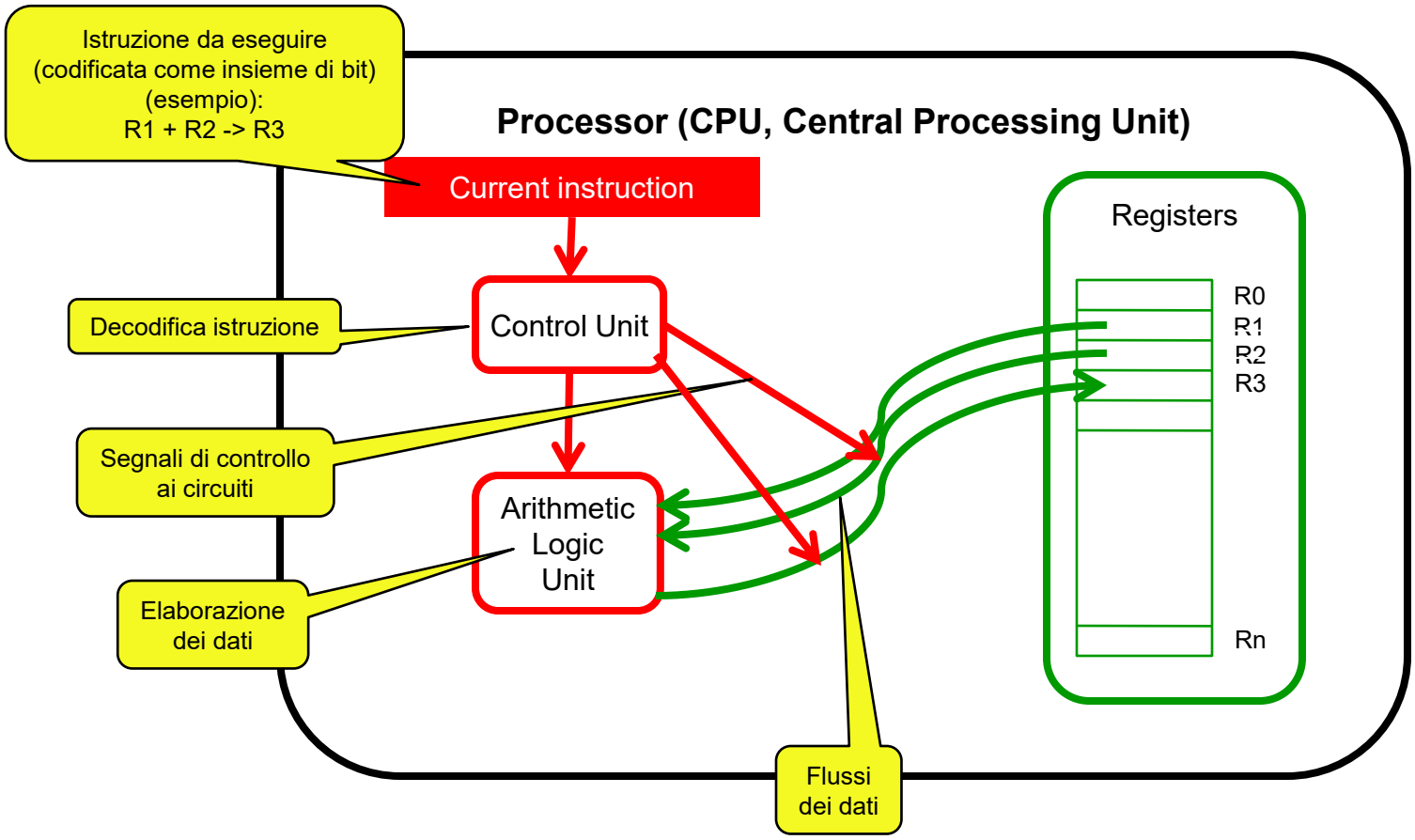
Corso di Laurea in Informatica
Architettura degli elaboratori
a.a. 2025-2026

La macchina programmata
Instruction Set Architecture

Istruzioni I-type
Indirizzamento della memoria
Istruzioni Load/Store
Un programma elementare

Claudia Raibulet
claudia.raibulet@unimib.it

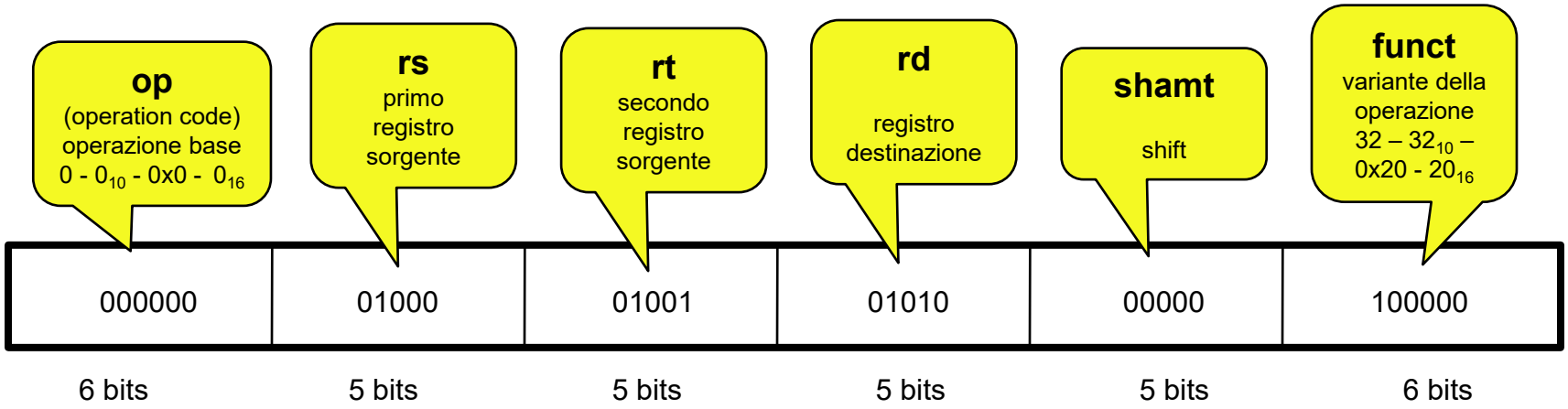
Processor: istruzione elementare su registri



Istruzione R-Type

quello che si vuole fare (in italiano)
numeri decimali (per comodità)

"somma i contenuti del registro 8 e del registro 9 e metti il risultato nel registro 10"

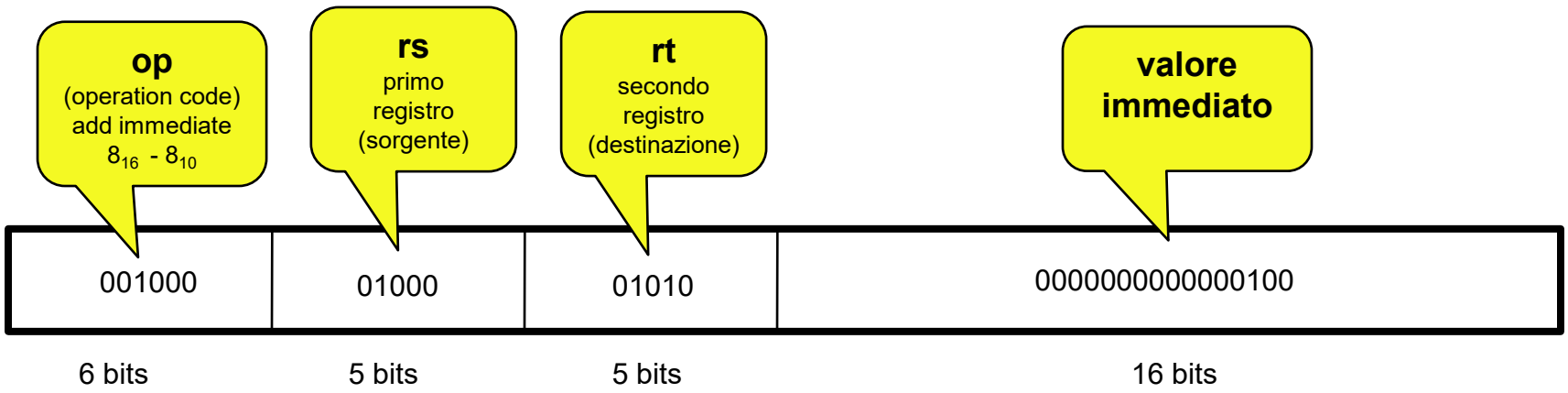


- **I valori in rs e rt devono essere già stati impostati da istruzioni precedenti**
- **Se**
  - rs contiene inizialmente 64 (00000000000000000000000001000000)
  - rt contiene inizialmente 4 (00000000000000000000000000000100)
- **dopo l'esecuzione**
  - rd contiene 68 (00000000000000000000000001000100)

Istruzione I-type (add immediate)

quello che si vuole fare (in italiano)
numeri decimali (per comodità)

"somma il valore 4 al contenuto del registro 8 e metti il risultato nel registro 10"



- se rs contiene inizialmente 64 (00000000000000000000000001000000)
- dopo l'esecuzione rt contiene 68 (00000000000000000000000001000100)

ASSEMBLY: addi $10, $8, 4

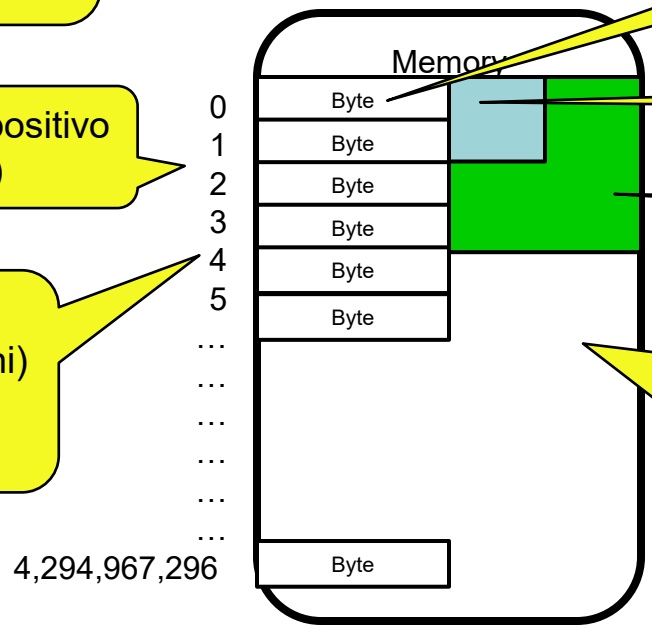
Problema: qual è il range di valori immediati che si può esprimere con **16 bit in complemento a 2**?
(-32768 <= valore <= 32767). Se serve un valore più grande, va gestito a livello programmativo.

Indirizzamento della memoria

La dimensione della memoria indirizzabile dipende dalle dimensioni di MAR
32 bit -> 2**32

Memory Address

L'unità indirizzabile è il byte (8 bit)



Un indirizzo è un intero positivo (Memory Address)

Half Word (16 bit)

Word (32 bit)

Word
(in particolare, istruzioni)
partono a
multipli di 4

Istruzioni load/store specifiche consentono di leggere/scrivere byte, halfword, word specificando l'indirizzo del primo byte

Commento: i 2 bit meno significativi dell'indirizzo di una istruzione sono sempre 0

Memory Content

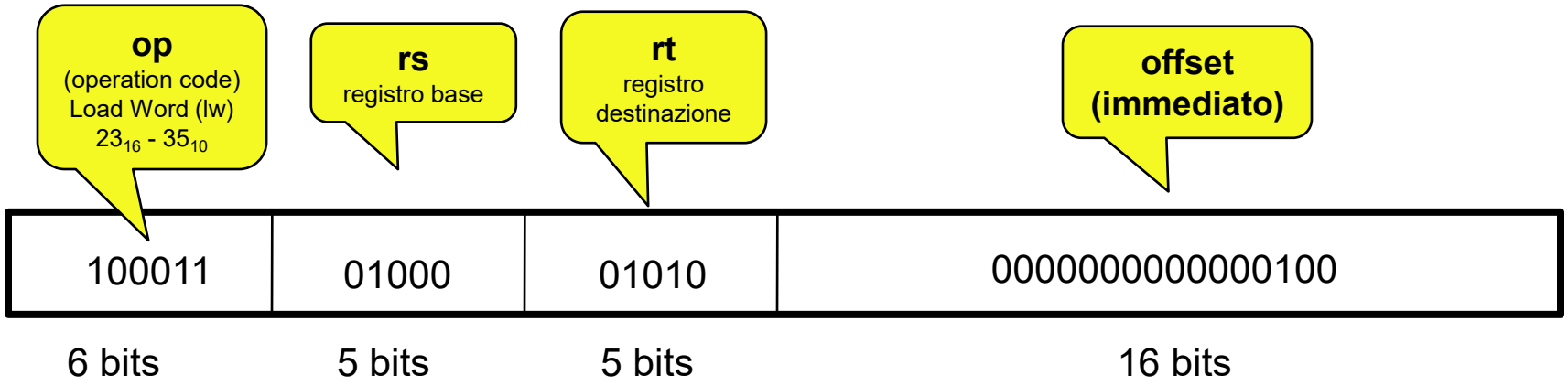
Istruzione load ideale

- **Caricare in un registro il contenuto di una locazione di memoria**
- **Cosa dovrebbe specificare l'istruzione:**
  - Opcode
  - Registro destinazione
  - Indirizzo di memoria il cui contenuto viene copiato nel registro destinazione
- **Problema: quanti bit occorrono?**
  - La memoria è grande (MIPS: 2^{32} locazioni)
  - Per specificare un indirizzo occorrono 32 bit …
  - …che non ci stanno in una istruzione di 32 bit
- **Soluzione (MIPS):**
  - Usare il formato I-type (opcode, 2 registri, 1 immediato)
  - Un registro è la destinazione
  - Un registro contiene un *indirizzo base*
  - Il valore immediato è interpretato come *spiazzamento (offset)*
  - L'indirizzo cui accedere è calcolato come (base + offset)

Istruzione load word (MIPS)

quello che si vuole fare (in italiano)
numeri decimali (per comodità)

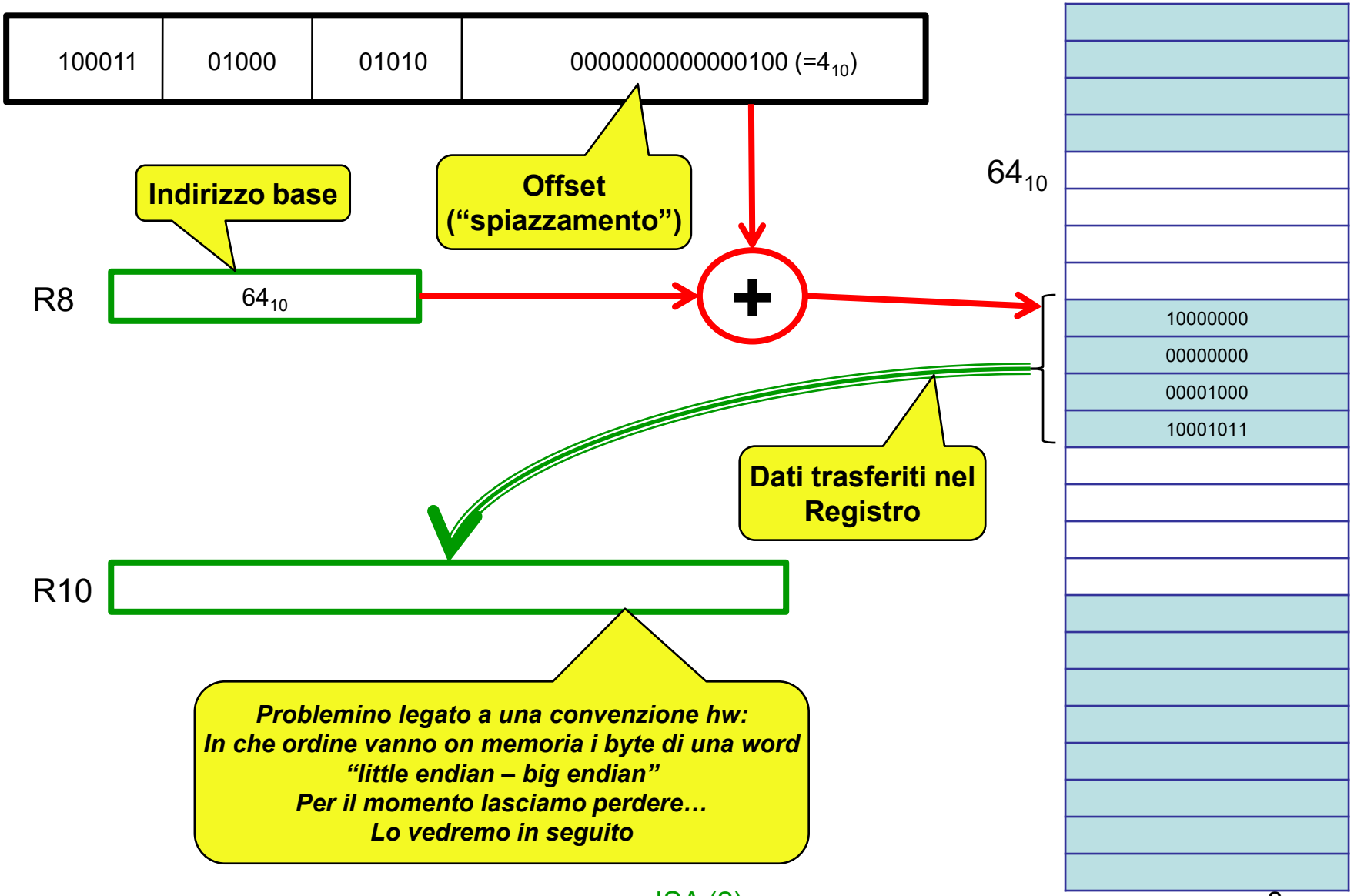
"carica nel registro 10 il contenuto della parola (32 bit)
che è all'indirizzo di memoria ottenuto come somma del contenuto del registro 8 e dell'offset immediato 4"



- se rs contiene inizialmente 64_{10} (00000000000000000000000001000000)
- l'indirizzo in memoria della word da caricare è 68_{10} (00000000000000000000000001000100) (000000044_{16})
  - in rt vengono trasferiti 32 bit (1 word) a partire dall'indirizzo così ottenuto…
  - …qualunque sia il significato di quei 32 bit

- **ASSEMBLY: lw $10, 4($8)**

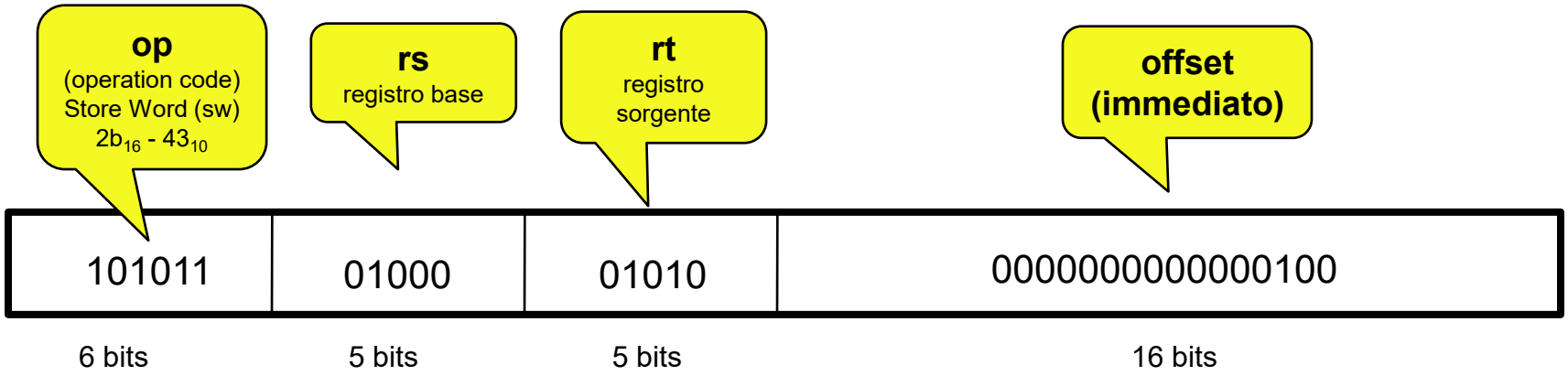
Come funziona



Istruzione store word (MIPS)

quello che si vuole fare (in italiano)
numeri decimali (per comodità)

"memorizza il contenuto del registro 10 (32 bit) all'indirizzo di memoria ottenuto come somma del contenuto del registro 8 e dell'offset immediato 4"



- confrontare con la Load Word
- ASSEMBLY: sw $10, 4($8)

lw & sw

“carica nel registro 10 il contenuto della parola (32 bit)
che è all’indirizzo di memoria ottenuto come somma del registro 8 e dell’offset immediato 4”

lw $10, 4($8)

“memorizza il contenuto del registro 10 (32 bit) all’indirizzo di memoria
ottenuto come somma del registro 8 e dell’offset immediato 4”)

sw $10, 4($8)

Esercizio

I valori relativi alle variabili a, b, c, d sono memorizzati di seguito nella memoria partendo dall'indirizzo specificato nel registro $s0. Si chiede di scrivere la sequenza di istruzioni che aggiunge la costante 10 alle variabili a, b, c, d. I nuovi valori delle variabili vengono salvati nella memoria sempre nelle stesse locazioni di memoria.

Soluzione:

```
#Consideriamo, come esempio, che le variabili hanno i seguenti valori:
#a = 77, b = -5, c = 11, d = 21
#Il registro $s0 (oppure $16) contiene il valore 0x10008000, che rappresenta un indirizzo di memoria
lw $s1, 0($s0)          # leggo dalla memoria la prima variabile a in $s1 quindi $s1 =77
addi $s1, $s1, 10       # incrementato di 10 il valore letto dalla memoria $s1 = 87
sw $s1, 0($s0)          # salvo in memoria il valore incrementato

lw $s1, 4($s0)          # leggo dalla memoria ($s0+4 -> 0x10008004) la seconda variabile b=-5 in $s1=-5
                        # ma attenzione il valore memorizzato in $s0 resta invariato 0x10008000
addi $s1, $s1, 10       # incrementato di 10 il valore letto dalla memoria
sw $s1, 0($s0)          # salvo in memoria il valore incrementato

lw $s1, 8($s0)          # leggo dalla memoria ($s0+8 -> 0x10008008) la seconda variabile b=11 in $s1=11
addi $s1, $s1, 10       # incrementato di 10 il valore letto dalla memoria
sw $s1, 8($s0)          # salvo in memoria il valore incrementato

lw $s1, 12($s0)         # leggo dalla memoria ($s0+12 -> 0x1000800c) la seconda variabile b=21 in $s1=21
addi $s1, $s1, 10       # incrementato di 10 il valore letto dalla memoria
sw $s1, 12($s0)         # salvo in memoria il valore incrementato
```

Esercizio - Soluzione

I valori relativi alle variabili a, b, c, d sono memorizzati di seguito nella memoria partendo dall'indirizzo specificato nel registro $s0. Si chiede di scrivere la sequenza di istruzioni che aggiunge la costante 10 alle variabili a, b, c, d. I nuovi valori delle variabili vengono salvati nella memoria sempre nelle stesse locazioni di memoria.

```
lw $t0, 0($s0)
addi $t0, $t0, 10
sw $t0, 0($s0)
lw $t0, 4($s0)
addi $t0, $t0, 10
sw $t0, 4($s0)
lw $t0, 8($s0)
addi $t0, $t0, 10
sw $t0, 8($s0)
lw $t0, 12($s0)
addi $t0, $t0, 10
sw $t0, 12($s0)
```

Esercizio - Osservazioni

Osservazione 1:

- Se scrivo:

```
lw $s0, 0($s0)          # sovrascrivo il valore del registro $s0 e perdo il valore
                        # dell'indirizzo di memoria dove salvare il valore incrementato;
```

- Quindi e' meglio scegliere un'altro registro e non $s0 come registro destinazione per l'istruzione lw

Osservazione 2:

```
#Consideriamo come esempio che le variabili hanno i seguenti valori:
#a = 77, b = -5, c = 11, d = 21
#Il registro $s0 oppure i$16 contiene il valore 0x10008000, che rappresenta un indirizzo di memoria
lw $s1, 0($s0)          # leggo dalla memoria la prima variabile a in $s1 quindi $s1 =77
addi $s1, $s1, 10       # incrementato di 10 il valore letto dalla memoria $s1 = 87
sw $s1, 0($s0)          # salvo in memoria il valore incrementato

addi $s0, Ss0, 4        # incremento il valore dell'indirizzo memorizzato in $s0 di 4 per arrivare alla
                        # seconda variabile b; in questo modo posso usare l'offset 0 anche per la
                        # seconda lw; adesso in $s0 sara' memorizzato il valore 0x10008004

lw $s1, 0($s0)          # leggo dalla memoria ($s0+4 -> 0x10008004) la seconda variabile b in $s1
addi $s1, $s1, 10       # incrementato di 10 il valore letto dalla memoria
sw $s1, 0($s0)

addi $s0, Ss0, 4        # incremento il valore dell'indirizzo memorizzato in $s0 di 4 per arrivare alla
                        # terza variabile c; adesso in $s0 sara' memorizzato il valore 0x10008008
# A questo punto come posso tornare ad avere in $s0 l'indirizzo di memoria relativo alla prima variabile?
# Decremento $s0 di 8 oppure uso l'offset -8.
```

Il costo del risotto

- **Calcolare il costo del risotto, noti i costi di riso, burro e funghi**
  - già memorizzati in variabili
- **Ci servono quattro variabili (word, in caso di inflazione)**
  - costoRiso
  - costoBurro
  - costoFunghi
  - costoRisotto
- **Algoritmo:**
  - costoRisotto = costoRiso + costoBurro + costoFunghi
- **Valori iniziali delle variabili:**
  - costoRiso = 20 = 14_{16} = 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 0100
  - costoBurro = 7 = 7_{16} = 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0111
  - costoFunghi = 75 = $4b_{16}$ = 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0100 1011
- **Tutto questo sta su carta o in un file Word o in un file PowerPoint come questo se abbiamo un PC e Office...**
- **...ma il processore capisce solo il linguaggio macchina!**
- **Proviamo a fare a mano le cose che in pratica saranno fatte dalla "catena di programmazione" (asm + linker + loader)**

Ragionevoli dubbi

- **Dubbio 1: Chi decide dove stanno in memoria le variabili?**
  - NB: il processore ragiona SOLO in termini di indirizzi e NON CONOSCE il concetto di “nome simbolico” di una varabile!!!
  - Risposta 1a: proviamo a farlo a mano (su carta), supponendo di dover scrivere il programma in codice macchina (binario)
  - *Risposta 1b: Meccanismo Misterioso MM1: per fortuna, lo fa l’assemblatore se programmiamo in linguaggio assembly*
- **Dubbio 2: Come si inizializzano in memoria i dati?**
- **Dubbio 3: Come si carica in memoria il programma?**
  - Risposte 2a e 3a: per il momento, assumiamo che esistano meccanismi misteriosi (MM2 e MM3) che lo fanno
  - *Risposta 2b e 3b: lo fa il loader (che è un programma già caricato...in maniera misteriosa)*
  - *Risposta 2c: lo fa il programma stesso se è in grado di leggere dati da una periferica e caricarli in memoria*

Allocazione delle variabili: tabella dei simboli

Le decisioni "arbitrarie" sono prese di solito in base a convenzioni usate dalla catena di programmazione ma "ignote" al processore

Decidiamo arbitrariamente che le variabili sono una dopo l'altra a partire da un **indirizzo base**

Definiamo l'offset ("spiazzamento") di ogni variabile rispetto all'indirizzo base. NB:

- gli indirizzi sono al byte
- **nel nostro caso tutte le variabili sono di 4 byte (word)**

Simbolo (nome variabile)	*Offset$_{16}$*	*Init$_{16}$*
costoRiso	0_{16}	14_{16}
costoBurro	4_{16}	7_{16}
costoFunghi	8_{16}	$4b_{16}$
costoRisotto	c_{16}	0_{16}

Decidiamo arbitrariamente che l'indirizzo base è $1000\ 8000_{16}$

Siamo in grado di calcolare l'indirizzo in memoria di ogni variabile che poi potremo inizializzare (usando il meccanismo misterioso MM3)

Il programma!!! (frammento)

Convenzione: Registro base di Area dati

Carica indirizzo base in Registro 28
10008000_{16} -> Registro 28
(Meccanismo Misterioso M4)

Carica costoRiso in Registro R7
100011 11100 00111 0000000000000000
35 28 7 0
23_{16} $1c_{16}$ 7_{16} 0_{16}

ISTRUZIONE MACCHINA

Carica costoBurro in R8
35 28 8 4
Somma R7 e R8, metti risultato in R7
0 7 8 7 0 32
Carica costoFunghi in R8
35 28 8 8
Somma R7 e R8, metti risultato in R7
0 7 8 7 0 32
Memorizza R7 in costoRisotto
43 28 7 12

codfiche dec e hex dei singoli campi dell'istruzione, non dell'intera istruzione!!!

Indirizzi

$1000\ 8000_{16}$
$1000\ 8001_{16}$
$1000\ 8002_{16}$
$1000\ 8003_{16}$
$1000\ 8004_{16}$
$1000\ 8005_{16}$
$1000\ 8006_{16}$
$1000\ 8007_{16}$
$1000\ 8008_{16}$
$1000\ 8009_{16}$
$1000\ 800a_{16}$
$1000\ 800b_{16}$
$1000\ 800c_{16}$
$1000\ 800d_{16}$
$1000\ 800e_{16}$
$1000\ 800f_{16}$

Area dati

00000000
00000000
00000000
00010100
00000000
00000000
00000000
00000111
00000000
00000000
00000000
01001011
00000000
00000000
00000000
00000000

Cosa rimane da fare

- **Caricare i dati iniziali in memoria**
  - Come? Meccanismo misterioso MM2
- **Caricare il programma in memoria**
  - Dove? In questo caso elementare (senza salti!) il programma può essere caricato in qualsiasi posizione di memoria
  - ...ma vedi seguito : convenzioni (“Text Area”) e istruzioni di salto
  - Come? Meccanismo misterioso MM3
- **Caricare in Program Counter l’indirizzo della prima istruzione del programma**
  - Meccanismo Misterioso MM4
- **...GO!!!**

Commenti

- **Il registro base deve essere stato caricato in precedenza con un indirizzo opportuno (indirizzo base)**
- **Dove stanno i dati? Qualcuno lo deve decidere...**
- **Se i dati non occupano più di 64 kByte**
  - *il programmatore* (o il compilatore o l'assemblatore) *può decidere di dedicare un registro alla funzione di registro base*
  - il registro base può essere inizializzato all'inizio del programma e non viene più modificato
  - spesso il registro 28 ($gp in Assembly MIPS) viene usato come registro base per i dati e viene inizializzato all'inizio del programma
  - è una convenzione programmativa sull'uso dei registri e della memoria
  - dal punto di vista hw, qualsiasi registro può essere usato come registro base e può essere modificato da programma in qualsiasi momento
- **Se (ad esempio) il registro base è inizializzato a 10008000_{16}, può essere usato come per indirizzare dati compresi fra gli indirizzi 10000000_{16} e 1000ffff**

Continua...

- **Istruzioni di salto e di salto condizionato (salta se...)**
  - come realizzare loop e if
- **Istruzioni logiche e altre istruzioni importanti**
- **...**

Esercizio

Si chiede di calcolare la somma del valore 10 che è memorizzato nel registro $s1, e del valore 20 memorizzato nella locazione di memoria specificata nel registro $s0 a quale si aggiunge l'offset 56 (espresso in byte). Il risultato della somma va memorizzato nella memoria 3 parole di memoria più avanti rispetto alla locazione attuale del secondo operando.

Esercizio - Soluzione

Si chiede di calcolare la somma del valore 10 che è memorizzato nel registro $s1, e del valore 20 memorizzato nella locazione di memoria specificata nel registro $s0 a quale si aggiunge l'offset 56 (espresso in byte). Il risultato della somma va memorizzato nella memoria 3 parole di memoria più avanti rispetto alla locazione attuale del secondo operando.

```
lw $t0, 56($s0)
add $t1, $s1, $t0
sw $t1, 68($s0)      # Offset: 56 + 3x4=68
```

Esercizi

Esercizio 1:
Tradurre in binario ed esadecimale la seguente istruzione:

lw $9, 8($10)

LINK: https://forms.gle/zcAFn6XSraYygsiv6

Esercizio 2:
Data il seguente codice esadecimale dire l'istruzione corrispondente *

0x2149FFFF

LINK: https://forms.gle/R1BcCGY67edS33Ym9