Università degli Studi di Milano
Dipartimento di Informatica “Giovanni Degli Antoni”
Corso di Laurea Triennale in Informatica

Architettura degli Elaboratori II
Laboratorio

Procedure 1/2

Procedure

- Programmando ad alto livello, spesso organizziamo il programma in unità funzionali dette **procedure** (o anche, nei vari linguaggi, funzioni, routines, subroutines, sottoprogrammi …)

- Esempi:
  - procedura che volge in maiuscolo una data stringa
  - procedura che calcola l'interesse cumulato di una certa somma di denaro
  - procedura che legge il nome dell'utente da tastiera
  - procedura che verifica una password

- le procedure vengono **invocate** all'occorrenza, ogni volta che sia necessario
  - dal programma principale
  - da un'altra procedura

Procedure

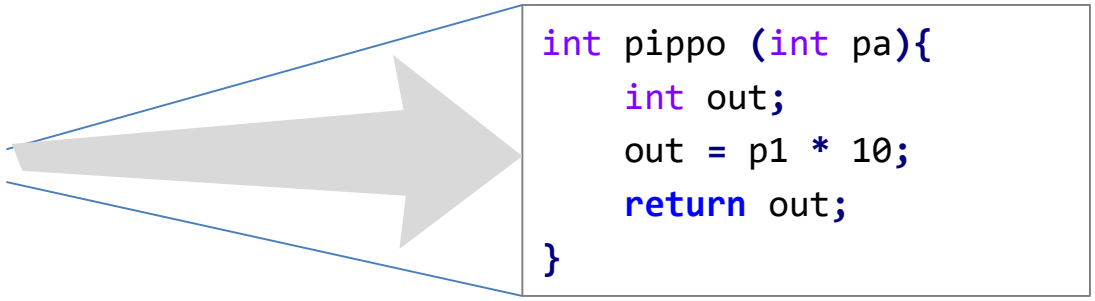
- Chi implementa una procedura (ne scrive il codice) e chi la utilizza (scrive un codice che la invoca) sono spesso persone diverse, ad esempio:
  - l'autore di una libreria scrive una procedura
    gli utente della libreria la utilizza
  - membri diversi di un team di sviluppo si accordano sulle procedure da usare,
    e uno sviluppatore scrive codice «come se» le funzioni esistessero già,
    mentre un altro scrive le procedure

- I linguaggi ad alto livello impongono regole fisse con cui sviluppatore e utilizzatore possono coordinarsi. Per esempio, la sintassi con cui dichiarare e invocare una procedura. Se non rispettiamo queste regole il codice non compila o genera errori

- **A basso livello**, non esistono regole! Si adottano invece una serie di convenzioni **autoimposte**: sta al programmatore (noi), o al compilatore, rispettarle

Chiamata a procedura ad alto livello (es: in C)

```
...
f = f + 1;
x = pippo( 7 );
a = x + 1;
...
```



```
int pippo (int pa){
    int out;
    out = p1 * 10;
    return out;
}
```

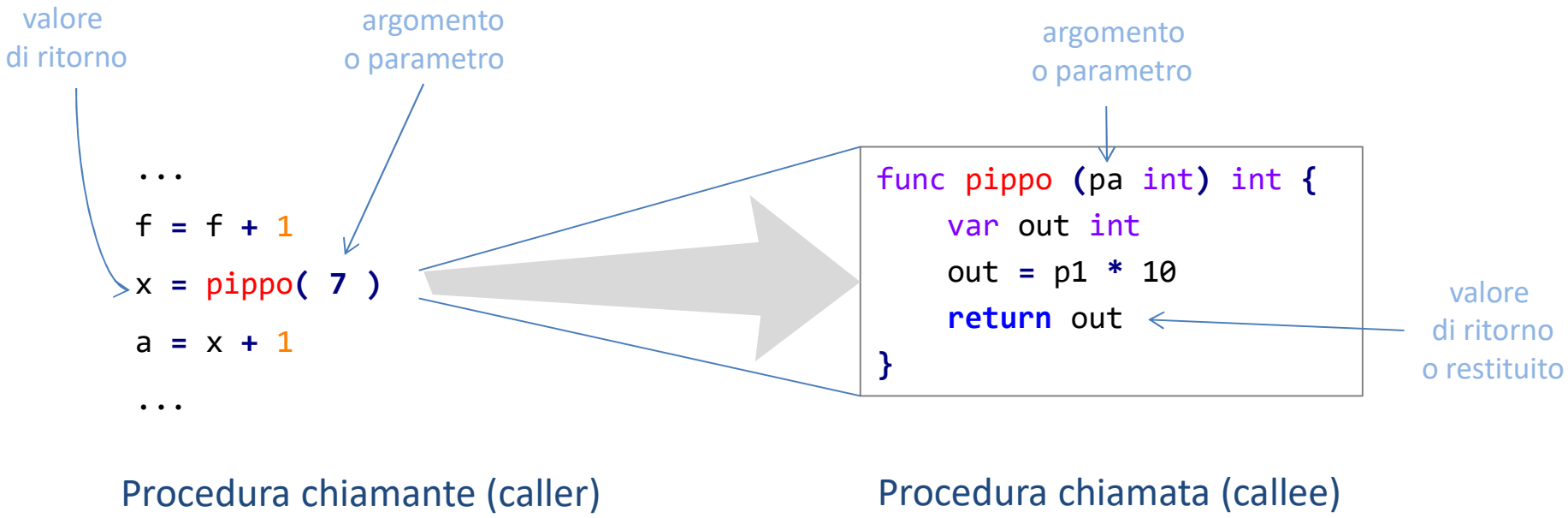
Procedura chiamante (caller)

Procedura chiamata (callee)

Caller e callee comunicano attraverso:

- passaggio di parametri di input (dal caller al callee)
- ritorno di valori di output (dal callee al caller)

Chiamata a procedura ad alto livello (es: in Go)

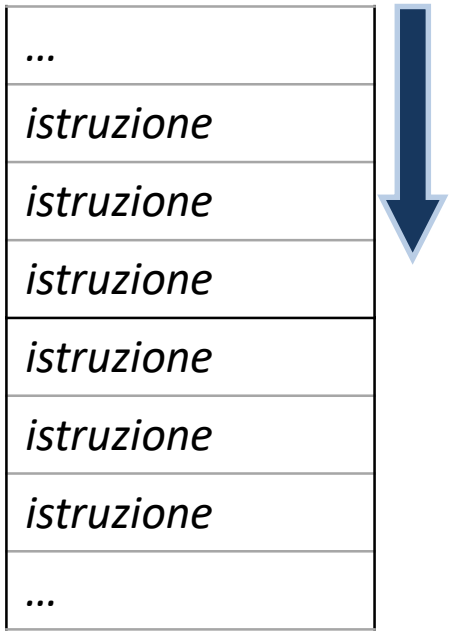


Caller e callee interagiscono attraverso:

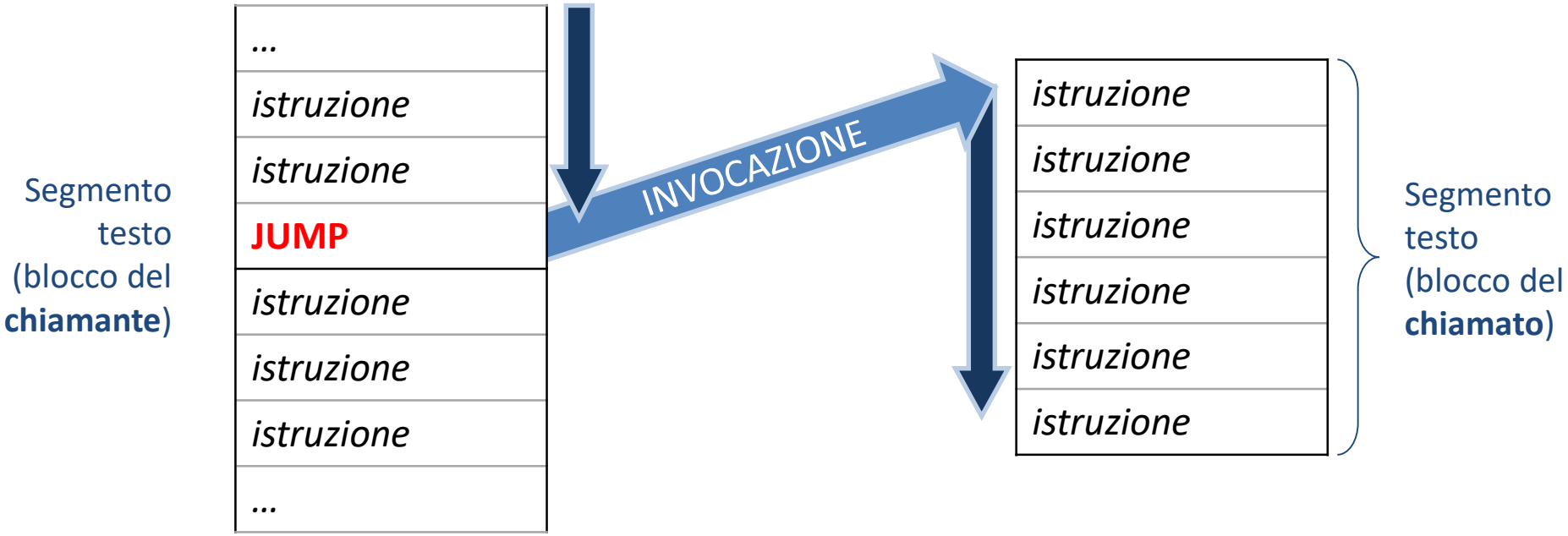
- passaggio di parametri di input (dal caller al callee)
- ritorno di valori di output (dal callee al caller)

Chiamata a procedura a basso livello

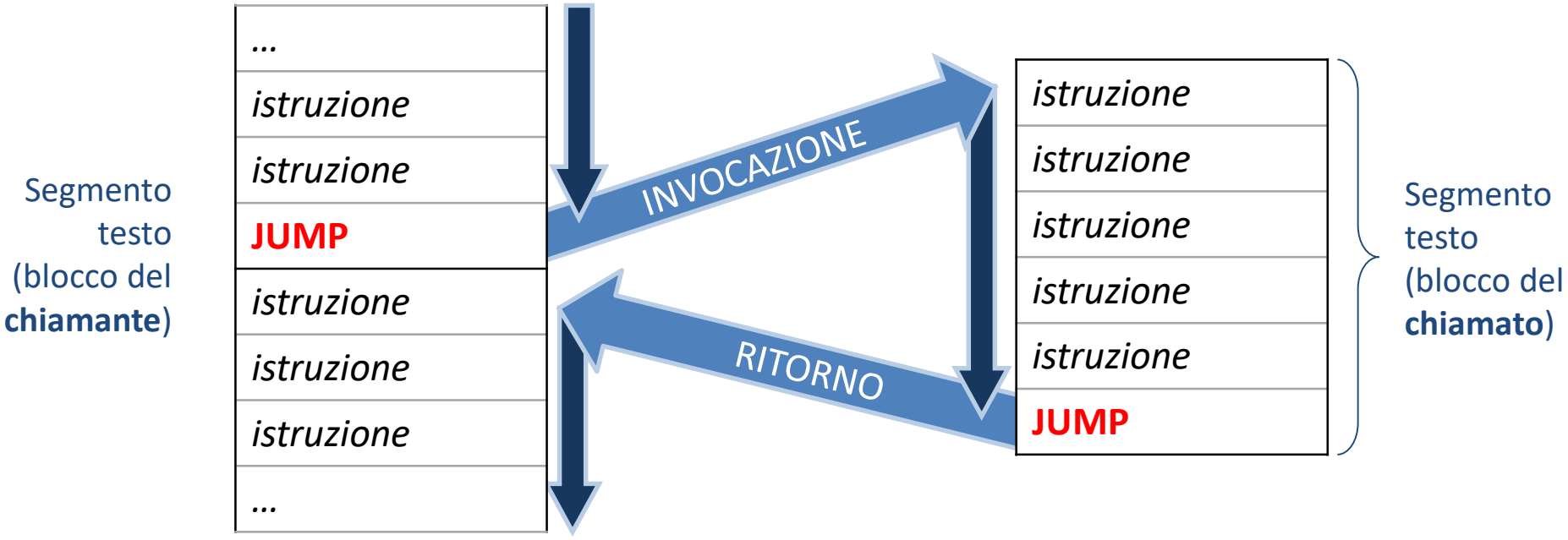
Segmento testo (blocco del **chiamante**)



Chiamata a procedura a basso livello



Chiamata a procedura a basso livello



JAL: Jump and Link

Registro:	$0	$1	$2	$3	$4	$5	$6	$7
Sinonimo:	**$r0**	**$at**	**$v0**	**$v1**	**$a0**	**$a1**	**$a2**	**$a3**
Registro:	$8	$9	$10	$11	$12	$13	$14	$15
Sinonimo:	**$t0**	**$t1**	**$t2**	**$t3**	**$t4**	**$t5**	**$t6**	**$t7**
Registro:	$16	$17	$18	$19	$20	$21	$22	$23
Sinonimo:	**$s0**	**$s1**	**$s2**	**$s3**	**$s4**	**$s5**	**$s6**	**$s7**
Registro:	$24	$25	$26	$27	$28	$29	$30	$31
Sinonimo:	**$t8**	**$t9**	**$k0**	**$k1**	**$gp**	**$sp**	**$s8**	**$ra**

RETURN ADDRESS

Salti di invocazione e ritorno

- In MIPS, un registro è dedicato a memorizzare l'indirizzo di ritorno:
  - **`$ra`** : «Return Address»

- Le istruzioni di jump hanno una variante «and link» che,
  prima di sovrascrivere il PC (per fare il salto),
  salvano in **`$ra`** il valore PC+4
  (cioè l'indirizzo a cui tornare al rientro dalla procedura):
  - **`jal`** `<label>` : Jump-and-link (j con link)
  - **`jalr`** `<registro>` : Jmp-and-link register (jr con link)

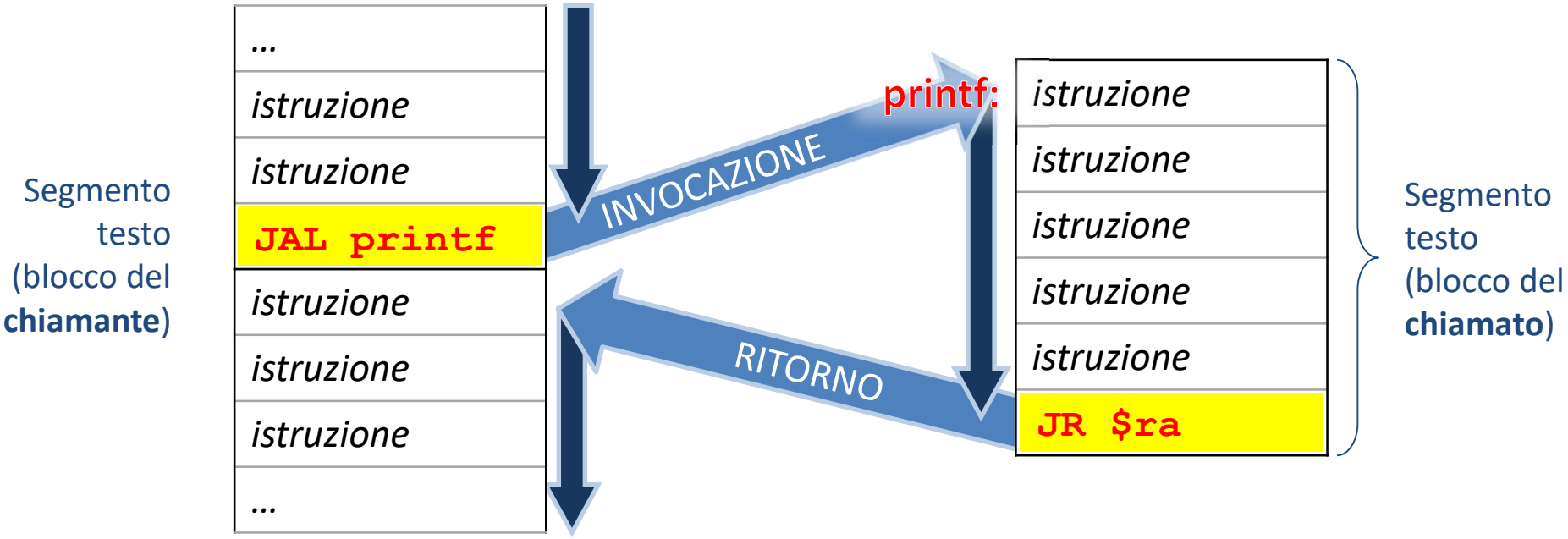
Salti di invocazione e ritorno

Salto di invocazione:

- Indicare l'inizio della procedura con una etichetta
- Saltare con una **`jal`** a quell'etichetta

Salto di ritorno

- Saltare con una **`jr`** al Return address



Comunicare alla procedura i suoi parametri

- Molte procedure si aspettano degli input
  - es: una procedura che volge in maiuscolo una stringa deve sapere l'indirizzo della stringa su cui lavorare

- Ad alto livello, questi sono gli argomenti (o i parametri) della procedura

- In MIPS, dedichiamo alcuni registri a memorizzare questi argomenti: `$a0`, `$a1`, `$a2`, `$a3` (a = argomento)

- Convenzione: (che sta ai programmatori / compilatori / studenti rispettare)
  - Il chiamante mette i valori dei parametri in `$a0`..`$a3` prima di invocare la procedura (quelli necessari)
  - La procedura assumerà di trovare gli input necessari in `$a0`..`$a3`

Comunicare al chiamante il valore di ritorno

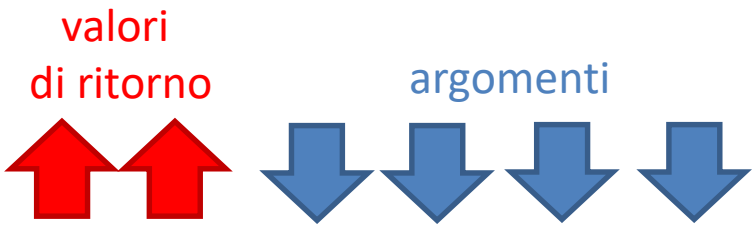
- Molte procedure restituiscono degli output
  - es: una procedura che calcola l'interesse cumulato deve comunicare al chiamate il valore calcolato

- Ad alto livello, questo è il valore di ritorno della procedura (uno o più)

- In MIPS, dedichiamo alcuni registri a memorizzare i valori di ritorno: `$v0`, `$v1` (v = valore di ritorno)

- Convenzione: (che sta a noi rispettare)
  - Prima di restituire il controllo, la procedura mette in `$v0` (e/o `$v1`) il valore/i da restituire
  - Al ritorno il caller assume di avere in `$v0` (e/o `$v1`) il valore/i restituito/i dalla procedura

Input e output di una procedura



Registro:	$0	$1	$2	$3	$4	$5	$6	$7
Sinonimo:	**$r0**	**$at**	**$v0**	**$v1**	**$a0**	**$a1**	**$a2**	**$a3**
Registro:	$8	$9	$10	$11	$12	$13	$14	$15
Sinonimo:	**$t0**	**$t1**	**$t2**	**$t3**	**$t4**	**$t5**	**$t6**	**$t7**
Registro:	$16	$17	$18	$19	$20	$21	$22	$23
Sinonimo:	**$s0**	**$s1**	**$s2**	**$s3**	**$s4**	**$s5**	**$s6**	**$s7**
Registro:	$24	$25	$26	$27	$28	$29	$30	$31
Sinonimo:	**$t8**	**$t9**	**$k0**	**$k1**	**$gp**	**$sp**	**$s8**	**$ra**

Come facciamo se abbiamo bisogno di più di 4 argomenti?

- Si usa lo stack
- Dal 5to argomento il poi:
  - Il chiamante: prima di invocare, fa una push nello stack dell'argomento
  - Il chiamato: per prima cosa, prende l'arogmento dallo stack, con una pop

```
addi $sp $sp -4
sw $** ($sp)
```

```
lw $** ($sp)
addi $sp $sp 4
```

- Nota: chiamante e chiamato devono sapere che questo è il caso per ogni data funzione
  - Quindi, quanti argomenti servono oltre i primi 4
  - Lo stack viene compromesso irrimediabilmente se non si mettono d'accordo! (viene fatta una push o, peggio, una pop di troppo)
- Info: in altri ISA, questo è il modo convenzionale di passare *tutti* gli argomenti

Come facciamo se abbiamo bisogno di più di 2 valori di ritorno?

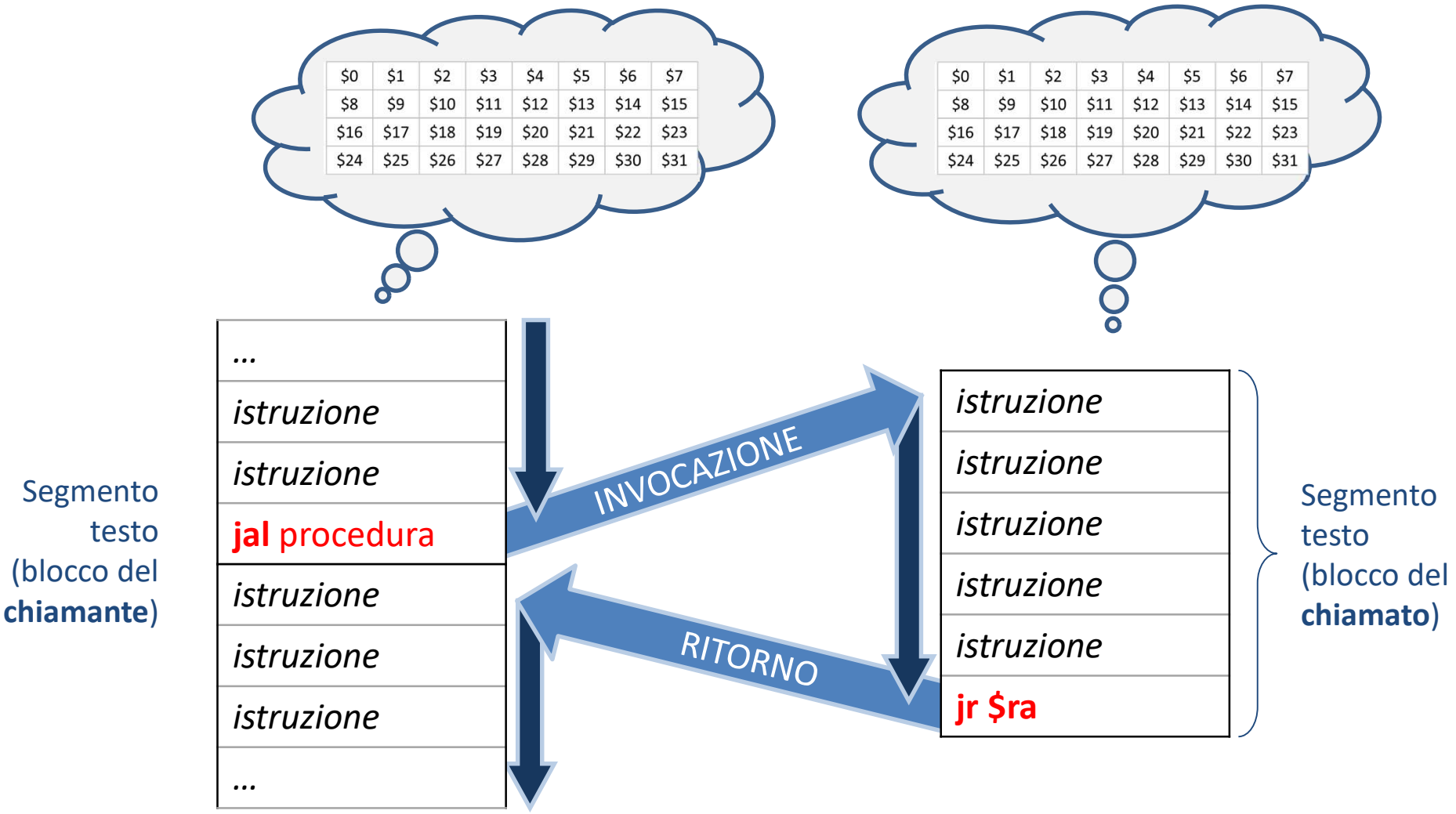
- Si usa lo stack
- Dal 3zo valore di ritorno il poi:
  - Il chiamato: prima di restituire il controllo, fa una push nello stack del valore prodotto
  - Il chiamante: dopo l'invocazione, prende il valore dallo stack, con una pop

```
addi $sp $sp -4
sw $** ($sp)
```

```
lw $** ($sp)
addi $sp $sp 4
```

- Nota: chiamante e chiamato devono sapere che questo è il caso per ogni data funzione
  - Quindi, quanti valori vengono restituiti oltre i primi due
  - Lo stack viene compromesso irrimediabilmente se non si mettono d'accordo! (viene fatta una push o, peggio, una pop di troppo)
- Info: in altri ISA, questo è il modo convenzionale di restituire *tutti* i valori

Problema:
i registri sono gli stessi!



Registri $s e $t

- Problema: i registri sono usati tanto dalla procedura quanto dal chiamante
  - Quindi, dopo una chiamata ad una procedura, il chiamante rischia di trovare i registri che stava utilizzando completamente cambiati («sporcati»)
- Ogni linguaggio assembly usa delle convenzioni per consentire a chiamante e chiamato usare i registri per non interferire
- In MIPS, adottiamo una convenzione:
  - gli otto registri **`$s0`** .. **`$s7`** (s = save) devono essere **preservati** dalla procedura: quando la procedura restituisce il controllo, il chiamante deve trovare in questi registri gli stessi valori che avevano al momento dell'invocazione
  - i dieci registri **`$t0`** .. **`$t9`** (t = temp) possono invece essere modificati da una procedura: il chiamante sa che invocare una procedura potrebbe modificare ("sporcare") questi registri

Convenzione sull'uso dei registri da parte delle procedure

Registro:	$0	$1	$2	$3	$4	$5	$6	$7
Sinonimo:	$r0	$at	$v0	$v1	$a0	$a1	$a2	$a3
Registro:	$8	$9	$10	$11	$12	$13	$14	$15
Sinonimo:	$t0	$t1	$t2	$t3	$t4	$t5	$t6	$t7
Registro:	$16	$17	$18	$19	$20	$21	$22	$23
Sinonimo:	$s0	$s1	$s2	$s3	$s4	$s5	$s6	$s7
Registro:	$24	$25	$26	$27	$28	$29	$30	$31
Sinonimo:	$t8	$t9	$k0	$k1	$fp	$sp	$s8	$ra

deve rimanere invariato

può essere modificato dalla procedura

Anche detti: registri caller-saved e callee-saved

Caller-saved

«salvati dal chiamante»
*sono i registri rispetto a cui **non** vige una convenzione di preservazione attraverso chiamate a procedura*

`$t0 … $t9, $a0 … $a3, $v0, $v1`

Un callee è libero di sovrascrivere questi registri: se un chiamante vuole essere sicuro di non perderne il valore deve salvarli sullo stack prima della chiamata a procedura

Esempio: `main` ha un dato importante nel registro `$t0`, prima di invocare `f` salva `$t0` sullo stack, una volta riacquisito il controllo lo ripristina.

Callee-saved

«salvati dal chiamato»
sono i registri rispetto cui la convenzione esige che vengano preservati attraverso chiamate a procedura

`$s0 … $s9 $ra $sp $fb`

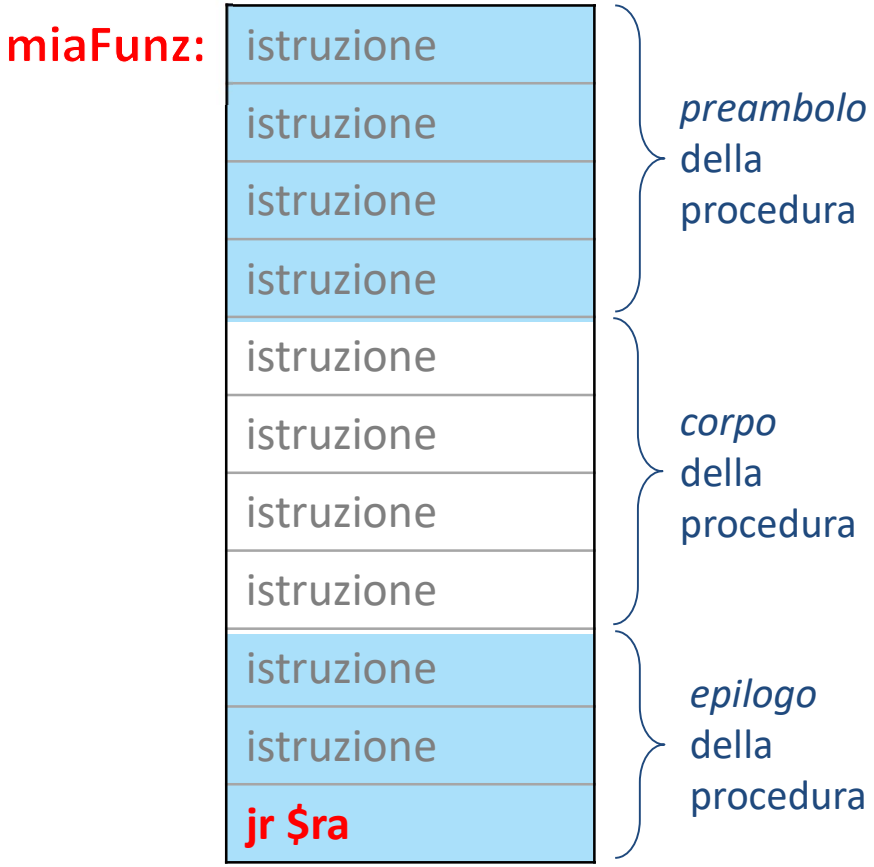
un callee non può sovrascrivere permanentemente questi registri: il chiamante si aspetta che restino invariati dopo la chiamata a procedura. Se il callee li vuole usare, deve prima salvarli sullo stack per poi ripristinarli una volta terminato

Esempio: `main` ha un dato importante nel registro `$s1` e invoca `f`; `f` salva `$s1` sullo stack prima di utilizzarlo, una volta terminato lo ripristina.

Registri $s e $t: per la procedura

La procedura può
rispettare la convenzione
attraverso diversi modi

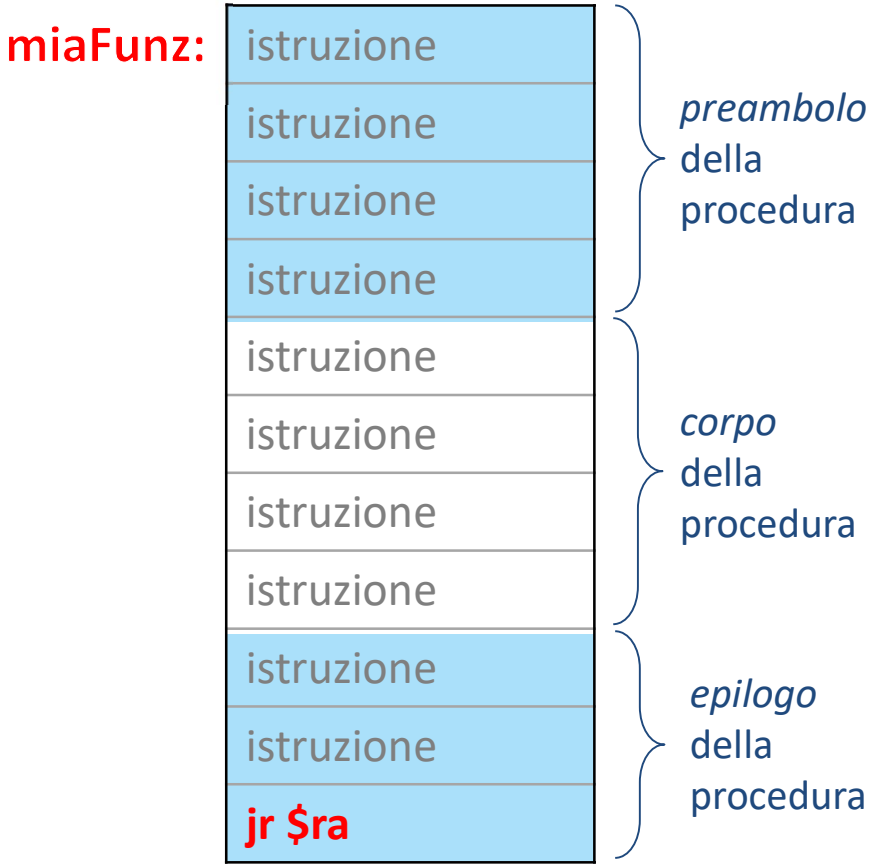
- Modo 1: non scrivere mai i registri $s
- Modo 2: salvare I registri $s nello stack



Registri $s e $t: per la procedura

La procedura può rispettare la convenzione attraverso diversi modi

- Modo 1: non scrivere mai i registri $s
  - usare quindi solo i registri $t
- Modo 2: salvare I registri $s nello stack
  - Prima di scrivere su un dato registro $s, (ad esempio, nel «*preambolo*» della proc.) o cmq salvarne una copia con una **push** nello stack
  - Poi, usare questi registri come normale
  - prima di restituire il controllo al chiamante, (ad esempio, nel «*epilogo*» della proc, subito prima della j $ra finale) ripristinare il valore originale di questi registri con una **pop**
  - Nota: dal punto di vista del chiamante, lo stack rimane inalterato



Conclusione: manuale per invocare una procedura

1. Caricare in $a0.. $a3 i parametri della procedura (se previsti)
2. Se necessario, salvare una copia dei registri $t nei registri $s oppure sullo stack frame (vale anche per $a0..$a3, $v0 e $v1)
3. Invocare la procedura: jal <label>
4. Trovare in $v0 (o $v1) l'eventuale valore restituito (se previsto)
5. Se necessario ripristinare il valore dei registri salvati nel passo 2

Manuale per scrivere una procedura

1. Preambolo:
   salvare una copia dei registri $s che si intende usare nello stack frame
   - con store word agli indirizzo $sp – 4, $sp – 8, $sp – 12, …

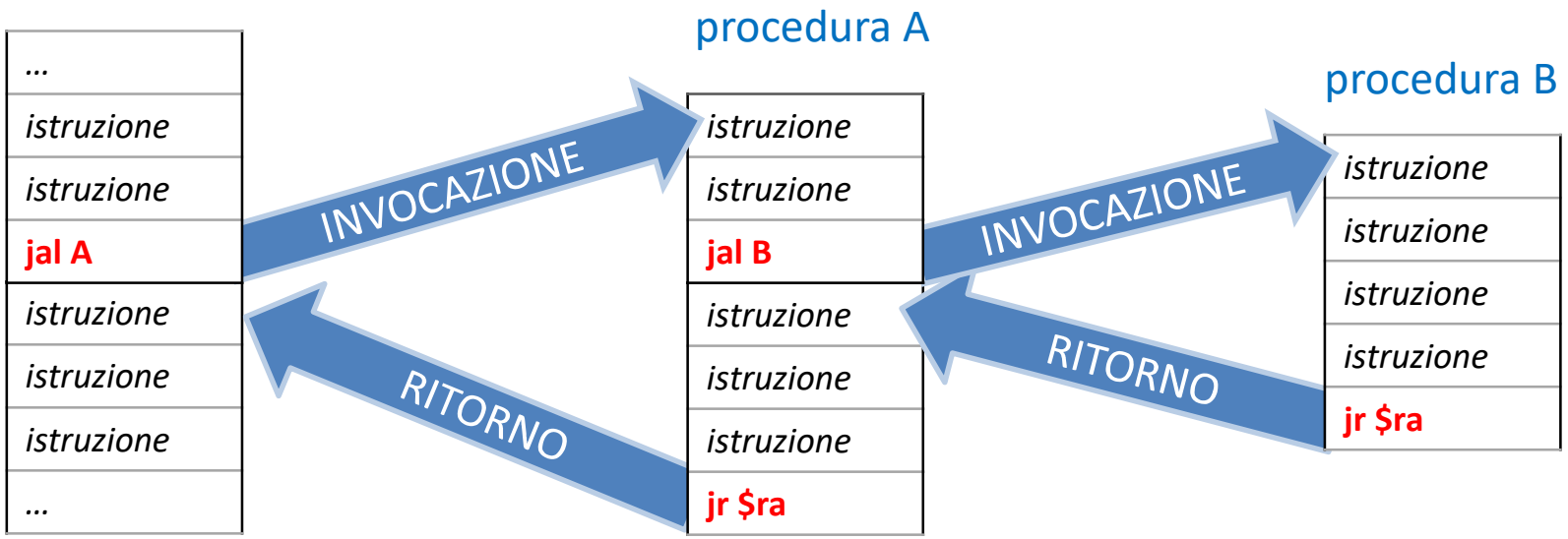
2. implementare la procedura (scrivere codice)
   - leggendo gli eventuali input da $a0 .. $a3
   - scrivendo liberamente su $t0..$t9
   - scrivendo su $s0..$s8 che siano stati salvati precedentemente
   - scrivere l'eventuale output in $v0 (e/o $v1)

3. Epilogo: ripristinare tutti i registri salvati nel passo 1
   - con altrettante load word agli stessi indirizzi

4. restituire il controllo al chiamante
   - jr $ra

nota: se la procedura ne invoca un'altra, la situazione si complica. Vedi prossima lezione

Prossima lezione:
invocazione di procedura annidate



Università degli Studi di Milano
Dipartimento di Informatica “Giovanni Degli Antoni”
Corso di Laurea Triennale in Informatica

Architettura degli Elaboratori II
Laboratorio