

Elementi Di Informatica E Programmazione

Prof. Andrea Loreggia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

La struttura del calcolatore

- Si possono considerare diversi livelli di astrazione:
 - Circuiti elettronici (hardware)
 - Architettura e linguaggio macchina
 - Sistema operativo (software di sistema)
 - Linguaggi di programmazione
 - Programmi applicativi

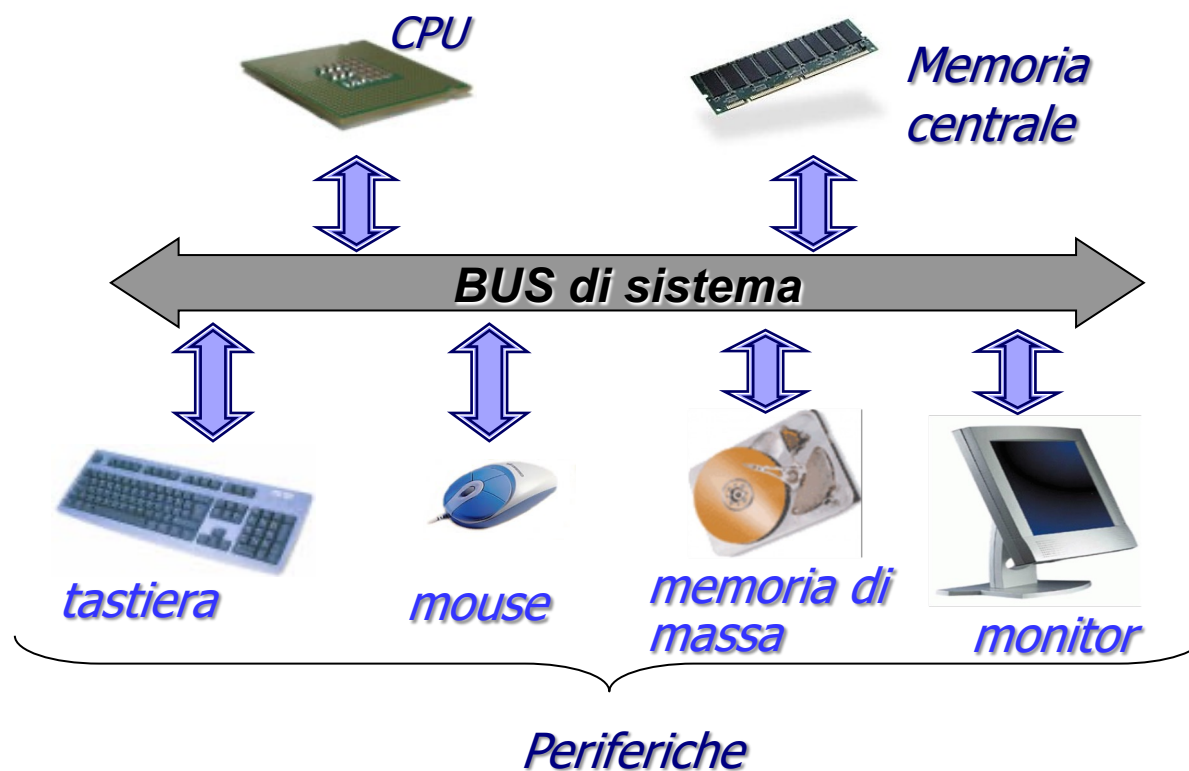


Il calcolatore è basato su circuiti elettronici digitali, ovvero modellabili con l'algebra di Boole; i circuiti elettronici implementano le funzioni logiche AND, OR, NOT, permettono di memorizzare il valore di variabili booleane, di effettuare calcoli, etc.

La macchina di Von Neumann

- Tutti i calcolatori attuali si rifanno all'architettura di Von Neumann, costituita dalle quattro componenti:

- CPU (Central Processing Unit)
- Memoria centrale
- Bus di sistema
- Periferiche



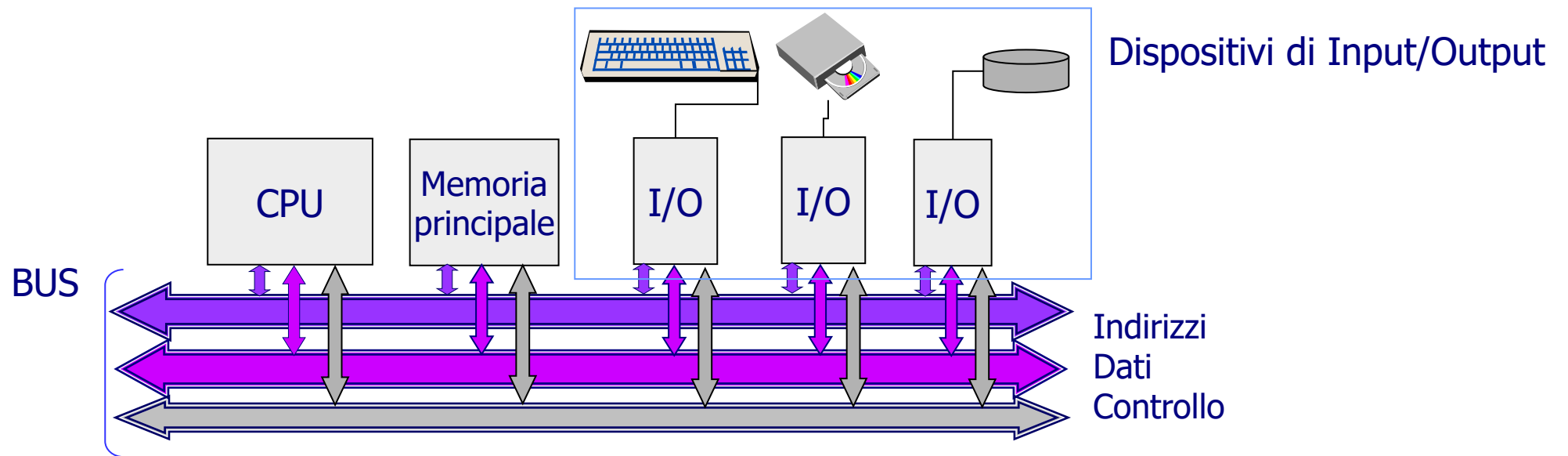


La macchina di Von Neumann

- Caratteristiche del modello di Von Neumann
 - **Proceduralità:** possibilità di eseguire differenti programmi memorizzati
 - Il modello è basato sul paradigma di programmazione procedurale: il programma indica la sequenza di istruzioni da eseguire per ottenere la soluzione ad una data classe di problemi
 - **Sequenzialità:** regola della selezione dell'istruzione da eseguire rigidamente fissata
 - Connessione tra le unità funzionali con singolo flusso di informazione tra memoria e processore: architettura a BUS

Architettura a BUS

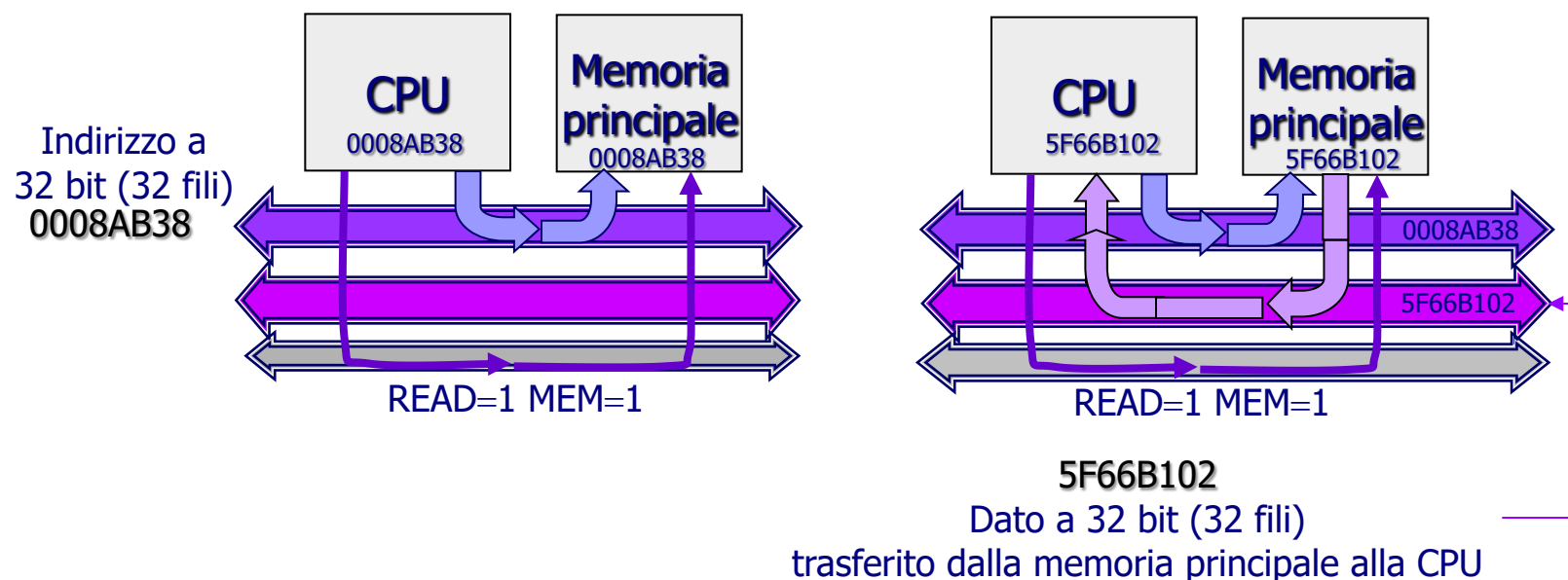
- L'architettura più consolidata per il calcolatore prevede quindi unità funzionali fra loro collegate attraverso un unico canale di comunicazione, il **bus**
- Il bus è fisicamente realizzato mediante un insieme di connettori elettrici



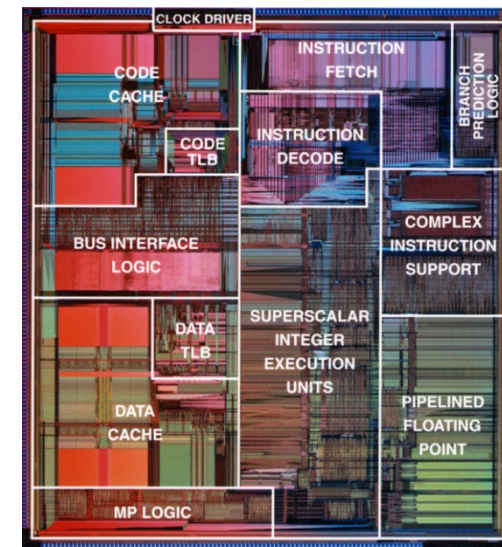
- Il bus è utilizzato per trasferire dati fra le unità funzionali
 - L'unità che inizia il trasferimento (in genere la CPU) fornisce l'indirizzo, che individua univocamente il dato, sulle linee del bus indirizzi, e configura le linee del bus di controllo, inviando un comando al dispositivo che contiene il dato (es. READ, alla memoria principale)
 - Il dato da trasferire è reso disponibile sul bus dati e viene ricopiato nel dispositivo destinatario

- Esempio

- Un bus indirizzi composto da 32 connettori indirizza 4 GB di memoria
- Per una CPU a 32 bit, anche il bus dati è composto da 32 connettori



- La Central Processing Unit è l'unità centrale di elaborazione: esegue le istruzioni dei programmi e ne regola il flusso, esegue i calcoli



Intel Pentium

- La CPU è un dispositivo *sincrono*, cioè può cambiare stato solo quando riceve un impulso di *clock*, l'orologio del sistema che fornisce al computer un battito regolare
- La CPU lavora a N GHz: segue un ritmo di N miliardi di impulsi al secondo (es., una CPU con un clock a 3 GHz è temporizzata da tre miliardi di impulsi al secondo)

- La frequenza di clock determina la velocità di elaborazione del computer: più alta è la frequenza di clock, maggiore è la velocità di elaborazione
- La velocità e la potenza di un computer dipendono però anche dalla larghezza del bus, ovvero dal numero di bit (ampiezza del singolo dato) che il processore è in grado di ricevere e di elaborare simultaneamente
 - Attualmente, i processori sono in grado di elaborare dati rappresentati con 64 bit

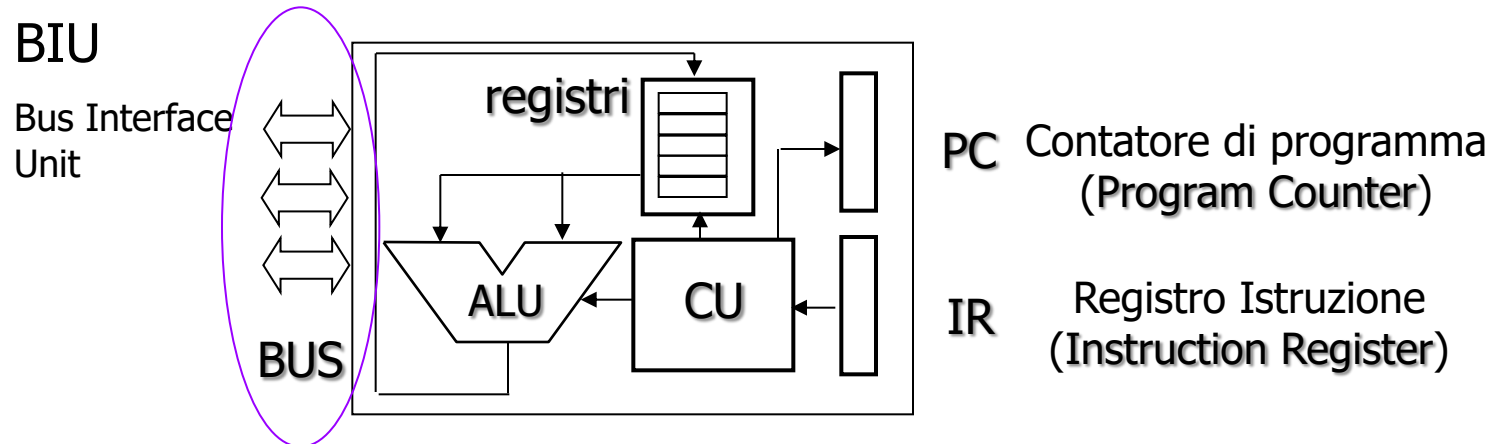
- La CPU è costituita da tre elementi fondamentali:

- Unità Aritmetico - Logica (ALU)

- Registri

- Unità di Controllo (CU)

} EU
Execution Unit



- A livello “macroscopico”, ad ogni impulso di clock, la CPU:
 - “legge” il suo stato interno (determinato dal contenuto dei registri di stato) e la sequenza di ingresso (determinata dal contenuto dei registri istruzione e dati)
 - produce un nuovo stato “dipendente” dallo stato in cui si trovava originariamente
- In pratica, la CPU realizza una complessa funzione logica, con decine di ingressi e di uscite
 - la corrispondente tabella di verità avrebbe un numero enorme di righe (miliardi di miliardi)

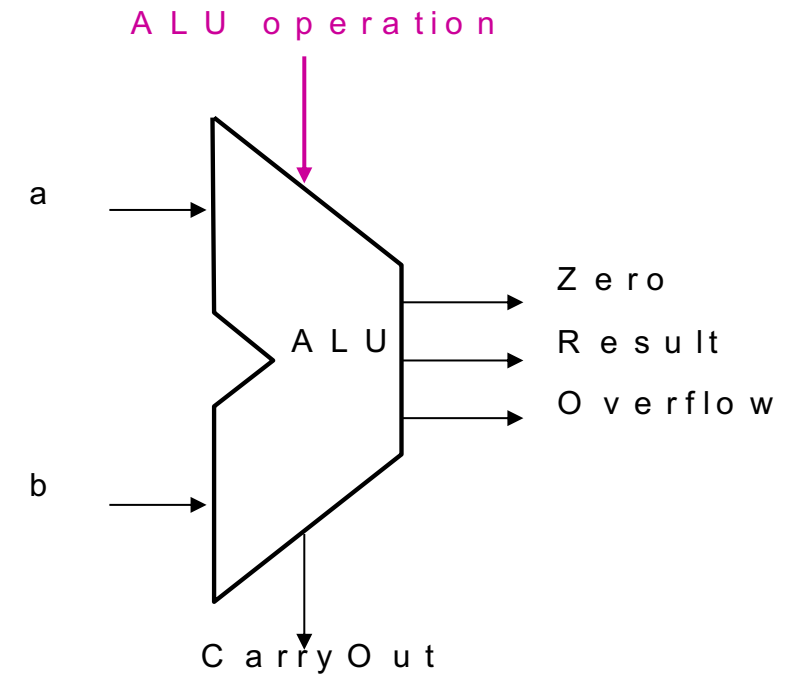
- Lo stato della CPU è costituito da informazioni (memorizzate negli opportuni registri) su:
 - dati da elaborare (contenuti nei *registri dati*)
 - istruzione da eseguire (nel *registro istruzioni*)
 - indirizzo in memoria della prossima istruzione da eseguire (nel *program counter*)
 - eventuali anomalie o eventi verificatisi durante l'elaborazione (nei *registri flag*)

- Set di istruzioni di base:
 - somma (da cui sottrazione) } (da cui moltiplicazione e divisione)
 - scorrimento (shift)
 - operazioni logiche
 - operazioni di accesso alla memoria
 - trasferimento di un dato da una locazione di memoria ad un'altra
 - trasferimento da memoria a un registro della CPU
 - trasferimento da un registro della CPU a memoria
 - operazioni di confronto (sufficiente confronto con zero)
- Le operazioni (eccetto quelle di accesso alla memoria) sono eseguite all'interno della ALU e "coordinate" dall'unità di controllo

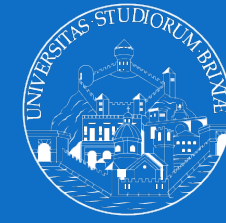
L'Unità Aritmetico-Logica



- L'ALU (Arithmetic - Logic Unit) è un circuito in grado di eseguire operazioni aritmetiche e logiche su 2 operandi, rappresentati su n bit (es. 32/64 bit); oltre al risultato dell'operazione può produrre informazioni ulteriori su linee specifiche (il risultato è zero, si è verificato un overflow, etc.)

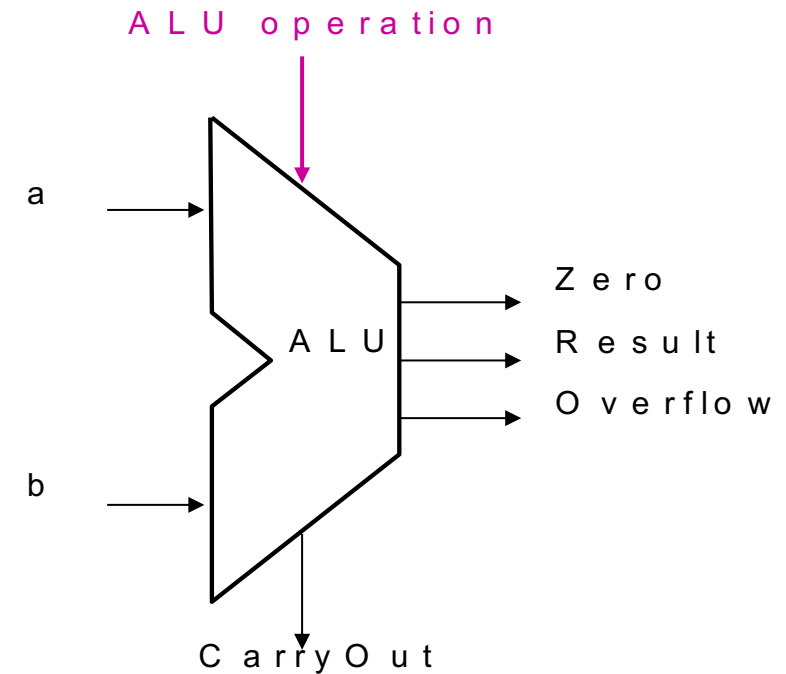


L'Unità Aritmetico-Logica

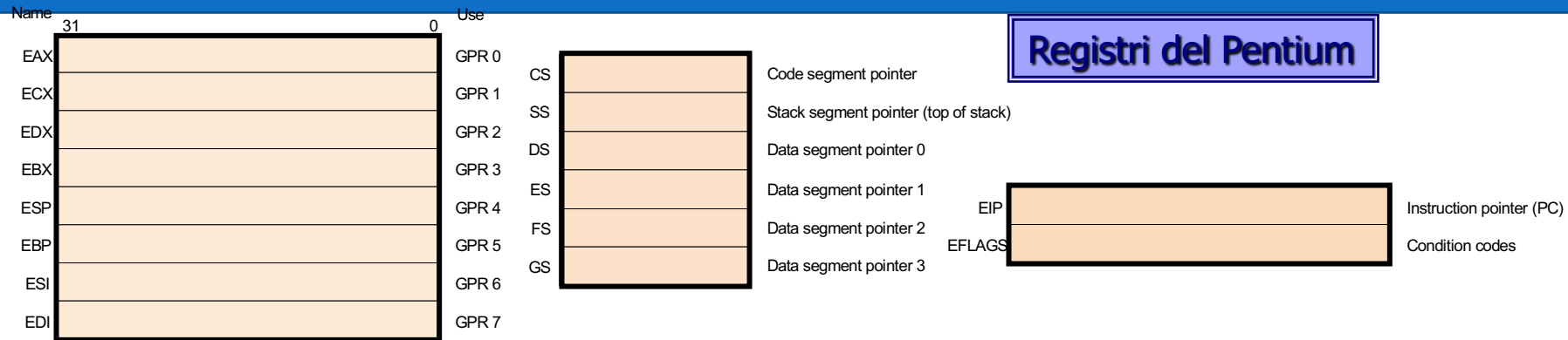


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

- Il tipo di operazione selezionata, in un dato istante, dipende dallo stato di alcune linee di controllo provenienti dalla CU
- Le operazioni logiche (es. AND) vengono eseguite bit a bit fra i due operandi
- Esiste una unità specializzata per le operazioni in virgola mobile (FPU)

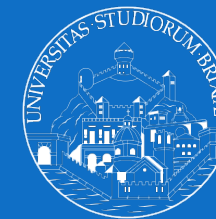


I Registri



- I registri sono dispositivi di memorizzazione che consentono un accesso molto veloce ai dati che contengono; hanno dimensioni prefissate (es. 32/64 bit)
- Alcuni registri hanno funzioni specifiche (es. contatore di programma)
- Nella maggior parte delle architetture, le operazioni della ALU si possono effettuare solo fra dati presenti nei registri ed anche il risultato viene momentaneamente memorizzato in un registro

Registri e loro funzioni

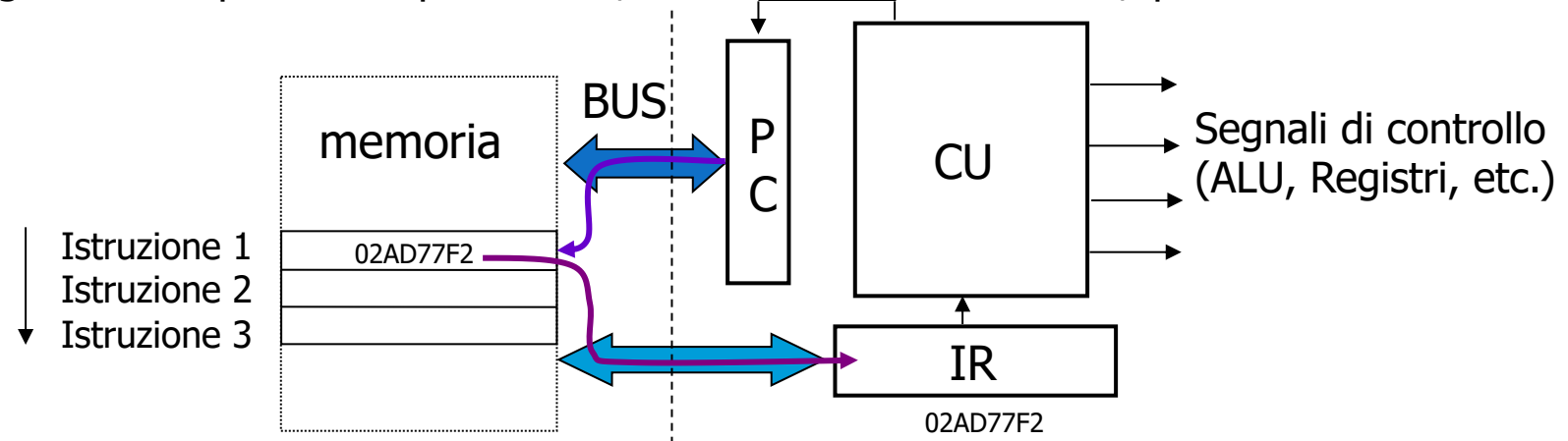


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

- **Registri accumulatori:** sono integrati alla ALU, che vi può operare direttamente; mantengono risultati temporanei
- **Registro di stato:** PSW (Program Status Word), contiene i flag di stato, bit impostati dall'HW della CPU dopo un'operazione, per indicare particolari condizioni circa l'esito dell'esecuzione (es. segno, risultato nullo, overflow, carry,...)

L'unità di controllo (CU)

- Esegue le istruzioni prelevandole dalla memoria nella fase di **fetch**
- La prossima istruzione da eseguire è individuata dall'indirizzo presente nel **registro contatore di programma (PC)**
- L'istruzione in esecuzione è memorizzata nel **registro istruzione (IR)**
- L'istruzione è un codice binario che deve essere *decodificato* dalla CU; specifica il tipo di operazione, gli eventuali operandi, etc.
- Normalmente le istruzioni sono eseguite in sequenza: dopo il fetch, il **PC viene incrementato**, per fare riferimento all'istruzione successiva



Come si eseguono i programmi



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

- Il processore esegue le istruzioni di un programma una alla volta in sequenza: estrae le istruzioni dalla memoria, le interpreta e le esegue una dopo l'altra
 - Un programma indica la sequenza di istruzioni da eseguire per ottenere la soluzione ad un data classe di problemi
- Il processore esegue ogni istruzione mediante una sequenza ben definita di operazioni detta ciclo di istruzione o ciclo macchina
 - Estrazione di una istruzione: fase di fetch
 - Esecuzione dell'istruzione: fase di execute

Come si eseguono i programmi

- Fase di fetch

- L'unità di controllo preleva dalla memoria centrale l'istruzione, utilizzando l'indirizzo conservato nel PC
- L'istruzione prelevata viene memorizzata nel registro IR

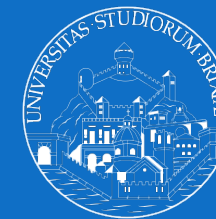
- Fase di Execute

- L'unità di controllo interpreta l'istruzione e determina le operazioni da eseguire
- L'unità di controllo sovrintende all'esecuzione delle operazioni
- Il PC viene incrementato per puntare all'istruzione successiva

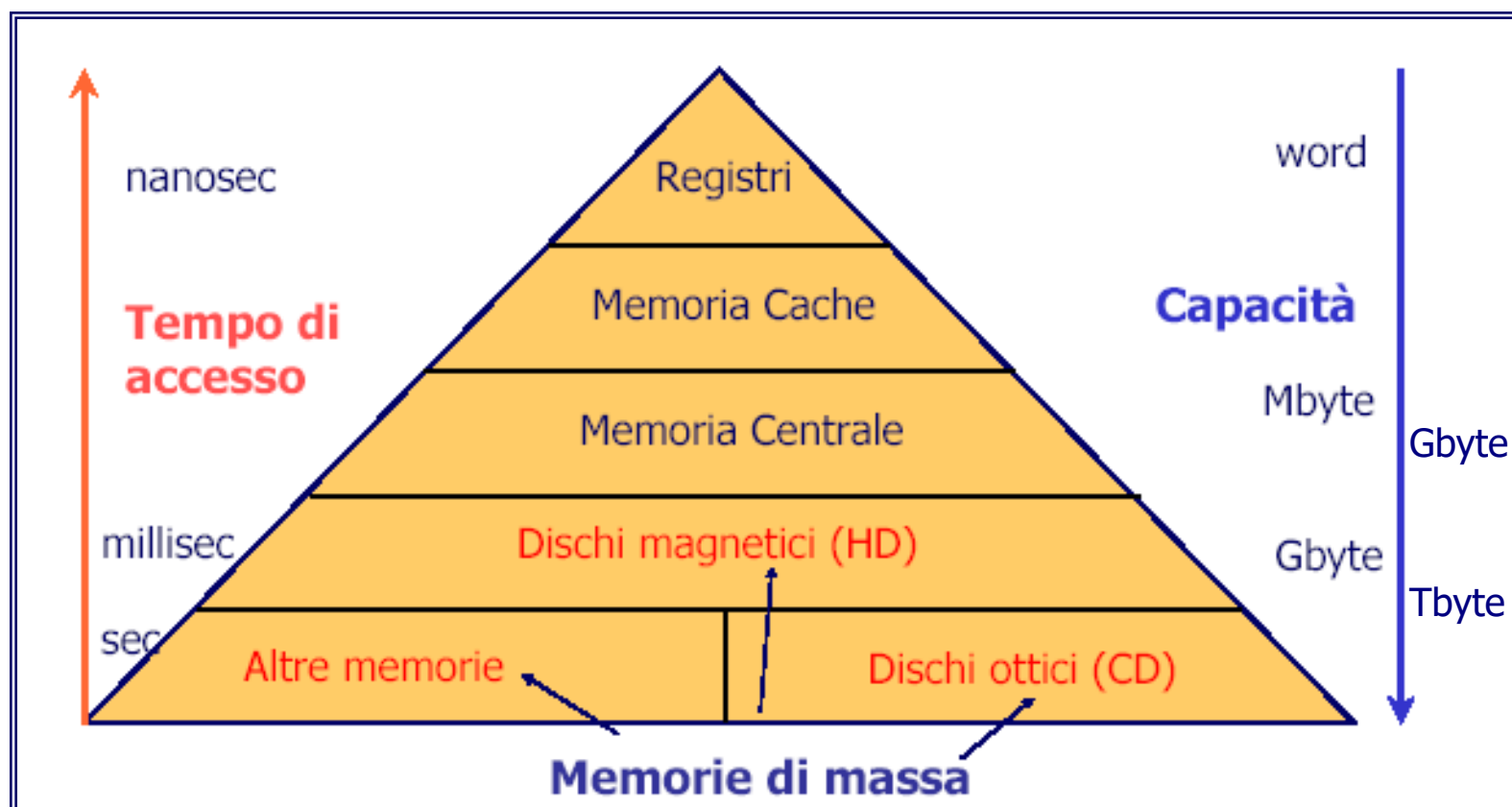
- Le memorie sono dispositivi per “lo stoccaggio” delle informazioni
- Ogni memoria è costituita da celle, a cui si accede tramite un indirizzo
- In ogni elaboratore vi sono tre tipi di memorie:
 - Registri: contengono informazioni necessarie alla elaborazione della singola istruzione
 - Memoria centrale: contiene dati e istruzioni attualmente elaborati dal processore
 - Memorie di massa: contengono dati e programmi che non sono oggetto di elaborazione immediata

- I parametri fondamentali che definiscono una memoria sono:
 - Dimensione della parola (locazione di memoria)
 - Modalità di accesso (diretto o sequenziale)
 - Permanenza o volatilità dei dati
 - Capacità (numero di locazioni disponibili), espressa in KB, MB, GB, etc.
 - Tempo di accesso, necessario per accedere ad una locazione di memoria per un'operazione di lettura o scrittura, espresso in nanosec, millisec, sec
- In base agli ultimi due parametri, le memorie si collocano a diversi livelli di una gerarchia, che va da memorie più capaci ma più lente (memorie di massa) a memorie piccole e veloci (registri)

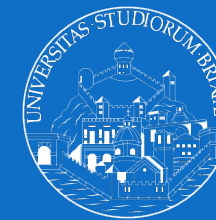
Gerarchia di memorie



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA



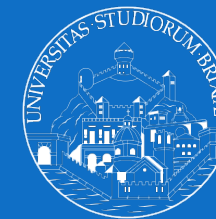
La memoria centrale



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

- La memoria centrale o memoria principale, detta anche RAM (Random Access Memory, ovvero memoria ad accesso casuale, perché qualsiasi cella può essere letta/scritta in un tempo, mediamente, costante), è la memoria in linea con il processore, che contiene i dati e i programmi che sono attualmente utilizzati/in esecuzione
- Un programma, quando non è oggetto di elaborazione, è memorizzato su memoria di massa (dischi)
- Quando deve essere eseguito, viene caricato tutto o in parte, in memoria centrale (memoria virtuale)

La memoria centrale



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

- Le caratteristiche fondamentali della memoria centrale sono:
 - accesso diretto alle informazioni
 - velocità elevata
 - volatilità: quando il computer viene spento, i dati e i programmi presenti in memoria vengono cancellati
- La memoria principale è un insieme di locazioni o celle
- L'unità di memorizzazione, la dimensione della singola cella, è il byte
- Ciascun byte nella memoria è individuato da un indirizzo che lo distingue da tutti gli altri, costituito da un numero variabile da 0 a $2^N - 1$, dove N è la dimensione in bit dell'indirizzo (es. numero di bit/fili sul bus indirizzi)

2^{27}

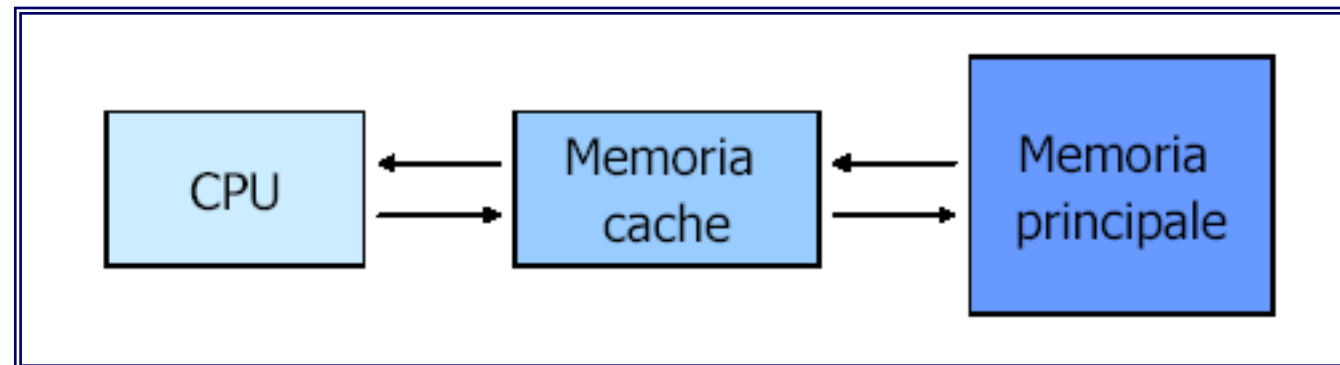
$128 \text{ MB} = 2^7 \times 2^{20} \text{ byte} =$
 $= 137438953472 \text{ byte}$

00000xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

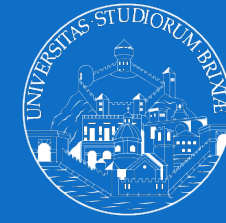
27 bit — indirizzo all'interno
del blocco

La memoria cache

- Piccola RAM molto veloce, interposta tra CPU e memoria principale, per migliorare le prestazioni del sistema
 - Quando viene indirizzata una parola, quella parola e alcune di quelle vicine vengono trasferite dalla lenta memoria centrale nella più piccola e veloce memoria cache, in modo che la parola successiva sia accessibile più velocemente (principio di località spazio-temporale del software)



La memoria ROM



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

- Una parte della memoria centrale è la ROM (Read Only Memory), una memoria a sola lettura, destinata a contenere informazioni non variabili
- Caratteristiche delle memorie ROM:
 - accesso casuale alle informazioni
 - velocità elevata (inferiore alle RAM)
- La ROM viene scritta in modo permanente in fase costruttiva: le celle della ROM possono essere successivamente lette, ma mai riscritte
- Viene usata per memorizzare programmi di sistema

Operazioni sulla memoria centrale

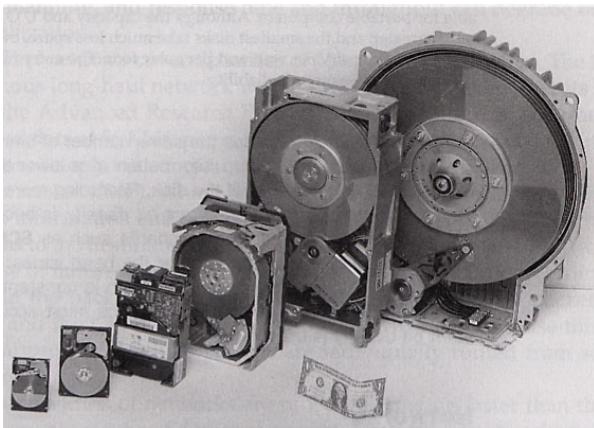


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

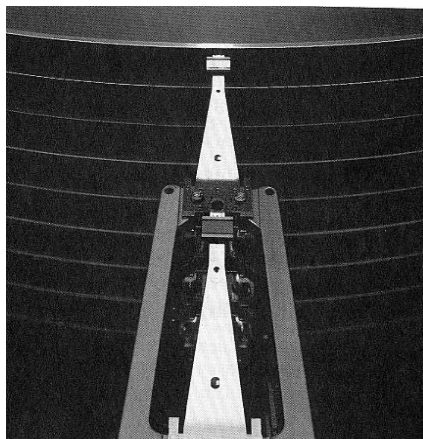
- Le operazioni che si effettuano sulla memoria sono operazioni di lettura e scrittura
- Entrambe presuppongono l'utilizzo di un indirizzo che identifica univocamente la cella interessata all'operazione
- L'operazione di scrittura è distruttiva, cioè cancella l'informazione precedentemente contenuta nella cella
- L'operazione di lettura preserva il contenuto della cella indirizzata: all'esterno della memoria centrale viene trasferita copia dell'informazione

La memoria secondaria

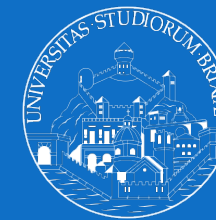
- Esistono diversi dispositivi di memoria secondaria: dischi magnetici (hard disk), dischi ottici (CD, DVD), dispositivi USB, memorie flash
- Memoria non volatile ad alta capacità
 - Il disco fisso è costituito da uno o più piatti metallici ricoperti di materiale magnetico su entrambe le facce
 - Ciascuna superficie è associata ad una o più testine di lettura/scrittura che si muovono radialmente per leggere/ scrivere l'informazione organizzata in tracce concentriche



Dischi magnetici



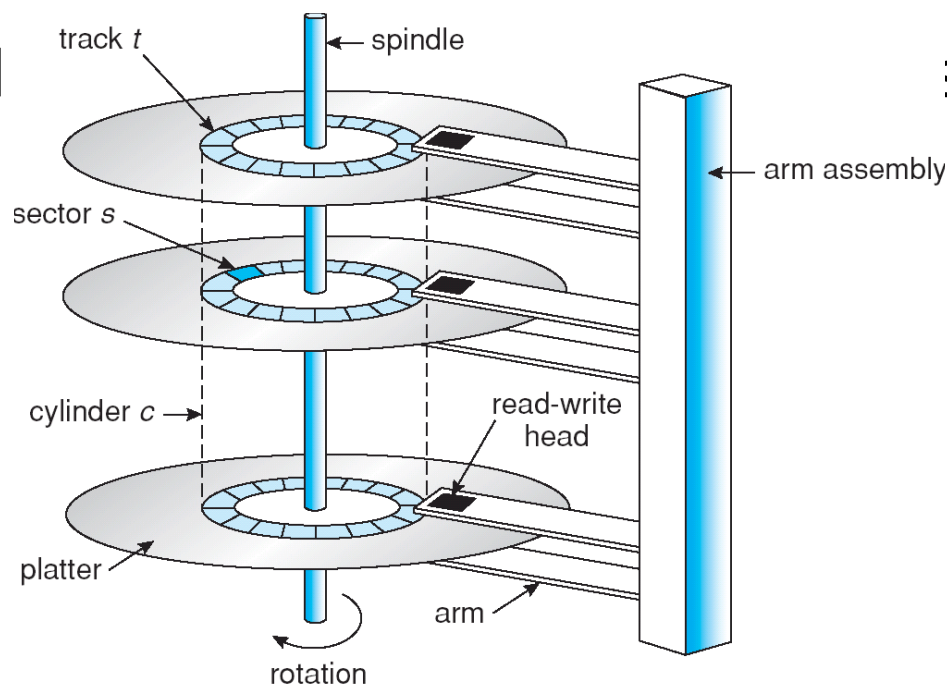
I dischi magnetici



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

- I dischi magnetici rappresentano il mezzo fondamentale per la memorizzazione di massa

- I dischi ruotano ad
giri al secondo



sa tra i 60 e i 200

- Sui **dischi ottici** si utilizza la tecnologia laser per realizzare le operazioni di lettura/scrittura
- Densità dei bit uniforme
 - Un'unica traccia elicoidale o...
 - ...tracce più lontane dal centro del disco sono più lunghe e contengono un maggior numero di settori (fino al 40% in più rispetto alle tracce vicine al centro di rotazione)

Il linguaggio macchina

- Quando il programma è in esecuzione, è memorizzato nella memoria principale; esso è rappresentato da una serie di numeri binari che codificano le istruzioni eseguibili dall'unità centrale

```
00000000101000010000000000011000
00000000100011100001100000100001
10001100011000100000000000000000
10001100111100100000000000000100
10101100111100100000000000000000
```

← PC

- Il programma non è quindi distinguibile dai dati osservando il contenuto della memoria; le istruzioni sono individuate dai valori assunti dal registro PC durante l'esecuzione del programma
- Ogni codice binario codifica il tipo di istruzione (OPCODE) ed eventuali parametri (es. registri, indirizzi in memoria)
- I primi calcolatori si programmavano direttamente in linguaggio macchina!

Il set di istruzioni macchina

- L'insieme delle istruzioni eseguibili, e la relativa codifica, sono generalmente diverse per modelli diversi di processore
- Le istruzioni possono essere codificate con un numero variabile di bit (es. Pentium) o con un numero fisso (es. MIPS – 32 bit)
- Le categorie di istruzioni normalmente disponibili sono:
 - ◆ **Trasferimento dati:** spostano dati (byte, word) tra registri, memoria principale e dispositivi di ingresso/uscita (I/O)
 - ◆ **Aritmetico–logiche:** eseguono i calcoli nella ALU
 - ◆ **Salti (condizionati e incondizionati):** prendono decisioni e alterano la normale esecuzione sequenziale delle istruzioni

Esempio di programma in linguaggio macchina

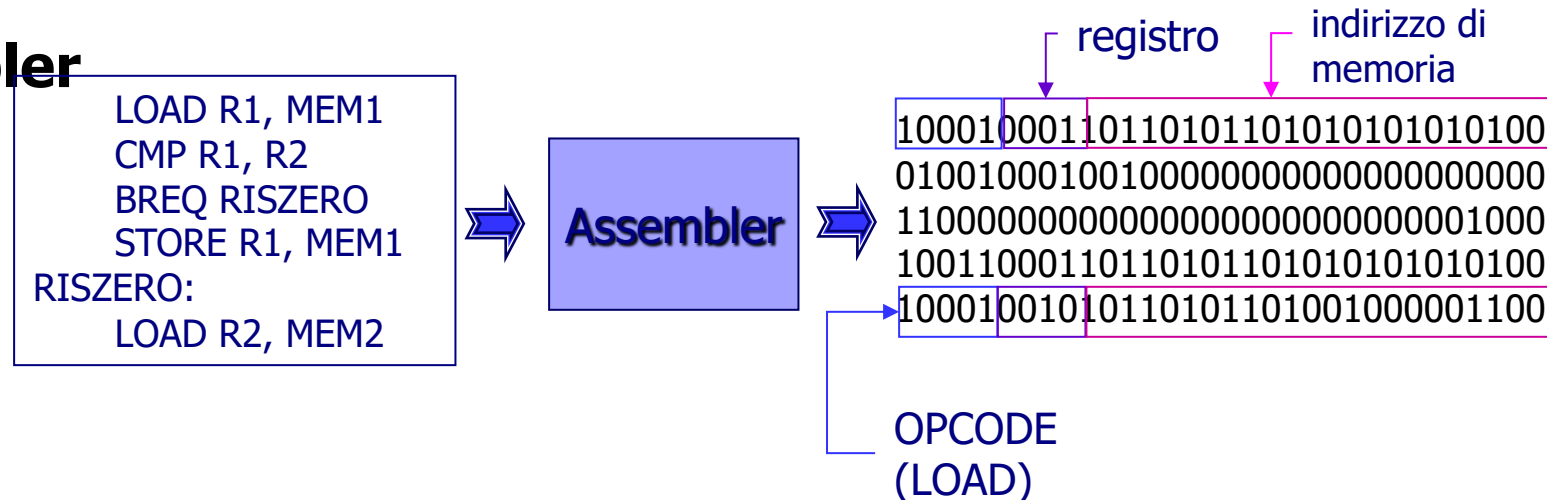


0100000000010000	leggi un valore in ingresso e ponilo nella cella numero 16 (variabile x)
0100000000010001	leggi un valore e ponilo nella cella numero 17 (variabile y)
0100000000010010	leggi un valore e ponilo nella cella numero 18 (variabile z)
0100000000010011	leggi un valore e ponilo nella cella numero 19 (variabile r)
0000000000010000	carica il registro A con il contenuto della cella 16
0001000000010001	carica il registro B con il contenuto della cella 17
0110000000000000	somma i contenuti dei dei registri A e B
0010000000010100	copia il contenuto del registro A nella cella 20 (risultato, variabile s)
0000000000010010	carica il registro A con il contenuto della cella 18
0001000000010011	carica il registro B con il contenuto della cella 19
0110000000000000	somma i contenuti dei registri A e B
0001000000010100	carica il registro B con il contenuto della cella 20
1000000000000000	moltiplica i contenuti dei registri A e B
0010000000010100	copia il contenuto del registro A nella cella numero 20
0101000000010100	scrivi in output il contenuto della cella numero 20
1101000000000000	arresta l'esecuzione (HALT)
.....	spazio per la variabile x (cella 16)
.....	spazio per la variabile y (cella 17)
.....	spazio per la variabile z (cella 18)
.....	spazio per la variabile r (cella 19)
.....	spazio per la variabile s (cella 20)

Assembler

- Per facilitare la programmazione è stato definito il linguaggio **assembly**
- L'assembly impiega una notazione simbolica che è in stretta relazione con i codici in linguaggio macchina; il programma scritto in assembly è convertito automaticamente in linguaggio macchina per mezzo del programma traduttore,

l'assembler



Trasferimento dei dati

- Le istruzioni di trasferimento dati permettono di copiare il valore di un dato fra registri o fra un registro e la memoria
- Si fa riferimento ad un **assembly** generico

memoria
registro

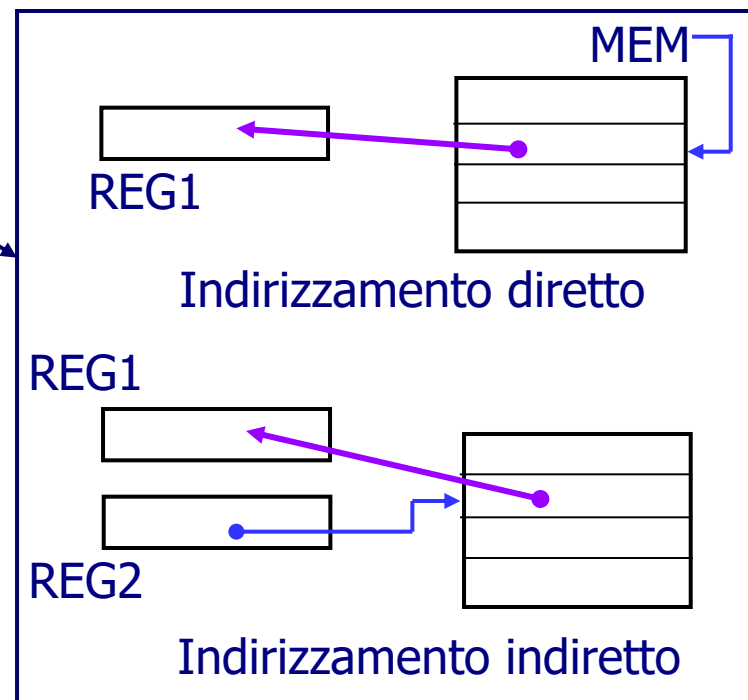
LOAD REG1, MEM
LOAD REG1, [REG2]

registro
memoria

STORE REG1, MEM
STORE REG1, [REG2]

registro
registro

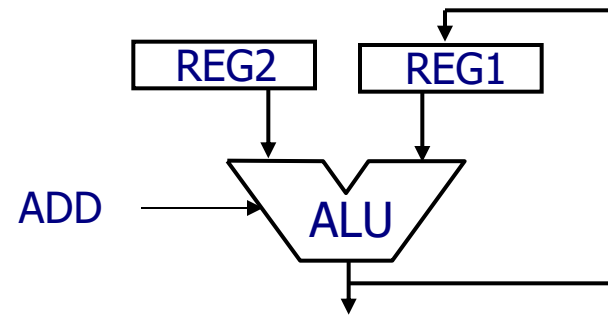
MOVE REG1, REG2



Operazioni aritmetico-logiche

- Permettono di eseguire operazioni aritmetiche o logiche su due operandi

ADD REG1, REG2

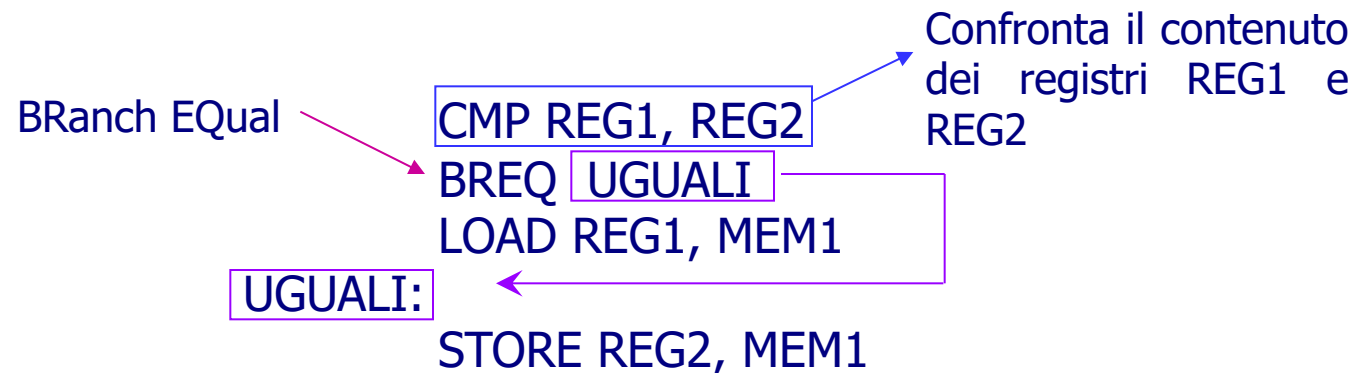


OR REG1, REG2

REG1	0010	1100	1100	0101	1100	1111	0101	0000
REG2	1010	1110	0000	0000	0010	0001	1000	0001
<hr/>								
REG1	1010	1110	1100	0101	1110	1111	1101	0001

Istruzioni di salto

- Modificano il flusso di esecuzione del programma
 - Il salto è **condizionato** se viene effettuato solo quando si verifica una certa condizione





Istruzioni di salto

- L'istruzione **CMP** confronta i due argomenti, assegnando valori particolari a bit di condizione che si trovano nel registro PSW (zero, segno)
- L'istruzione di salto condizionato può essere basata su diverse condizioni: **BRNE** (branch not equal), **BRLE** (branch less equal), etc.
- L'istruzione di salto incondizionato, **BRANCH**, effettua sempre il salto

Assembler e linguaggi di alto livello

- Il programma in assembler...

LOAD REG1, a

LOAD REG2, b

ADD REG1, REG2

LOAD REG3, c

LOAD REG4, d

ADD REG3, REG4

MULT REG1, REG3

STORE REG1, e

...corrisponde all'unica
istruzione C:

`e=(a+b)*(c+d);`

