SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

Architettura degli Elaboratori
Lez. 3 – ASM: Strutture di controllo

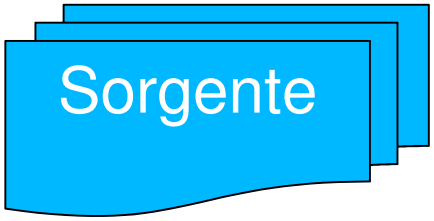
Prof. Andrea Sterbini – sterbini@di.uniroma1.it

Argomenti

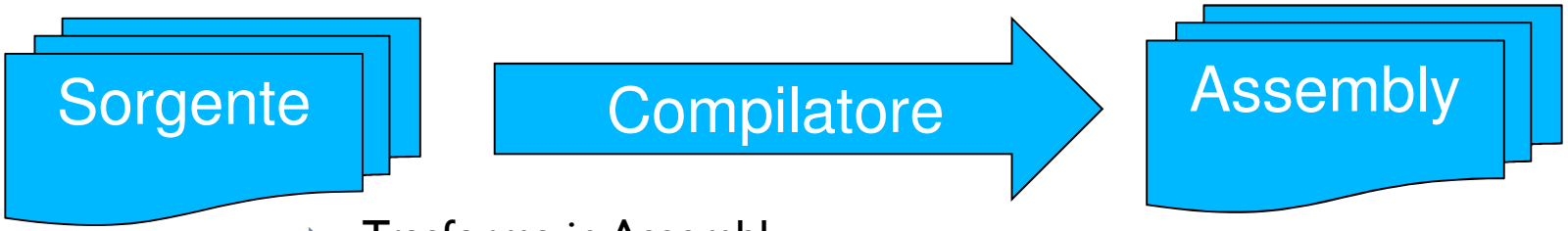
- **Argomenti della lezione**
  - Il simulatore MARS
  - Le strutture di controllo
  - Esempi di programmi
  - Come «debuggare» un programma

- Scaricate il **simulatore MARS** da
- **http://courses.missouristate.edu/kenvollmar/mars/index.htm**
  - è scritto in Java (**gira su qualsiasi OS**)
  - è **estensibile** (diversi plug-in per esaminare il comportamento della CPU e della Memoria)
  - è un IDE integrato:
    - **Editor con evidenziazione della sintassi** assembly ed **autocompletamento** delle istruzioni
    - **Help completo** (istruzioni, syscall …)
    - **Simulatore** con possibilità di **esecuzione passo-passo** e uso di **breakpoint**
    - Permette l'**esecuzione da riga di comando** e la **compilazione di più file**

Compilatore / Assemblatore

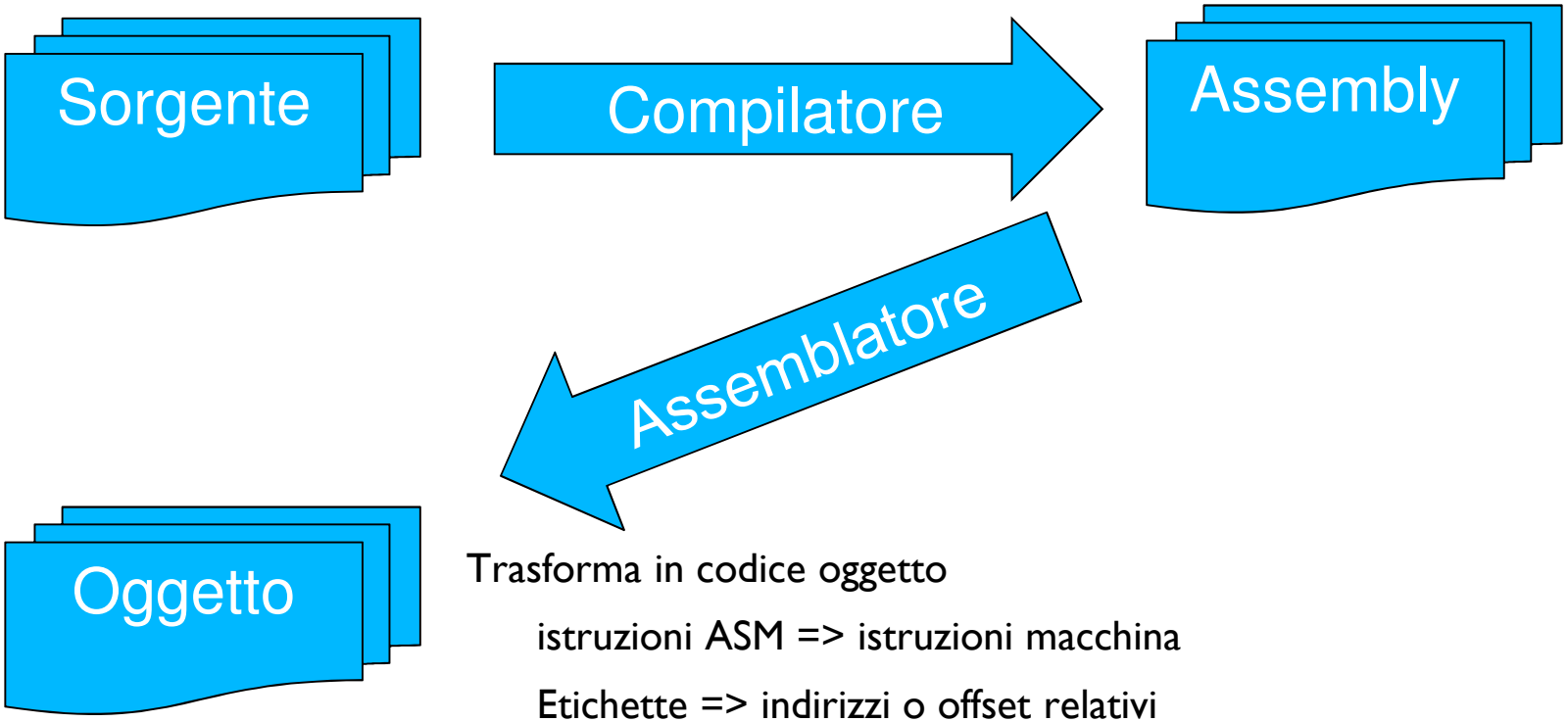


Compilatore / Assemblatore



- Trasforma in Assembly
  - Istruzioni/espressioni di alto livello => istruzioni ASM
  - variabili temporanee => registri
  - Variabili globali e locali => etichette e direttive
  - Strutture di controllo => salti ed etichette
  - funzioni e chiamate => etichette e salti a funzione
  - chiamate a funzioni esterne => tabella x linker

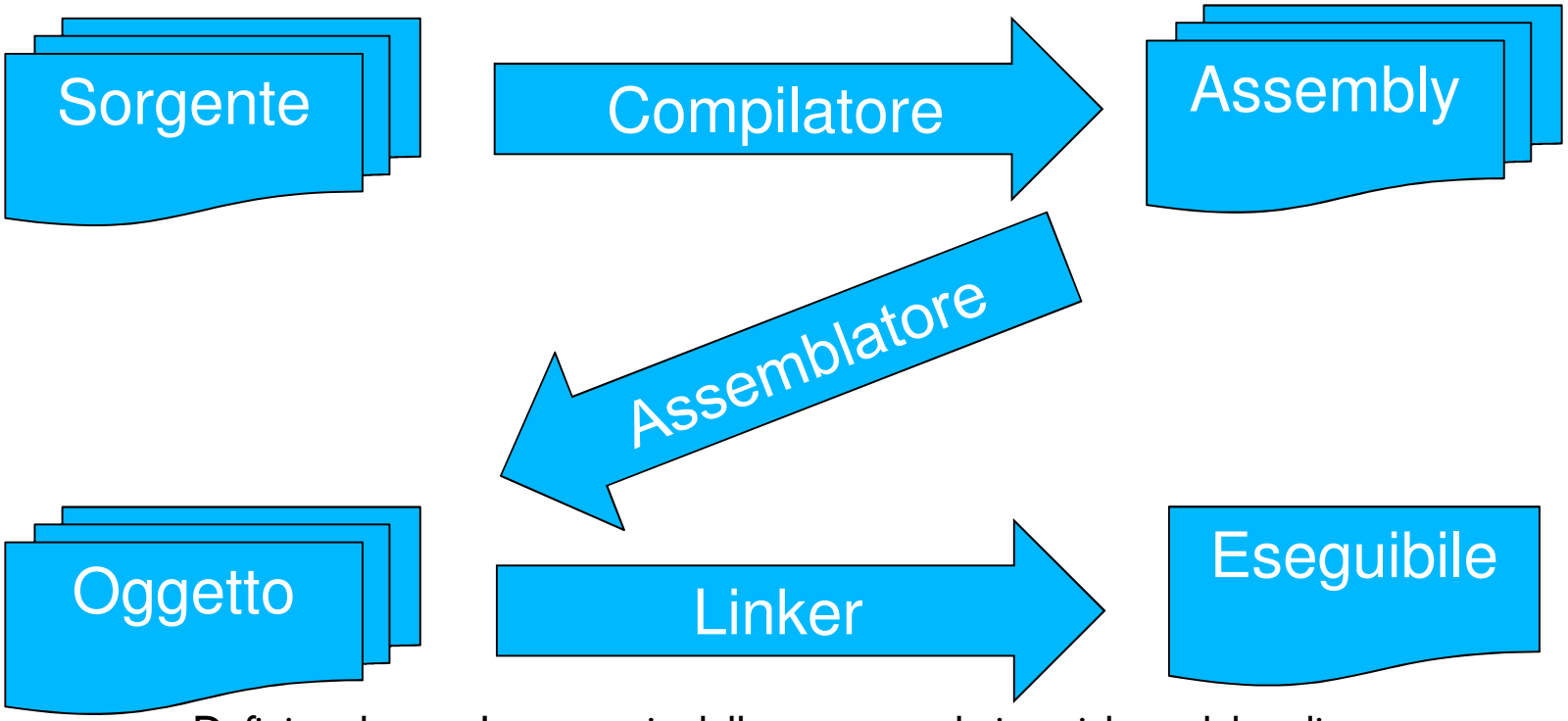
Compilatore / Assemblatore



Trasforma in codice oggetto

- istruzioni ASM => istruzioni macchina
- Etichette => indirizzi o offset relativi
- direttive => allocazione e inizializzazione strutture statiche
- Macro => gruppi di istruzioni

Compilatore / Assemblatore



Definisce la pos. In memoria delle strutture dati statiche e del codice

«Collega» i riferimenti a

chiamate di funzioni esterne => salti non relativi

strutture dati esterne => indirizzamenti non relativi

Assembly MIPS

- **Direttive** principali per l'assemblatore

.data definizione dei dati statici

.text definizione del programma

.asciiz stringa terminata da zero

.byte sequenza di byte

.double sequenza di double

.float sequenza di float

.half sequenza di half word

.word sequenza di word

- Codici mnemonici delle **istruzioni**

  add, sub, div, beq …

- Codifica mnemonica dei **registri**

  $a0, $sp, $ra … $f0, $f31

- **Etichette** (per calcolare gli indirizzi relativi)

  nome:

- L'assemblatore converte

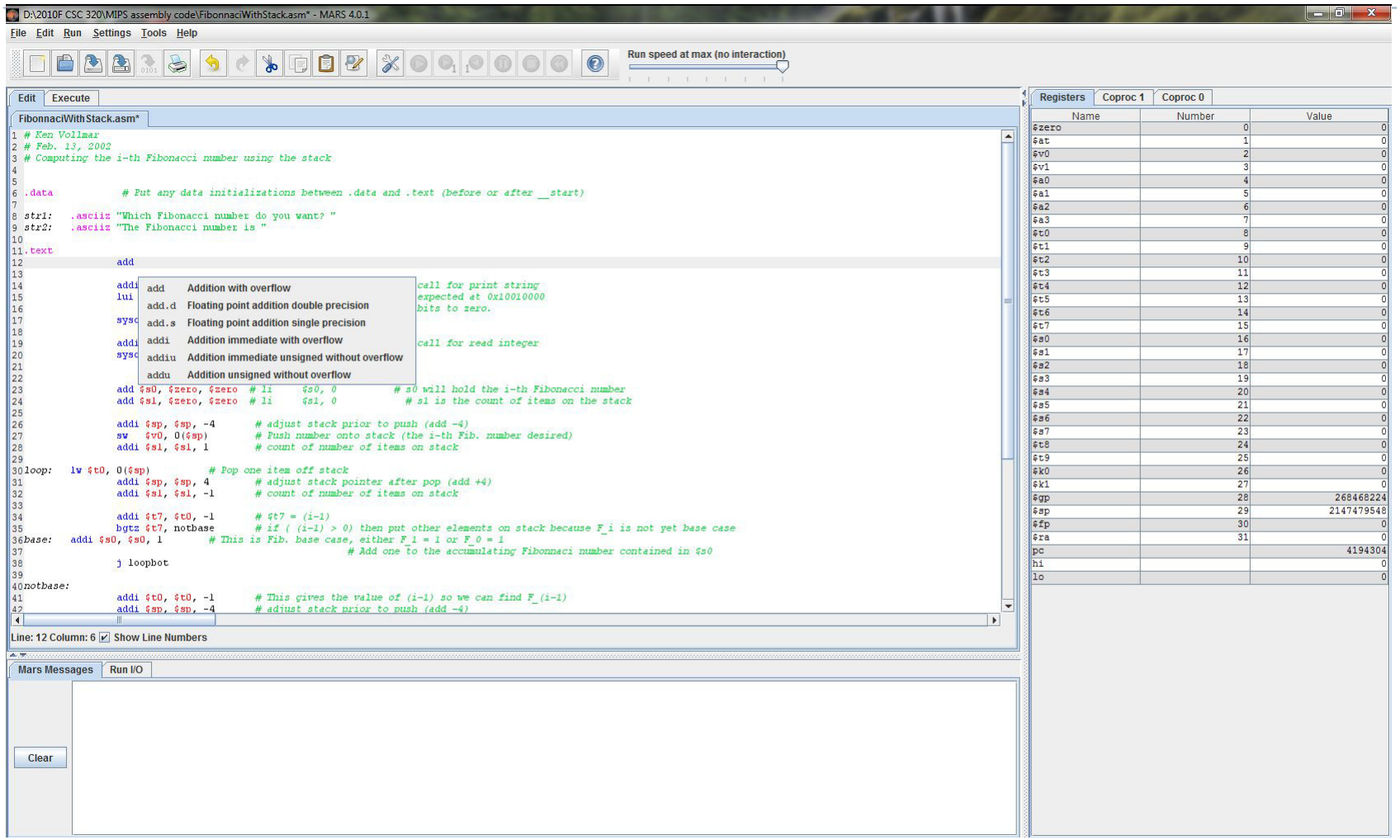
- dal testo del programma in assembly

- al programma in codice macchina

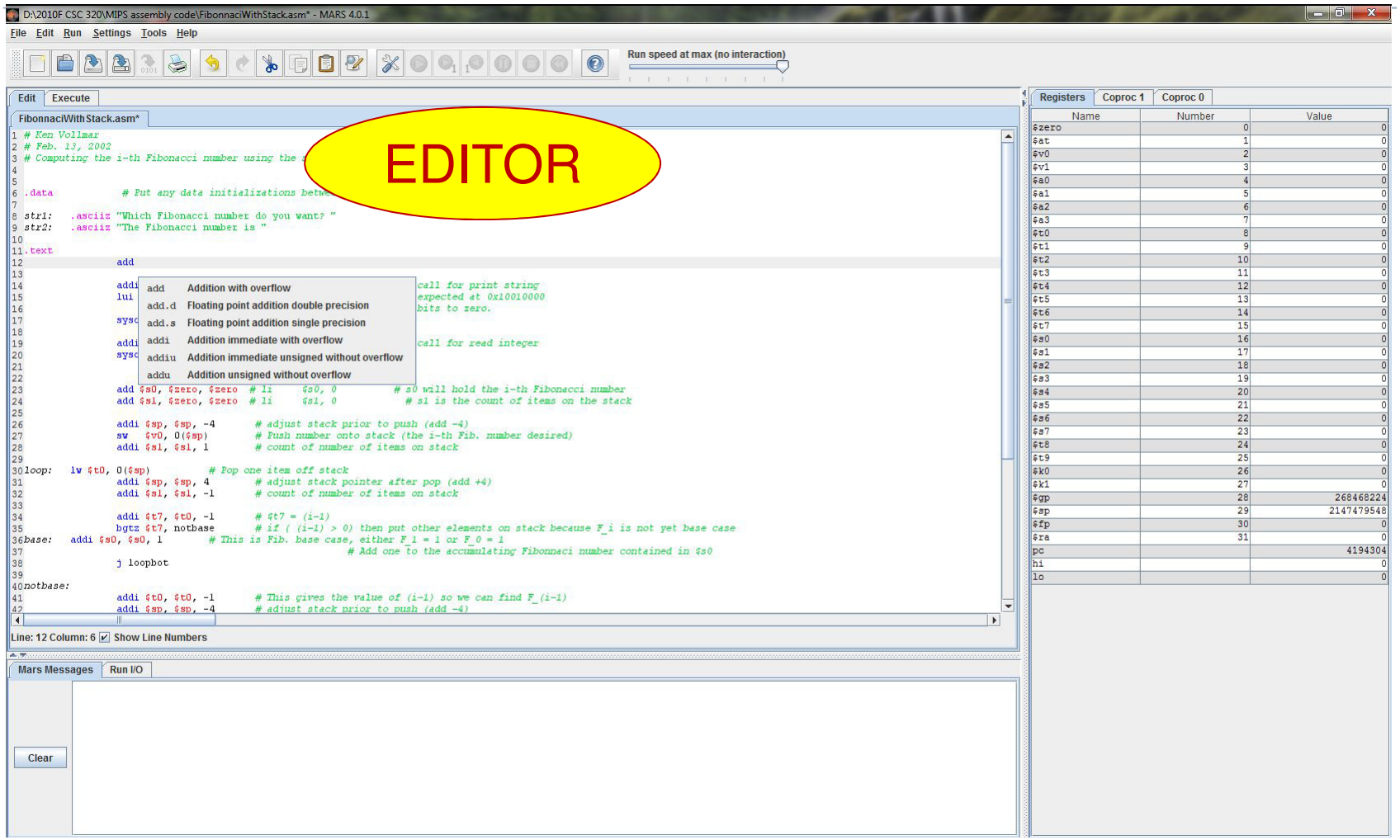
- Dalle **etichette** calcola gli indirizzi
  - Dei salti relativi
  - Delle strutture dati in memoria (offset)
  - Dei salti assoluti

- **NOTA:** le **strutture di controllo del flusso** del programma vanno realizzate «a mano» usando i **salti condizionati e le etichette**

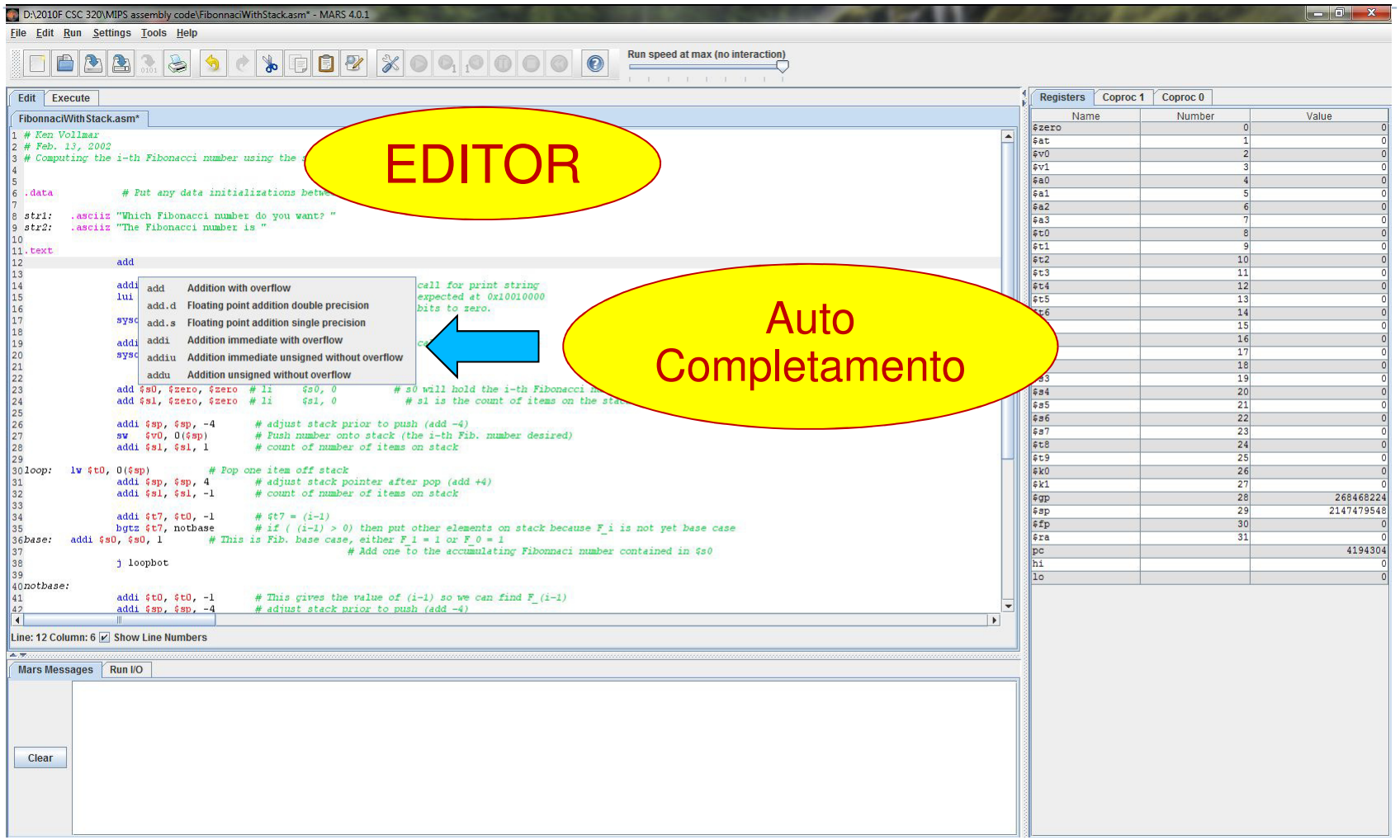
Il simulatore MARS



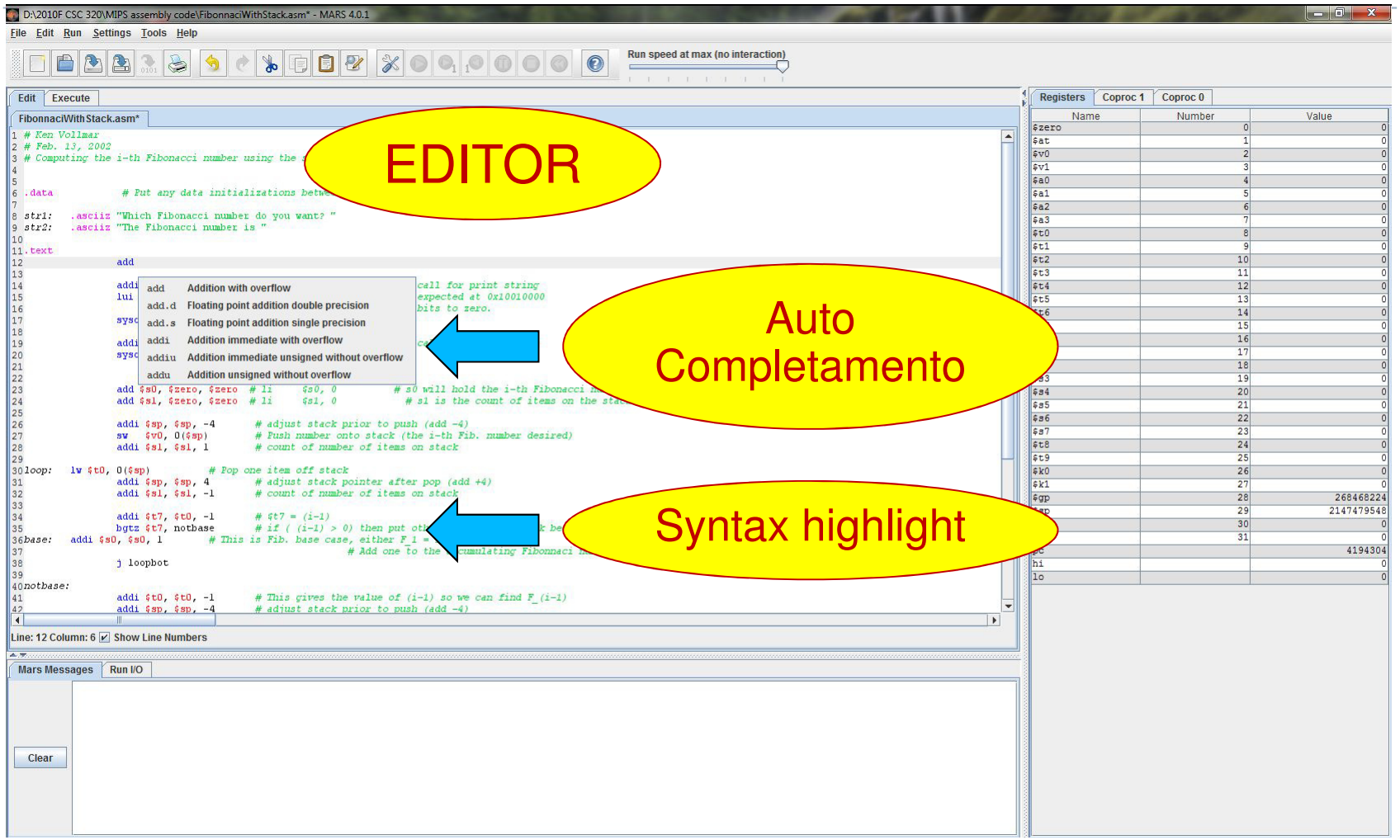
Il simulatore MARS



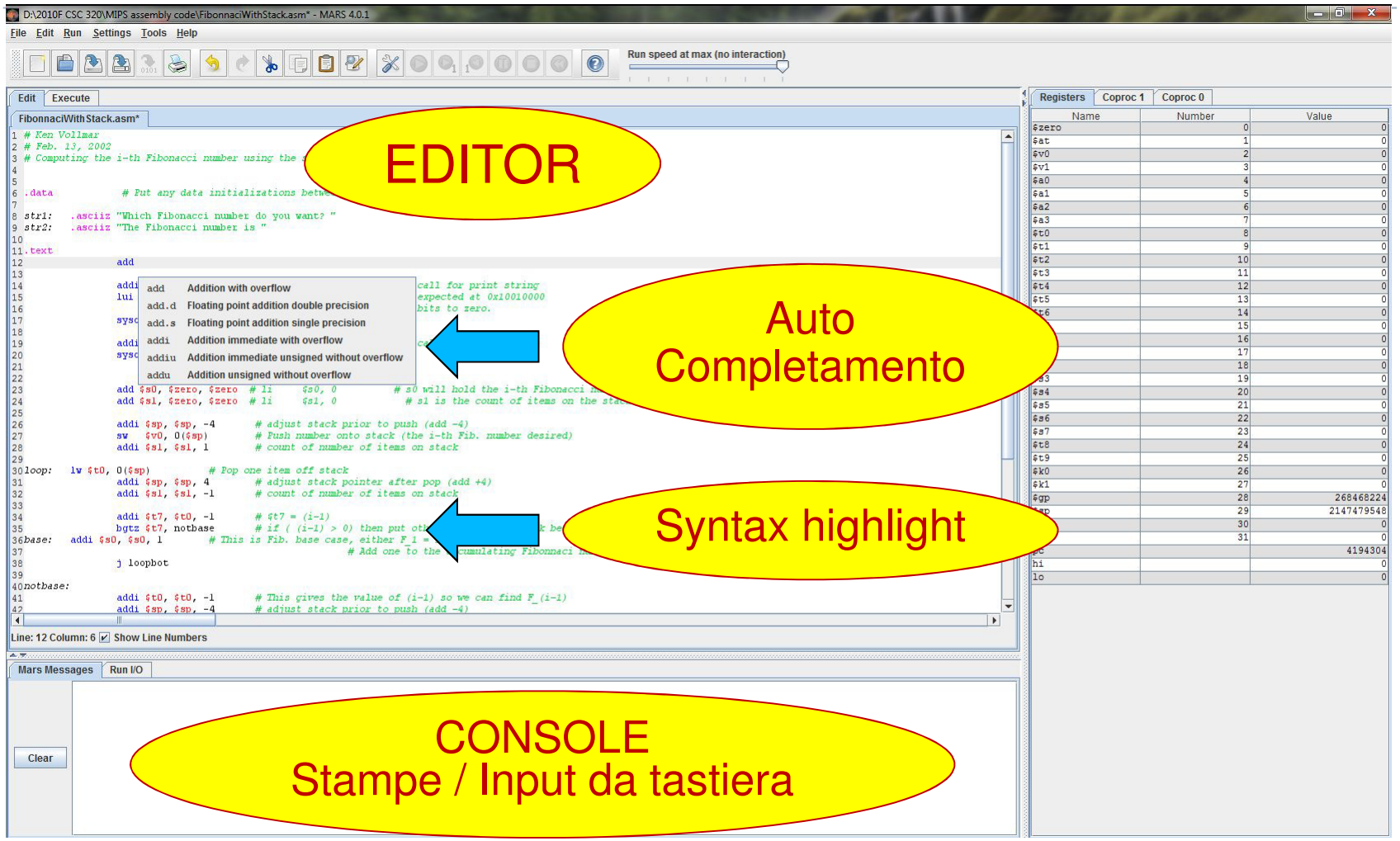
Il simulatore MARS



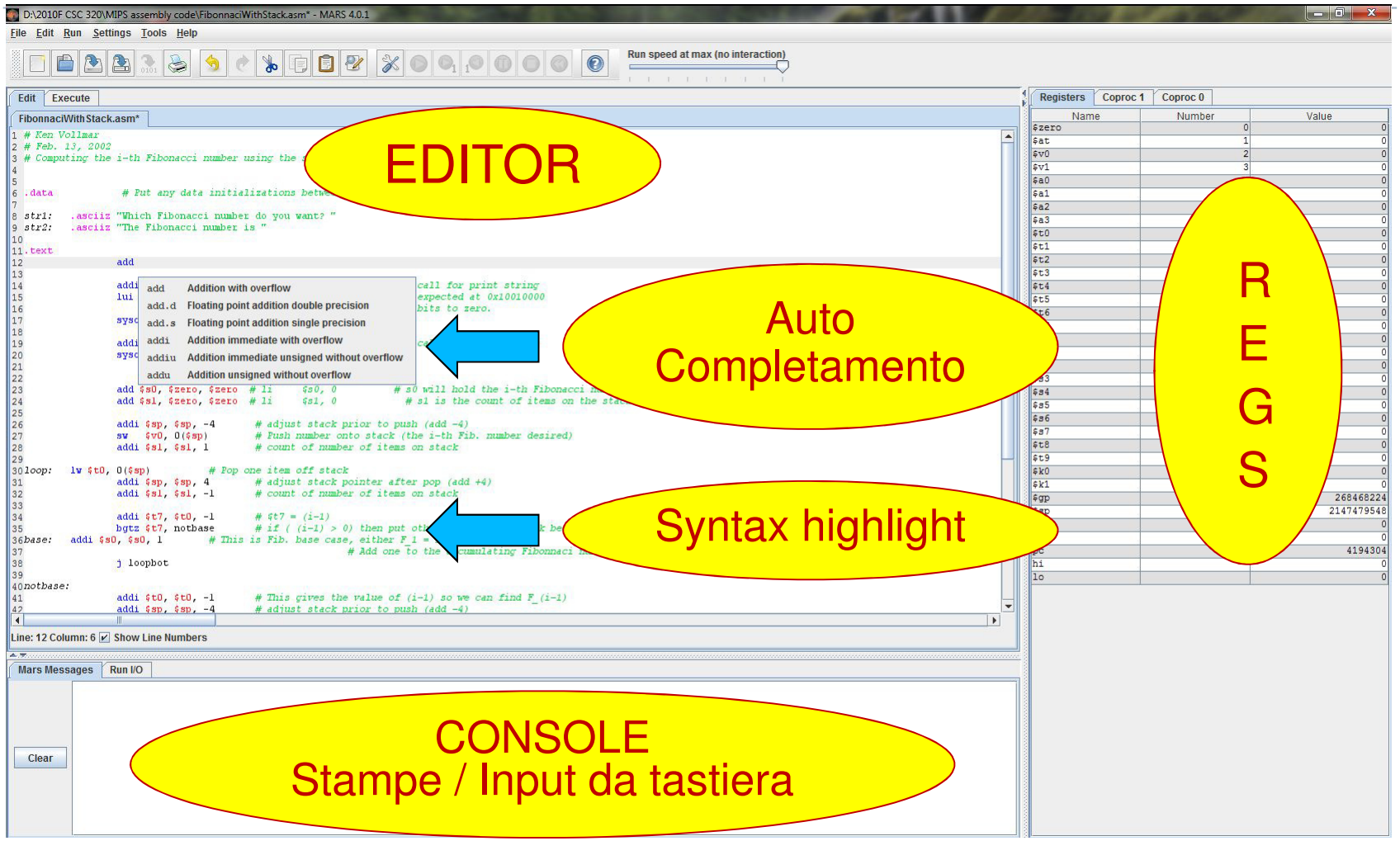
Il simulatore MARS



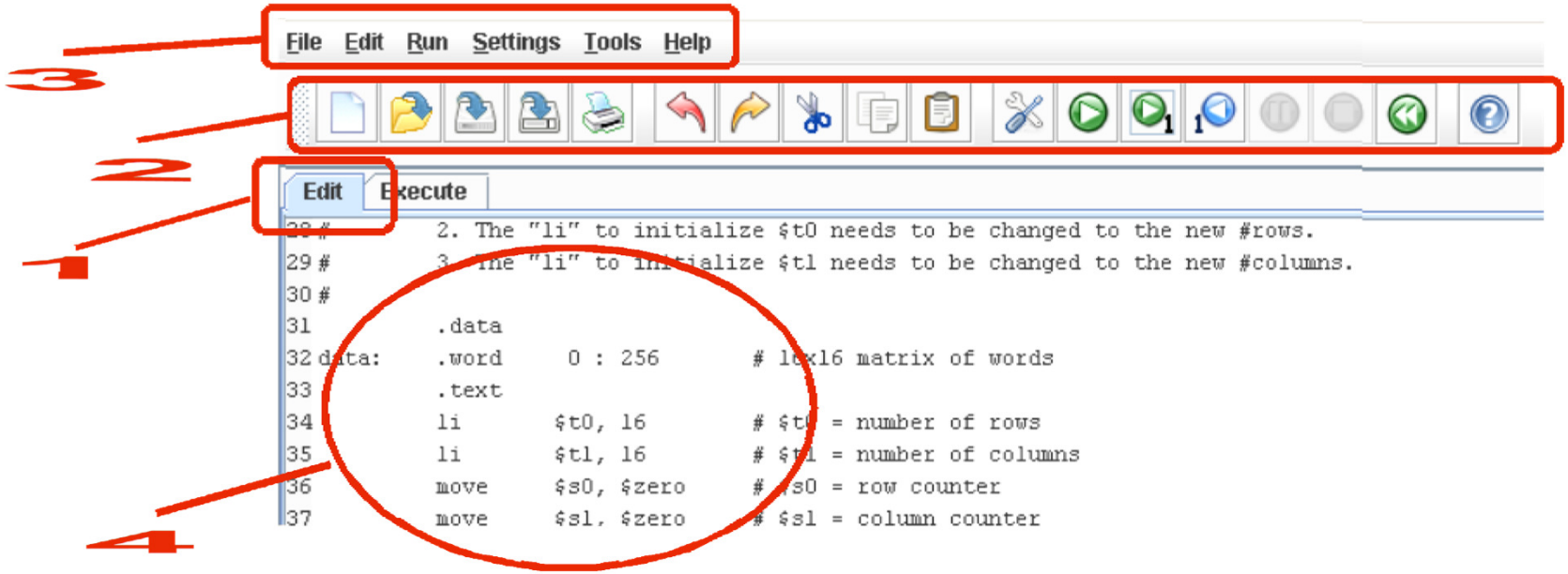
Il simulatore MARS



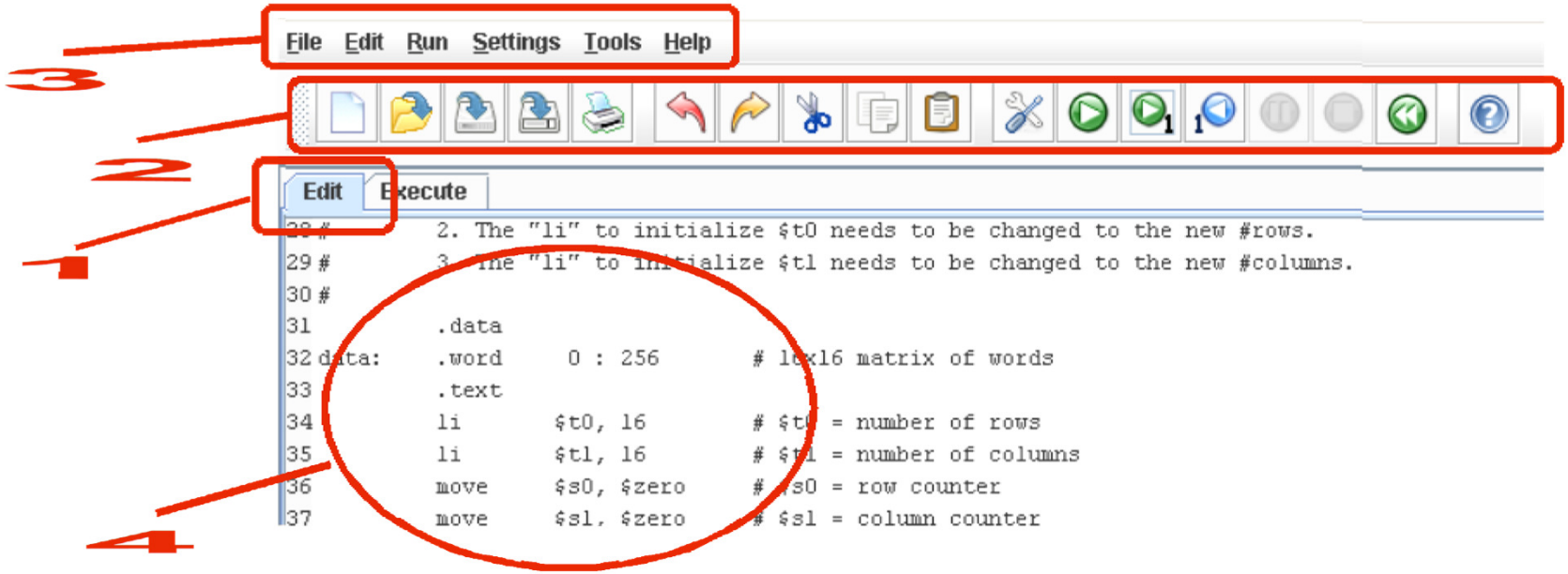
Il simulatore MARS



MARS: la toolbar

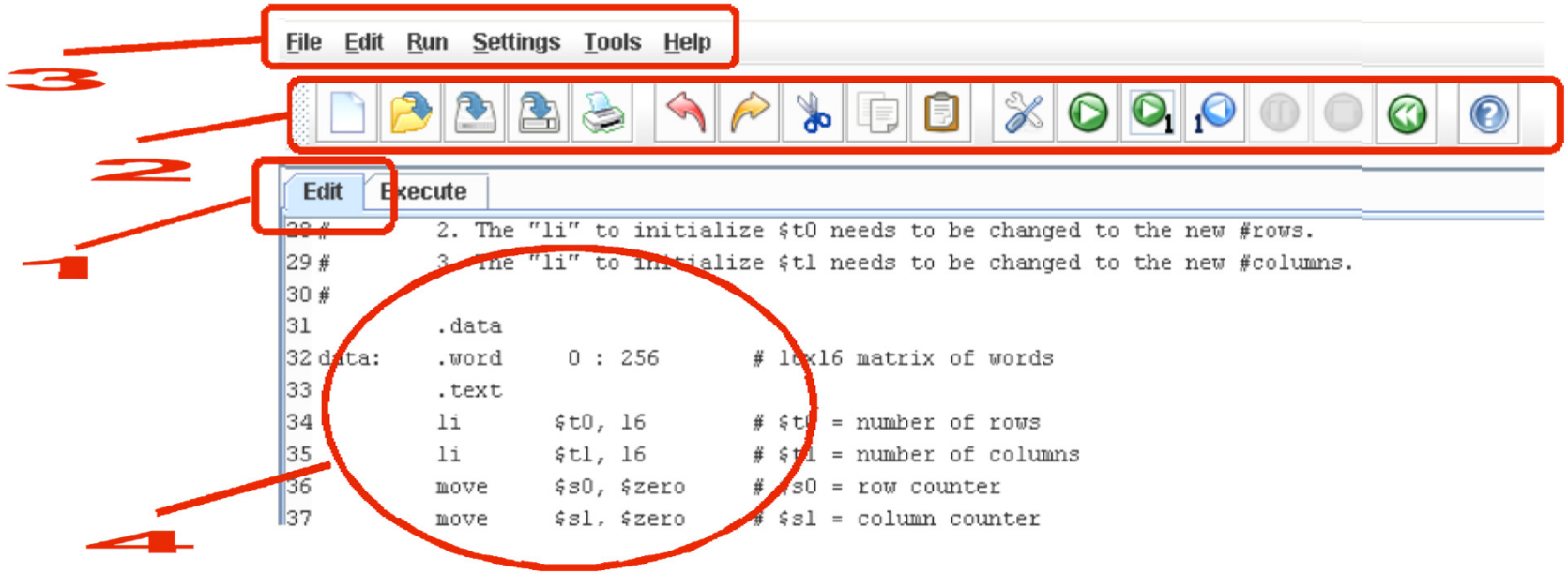


MARS: la toolbar



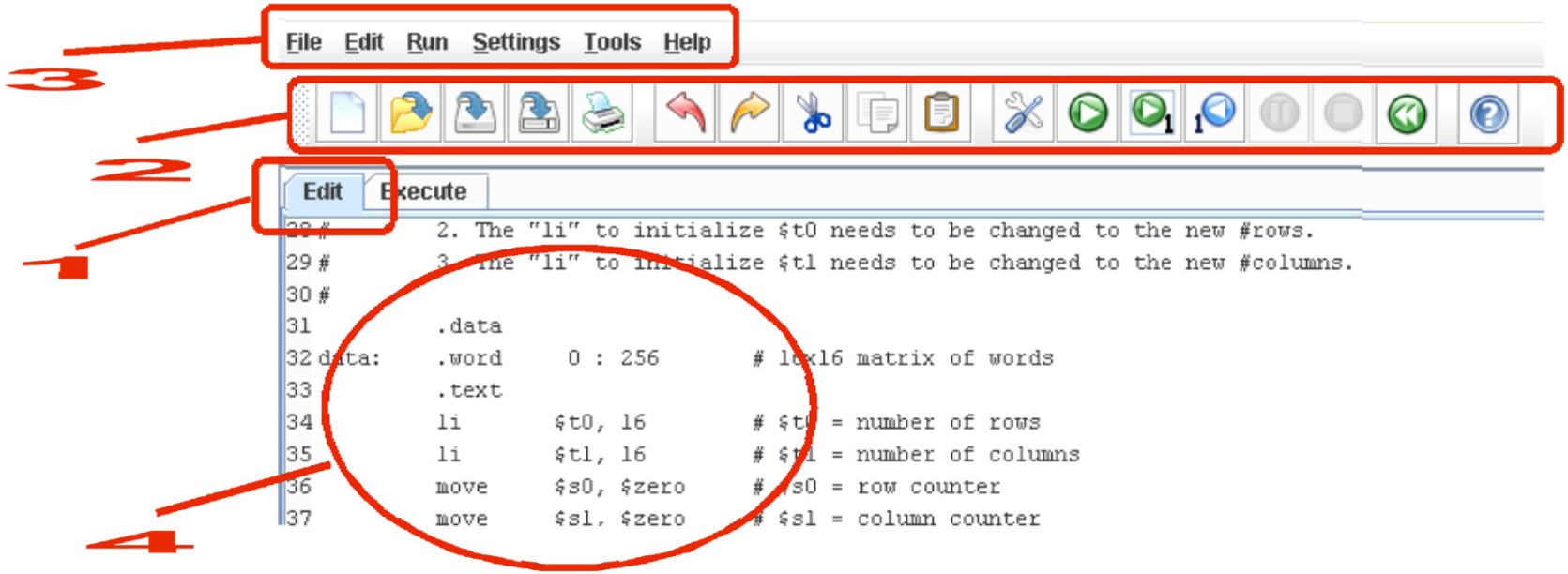
- Interfaccia a tab (uno per ciascun file aperto, più il simulatore)

MARS: la toolbar



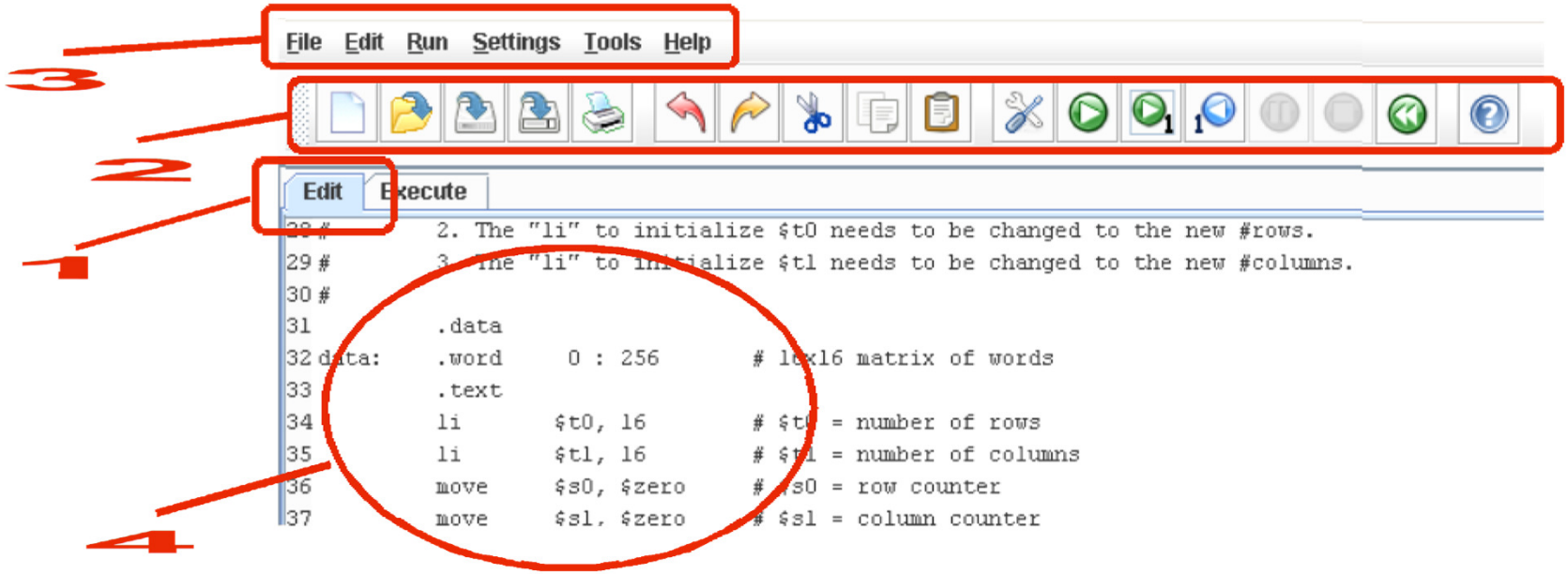
- **1** Interfaccia a tab (uno per ciascun file aperto, più il simulatore)
- **2** Toolbar (Compilazione, Esecuzione, Esecuzione passo-passo in avanti e indietro, Reset)

MARS: la toolbar



- **1** Interfaccia a tab (uno per ciascun file aperto, più il simulatore)
- **2** Toolbar (Compilazione, Esecuzione, Esecuzione passo-passo in avanti e indietro, Reset)
- **3** Menu

MARS: la toolbar



- **1** Interfaccia a tab (uno per ciascun file aperto, più il simulatore)
- **2** Toolbar (Compilazione, Esecuzione, Esecuzione passo-passo in avanti e indietro, Reset)
- **3** Menu
- **4** Finestra dell'editor

Struttura della memoria

- **.data**
- # definizione dei dati allocati staticamente
- # partono da 0x 1000 0000
- **etichetta:** .word
  valori

- **.text**
- # istruzioni del programma
- # partono da 0x 0040 0000
- # oppure dalla etichetta
  main:

Salti e condizioni logiche

Condizioni logiche

seq	$t0, $t1, $t2	(Set Equal To)	$t0 = 1 se $t1==$t2, altrimenti 0
slt	$t0, $t1, $t2	(Set Less Than)	$t0 = 1 se $t1 < $t2, altrimenti 0
sgt	$t0, $t1, $t2	(Set Greater Than)	$t0 = 1 se $t1 > $t2, altrimenti 0
	…		

Salti e condizioni logiche

Condizioni logiche

seq	$t0, $t1, $t2	(Set Equal To)	$t0 = 1 se $t1==$t2, altrimenti 0
slt	$t0, $t1, $t2	(Set Less Than)	$t0 = 1 se $t1 < $t2, altrimenti 0
sgt	$t0, $t1, $t2	(Set Greater Than)	$t0 = 1 se $t1 > $t2, altrimenti 0
	…		

Operazioni logiche

and	$t0, $t1, $t2	(AND bit a bit)	$t0 = $t1 && $t2
or	$t0, $t1, $t2	(OR bit a bit)	$t0 = $t1 || $t2
not	$t0, $t1	(NOT bit a bit)	$t0 = ! $t1

Salti e condizioni logiche

Condizioni logiche

seq	$t0, $t1, $t2	(Set Equal To)	$t0 = 1 se $t1==$t2, altrimenti 0
slt	$t0, $t1, $t2	(Set Less Than)	$t0 = 1 se $t1 < $t2, altrimenti 0
sgt	$t0, $t1, $t2	(Set Greater Than)	$t0 = 1 se $t1 > $t2, altrimenti 0
	…		

Operazioni logiche

and	$t0, $t1, $t2	(AND bit a bit)	$t0 = $t1 && $t2
or	$t0, $t1, $t2	(OR bit a bit)	$t0 = $t1 || $t2
not	$t0, $t1	(NOT bit a bit)	$t0 = ! $t1

Salti condizionati

beq	$t0, $t1, label	(Branch if EQual)	salta se $t0 == $t1
ble	$t0, $t1, label	(Branch if Less or Equal)	salta se $t0 <= $t1
blt	$t0, $t1, label	(Branch if Less Than)	salta se $t0 < $t1
	…		

Salti e condizioni logiche

Condizioni logiche

seq	$t0, $t1, $t2	(Set Equal To)	$t0 = 1 se $t1==$t2, altrimenti 0
slt	$t0, $t1, $t2	(Set Less Than)	$t0 = 1 se $t1 < $t2, altrimenti 0
sgt	$t0, $t1, $t2	(Set Greater Than)	$t0 = 1 se $t1 > $t2, altrimenti 0
	…		

Operazioni logiche

and	$t0, $t1, $t2	(AND bit a bit)	$t0 = $t1 && $t2
or	$t0, $t1, $t2	(OR bit a bit)	$t0 = $t1 || $t2
not	$t0, $t1	(NOT bit a bit)	$t0 = ! $t1

Salti condizionati

beq	$t0, $t1, label	(Branch if EQual)	salta se $t0 == $t1
ble	$t0, $t1, label	(Branch if Less or Equal)	salta se $t0 <= $t1
blt	$t0, $t1, label	(Branch if Less Than)	salta se $t0 < $t1
	…		

Salto non condizionato

j	label	(Jump)	salta alla destinazione

IF THEN ELSE

Esempio C

```
if ( X > 0 ) {

// codice da eseguire se il test è vero

} else {

// codice da eseguire se il test è falso

}
// codice seguente
```

IF THEN ELSE

Esempio C

```
if ( X > 0 ) {

// codice da eseguire se il test è vero

} else {

// codice da eseguire se il test è falso

}
// codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
# uso il registro $t0 per la var. X
blez $t0, else          # test X <= 0

# codice da eseguire se il test è vero

j endIF                 # esco dall'IF
else:
# codice da eseguire se il test è falso

endIf:
        # codice seguente
```

IF THEN ELSE

Esempio C

```
if ( X > 0 ) {

// codice da eseguire se il test è vero

} else {

// codice da eseguire se il test è falso

}
// codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
# uso il registro $t0 per la var. X
blez $t0, else          # test X <= 0

# codice da eseguire se il test è vero

j endIF                 # esco dall'IF
else:
# codice da eseguire se il test è falso

endIf:
        # codice seguente
```

NOTA: il test inserito è **l'opposto** dell'originale

Ciclo FOR

Esempio C

```
for (i=0 ; i<N ; i++)
{
        // codice da ripetere

}

        // codice seguente
```

Ciclo FOR

Esempio C

```
for (i=0 ; i<N ; i++)
{
        // codice da ripetere

}

        // codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
        # uso il registro $t0 per l'indice i
        # uso il registro $t1 per il limite N
        xor $t0, $t0, $t0       # azzero i
        li $t1, N               # limite del ciclo
cicloFor:
        ble $t0, $t1, endFor    # test i>=N
        # codice da ripetere
        addi $t0, $t0, 1        # incremento di i
        j cicloFor              # loop
endFor:
        # codice seguente
```

Ciclo FOR

Esempio C

```
for (i=0 ; i<N ; i++)
{
        // codice da ripetere

}

        // codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
        # uso il registro $t0 per l'indice i
        # uso il registro $t1 per il limite N
        xor $t0, $t0, $t0       # azzero i
        li $t1, N               # limite del ciclo
cicloFor:
        ble $t0, $t1, endFor    # test i>=N
        # codice da ripetere
        addi $t0, $t0, 1        # incremento di i
        j cicloFor              # loop
endFor:
        # codice seguente
```

NOTA: il test inserito è **l'opposto** dell'originale

Ciclo WHILE DO

Esempio C

```
while (x != 0) {

// codice da ripetere se x != 0
// il corpo del ciclo DEVE aggiornare x
}

        // codice seguente
```

Ciclo WHILE DO

Esempio C

```
while (x != 0) {

// codice da ripetere se x != 0
// il corpo del ciclo DEVE aggiornare x
}

        // codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
        # uso il registro $t0 per l'indice x
while:
        beqz $t0, endWhile    # test x == 0

        # codice da ripetere

        j while
        # loop
endWhile:
        # codice seguente
```

Ciclo WHILE DO

Esempio C

```
while (x != 0) {

// codice da ripetere se x != 0
// il corpo del ciclo DEVE aggiornare x
}

        // codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
        # uso il registro $t0 per l'indice x
while:
        beqz $t0, endWhile    # test x == 0

        # codice da ripetere

        j while
        # loop
endWhile:
        # codice seguente
```

NOTA: il test inserito è **l'opposto** dell'originale

Ciclo DO WHILE

Esempio C

```
do {

// codice da ripetere se x != 0
// il corpo del ciclo DEVE aggiornare x

} while (x != 0);

        // codice seguente
```

Ciclo DO WHILE

Esempio C

```
do {

// codice da ripetere se x != 0
// il corpo del ciclo DEVE aggiornare x

} while (x != 0);

        // codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
                # uso il registro $t0 per l'indice x
do:

# codice da ripetere

bnez $t0, do            # test x != 0

# codice seguente
```

Ciclo DO WHILE

Esempio C

```
do {

// codice da ripetere se x != 0
// il corpo del ciclo DEVE aggiornare x

} while (x != 0);

        // codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
                # uso il registro $t0 per l'indice x
do:

# codice da ripetere

bnez $t0, do            # test x != 0

# codice seguente
```

NOTA: il test inserito è **uguale** all'originale

SWITCH CASE

Esempio C

```
switch (A) {
case 0:     // codice del caso 0
            break;
case 1:     // codice del caso 1
            break;
// altri casi
case N:     // codice del caso 3
            break;
}
// codice seguente
```

Esempio Assembly

```
.text
            sll $t0, $t0, 2          # A*4
            lw $t1, dest($t0)        # carico indirizzo
            jr $t1
            # salto a registro
caso0:      # codice del caso 0
            j endSwitch
caso1:      # codice del caso 1
            j endSwitch
# altri casi
casoN:      # codice del caso N
            j endSwitch
endSwitch:
            # codice seguente
.data
dest:       .word caso0, caso1, …., casoN
# tabella degli indirizzi dello switch
```

Es.: trova il max di un vettore

Esempio C

```
// definizione dei dati
int vettore[6] = { 11, 35, 2, 17, 29, 95 };
int N = 6;

int max = vettore[0];
// scandisco il vettore
for (i=1 ; i<N ; i++) {


   int el = vettore[i];    // el. corrente
   if (elemento > max)
                max = elemento;


}
```

Es.: trova il max di un vettore

Esempio C

```
// definizione dei dati
int vettore[6] = { 11, 35, 2, 17, 29, 95 };
int N = 6;

int max = vettore[0];
// scandisco il vettore
for (i=1 ; i<N ; i++) {


   int el = vettore[i];    // el. corrente
   if (elemento > max)
            max = elemento;


}
```

Esempio Assembly

```
.data
vettore:   .word 11, 35, 2, 17, 29, 95
N:         .word 6
.text
   lw   $t0, vettore($zero)      # max □ $t0
   lw   $t1, N                   # N ⇔ $t1
   li   $t2, 1                   # i = 1
for:  bge   $t2, $t1, endFor
   sll  $t3, $t2, 2              # i*4
   lw   $t4, vettore($t3)        # el. = vettore[i]
   ble  $t4, $t0, else           # if (el >= max)
   move   $t0, $t4               # max = el.
else:
   addi   $t2, $t2, 1            # i++
   j for
```

syscall

- **Richieste al sistema operativo**

- **Input:**
  - **$v0** operazione richiesta
  - **$a0..$a2,$f0**: eventuali parametri
- **Output:**
  - **$v0, $f0**: eventuale risultato

Syscall ($v0)	Descrizione	Argomenti ($a0 …)	Risultato ($v0 …)
1	Stampa Intero	Intero	
4	Stampa Stringa	String Address	
5	Leggi Intero		Intero
8	Leggi Stringa	$a0 = buffer address $a1 = num chars.	
10	Fine programma		

Esempio completo

Esempio C

```
// lettura di una serie
// di interi positivi
// terminata da 0
// e stampa del massimo
int main() {
    int max = 0;
    int dato;
    do {
        scanf("%d", &dato);
        if ( max == 0
                || dato > max)
            max = dato;
    } while (dato != 0);
    printf("%d" , max);
}
```

Esempio completo

Esempio C

```
// lettura di una serie
// di interi positivi
// terminata da 0
// e stampa del massimo
int main() {
    int max = 0;
    int dato;
    do {
        scanf("%d", &dato);
        if ( max == 0
              || dato > max)
            max = dato;
    } while (dato != 0);
    printf("%d" , max);
}
```

```
.text
# Codice assembly
main:   move    $t0, $zero          # $t0 ⇔ max
do:     li      $v0, 5              # 5 ⇔ read int
        syscall                     # $v0 ⇔ dato
        seq     $t1, $t0, $zero     # max == 0
        sgt     $t2, $v0, $t0       # dato > max
        or      $t1, $t1, $t2       # ||
        beqz    $t1, endif          # if false endif
        move    $t0, $v0            # max = dato
endif:  bnez    $v0, do             # se dato != 0
        li      $v0, 1              # 1 ⇔ print int
        move    $a0, $t0            # max
        syscall
        li      $v0, 10             # 10 ⇔ exit
        syscall
```