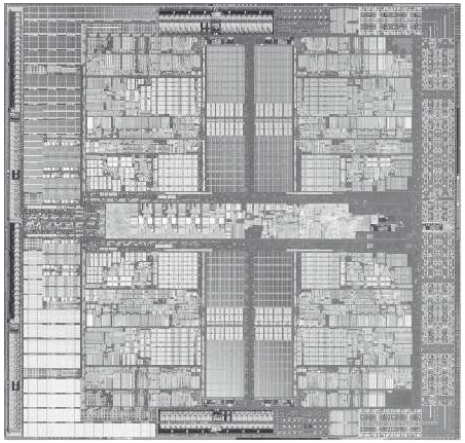
Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale



Corso di Calcolatori Elettronici

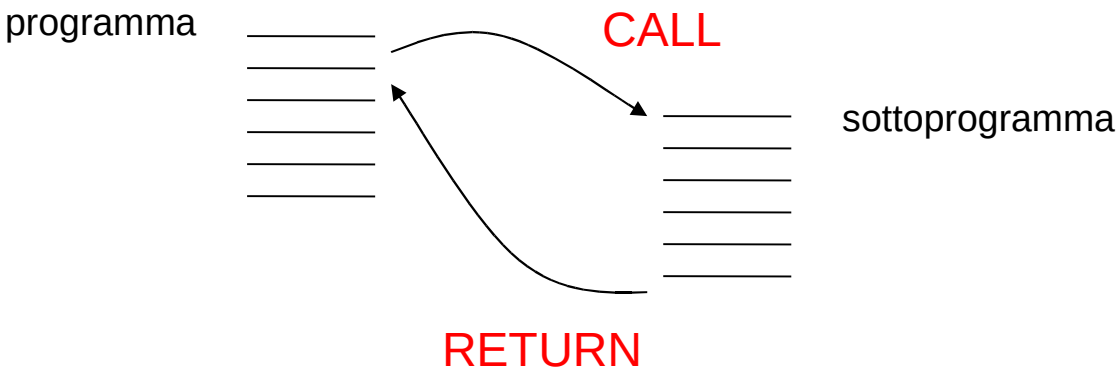
Gestione dei sottoprogrammi

Anno Accademico 2011/2012

Francesco Tortorella

Gestione dei sottoprogrammi

temporaneo passaggio del controllo dal programma in esecuzione ad un sottoprogramma



Subroutine linkage

- CALL: viene salvato l'indirizzo di ritorno e quindi si effettua il salto
- RETURN: viene recuperato l'indirizzo di ritorno e si effettua il salto

Esempio di chiamata di funzione

```
void main()
{
   int x=3,y=4,z;
   z=sum(x,y);
   cout<<z;
}


int sum(int a, int b)
{
   int c;
   c=a+b;
   return c;
}
```

Tecniche per il Subroutine Linkage

- Link Register
  - accesso ad un registro interno
  - gestione semplice e veloce
  - rende efficiente il caso di chiamata non innestata
- Stack
  - accesso a registri in memoria centrale
  - gestione più complessa (problema dello stack overflow)
  - risolve automaticamente il problema delle chiamate innestate

Tecniche per il passaggio dei parametri

- Registri interni
  - semplice e veloce
  - efficiente solo nel caso di pochi argomenti e procedure non innestate (caso più frequente ?)
- Stack
  - accesso a registri in memoria centrale
  - gestione più complessa (problema dello stack overflow)
  - robusto rispetto al problema del numero degli argomenti e delle chiamate innestate

MIPS: Convenzioni sui registri

- CalleR: funzione chiamante
- CalleE: funzione chiamata, sottoprogramma
- Quando termina l'esecuzione del sottoprogramma, il chiamante deve sapere quali registri potrebbero essere stati modificati e quali invece è garantito siano rimasti inalterati.
- Convenzione sui registri: un insieme di regole che definiscono quali registri devono rimanere inalterati dopo una chiamata a sottoprogramma e quali possono invece essere modificati.

Convenzioni sui registri: registri da non modificare

- **`$0`**: Nessuna modifica.
- **`$s0-$s7`**: Da ripristinare se modificati. Se il sottoprogramma modifica uno di questi registri, è tenuto a ripristinarlo prima del ritorno al chiamante.
- **`$sp`**: Da ripristinare se modificato. Dopo l'esecuzione di un `jal`, lo stack pointer deve puntare allo stesso indirizzo cui puntava prima dell'esecuzione. Diversamente, il chiamante non potrebbe accedere correttamente a dati eventualmente presenti sullo stack.
- Nota – I nomi dei registri da Salvare iniziano con S

Convenzioni sui registri: registri modificabili

- **`$ra`**: modificabile. La stessa istruzione `jal` modifica il registro. Dovrà essere salvato sullo stack a cura del chiamante in caso di chiamate innestate.
- **`$v0-$v1`**: modificabili. Al ritorno dal sottoprogramma contengono i valori restituiti al chiamante.
- **`$a0-$a3`**: modificabili. Il chiamante è tenuto a salvarli nel caso debba accedervi dopo la chiamata.
- **`$t0-$t9`**: modificabili. Il chiamante è tenuto a salvarli nel caso debba accedervi dopo la chiamata.

Calling conventions

Riguardano le scelte operate dal chiamante relative a:

- Salvataggio dell'indirizzo di ritorno
- Salvataggio dei parametri
- Numero dei parametri
- Tipo dei parametri
- Ordine dei parametri

Leaving conventions

Riguardano le scelte relative a:

- Passaggio dei parametri in uscita
- Ripristino del contesto antecedente alla chiamata

Convenzioni per il MIPS

- Invocazione di un sottoprogramma con l'istruzione `jal`. Indirizzo di ritorno salvato in `$ra`.
- Ritorno al chiamante con l'istruzione `jr $ra`.
- Parametri effettivi passati nei registri `$a0-$a3`.
- Valori restituiti nei registri `$v0-$v1`.
- Rispetto delle convenzioni sui registri.

MIPS: Attivazione di un sottoprogramma

- **Caller**
  - Preparazione dei parametri effettivi nei registri **$a***
  - Salvataggio dell'indirizzo di ritorno e salto
  - Altre istruzioni
- **Callee**
  - Prelievo dei parametri
  - Esecuzione delle istruzioni
  - Preparazione dei valori restituiti nei registri **$v***
  - Ritorno

Esempio di chiamata di funzione

```
void main()
{
   int x=3,y=4,z;
   z=sum(x,y);
}


int sum(int a, int b)
{
   int c;
   c=a+b;
   return c;
}
```

```
#  Esempio di chiamata a funzione
        .data
x:      .word 3
y:      .word 4
z:      .space 4

        .text
main:   lw $a0, x # x è in $a0
        lw $a1, y # y è in $a1
        jal sum
        sw $v0, z # salva la somma in z

        li $v0, 10   # Codice di chiamata al sistema per la
        syscall   # fine del programma

sum:    add  $t2,$a0,$a1# Esegue la somma
        move $v0,$t2     # Salva il risultato
        jr $ra        # Ritorna al chiamante
```

```
#  Esempio di chiamata a funzione
        .data
x:      .word 3
y:      .word 4
z:      .space 4

        .text
main:   lw $a0, x # x è in $a0
        lw $a1, y # y è in $a1
        jal sum
        sw $v0, z # salva la somma in z

        li $v0, 10    # Codice di chiamata al sistema per la
        syscall   # fine del programma

sum:    add  $t2,$a0,$a1# Esegue la somma
        move $v0,$t2      # Salva il risultato
        jr $ra          # Ritorna al chiamante
```

Preparazione parametri effettivi

Salto

Prelievo parametri effettivi

Preparazione del valore restituito

Ritorno

Esempio di chiamata innestata

```
void main()
{
   int x=3,y=4,z;
   z=sum_square(x,y);
}
```

```
int sum_square(int a, int b)
{
   int as,bs,c;
   as=mply(a,a);
   bs=mply(b,b);
   c=as+bs;
   return c;
}
```

```
int mply(s,t)
{
   int w;
   w=s*t;
   return w;
}
```

```
#  Esempio di chiamata innestata a funzione
        .data
x:      .word 3
y:      .word 4
z:      .space 4

        .text
main:   lw $a0, x # x è in $a0
        lw $a1, y # y è in $a1
        jal sumq
        sw $v0, z # salva la somma in z
        li $v0, 10   # Codice di chiamata al sistema per la
        syscall   # fine del programma

sumq:
```


```
mply:   mul  $t3,$a0,$a1# Esegue il prodotto
        move $v0,$t3    # Salva il risultato
        jr $ra       # Ritorna al chiamante
```

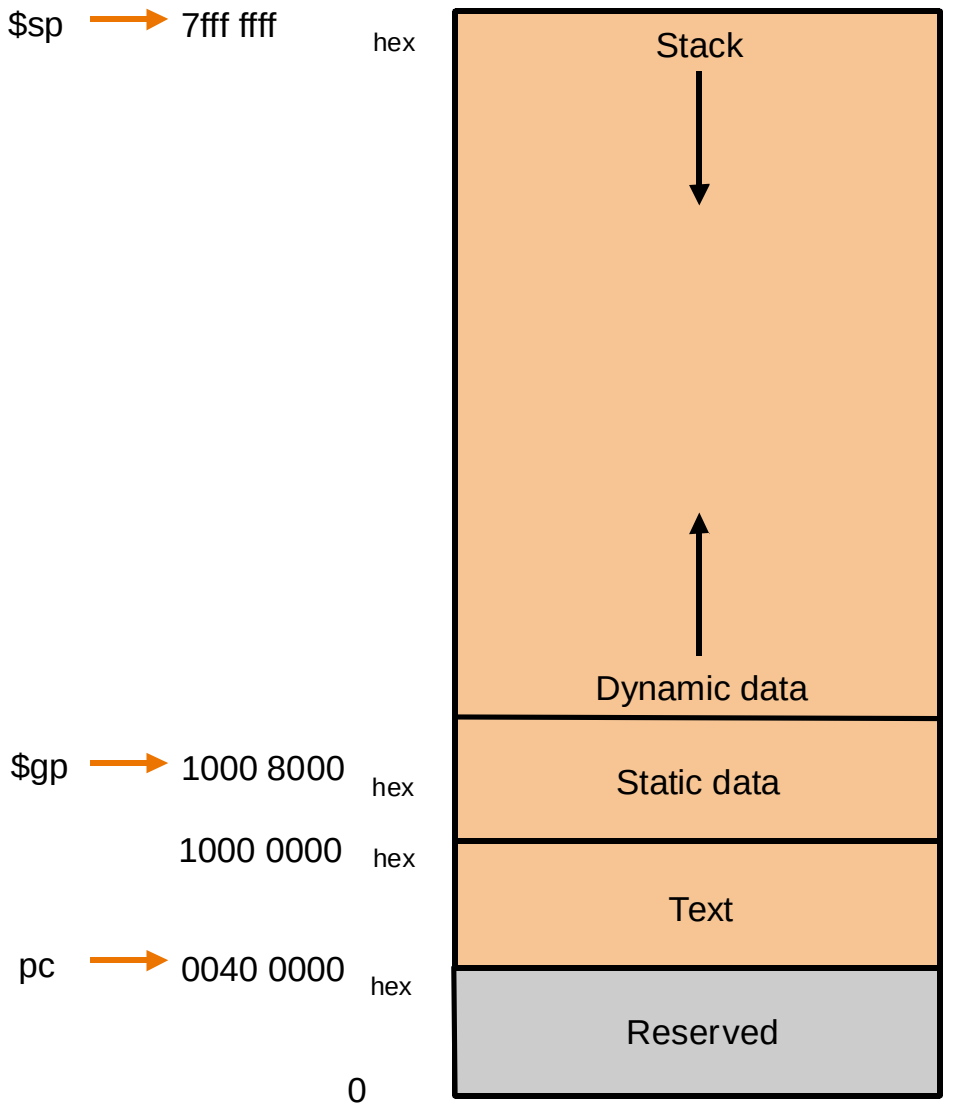
Problemi con le funzioni innestate

- La funzione `sumq` deve invocare una seconda funzione e ciò comporta:
  - Preparazione dei parametri effettivi in `$a0 $a1`
    - Distruzione di uno dei parametri ricevuti da main.
  - Salvataggio dell'indirizzo di ritorno in `$ra` e salto
    - Distruzione dell'indirizzo di ritorno verso main.
- Come impedire la perdita dei parametri effettivi ricevuti da `main` e l'indirizzo di ritorno verso `main` ?
  - Necessario salvare in memoria tali informazioni.

Problemi con le funzioni innestate

- In generale, potrebbe essere necessario salvare anche altri dati → necessario uno strumento ad hoc.
- All'atto dell'esecuzione di un programma, sono allocate in memoria tre aree diverse per la gestione dei dati:
  - **Area dati statici**: Variabili definite nel programma che cessano di esistere al termine dell'esecuzione del programma (es. Variabili globali in C)
  - **Heap**: Variabili allocate dinamicamente (es. con malloc o new)
  - **Stack**: spazio utilizzabile dai sottoprogrammi durante l'esecuzione (in particolare per salvare il contenuto dei registri).

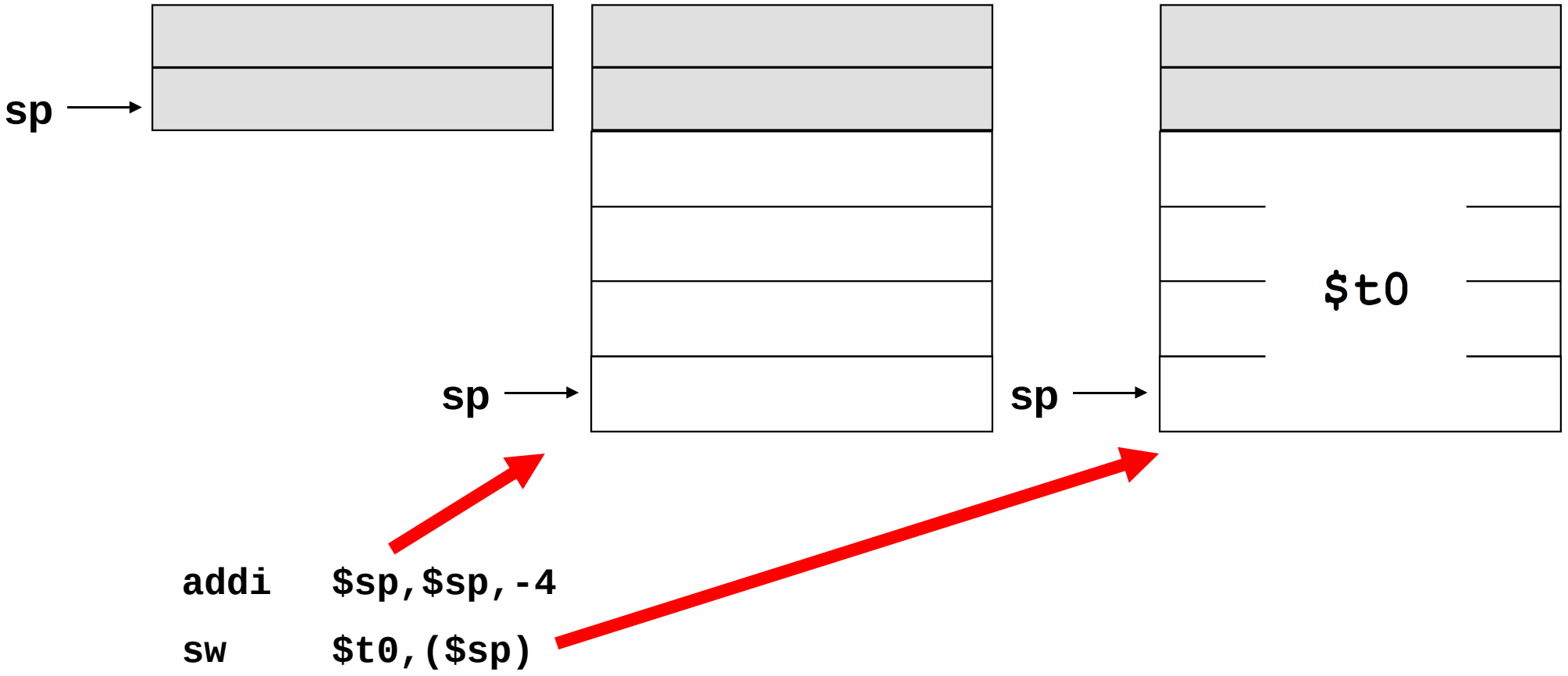
Allocazione di memoria del MIPS



Lo stack

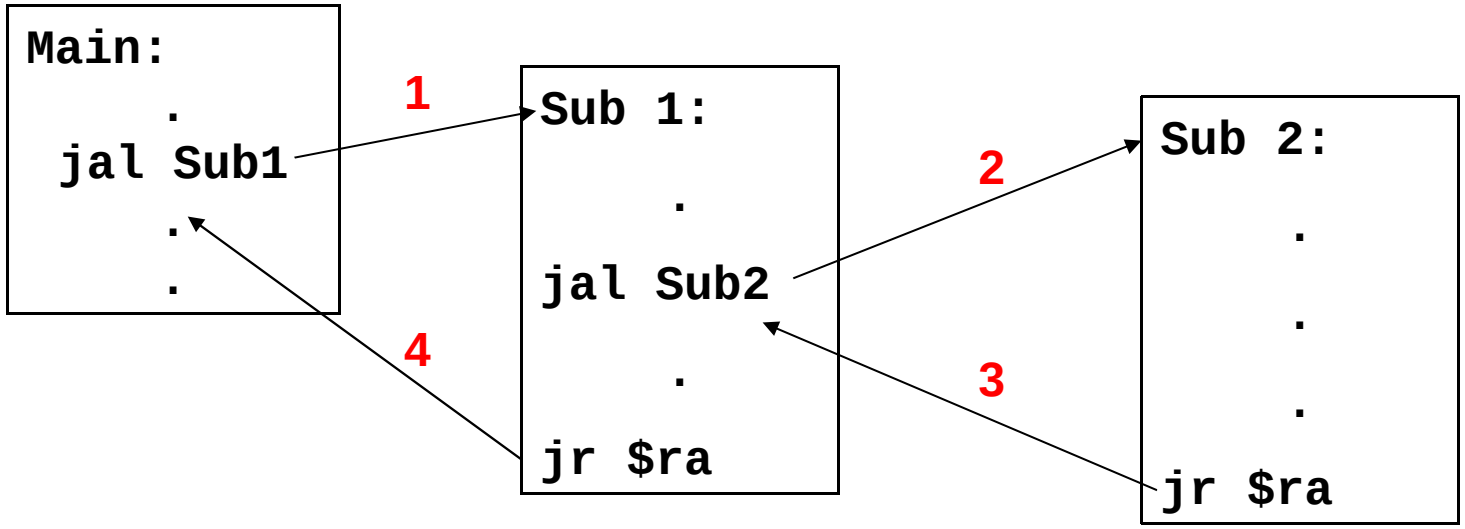
- Il registro **$sp** (stack pointer) punta sempre all'ultimo spazio usato nello stack.
- L'area di stack si espande per valori decrescenti di **$sp**.
- Per allocare uno spazio sullo stack è quindi necessario decrementare **$sp** del numero di byte necessari e quindi riempire l'area allocata con i dati.

Lo stack



Lo stack

- E' una area di memoria gestita in modalità LIFO (Last In First Out)
- E' coerente con la sequenza di attivazione e disattivazione dei sottoprogrammi innestati



Impiego dello stack nelle chiamate innestate

```
sumq:  addi $sp,$sp,-8  # alloca spazio per 2 word sullo stack
       sw $a1,4($sp)    # salva il secondo par. effettivo
       sw $ra,($sp)     # salva l'indirizzo di ritorno

       move $a1,$a0     # prepara i par. effettivi 1a chiamata
       jal mply         # invoca mply
       move $t0,$v0     # salva il valore restituito

       lw $a0,4($sp)    # prepara i par. effettivi 2a chiamata
       move $a1,$a0     # prepara i par. effettivi 2a chiamata
       jal mply         # invoca mply
       add $v0,$t0,$v0  # calcola il valore da restituire

       lw $ra,($sp)     # ripristina l'indirizzo di ritorno
       addi $sp,$sp,8   # dealloca l'area sullo stack
       jr $ra           # Ritorna al chiamante
```

Prologo & Epilogo

- **Prologo**
  - Insieme di operazioni compiute dal sottoprogramma, prima dell'esecuzione delle istruzioni proprie, per salvare i valori di registri eventualmente modificati durante l'esecuzione.

- **Epilogo**
  - Operazioni compiute dal sottoprogramma, prima del ritorno al chiamante, necessarie per ripristinare il contesto corretto.

Prologo & Epilogo

Prologo & Epilogo

PROLOGO

```
sumq:  addi $sp,$sp,-8   # alloca spazio per 2 word sullo stack
       sw $a1,4($sp)     # salva il secondo par. effettivo
       sw $ra,($sp)      # salva l'indirizzo di ritorno

       move $a1,$a0      # prepara i par. effettivi 1a chiamata
       jal mply      # invoca mply
       move $t0,$v0      # salva il valore restituito

       lw $a0,4($sp)     # prepara i par. effettivi 2a chiamata
       move $a1,$a0      # prepara i par. effettivi 2a chiamata
       jal mply      # invoca mply
       add $v0,$t0,$v0 # calcola il valore da restituire

       lw $ra,($sp)      # ripristina l'indirizzo di ritorno
       addi $sp,$sp,8    # dealloca l'area sullo stack
       jr $ra        # Ritorna al chiamante
```

EPILOGO