


Le costanti
Le modalità di indirizzamento
L'assembly del MIPS

Prof. Alberto Borghese
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borghese@dsi.unimi.it
Università degli Studi di Milano


Sommario

Utilizzo di costanti

- Spesso le operazioni richiedono l'uso di costanti
  (ad esempio: somma del valore decimale 4 al contenuto di un registro).

- Possibili **3** opzioni:
  - le costanti risiedono in memoria e sono caricate con `lw`
  - utilizzo di registri speciali (es: $zero)
  - utilizzo di modalità di **indirizzamento immediato (tipo I).**

Esempi

```
addi $s0, $s0, 4     # $s0 ¬ $s0 + 4 (sign-extended)
slti $t0, $s2, 10    # $t0 = 1 if $s2 < 10
andi $s0, $s0, 6     # $s0 ¬ $s0 and 6 (zero-extended)
ori $s0, $s0, 10     # $s0 ¬ $s0 or 10 (zero-extended)
li $s0, 20           # $s0 ¬ 20 (pseudo-instruction)
```

- Le istruzioni di tipo I consentono di rappresentare costanti esprimibili in 16 bit.

- I valori immediati sono espressi in assembly in rappresentazione decimale ma possono anche essere esadecimali o binari.

Gestione di costanti su 32-bit

- Le istruzioni di **tipo I** consentono di rappresentare costanti esprimibili in 16 bit (valore massimo 65535 unsigned).
- Se 16 bit non sono sufficienti per rappresentare la costante, l'assemblatore (o il compilatore) deve fare due passi:
  - si utilizza l'istruzione **lui (load upper immediate)** per caricare i 16 bit più significativi della costante nei 16-bit più significativi di un registro. I rimanenti 16-bit meno significativi del registro sono posti a 0.
  - una successiva istruzione, ad esempio, di **ori, andi,...** specifica i rimanenti 16 bit meno significativi della costante.
- Il registro **`$at`** è riservato all'assemblatore per creare costanti su 32-bit (costanti 'lunghe').

Esempio di caricamento costante di 32 bit

Si consideri la costante su 32 bit: C = **0000 0000 0000 0110 0001 1010 1000 0000 = 400,000 in decimale**

lui $zero, $s0, 6 **#6 = 0000 0000 0000 0110**

valore di **$s0:** **0000 0000 0000 0110 0000 0000 0000 0000** **= 6 x 2^{16} = 393,216**

addiu $s0, $s0, 6724 **# 6724 = 0001 1010 1000 0000**

valore di **$s0:** **0000 0000 0011 1101 0001 1010 1000 0000**

Si consideri la costante su 32-bit: C = **118345_{10} = 0x1CE49 =**

C = **0000 0000 0000 0001 1100 1110 0100 1001**

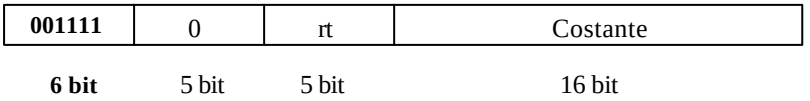
= 1_{10} **= 52809_{10}**

C = 1 x 2^{16} + 52809 = 118345

Istruzione lui: formato tipo I

- L'istruzione **load upper immediate:** **`lui rt, imm`** carica i 16-bit del campo immediato nei 16-bit più significativi del registro **`rt`**. I rimanenti 16-bit meno significativi del registro **`rt`** sono posti a 0.

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`lui $at, 61`	001111	00000	00001	0000 0000 0011 1101



Pseudo-istruzione li: esempio

Si può rappresentare con la pseudo-istruzione: **li $t1, 118345** **# $t1 ¬ 118345**

L'assemblatore sostituisce l'istruzione originale con le seguenti istruzioni:

lui $at, 1 **# 1 = 0000 0000 0000 0001** **= 65,536**
valore di **$at:** **0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000 0000**

ori $t1, $at, 52809 # $t1 ¬ $at or 52809
valore di **$t1:** **0000 0000 0000 0001 1100 1110 0100 1001**

Sommario

Le costanti

Le modalità di indirizzamento

I programmi assembly e lo SPIM

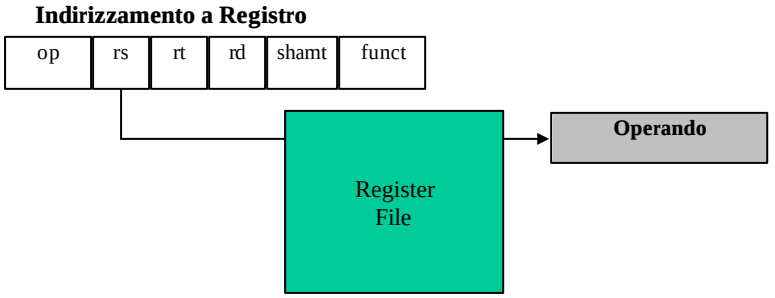
Esempi di programmi Assembly

Modalità di indirizzamento

- Le modalità di indirizzamento indicano le diverse modalità attraverso le quali far riferimento ai dati ed alle istruzioni in memoria e nel register file.
- L'esempio più comune di modalità di indirizzamento è l'indirizzamento **a registro** nel quale gli operandi dell'istruzione sono contenuti nei registri:
  ad esempio **`add $s0, $s1, $s2.`**
- MIPS ha solo 5 modalità di indirizzamento:
  - A registro
  - Immediato
  - Con base o spiazzamento
  - Relativo al Program Counter
  - Pseudo-diretto
- Una singola istruzione può usare più di una modalità di indirizzamento.

Indirizzamento a registro

- L'operando (l'indirizzo) è il contenuto di un registro della CPU: il nome (numero = indirizzo) del registro è specificato nell'istruzione.



Esempio di indirizzamento a registro

- Le istruzioni che usano **solamente** questo tipo di indirizzamento hanno formato di tipo R.
- Esempio: istruzione aritmetico-logica:

Nome campo	op	rs	rt	rd	shamt	funct
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	5-bit	5-bit	6-bit
`add $s1, $s2, $s3`	000000	10010	10011	10001	00000	100000

Indirizzamento immediato

- L'operando è una costante il cui valore è contenuto nell'istruzione.
- L'indirizzamento immediato si usa per specificare il valore di un operando sorgente, non ha senso usarlo come destinazione.

- Le istruzioni che usano questo tipo di indirizzamento hanno formato I
  - La costante è memorizzata nel campo a 16-bit

Indirizzamento immediato

- Esempio: operazione aritmetico-logica con operando immediato (formato tipo I):

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`addi $s1, $s1, 4`	001000	10001	10001	0000 0000 0000 0100

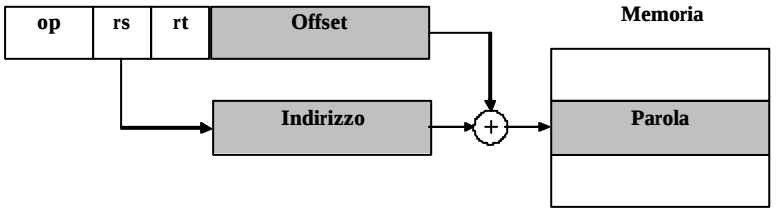
- Esempio: operazione di confronto con operando immediato (formato tipo I):

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`slti $t0, $s2, 8`	001010	10010	01000	0000 0000 0000 1000

Indirizzamento con base

- L'operando è in una locazione di memoria il cui indirizzo si ottiene sommando il contenuto di un registro base ad un valore costante (*offset o spiazzamento*) contenuto nell'istruzione.

Indirizzamento con base



- Le istruzioni che usano questo tipo di indirizzamento hanno formato di tipo I.

Esempio di indirizzamento con base

- Esempio: istruzione di load - **`lw $t0, 32 ($s3)`**
  - L'operando di trova in memoria all'indirizzo **`32+[$s3]`**
- Esempio: istruzione di store - **`sw $t0, 32 ($s3)`**
  - L'operando viene copiato in memoria all'indirizzo **`32+[$s3]`**

L'indirizzo e' espresso in numero di byte.

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`lw $t0, 32 ($s3)`	100011	10011	01000	0000 0000 0010 0000

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`sw $t0, 32 ($s3)`	101011	10011	01000	0000 0000 0010 0000

Problema con load/store

Per caricare dalla memoria occorrono due operazioni:

•Caricare il base address del vettore.

•Caricare l'offset.

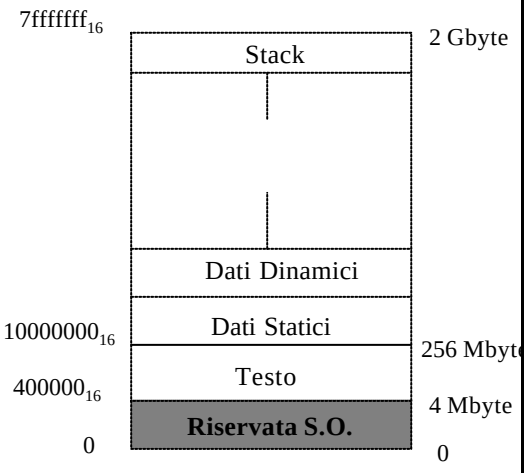
Esempio: lw $t0, 32k($s0) con il vettore immagazzinato a partire dall'inizio della regione riservata ai dati statici:

```
lui $s0, 0x1000
lw $s1, 0x8000($s0)
```

$gp, punta a a metà del 1⁰ blocco di 64k all'interno dei dati statici: 0x10008000.

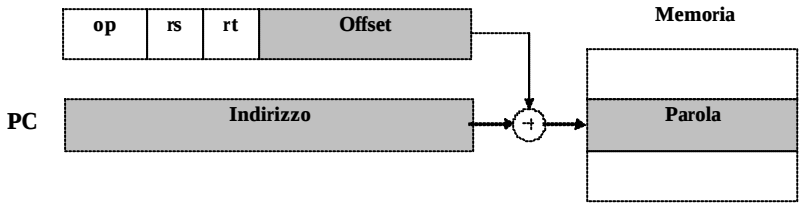
```
lw $s1, 0($gp)
```

Sono facilitati gli accessi ai dati compresi tra 256Mbyte e 256,064Mbyte.



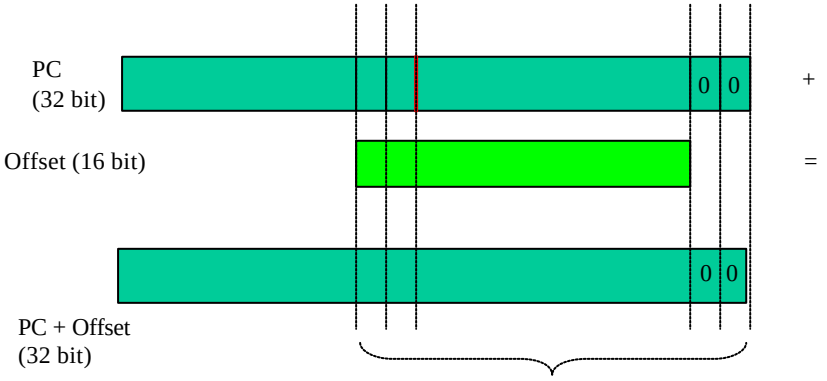
Indirizzamento relativo al PC

- L'**istruzione** è in una locazione di memoria il cui indirizzo si ottiene sommando il contenuto del *Program Counter* ad un valore costante (*offset o spiazzamento*) contenuto nell'istruzione:



- Le istruzioni che usano questo tipo di indirizzamento hanno formato di tipo I.

Utilizzo dell'offset



Esempio di indirizzamento relativo al PC

- Esempio: Operazione di salto condizionato (formato tipo I):

•Si usa l'indirizzamento relativo al PC nei salti condizionati in quanto la destinazione del salto in tali istruzioni è in genere prossima al punto di salto.

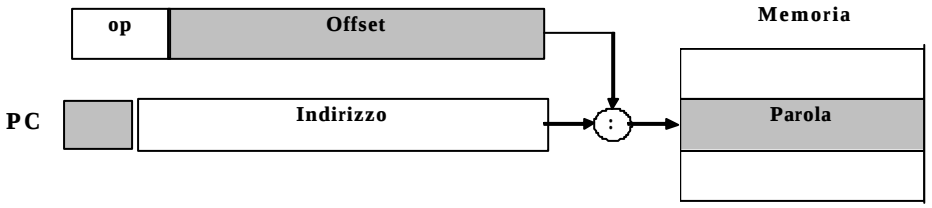
•Avendo a disposizione *16* bit di *Offset* ⇒ è possibile saltare in un'area tra -2^{15} e $+2^{15}-1$ parole rispetto all'istruzione corrente.

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
beq $s1, $s2, 100	000100	10001	10010	0000 0000 0001 1001

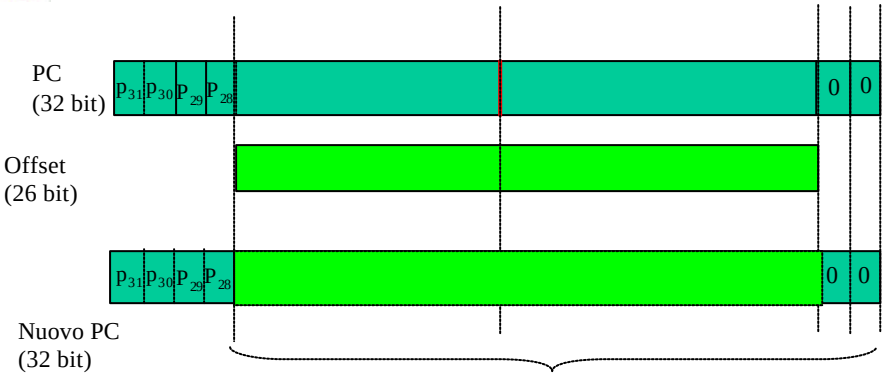
Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
bne $s1, $s2, 100	000101	10001	10010	0000 0000 0001 1001

Indirizzamento pseudo-diretto

- Una parte dell'indirizzo è presente come valore costante (offset) nell'istruzione ma deve essere completato.
- Le istruzioni che usano questo tipo di indirizzamento hanno formato di tipo J.
- L'indirizzo di salto si calcola facendo uno shift a sinistra di 2 bit dei 26-bit di offset contenuti nell'istruzione (aggiungendo 00 nei bit meno significativi per passare da 26 a 28-bit) e concatenando i 28-bit con i 4-bit più significativi del Program Counter.



Utilizzo dell'offset



28 bit di spazio di indirizzamento = 256Mbyte

Esempio di indirizzamento pseudo-diretto

- Esempio: operazione di salto incondizionato (formato J)

Nome campo	op			indirizzo		
Dimensione	6-bit			26-bit		
j 32	000010	00 0000	0000	0000 0000	0000	1000

Sommario

Le costanti

Le modalità di indirizzamento

I programmi assembly e lo SPIM

Esempi di programmi Assembly

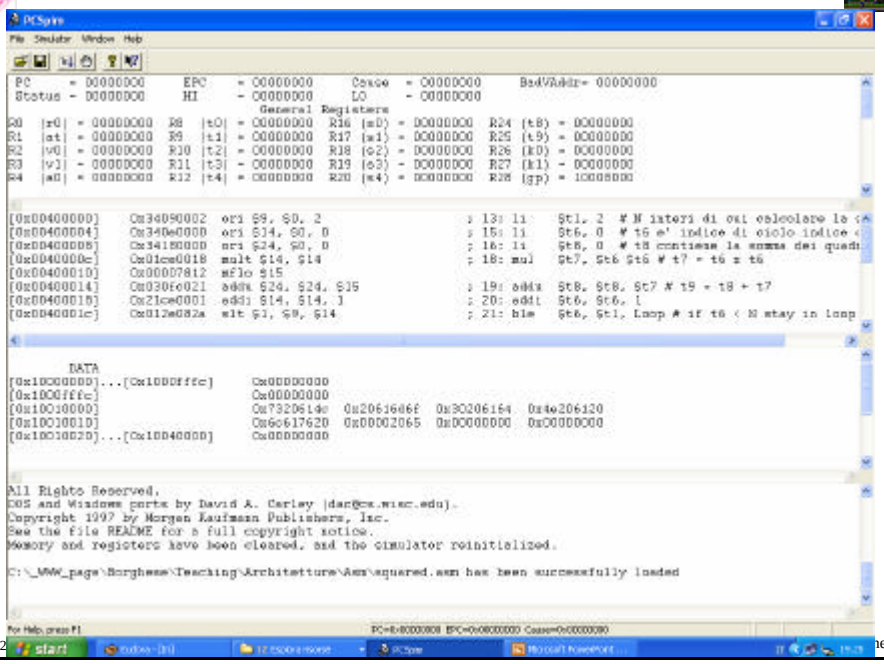
MIPS: Software conventions for Registers

0	zero	constant 0
1	at	reserved for assembler
2	v0	expression evaluation &
3	v1	function results
4	a0	arguments
5	a1	
6	a2	
7	a3	
8	t0	temporary: caller saves
. . .		(callee can clobber)
15	t7	
16	s0	callee saves
. . .		(caller can clobber)
23	s7	
24	t8	temporary (cont'd)
25	t9	
26	k0	reserved for OS kernel
27	k1	
28	gp	Pointer to global area
29	sp	Stack pointer
30	fp	frame pointer (s8)
31	ra	Return Address (HW)

Il simulatore SPIM del MIPS

- **SPIM: A MIPS R2000/R3000 Simulator : PCSPIM version 6.3 scritto da James Larus.**
- http://www.cs.wisc.edu/~larus/spimhtml
- Piattaforme:
  - Unix or Linux system
  - Microsoft Windows (Windows 95, 98, NT, 2000)
  - Microsoft DOS

SPIM interface

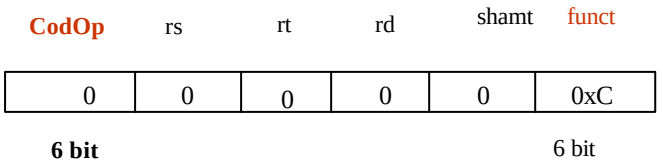


System call

- **print_int:** stampa sulla console il numero intero che le viene passato come argomento;
- **print_float:** stampa sulla console il numero in virgola mobile con singola precisione che le viene passato come argomento;
- **print_double:** stampa sulla console il numero in virgola mobile con doppia precisione che le viene passato come argomento;
- **print_string:** stampa sulla console la stringa che le è stata passata come argomento terminandola con il carattere **Null**;
- **read_int:** legge una linea in ingresso fino al carattere a capo incluso (i caratteri che seguono il numero sono ignorati);
- **read_float:** leggono una linea in ingresso fino al carattere a capo incluso (i caratteri che seguono il numero sono ignorati);
- **read_double:** leggono una linea in ingresso fino al carattere a capo incluso (i caratteri che seguono il numero sono ignorati);
- **read_string:** legge una stringa di caratteri di lunghezza **$a1** da una linea in ingresso scrivendoli in un buffer **($a0)** e terminando la stringa con il carattere **Null** (se ci sono meno caratteri sulla linea corrente, li legge fino al carattere a capo incluso e termina la stringa con il carattere **Null)**;
- **sbrk** restituisce il puntatore (indirizzo) ad un blocco di memoria;
- **exit** interrompe l'esecuzione di un programma;

System call

- Sono disponibili delle **chiamate di sistema (system call)** predefinite che implementano particolari servizi
  (ad esempio: stampa a video)
- Ogni system call ha:
  - un codice
  - degli argomenti (opzionali)
  - dei valori di ritorno (opzionali)



Il codice della funzione di sistema richiesta è memorizzata nel registro **$v0**

System call

Nome	Codice ($v0)	Argomenti	Risultato
print_int	1	$a0	
print_float	2	$f12	
print_double	3	$f12	
print_string	4	$a0	
read_int	5		$v0
read_float	6		$f0
read_double	7		$f0
read_string	8	$a0,$a1	
sbrk	9	$a0	$v0
exit	10		

- Per richiedere un servizio ad una chiamata di sistema (**`syscall`**) occorre:
  - Caricare il **codice** della **`syscall`** nel registro **`$v0`**
  - Caricare gli **argomenti** nei registri **`$a0 - $a3`** (oppure nei registri **`$f12 - $f15`** nel caso di valori in virgola mobile)
  - Eseguire **`syscall`**
  - L'eventuale **valore di ritorno** è caricato nel registro **`$v0 ($f0)`**

Direttive

- Le direttive (data layout directives) danno delle indicazioni all'assemblatore sul contenuto di un file (istruzioni, strutture dati, ecc.)
- Sintatticamente le direttive iniziano tutte con il carattere "."

I segmenti

.data <addr>

Gli elementi successivi sono memorizzati nel segmento dati a partire dall'indirizzo **addr, facoltativo**

.text <addr>

Memorizza gli elementi successivi nel segmento testo dell'utente a partire dall'indirizzo **addr.** (Questi elementi possono essere solo istruzioni o parole).

Direttive per il segmento dati

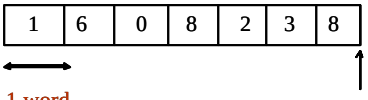
`.byte b1,…,bn`

Memorizza gli **`n`** valori **`b1, .., bn`** in byte consecutivi di memoria

`.word w1, ..,wn`

Memorizza gli **`n`** valori su 32-bit **`w1, .., wn`** in parole consecutive di memoria.

`Esempio:.word 1, 6, 0, 8, 2, 3, 8`



`.half h1, ..,hn`

Memorizza gli **`n`** valori su 16-bit **`h1, .., hn`** in halfword (mezze parole) consecutive di memoria

`.asciiz str`

Memorizza la stringa **`str`** terminandola con il carattere **`Null`** (**`.ascii str`** ha lo stesso effetto, ma non aggiunge alla fine il carattere **`Null`**)

`.space n`

Alloca uno spazio pari ad **`n`** byte nel segmento dati

Direttive di rappresentazione dei dati in memoria

`.globl sym`

Dichiara **`sym`** come etichetta globale (ad essa è possibile fare riferimento da altri file). Tipicamente si utilizza per la procedura main.

`.align n`

Allinea il dato successivo a blocchi di 2^n byte: ad esempio

- **`.align 2 = .word`** allinea alla parola il valore successivo
- **`.align 1 = .half`** allinea alla mezza parola il valore successivo
- **`.align 0`** elimina l'allineamento automatico delle direttive **`.half`, `.word`, `.float`**, e **`.double`** fino a quando compare la successiva direttiva **`.data`**

Rappresentazione di un vettore in memoria

.word + etichetta: esempio

```
array: .word 1, 6, 0, 8, 2, 3, 8
```

1	6	0	8	2	3	8

1 word

Þ ***array rappresenta l'indirizzo del primo elemento***

Sommario

Le costanti

Le modalità di indirizzamento

I programmi assembly e lo SPIM

Esempi di programmi Assembly

Programma di caricamento di costanti

```
# Somma

.text           #Definizione segmento codice
.globl  main     #Definizione del main

main:
  li $t1,10   # carica il valore decimale 10 nel reg. $t1
  li $t2,15   # carica il valore decimale 15 nel reg. $t2

   add $a0,$t2,$t1   # $a0 ¬ $t2 + $t1

print_result:
   li  $v0, 1 # stampa risultato (10 + 15 = 25)
   syscall
```

Programma di somma di costanti e variabili

```
# L'accesso immediato è usato anche dalle operazioni
# aritmetiche
   .text              #Definizione segmento codice
   .globl  main

main:
   li  $t1,10        # $t1 ¬ 10
   addi $a0,$t1,15   # $a0 ¬ $t1 + 15

# stampa risultato
print_result:
   li  $v0,1
   syscall
```


Programma di stampa

```
#Programma che stampa: la risposta è 5
       .data
str:   .asciiz “la risposta è ”
       .text
       .globl main

Main:
       li $v0, 4           # $v0 ¬ codice della print_string
       la $a0, str         # $a0 ¬ indirizzo della stringa
       syscall             # stampa della stringa

       li $v0, 1           # $v0 ¬ codice della print_integer
       li $a0, 5           # $a0 ¬ intero da stampare
       syscall             # stampa dell’intero

       li $v0, 10          # $v0 ¬ codice della exit
       syscall             # esce dal programma
```

Programma di lettura scrittura di numeri

```
#Programma che legge e stampa un intero

        .data
prompt:.asciiz ”Dammi un intero: “

        .text
        .globl main

main:
        li $v0, 4       # $v0 ¬ codice della print_string
        la $a0, prompt # $a0 ¬  indirizzo della stringa
        syscall         # stampa la stringa

        li $v0, 5       # $v0 ¬ codice della read_int
        syscall         # legge un intero e lo carica in $v0

        li $v0, 10      # $v0 ¬ codice della exit
        syscall         # esce dal programma
```


Programma che somma i quadrati dei primi N numeri

```
# N e' memorizzato in t1.

.data
str:
        .asciiz "La soma da 0 a N vale "
.text
.globl main

main:

        li      $t1, 7    # N=7, interi di cui calcolare la somma dei quadrati
        li      $t6, 0    # t6 e' indice di ciclo
        li      $t8, 0    # t8 contiene la somma dei quadrati
Loop:
        mul     $t7, $t6 $t6        # t7 = t6 x t6
        addu    $t8, $t8, $t7       # t8 = t8 + t7
        addi    $t6, $t6, 1         # t6++
        blt     $t6, $t1, Loop      # if t6 < N stay in loop

        la      $a0, str
        li      $v0, 4              #print
        syscall

        li      $v0, 1              #print
        add     $a0, $t8, $zero
        syscall

        li $v0, 10                  # $v0 codice della exit
        syscall                     # esce dal programma
```

Esempio, programma per il calcolo del fattoriale in C

```
main()
{
        int Fatt, n;
        int i = 0;

        printf("Inserisci un numero intero ");
        scanf("%d", &n);

        Fatt = 1;
        for (i = 1; i<=n; i++)
        {       N = N * i;
        }
        printf("Il fattoriale di ",%d," e'' : ",%d\n",n, Fatt);
        exit(0);
}
```


Esempio, programma per il calcolo del fattoriale in Assembly – parte dichiarativa

```
# Programma che calcola il fattoriale iterativamente
        .data
prompt: .asciiz "Inserisci un numero intero"
output: .ascii "Il fattoriale è:"
        .text
        .globl main
main:
        li $v0, 4           # $v0 ¬ codice della print_string
        la $a0, prompt      # $a0 ¬  indirizzo della stringa
        syscall             # stampa la stringa

        li $v0, 5           # $v0 ¬ codice della read_int
        syscall             # legge l'intero e lo carica in
$v0
        move $s0, $v0       # Per pulizia, porta l'intero in
                            # un registro di varibili
```

Esempio, fattoriale - calcolo

```
# calcola il fattoriale

        li $t0, 1     # inizializzo $t0 contatore cicli
        li $t1, 1     # inizializzo $t1 accumulatore
                      # che conterrà il risultato n!
loop:
        mul $t1, $t1, $t0    # $t1 ¬ $t1 * $t0
        addi $t0, $t0, 1     # incremento $t0 contatore cicli
        ble  $t0, $s0, loop # se $t0 £ $s0 (£ n) go to loop
```


Esempio, fattoriale – stampa risultato

```
# stampa il risultato

        move $a0, $v0        # $a0 ¬ $v0
        li $v0, 1            # $v0 ¬ codice della print_int
        syscall              # stampa l'intero in input

        li $v0, 4            # $v0 ¬ codice della print_string
        la $a0, output       # $a0 ¬  indirizzo della stringa
        syscall              # stampa la stringa

        li $v0, 1            # $v0 ¬ codice della print_int
        move $a0, $t1        # $a0 ¬ n!
        syscall              # stampa n!

        li $v0, 10           # $v0 ¬ codice della exit
        syscall              # esce dal programma
```

Sommario

Le costanti

Le modalità di indirizzamento

I programmi assembly e lo SPIM

Esempi di programmi Assembly