Corso di Laurea in Informatica
Architettura degli elaboratori
a.a. 2025-2026

Programmazione Assembly: procedure (2)

Convenzioni di uso dei registri

Utilizzo della memoria

Procedure innestate

Uso dello stack

Convenzioni assembly: nomi e usi dei registri

Nome Simbolico	Numero	Uso
$zero	0	Costante 0
$at	1	Assembler temporary
$v0-$v1	2-3	Functions and expressions evaluation
$a0-$a3	4-7	Arguments
$t0-$t7	8-15	Temporaries
$s0-$s7	16-23	Saved Temporaries
$t8-$t9	24-25	Temporaries
$k0-$k1	26-27	Reserved for OS kernel
$gp	28	Global pointer
$sp	29	Stack pointer
$fp	30	Frame pointer
$ra	31	Return address

- Appendice A Hennessy-Patterson Sez. A.6
- Usati da assembler, compilatore, sistema operativo
- Secondo specifiche convenzioni
- …da trattare con cautela se si programma in assembly!!!

Registri temporanei “salvati” e “non salvati”

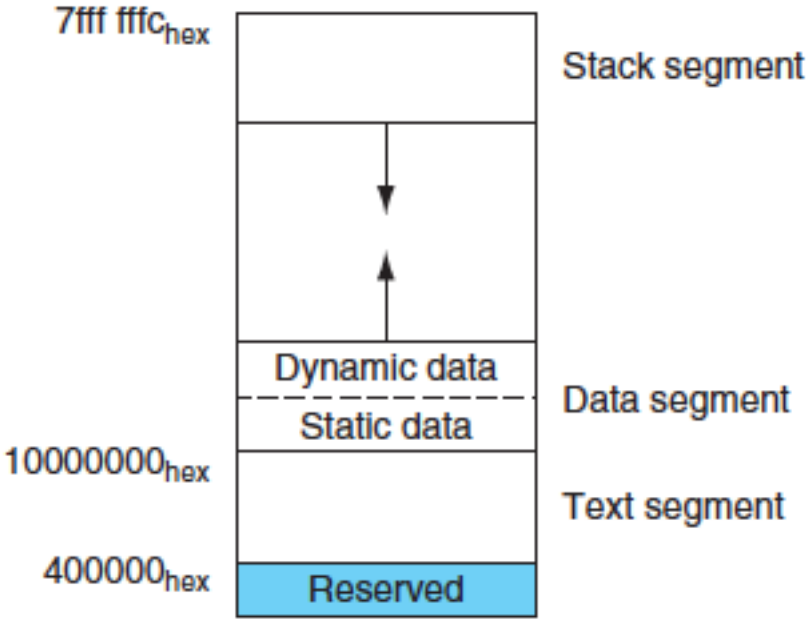
- **Se una procedura usa registri, cosa succede del contenuto lasciato nei registri dal chiamante?**
  - Convenzioni: registri $s e $t
- **CONVENZIONI su uso dei registri $t e $s**
- **I registri $t (“temporary”) non sono salvati dalla procedura**
  - Il chiamante non si può aspettare di trovare immutati i contenuti dei registri $t dopo una chiamata a procedura
  - I contenuti dei registri $t devono essere salvati dal chiamante prima della chiamata a procedura
- **I registri $s (“saved”) sono salvati dalla procedura**
  - Il chiamante ha il diritto di aspettarsi che i contenuti dei registri $s siano immutati dopo una chiamata a procedura
  - Se la procedura usa i registri $s deve salvarne il contenuto all’inizio e ripristinarlo prima del ritorno
- **Dove salvare il contenuto dei registri $s?**
  - Uso dello stack

Procedure innestate

- **Procedure “foglia” e “non foglia”**
  - Una procedura foglia NON chiama altre procedure
  - Una procedura non foglia chiama altre procedure
- **Cosa succede se una procedura ne chiama un’altra?**
  - Si perde il contenuto di $ra della prima chiamata??
  - Procedure recursive??
  - Bisogna che una procedura “non foglia” salvi il contenuto di $ra e lo ripristini prima del ritorno
- **Dove salvare il contenuto dei registri $s?**
  - Uso dello stack

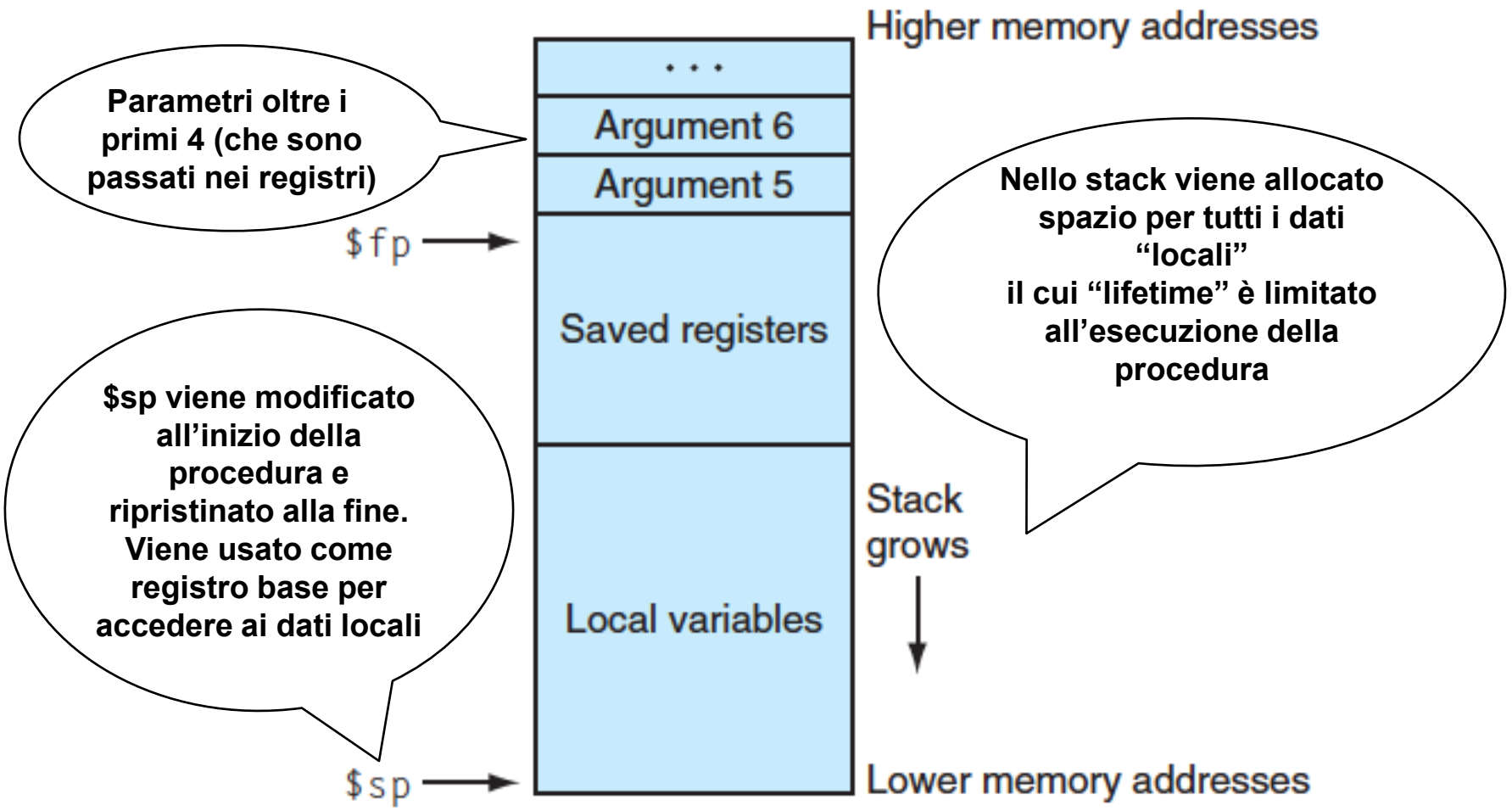
Convenzioni di uso della memoria

- **Convenzioni standard utilizzate da compilatori, assemblatori, linker...e programmatori**
- **Appendice A Hennessy-Patterson sez. A5 Fig. A.5.1**



Uso dello stack (complessivo)

- **Appendice A Hennessy-Patterson sez. A5 Fig. A.5.1**



Uso dello stack (solo salvataggio registri)

- **Cosa fa la procedura?**
- **“Alloca” spazio nello stack**
  - Decrementa $sp per lasciare in stack lo spazio necessario al salvataggio (1 word per ciascun registro da salvare)
  - (ricordare che lo stack cresce “verso il basso”
  - Salva $ra
  - Salva eventuali altri registri usando $sp come registro base
  - .....
  - Ripristina i registri
  - Incrementa $sp per riportarlo alla situazione iniziale
  - Jr $ra (ritorno dalla procedura)
- **Approfondimenti:**
  - Parametri passati in stack
  - “Procedure frame”: l’insieme dei dati locali ($fp)
  - Come indirizzare variabili locali? (per fortuna ci pensa il compilatore...)
- **Per capire bene: procedure recursive**

$sp e $fp - osservazioni

- Frame di stack (oppure di chiamata a procedura) – un blocco di memoria associato alla procedura
- $sp – punta alla prima parola del frame
- $fp – punta all'ultima parola del frame
- Un frame di solito e' multiplo della parola doppia (8 byte)

- Esempio: un frame di 32 byte
- addi $sp, $sp. -32 # frame di stack di 32 byte
- addi $fp, $sp, 28 # imposta il frame pointer
- sw $ra, 0($fp) # salva l'indirizzo di ritorno come primo
  # word nel frame sullo stack

- Appendice A – Sezione A.6

Procedura chiamante deve ...

- **... eseguire i seguenti passi prima di chiamare una procedura:**
- **Impostare gli argomenti da passare alla procedura in $a0-$a3; eventuali altri argomenti sono nella memoria o nello stack**
- **Salvare eventualmente i registri $a0-$a3 e $t0-$t9 in quanto la procedura chiamata puo' usare liberamente questi registri**
- **Chiamare la procedura tramite l'istruzione jal nome_procedura**

Procedura chiamata deve ...

- **... eseguire i seguenti passi appena e' stata chiamata:**
- **Allocare il suo stack frame ($sp = $sp – dimensione frame procedura)**
- **Salvare i valori disponibili nei registri $s0–$s7, $fp, $ra se intende usarle tali registri per la sua esecuzione; se per esempio la procedura non chiama un'altra procedura non e' necessario salvare il registro $ra**
- **Settare il frame pointer (che indica l'indirizzo dell'ultima parola del frame): $fp = $sp – dimensione frame procedura + 4**

Procedura chiamata deve ...

- **... eseguire i seguenti passi quando ha finito la sua esecuzione:**
- **Mettere il valore di ritorno nel registri $v0, $v1**
- **Ripristinare i valori dei registri salvati sullo stack ($s0–$s7, $fp, $ra)**
- **Liberare lo spazio sullo stack: $sp = $sp + dimensione frame procedura**
- **Eseguire l'istruzione jr $ra**

Esercizio

- **Si chiede di scrivere un programma assembly che identifica il minimo dei valori di un array di numeri interi.**
- **Si chiede di scrivere un main che chiama una procedura: min_array che riceve come parametri in input l'indirizzo di un array di interi e la sua dimensione e ritorna il valore minimo tra gli elementi dell'array.**
- **La procedura min_array chiama una procedura: min2numeri che riceve come parametri in input due interi e ritorna il valore minimo tra i due numeri.**

Soluzione – Procedura min2numeri

```
min2numeri:
        # riceve in input 2 interi passati per valore in $a0 e $a1
        slt $t0, $a0, $a1          # $t0 = 1 se $a0 < $a1, $t0 = 0 altrimenti
        beq $t0, $0, then
        move $v0, $a0
        j fine_min2numeri
then:   move $v0, $a1
fine_min2numeri: jr $ra
```

Soluzione – Procedura min_array

```
min_array:
        #salvare a0, a1, fp e ra sullo stack
        #in un frame di 24 byte (6 word)
        addi $sp, $sp, -24
        sw $fp, 0($sp)
        sw $ra, 4($sp)
        sw $a0, 8($sp)
        addi $fp, $sp, 20
        sw $a1, 0($fp)
        # fine del set di passi che la procedura
        #deve fare prima di eseguire il suo compito
        #consideriamo che l'array abbia più di un elemento
        #altrimenti si deve considerare il caso con l'array vuoto
        #e con l'array di 1 elemento
        move $t0, $a0
        move $t1, $a1
        lw $a0, 0($t0)
        lw $a1, 4($t0)
        addi $t1, $t1, -2
        addi $t0, $t0, 8
ciclo:  jal min2numeri
        addi $t1, $t1, -1
        bltz $t1, fine_array
        lw $a0, 0($t0)
        addi $t0, $t0, 4
        move $a1, $v0
        j ciclo
```

```
fine_array:
        #ripristino registri
        #salvati sullo stack
        lw $ra, 4($sp)
        lw $a0, 8($sp)
        lw $a1, 0($fp)
        lw $fp, 0($sp)
        #libera lo stack
        addi $sp, $sp, 24
        jr $ra
```

Soluzione – main (I)

```
.data
        array:          .word -1, 10, 3, 57, -100, 7, 9, -10, 9, 0
        dim_array:      .word 10
.globl main
.text
main:   #anche il main è una procedura
        #bisogna salvare almeno lo stack pointer e il return address e i parametri in ingresso
        #sullo stack in un frame di 40 byte
        addi $sp, $sp, -40
        sw $fp, 0($sp)
        sw $ra, 4($sp)
        sw $a0, 8($sp)
        sw $a1, 12($sp)
        sw $a2, 16($sp)
        sw $a3, 20($sp)
        addi $fp, $sp, 36
        # fine del set di passi che la procedura deve fare prima di eseguire il suo compito
        la $a0, array
        la $t0, dim_array
        lw $a1, 0($t0)
        jal min_array
        #continua ...
```

Soluzione – main (II)

```
#continua ...
#scrivo il min sullo schermo
move $a0, $v0
li $v0, 1
syscall

#rispristino registri dallo stack

lw $ra, 4($sp)
lw $a0, 8($sp)
lw $a1, 12($sp)
lw $a2, 16($sp)
lw $a3, 20($sp)
lw $fp, 0($sp)
addi $sp, $sp, 40

jr $ra
```