Elementi di Architettura

Corso di *Fondamenti di Informatica*

(Roberto BASILI)

Classi di Istruzioni

- Istruzioni di assegnazione/modifica
- Istruzioni di controllo
- Istruzioni di I/O

Classi di Istruzioni

- Istruzioni di assegnazione/modifica

Formalizzazione in linguaggio naturale

Es.

- `Assegna ad A il valore 2`
- `A = 2` o meglio `A ← 2`
- `Sia 0 il valore iniziale di I`
- `I ← 0`
- `A ← A + 1`

Classi di Istruzioni

- Istruzioni di assegnazione/modifica

Es. <Date due variabili A e B>, Scambio di valori tra A e B

```
1. Scrivi in Temp il valore corrente di A
2. Scrivi in A il valore corrente di B
3. Scrivi in B il valore corrente di Temp
```

```
1. Temp ← A
2. A ← B
3. B ← Temp
```

Classi di Istruzioni

- Istruzioni di controllo (1)

Es.

```
Se (A>B) allora il MASSIMO e' A
altrimenti il MASSIMO e' B
```

```
Se (A>B) allora
        MASSIMO ← A
altrimenti
        MASSIMO ← B
```

Classi di Istruzioni

- Istruzioni di controllo (1)

Prevedono:

- Una condizione (a valori booleani)

  (i.e. $f : D \rightarrow \{0,1\}$)
- Una modifica della sequenza delle istruzioni

Classi di Istruzioni

- Istruzioni di Controllo (2)

Es.

```
1.R ← resto della divisione di A per B
2.Se R=0 allora  B è il M.C.D.
3.Altrimenti                (R<>0)
   A ←  B;
   B ← R.
4. Torna all'istr.1
```

Classi di Istruzioni

- Istruzioni di Controllo (3)

```
1.  R ← 1
2. MCD ← 0
3.  Finche' R<>0 esegui
      3.1 R ← resto di A diviso B
      3.2 Se R=0 allora
            3.2.1 MCD ← B
          Altrimenti
            3.2.2 A ← B
            3.2.3 B ← R
4. <Stampa MCD>
```

Istruzioni di I/O

- Gestiscono l'ingresso dei dati
  (es. `Leggi il valore di x`,
  nel calcolo di una f(x))
- Provvedono alla trasmissione in uscita dei dati
  (es. y <= f(x)
  `Stampa il valore di y su schermo`)

Istruzioni di I/O

- Es. Determinare il massimo di N numeri letti in ingresso
- `i ← 0, max ← 0`

```
Finche' i < N
      <Leggi X>
      Se X > max allora max ← X
      i ← i + 1
<Stampa max>
```

Istruzioni

- Es. Calcolare la divisione A/B intera

```
Quoz ← 0
<Leggi A>
<Leggi B>
Finche' B <= A
       A ← A - B
       Quoz ← Quoz + 1
<Stampa Quoz>
```

Elementi di Assembler

- Un esempio (1)

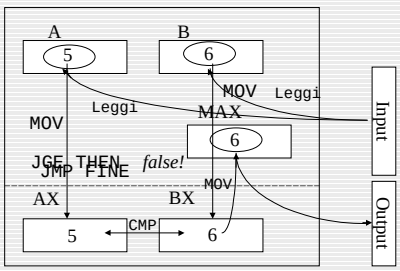
1. <Leggi A>
2. <Leggi B>
3. 3.1 Se A > B allora il
   3.1.1 MASSIMO e' A
   3.2 altrimenti
   3.2.1 il MASSIMO e' B
4. <Scrivi Massimo>

Elementi di Assembler

- Un esempio (2)

```
        MAX   DW  ?
         A    DW  ?
         B    DW  ?
        <leggi A>
        <leggi B>
        MOV AX, A
        MOV BX, B
        CMP   AX,BX
*       JGE    THEN
        MOV   MAX,BX
*       JMP    FINE
THEN:   MOV   MAX,AX
FINE:   <scrivi MAX>
```

Elementi di Assembler



Elementi di Assembler

- Un secondo esempio (1)
  - Quoz ← 0
  - <Leggi A>
  - <Leggi B>
  - Finche' B <= A
  - A ← A - B
  - Quoz ← Quoz + 1
  - <Stampa Quoz>

Elementi di Assembler

- Un secondo esempio (2)

```
        A   DW  ? … B   … DW  ? Q   DW
        <leggi A>
        <leggi B>
        MOV   Q, 0      Q ← 0
        MOV  AX, A
CICLO:  SUB   AX,B      AX ← AX - B
        INC  Q          Q ← Q + 1
        CMP   B, AX     B ≤ AX
        JG    END       se B > AX
        JMP CICLO
END:    <scrivi Q>
```

Elementi di Assembler

- Struttura di un programma Assembler

Dichiarazioni di variabili
Blocco delle istruzioni

  - Sequenza
  - Operazioni e operandi

Elementi di Assembler

- Struttura di un programma assembler
  Variabili, (es. `A, B, MAX`)
  Variabili predichiarate (es. `AX, BX`)

Operazioni del linguaggio Assembler

- Operatore ADD :
  - Frase lecita: ADD dst, src
    - (dove src e dst sono due operandi)
  - Semantica: *dst = dst + src*
  - Vincoli:
    - l'operando *dst* non può essere specificato come costante oppure come <nome> se <nome> è un nome di costante
    - uno dei due operandi deve essere una variabile predichiarata o una costante
- Es. `ADD A,BX` `ADD AX,1` `ADD A,3`

Operazioni del linguaggio Assembler

- Operatore SUB:
  - Frase lecita: SUB dst, src
    - (dove src e dst sono due operandi)
  - Semantica: *dst = dst - src*
  - Vincoli:
    - l'operando *dst* non può essere specificato come costante oppure come <nome> se <nome> è un nome di costante
    - uno dei due operandi deve essere una variabile predichiarata o una costante
- Es. `SUB A,BX` `SUB AX,1` `SUB A,3`

Operazioni del linguaggio Assembler

- Operatore MUL:
  - Frase lecita: MUL dst, src
    - (dove src e dst sono due operandi)
  - Semantica: *dst = dst * src*
  - Vincoli:
    - l'operando *dst* non può essere specificato come costante oppure come <nome> se <nome> è un nome di costante
    - uno dei due operandi deve essere una variabile predichiarata o una costante
- Es. `MUL A,BX` `MUL AX,1` `MUL A,3`

Operazioni del linguaggio Assembler

- Operatore DIV:
  - Frase lecita: DIV dst, src
    - (dove src e dst sono due operandi)
  - Semantica: *dst = dst / src*
  - Vincoli:
    - l'operando *dst* non può essere specificato come costante oppure come <nome> se <nome> è un nome di costante
    - uno dei due operandi deve essere una variabile predichiarata o una costante
- Es. `DIV A,BX` `DIV AX,1` `DIV A,3`

Operazioni del linguaggio Assembler

- Operatore INC:
  - Frase lecita: INC dst
    - (dove dst e' una variabile)
  - Semantica: *dst = dst+ 1*
  - Vincoli:
    - l'operando *dst* non può essere specificato come costante oppure come <nome> se <nome> è un nome di costante
- Es. `INC A` `INC AX`

Operazioni del linguaggio Assembler

- Operatore DEC:
  - Frase lecita: DEC dst, src
    - (dove dst e' una variabile)
  - Semantica: *dst = dst- 1*
  - Vincoli:
    - l'operando *dst* non può essere specificato come costante oppure come <nome> se <nome> è un nome di costante
- Es. `DEC A` `DEC AX`

Operazioni del linguaggio Assembler

- Operatore CMP:
  - Frase lecita: CMP dst, src
    - (dove src e dst sono due operandi)
  - Semantica: confronta (e memorizza l'esito del confronto) *dst* e *src*
  - Vincoli:
    - uno dei due operandi deve essere una variabile predichiarata o una costante
- Es. `CMP A,BX` `CMP AX,1` `CMP A,3`

Istruzione di Salto

- Operatore JMP:
  - Frase lecita: **JMP <etichetta>** (<etichetta> e' l'unico operando)
  - Semantica: Salta alla istruzione la cui etichetta e' <etichetta>
  - Vincoli: l'istruzione precedente deve essere di confronto tra due variabili o valori

(assegna a PC il valore di puntatore alla istruzione nel cui campo etichetta compare <etichetta>)

Istruzione di Salto

- Salto Condizionato :
  - Frase lecita: **J<COND> <etichetta>** (<etichetta> e' l'unico operando)
  - Semantica: Se <Cond> e' vera salta alla istruzione la cui etichetta e' <etichetta>
  - Vincoli: l'istruzione precedente deve essere di confronto tra due variabili o valori

Istruzione di Salto

- Salto Condizionato :
  - Frase lecita: **J<COND> <etichetta>** (<etichetta> e' l'unico operando)

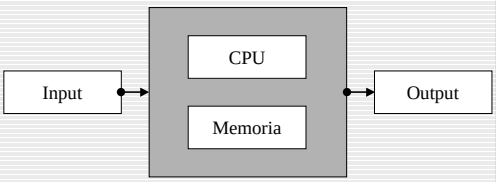
```
JMP  nessuna
JG   <cond> = il confronto ha dato esito >
JGE  <cond> = il confronto ha dato esito ≥
JL   <cond> = il confronto ha dato esito <
JLE  <cond> = il confronto ha dato esito ≤
JEQ  <cond> = il confronto ha dato esito =
JNZ  <cond> = il confronto ha dato esito ≠
```

… verso l'architettura

- Cosa serve per "calcolare" (*eseguire*) un programma Assembler?
  - Rappresentare (i.e. *Memorizzare*) i dati
  - *Localizzare* i dati
  - *Rappresentare* Istruzioni e Operandi corrispondenti
  - *Controllare la sequenza* delle istruzioni

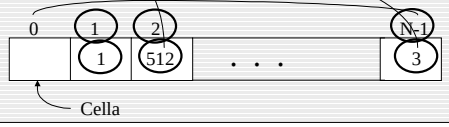
Architettura di un Elaboratore

- Von Neumann (1950)



Organizzazione della memoria

- Unita' atomica, *bit*
- Cella (o *Parola*)
- Valori
- Indirizzi

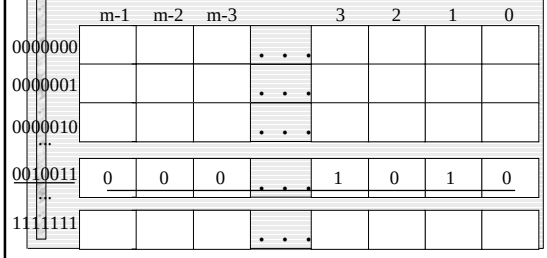


Organizzazione della memoria

- Proprietà
  - Dimensione, o *Spazio di Indirizzamento*
    - i.e. **numero delle celle** N
  - *Tempo d'accesso*
    - i.e. intervallo di trsferimento da/a memoria

Organizzazione della memoria

- Bit e Parole



Organizzazione della memoria

- Per una memoria di dimensione *K* (cioe' *K* celle disponibili) ho bisogno di un numero *n* di bit di indirizzamento tale che

$$2^n \geq K$$

- Per evitare ridondanze K e' scelto tale che

$$2^n = K$$

- 1 **byte** = 8 **bit**
- 1 *kylobyte* = 1 **Kbyte** = 2^{10} bytes = 1,024 bytes
- 1 *megabyte* = 1 **Mbyte** = 2^{20} bytes 1,000,000 bytes

Operazioni della Memoria

- *Lettura* di un dato (*fetch*)

  da Memoria a CPU
- *Scrittura* di un dato (*store*)

  da CPU a Memoria
- Canali di Comunicazione (*bus*)
  - Dati
  - Indirizzi
  - Controllo (Lettura/Scrittura)

Operazioni della Memoria

- *Nella Lettura*

  La CPU mette a disposizione un **indirizzo**
- *Nella Scrittura*

  La CPU mette a disposizione un **indirizzo** ed un **valore**

Operazioni della Memoria

- Due registri gestiscono il traffico:
  - *Memory Address Register* (**MAR**)
    - contiene l'indirizzo della cella di memoria da cui eseguire la lettura/scrittura
  - *Memory Buffer Register* (**MBR**)
    - Scrittura: contiene il valore da memorizzare
      M(MAR) ← MBR
    - Lettura: riceve il valore della cella di indirizzo MAR
      M(MAR) → MBR

Gerarchia della Memoria

Registri
Veloci, Costosi
RAM (Random Access Memory)
Meno veloce, meno costosa
Memoria Secondaria
Lenta, bassissimi costi
Cache
tra RAM e registri

Gerarchia della Memoria

Registri

Processori	Numero registri	Dimensione
DEC VAX	16	32
Intel 8086	8	16
Intel 80386	8	32
Motorola 68000	16	32
Sun Sparc	128	32

Il Processore Centrale (CPU)

... cosa deve fare?

- Ciclo Operativo (*Instruction Cycle*)
  Localizza la istruzione successiva *I*
  Carica l'istruzione *I*
  Decodifica *I*
  Esegue *I*

Il Processore Centrale (CPU)

L'Algoritmo:

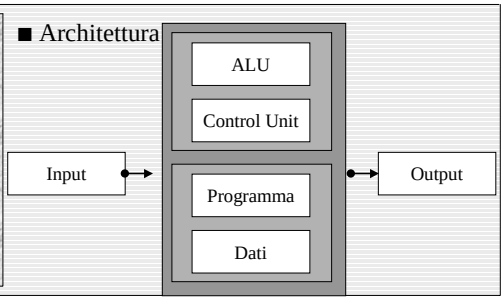
- Finché ($I \neq$ HALT) {
  Localizza *I*
  Carica *I*
  Decodifica *I*
  Esegui *I*
  }

Il Processore Centrale (CPU)

- Elementi Costitutivi
  - ALU (Arithmetic-Logic Unit)
    - Opera sui dati
    - Operazioni aritmetiche, relazioni logiche, trsmissione
  - Control Unit (CU o UC)
    - Gestisc il ciclo operativo
    - Eventuali condizioni di errore (per es, overflow)
    - Interruzioni asincrone

Il Processore Centrale (CPU)

- Architettura



Il Processore Centrale (CPU)

- Localizzazione delle Istruzioni
  - Program Counter (PC)
    - E' il registro in cui in ogni istante e' memorizzato l'indirizzo della prossima istruzione
  - Instruction Register (IR)
    - E' il registro che contiene la istruzione in fase di esecuzione

Il Processore Centrale (CPU)

- Ciclo di fetch della istruzione
  - **MAR ← PC**
  - **MBR ← M(MAR)** % lettura istruzione
  - **IR ← MBR**
  - **PC ← PC + *s*** % *s* e' la taglia della istruzione

Il Processore Centrale (CPU)

- Esecuzione delle Istruzioni
  - Decodifica Operazione
    - Le operazioni possibili corrispondono a rappresentazioni, dette *codici operativi*
    - Ogni operazione determina anche il tipo dei suoi operandi (Operation Mode)
    - Gli operandi hanno una loro rappresentazione
      - Costanti (valori diretti)
      - Registri (accumulatori)
      - Indirizzi in memoria

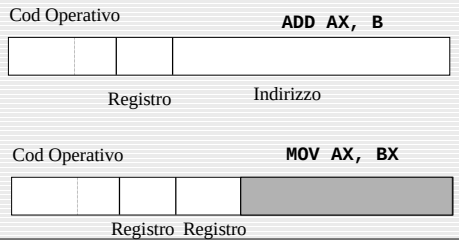
Il Processore Centrale (CPU)

- Esecuzione delle Istruzioni
  - Decodifica Operazione
    - Una istruzione occupa lo spazio necessario a codificare tutte le seguenti informazioni
      - Codice Operativo + Modo
      - Valori diretti *
      - Registro/i associato alla istruzione *
      - Indirizzo associato alla istruzione *

** sta per opzionale cioe' dipendente da Codice operativo e Modo*

Il Processore Centrale (CPU)

- Formato delle Istruzioni



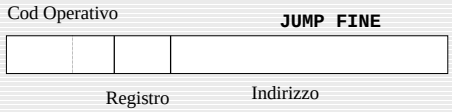
Il Processore Centrale (CPU)

- Esecuzione `(es. ADD AX, A)`
  `<CO-MO,R1,Ind>`
  - Richiede due accessi in memoria
  - Fetch istruzione (come prima)
  - **Fetch operando**
    - MAR ← Ind
    - MBR ← M(MAR) % lettura operando
    - esegui operazione CO su MBR e R1

      il risultato e' memorizzato in R1!

Il Processore Centrale (CPU)

- Operazioni di JUMP



L'Indirizzo fornito dalla istruzione e' quello relativo a **`FINE`**

Il Processore Centrale (CPU)

- Esecuzione `(es. JMP FINE)`
  `<CO-MO,-,Ind>`
  - `Ind` corrisponde a FINE
  - `CO-MO` corrisponde a JMP
  - Esecuzione
    - PC ← Ind

      il risultato e' che cambia la successiva istruzione da eseguire!

Linguaggio Macchina

Il linguaggio basato sulle triple
`<CO-MO,R1,R2/Ind>`
e' detto **linguaggio macchina**

Macchine CISC
Macchine RISC

Linguaggio Macchina

Il linguaggio macchina *corrisponde* a quello Assembler

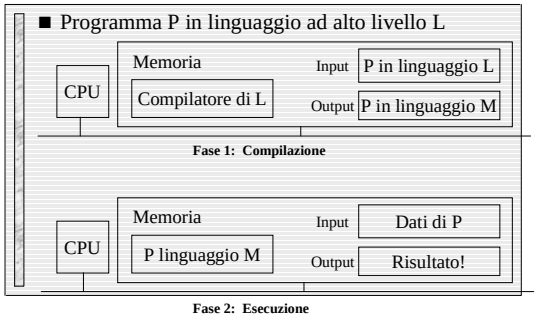
`Cod.Oper.` => Operazioni Assembler
`Registri` => Variabili Predichiarate
`Indirizzi` => Nomi Variabili
`Indirizzi` => Etichette

Linguaggio Macchina

- Il procedimento risolutivo si codifica nel linguaggio a piu' alto livello
- Il processo di traduzione verso il linguaggio macchina e' detto **compilazione**.
- Nel caso (semplice) dell'Assembler esso e' detto Assemblaggio

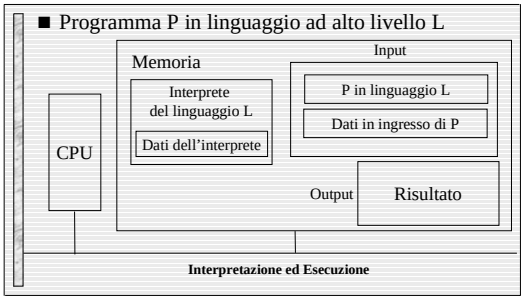
Compilazione e Macchina Virtuale

- Programma P in linguaggio ad alto livello L



Compilazione e Macchina Virtuale

- Programma P in linguaggio ad alto livello L

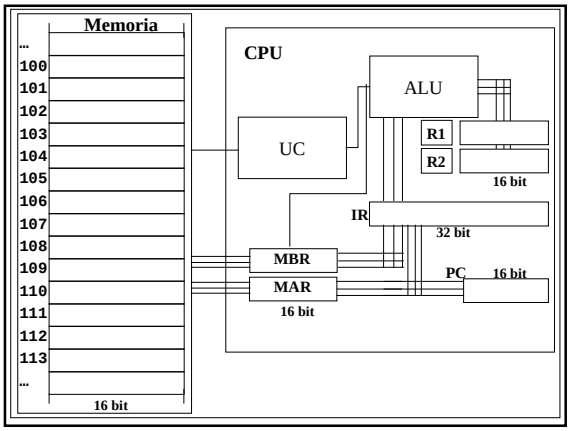


Interpreti vs. Compilatori

- Caratteristiche
  - Spazio di memoria
  - Tecniche di Ottimizzazione
  - Sicurezza
- Nuove Tendenze
  - Java
  - Network Computing

Elementi di Architettura

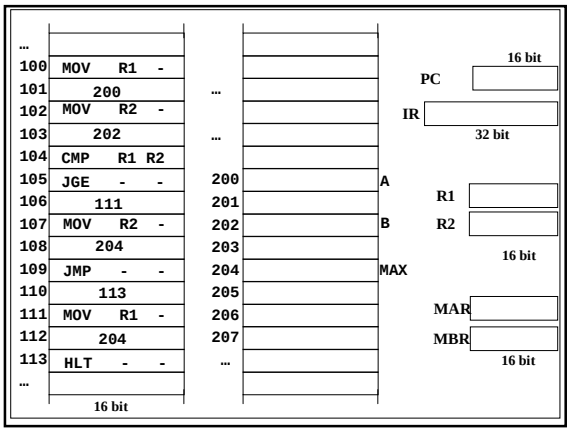
- Una macchina semplificata
- … al lavoro

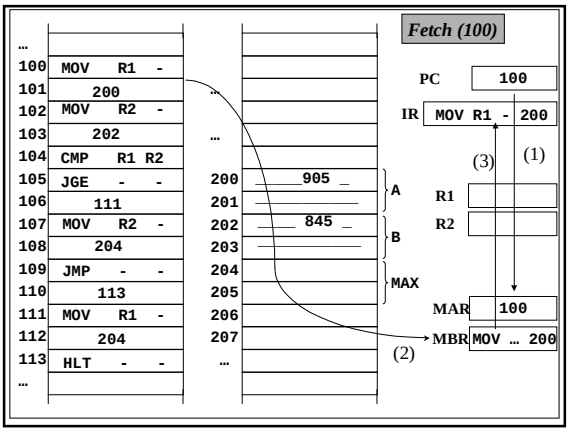


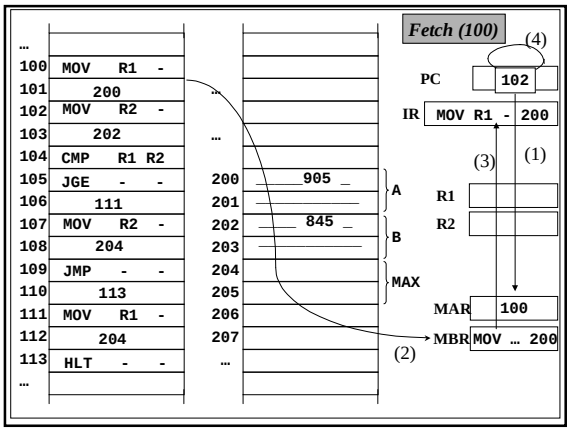
Linguaggio Macchina

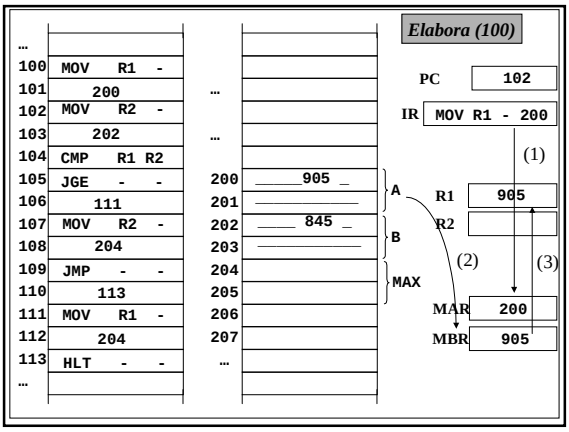
- Esempio: Massimo tra due numeri in Assembler

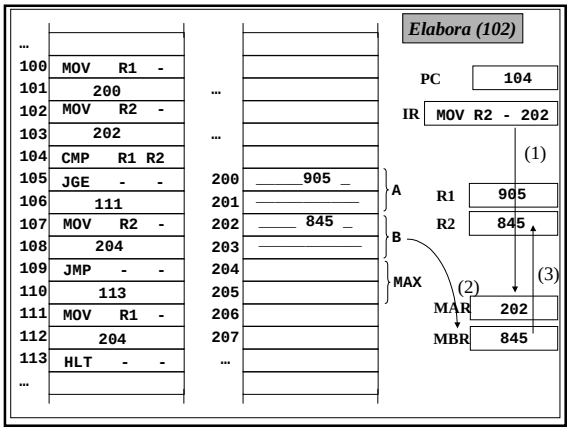
```
        MAX   DW  ?
        A     DW  ?
        B     DW  ?
        …
        MOV   AX, A
        MOV   BX, B
        CMP   AX, BX
        JGE   THEN
        MOV   MAX, BX
        JMP   FINE
THEN    MOV   MAX, AX
FINE    HLT
```

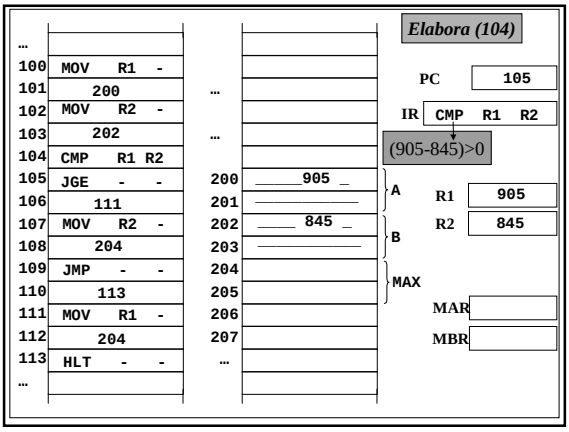

100 MOV R1 -
101 200
102 MOV R2 -
103 202
104 CMP R1 R2
105 JGE - -
106 111
107 MOV R2 -
108 204
109 JMP - -
110 113
111 MOV R1 -
112 204
113 HLT - -
16 bit
PC
IR
32 bit
A
B
MAX
R1
R2
16 bit
MAR
MBR
16 bit

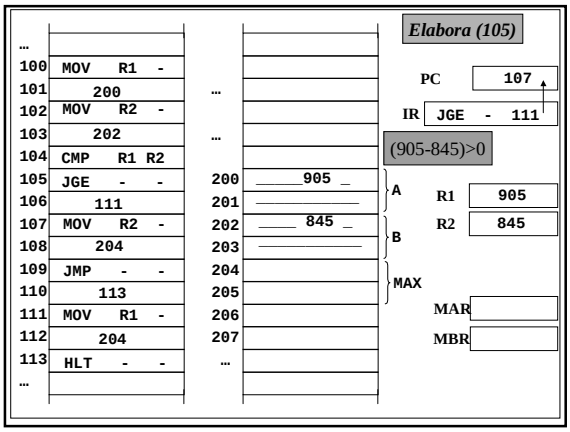

Fetch (100)
PC 100
IR MOV R1 - 200
905
845
MAR 100
MBR MOV … 200
(1)
(2)
(3)

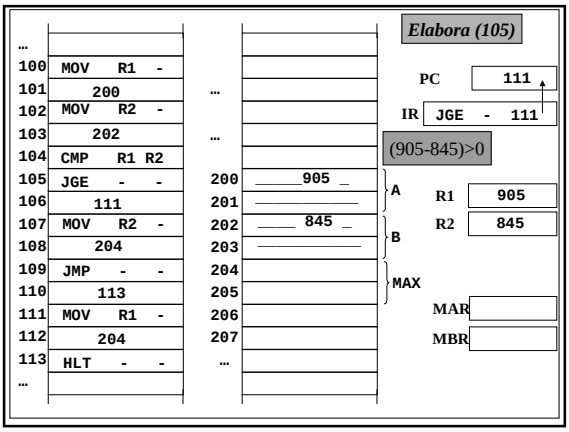

Fetch (100)
PC 102
IR MOV R1 - 200
905
845
MAR 100
MBR MOV … 200
(1)
(2)
(3)
(4)

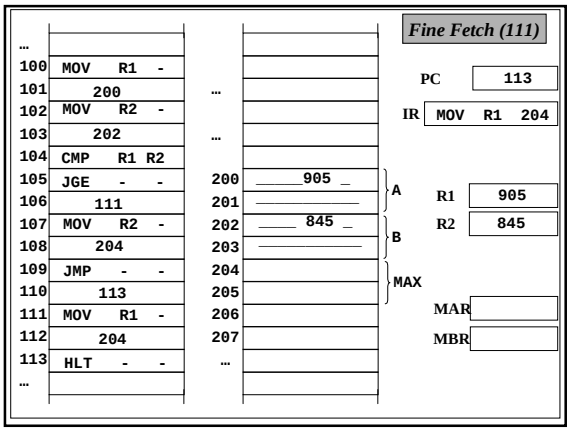

Elabora (100)
PC 102
IR MOV R1 - 200
905
845
R1 905
MAR 200
MBR 905
(1)
(2)
(3)

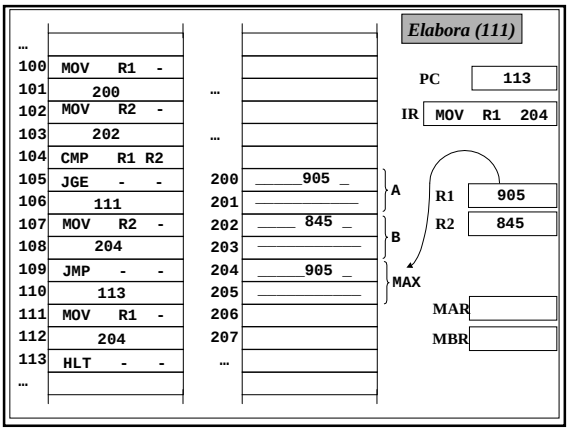

Elabora (102)
PC 104
IR MOV R2 - 202
905
845
R1 905
R2 845
MAR 202
MBR 845
(1)
(2)
(3)


Elabora (104)
PC 105
IR CMP R1 R2
(905-845)>0
905
845
R1 905
R2 845









Architetture

- Tecnologie Avanzate
  - Pipelining
  - RISC machines
  - CISC machines
  - Multiprocessori