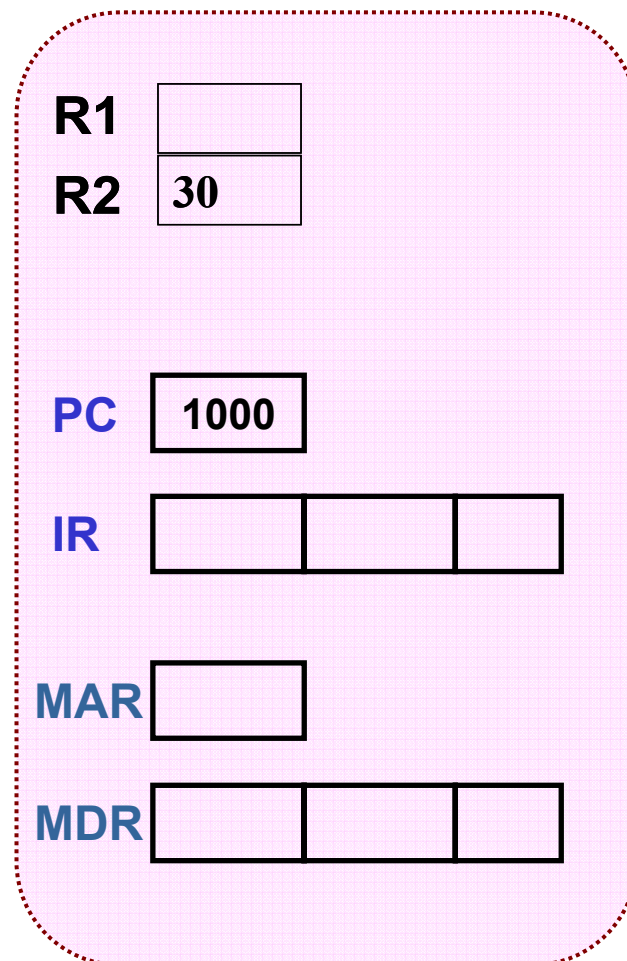


Esempio di esecuzione di un programma in linguaggio macchina

Registri CPU

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

| | |
|------|----|
| 3568 | 44 |
|------|----|



Esecuzione istruzione *1000*: fetch

1000

| | | |
|--------------|------|------|
| Load | 3568 | R1 |
| Add | R1 | R2 |
| Store | R1 | 3568 |
| Jump | 1000 | |

1001

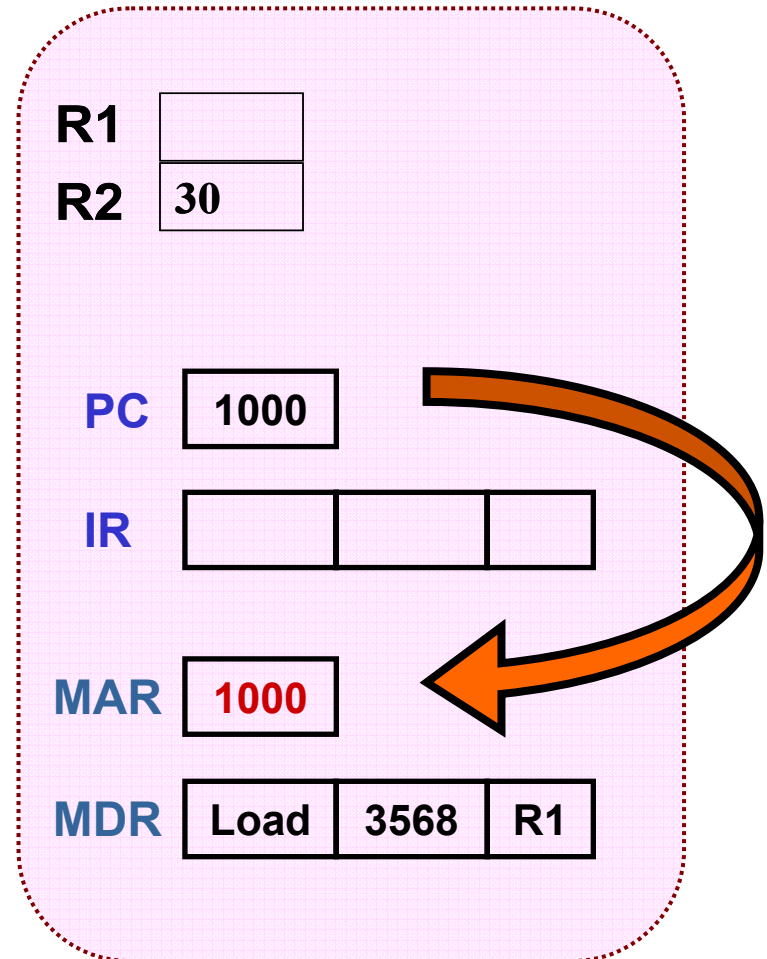
1002

1003

3568

| |
|----|
| 44 |
|----|

Registri CPU

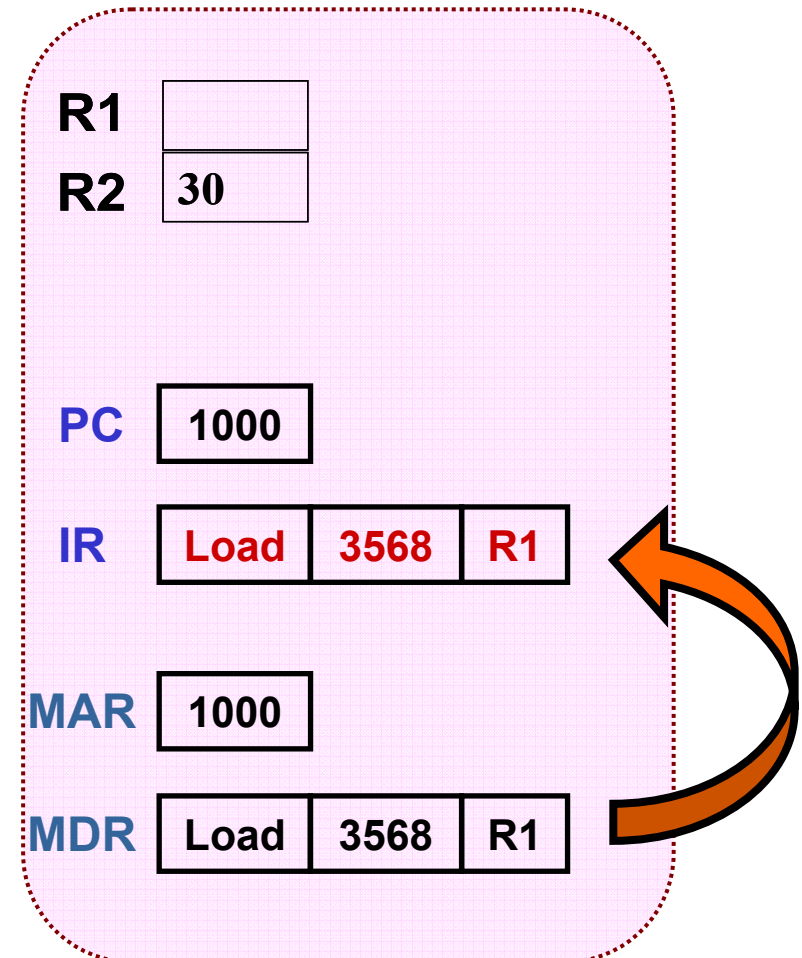


Esecuzione istruzione 1000 (2): fetch

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

| | |
|------|----|
| 3568 | 44 |
|------|----|

Registri CPU

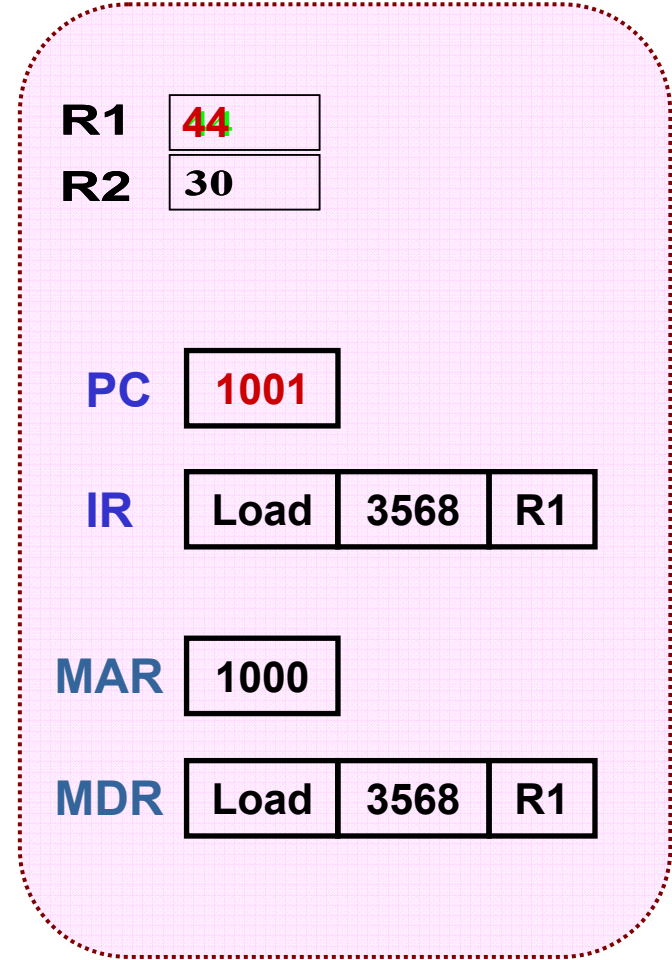


Esecuzione istruzione 1000 (3): decode + execute

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

| | |
|------|----|
| 3568 | 44 |
|------|----|

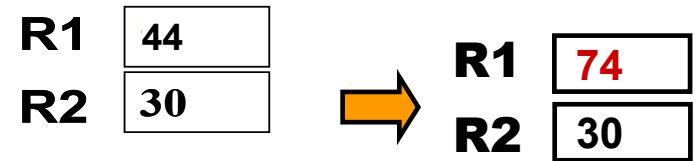
Registri CPU



Esecuzione istruzione 1001

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

| | |
|------|----|
| 3568 | 44 |
|------|----|

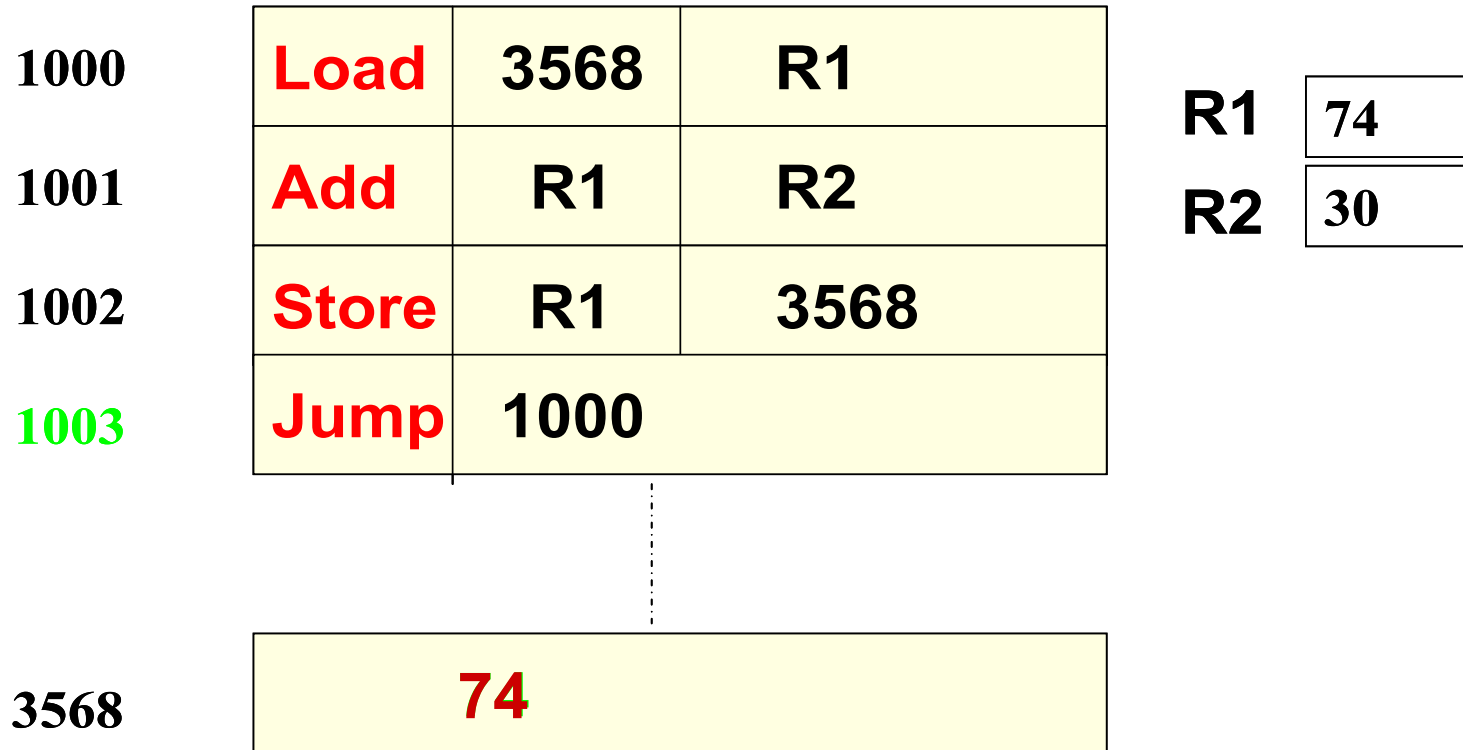


NB.:

E' stata attivata la ALU

$$R1 = 44 + 30 = 74$$

Esecuzione istruzione 1002



Esecuzione istruzione 1003

