


ISA e linguaggio macchina

Prof. Alberto Borghese
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borghese@di.unimi.it

Università degli Studi di Milano

Riferimento sul Patterson: capitolo 4.2 , 4.4, D1, D2.


Introduzione alla CPU

- Istruzioni di salto dell'ISA MIPS
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo R
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo I
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo J

Tipi di istruzioni

```
for (i=0; i<N; i++)          // Istruzioni di controllo
{   elem = i*N + j;          // Istruzioni aritmetico-logiche
    s = v[elem];             // Istruzioni di accesso a memoria
  z[elem] = s;               // Istruzioni di accesso a memoria
}
```


Alcune istruzioni dell'ISA

- Aritmetico logiche:
  - add
  - addi
  - addu
  - sub
  - mult
  - or
  - and
  - slt

  ....
- Accesso alla memoria:
  - lw
  - sw
  - lb
  - lh

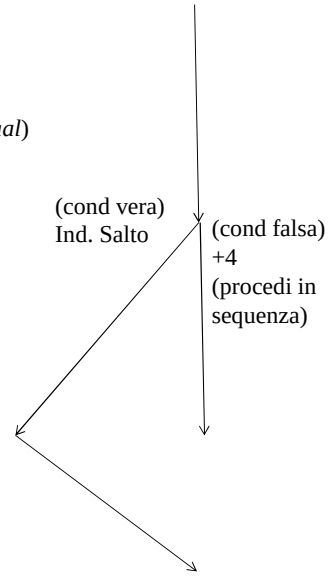
  ....

I registri del register file

Nome	Numero	Utilizzo
$zero	0	costante zero
$at	1	riservato per l'assemblatore
$v0-$v1	2-3	valori di ritorno di una procedura
$a0-$a3	4-7	argomenti di una procedura
$t0-$t7	8-15	registri temporanei (non salvati)
$s0-$s7	16-23	registri salvati
$t8-$t9	24-25	registri temporanei (non salvati)
$k0-$k1	26-27	gestione delle eccezioni
$gp	28	puntatore alla global area (dati)
$sp	29	stack pointer
$s8	30	registro salvato (fp)
$ra	31	indirizzo di ritorno

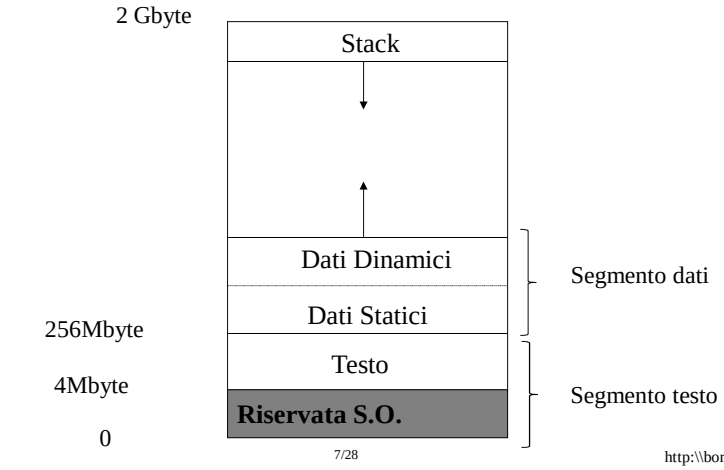
Istruzioni di salto condizionato

- Salti condizionati relativi:
  - **`beq r1, r2, Etichetta`** (*branch on equal*)
  - **`bne r1, r2, Etichetta`** (*branch on not equal*)
- Salti condizionati relativi:
  - Il flusso sequenziale di controllo cambia solo se la condizione è vera. (beq)



I salti incondizionati

Salti incondizionati assoluti (j, jal...) – `j Etichetta`
Il salto viene sempre eseguito.
L'indirizzo di destinazione del salto è un indirizzo assoluto di memoria.
L'indirizzo di destinazione del salto è un numero sempre positivo.

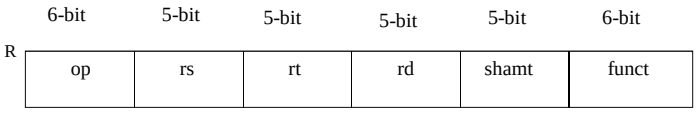


Introduzione alla CPU

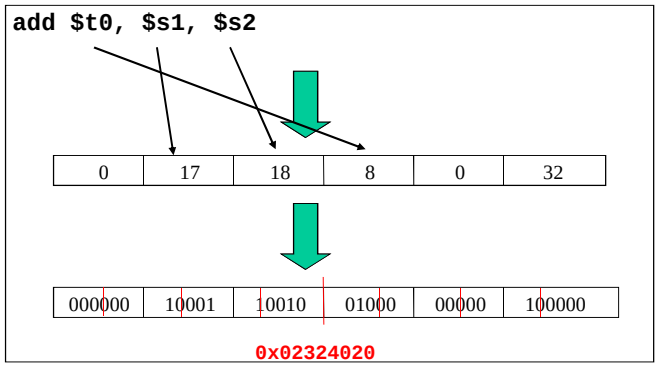
- Istruzioni di salto dell'ISA MIPS
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo R
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo I
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo J

Formato delle istruzioni di tipo R

Contiene:
- Un codice operativo su 6 bit
- Un registro source, rs, su 5 bit
- Un registro target, rt, su 5 bit
- Un registro destinazione, rd, su 5 bit
- Un numero di posizioni di shift (shift amount, shamt), su 5 bit
- Un codice di funzione (cf. selettore ALU), su 6 bit



Istruzioni di tipo R: esempio



Istruzioni di tipo R: esempi

Nome campo	op	rs	rt	rd	shamt	funct
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	5-bit	5-bit	6-bit
`sub $t0, $s1, $s2`	000000	10001	10010	01000	00000	100010

Nome campo	op	rs	rt	rd	shamt	funct
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	5-bit	5-bit	6-bit
`and $s1, $s2, $s3`	000000	10010	10011	10001	00000	100100

Nome campo	op	rs	rt	rd	shamt	funct
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	5-bit	5-bit	6-bit
`sll $s1, $s2, 3`	000000	X	10010	10001	00011	000000

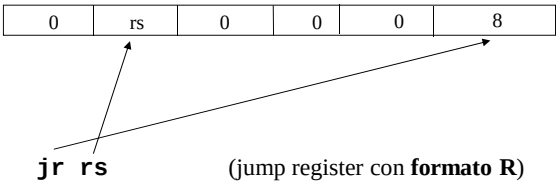
$s1 = s2*2^3$ Se s2 contiene 20 (0000.....0010100) => s1 conterrà = 160 (0000....0010100000)

Nome campo	op	rs	rt	rd	shamt	funct
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	5-bit	5-bit	6-bit
`srl $s1, $s2, 6`	000000	X	10010	10001	00110	000010

$s1 = s2*2^{-6}$

Altre istruzioni di tipo R

Funzioni di salto indiretto (ad esempio per accedere alla zona di memoria istruzioni superiore ai 2GByte)



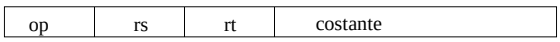
`jr rs` (jump register con **formato R**)

- Salta all'indirizzo di memoria **assoluto** contenuto nel registro **`rs`** (spazio di 2^{32} byte = 4 Gbyte > intero spazio di memoria)

Introduzione alla CPU

- Istruzioni di salto dell'ISA MIPS
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo R
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo I
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo J

Formato istruzioni di tipo I

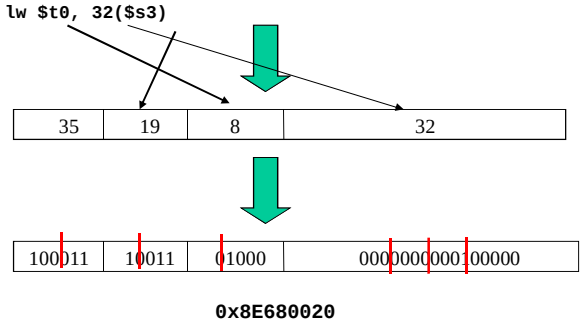


6 bit 5 bit 5 bit 16 bit

- In questo caso, i campi hanno il seguente significato:
  - **`op`** identifica il tipo di istruzione;
  - `rs` indica il registro sorgente. Nel caso di una lw contiene il registro base;
  - **`rt`** indica il registro target. Nel caso di una lw, contiene il registro destinazione dell'istruzione di caricamento;
  - **`costante`**. Nel caso di una lw riporta lo spiazzamento (offset).

Istruzioni di tipo I: accesso a memoria

Con questo formato una istruzione **lw (sw)** può indirizzare byte nell'intervallo **-2^{15}** (-32K) **+** **$+2^{15}$**-1 (32K -1) rispetto all'indirizzo base: indirizzo = indirizzo_base + offset (= costante)



Istruzioni di tipo I: accesso memoria

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

Versione I di istruzioni aritmetico-logiche

Nome campo	op	rs	rt	costante
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`addi $t0, $s3, 64`	001000	10011	01000	0000 0000 0100 0000

Nome campo	op	rs	rt	costante
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`addi $s1, $s2, 4`	001000	10010	10001	0000 0000 0000 0100

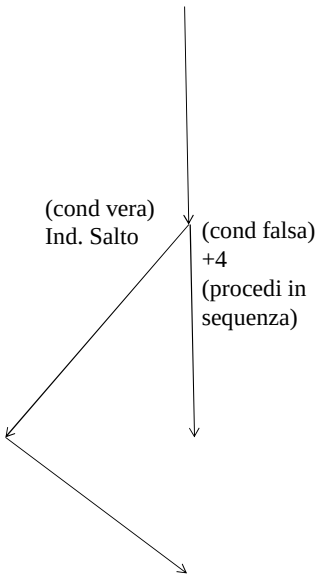
Nome campo	op	rs	rt	costante
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`slti $t0, $s2, 8`	001010	10010	01000	0000 0000 0000 1000

```
# $t0 = 1 if $s2 < 8
```


Istruzioni di salto condizionato

- Salti condizionati relativi:
  - **`beq r1, r2, L1`** (*branch on equal*)
  - **`bne r1, r2, L1`** (*branch on not equal*)

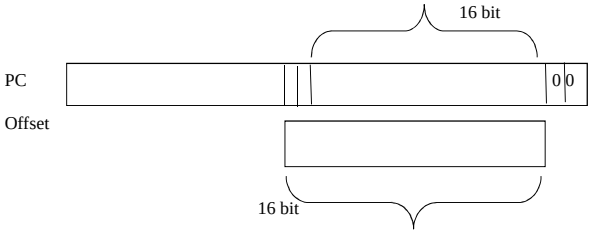
- Salti condizionati relativi:
  - Il flusso sequenziale di controllo cambia solo se la condizione è vera (`beq`)
  - Il calcolo del valore dell'etichetta **`L1`** (**indirizzo di destinazione del salto**) avviene a partire dal Program Counter (PC).
  - Indirizzamento del tipo Base (PC) + Spiazzamento.



Allargamento dello spazio di indirizzamento relativo

0000	0	0
0100	1	4
1000	2	8
1100	3	12

Calcolo lo spiazzamento in numero di parole invece che di Byte.
Considero 64Mword (64M istruzioni) invece di 64Kbyte. Lo spazio indirizzabile all'interno del segmento di testo è di 64Kword * 4 = 256Kbyte.
Moltiplicare per 4 vuol dire operare uno shift a sinistra di due posizioni dell'offset



La costante su 16 bit rappresenta l'offset in termini di numero di istruzioni

Calcolo dell'indirizzo di salto

```
                          0x400          addi $t1, $zero, 10   # N=10
for (i=0; i++; i<10)      0x404          addi $t0,$zero,0      # i =0;
{    ....                 0x408    loop:  addi $t0, $t0,1       # i++
                          0x40C           ....

                          0x420          bne $t0, $t1, loop
}
```

Quanto vale il campo costante da inserire nella bne?

Calcolo dell'indirizzo di salto

```
0x400          addi $t1, $zero, 10   # N=10
0x404          addi $t0,$zero,0      # i =0;
0x408   loop:   addi $t0, $t0,1       # i++
0x40C          ....

0x420          bne $t0, $t1, loop
```

L'indirizzo di destinazione è 0x408 (indirizzo dell'etichetta loop)

Lo spiazzamento del salto in byte è pari a: (0x408 - 0x424) = -28 Byte
Lo spiazzamento del salto in numero di istruzioni è pari a -7 istruzioni

Prova: Indirizzo di salto = Indirizzo PC+4 + Offset (#istruzioni) * 4
Loop = 0x408 = 0x424 + -7 * 4

5	8	9	-7 = 1111 1111 1111 1001

Istruzioni di tipo I - Branch

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`beq $s1, $s2, L1`	000100	10001	10010	0000 0000 0001 1001

L1 = PC+4 + 100 byte Codifica su 18 bit: (00) 000 0000 0001 1001(00) in binario.

Nome campo	op	rs	rt	indirizzo
Dimensione	6-bit	5-bit	5-bit	16-bit
`beq $s1, $s2, L1`	000100	10001	10010	1111 1111 1110 0111

L1 = PC+4 -100 byte Codifica su 18 bit: (11)111 1111 1110 0111(00) in binario.

Formato R ed operazioni logico-matematiche

Non tutte le operazioni logico-matematico, sono di tipo R.

Le operazioni logico-matematiche di tipo R hanno codice operativo 0.

Non tutte le operazioni con codice operativo 0 sono logico-matematiche (ad esempio ci sono le istruzioni di *jr, syscall…*).

Occorre distinguere il funzionamento dell'istruzione elementare dalla sua codifica.

- Codifiche simili (e.g. Tipo R) possono essere condivise da istruzioni di tipo diverso (e.g. aritmetico-logiche, salto).
- Codifiche diverse (e.g. Tipo I e Tipo R) possono essere condivise da istruzioni dello stesso tipo (e.g. add ed addi)

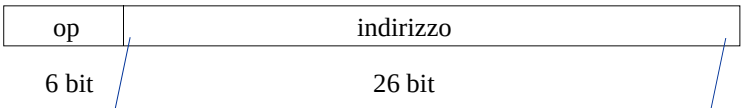
Non c'è corrispondenza 1 a 1, tra tipi strutturali e tipi funzionali.

Introduzione alla CPU

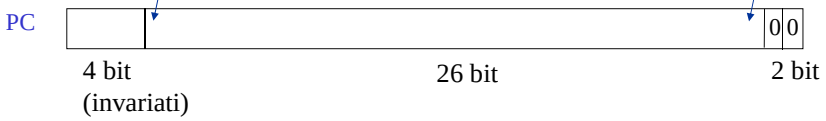
- Istruzioni di salto dell'ISA MIPS
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo R
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo I
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo J

Formato istruzioni di tipo J

- E' il formato usato per le istruzioni di salto incondizionato *(jump)*:



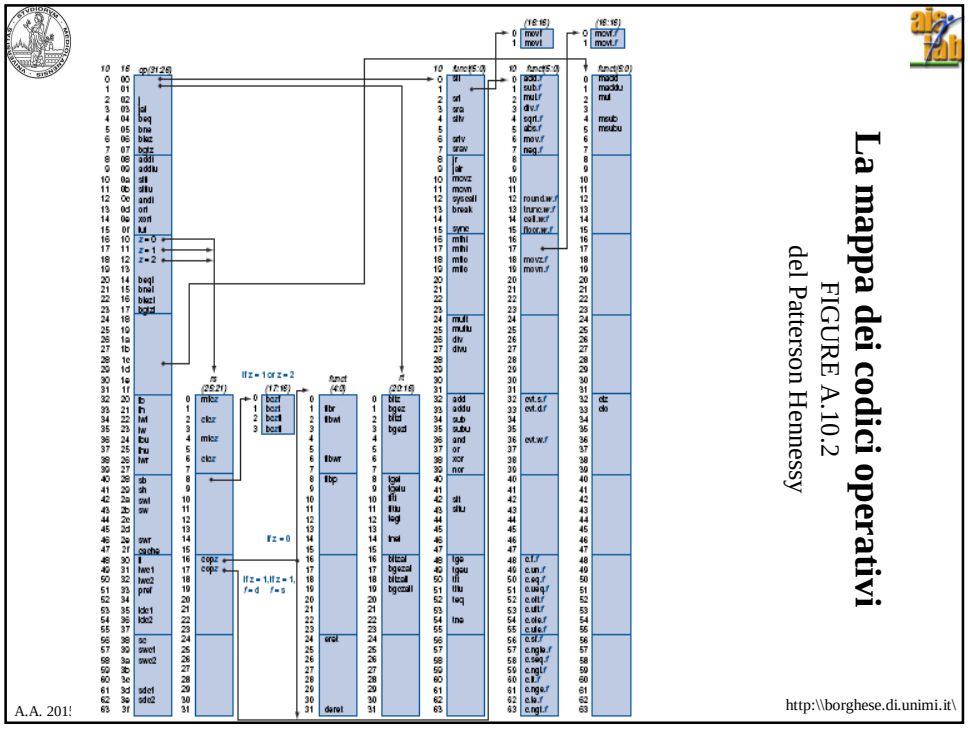
- In questo caso, i campi hanno il seguente significato:
  - **op** indica il tipo di operazione**;**
  - **indirizzo** (composto da **26-bit**) riporta una parte (26 bit su 32) dell'indirizzo **assoluto** di destinazione del salto.
- I 26-bit del campo **indirizzo** rappresentano un indirizzo di parola **(word address)** 2^{26} parole = 256 Mbyte (segmento testo).



Codifica delle istruzioni

- Tutte le istruzioni MIPS hanno la **stessa** dimensione **(32 bit) – Architettura RISC.**
- I 32 bit hanno un significato diverso a seconda del formato (o tipo) di istruzione
  - il tipo di istruzione è riconosciuto in base al valore di alcuni bit **(6 bit)** più significativi **(codice operativo - *OPCODE*)**
- Le istruzioni MIPS sono di **3** tipi (formati):
  - **Tipo R (register) – Lavorano su 3 registri.**
    - Istruzioni aritmetico-logiche.
  - **Tipo I (immediate) – Lavorano su 2 registri. L'istruzione è suddivisa in un gruppo di 16 bit contenenti informazioni + 16 bit riservati ad una costante.**
    - Istruzioni di accesso alla memoria o operazioni contenenti delle costanti.
  - **Tipo J (jump) – Lavora senza registri: codice operativo + indirizzo di salto.**
    - Istruzioni di salto incondizionato.

	6-bit	5-bit	5-bit	5-bit	5-bit	6-bit
R	op	rs	rt	rd	shamt	funct
I	op	rs	rt	Indirizzo / costante		
J	op	Indirizzo / costante				



La mappa dei codici operativi

FIGURE A.10.2

del Patterson Hennessy

Introduzione alla CPU

- Istruzioni di salto dell'ISA MIPS
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo R
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo I
- I diversi tipi di istruzioni: Istruzioni di tipo J