



Architettura degli Elaboratori

Lez. 8 – progetto della CPU MIPS a 1 colpo di clock

Prof. Andrea Sterbini – sterbini@di.uniroma1.it



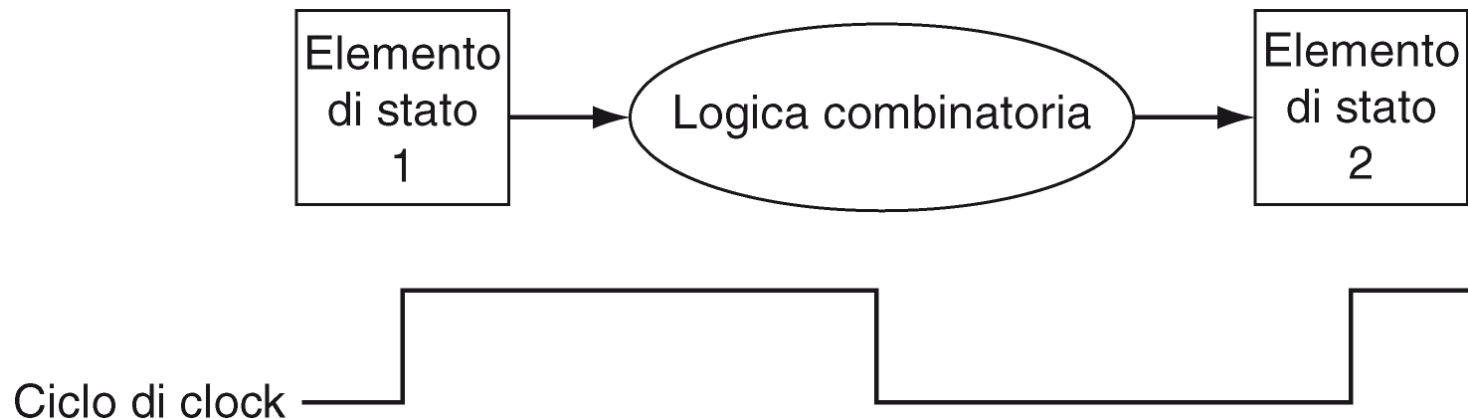
Argomenti della lezione

-Progetto della CPU MIPS a 1 colpo di clock

- Istruzioni da implementare
- Unità funzionali necessarie
- Datapath e unità di controllo
- Tempo di esecuzione delle istruzioni

Tempo di esecuzione delle istruzioni = durata dell'istruzione più lenta

CPU = macchina sequenziale ovvero **Stato + circuito combinatorio**



Progettare la CPU MIPS

Come prima fase progettiamo una CPU MIPS semplice non ottimizzata (senza pipeline)

Per progettare la CPU dobbiamo:

- Definire come viene elaborata una istruzione (**fasi di esecuzione**)
- Scegliere le **istruzioni da realizzare**
- Scegliere le **unità funzionali necessarie**
- **Collegare** le unità funzionali
- **Costruire la CU (Control Unit)** che controlla il funzionamento della CPU
- Calcolare il massimo tempo di esecuzione delle istruzioni (che ci dà il **periodo di clock**)

Le fasi di esecuzione di una istruzione sono:

Fetch	caricamento di una istruzione dalla memoria alla CU
Decodifica registri	decodifica della istruzione e lettura argomenti dai
Esecuzione necessarie)	esecuzione (attivazione delle unità funzionali
Memoria	accesso alla memoria
Write Back	scrittura dei risultati nei registri

Progettare la CPU (segue)

Istruzioni da realizzare

accesso alla memoria:	lw, sw	(di tipo I)
salti condizionati:	beq	(di tipo I)
operazioni aritmetico-logiche:	add, sub, slt, slt	,... (di tipo R)
salti non condizionati	j, jal	(di tipo J)
operazioni con costanti	li, addi, subi, ...	(di tipo I)

Ricordo il formato delle istruzioni MIPS (ovvero la loro codifica in memoria)

Nome	Campi						Commenti
Dimensione del campo	6 bit	5 bit	5 bit	5 bit	5 bit	6 bit	Tutte le istruzioni MIPS sono a 32 bit
Formato R	op	rs	rt	rd	shamt	funct	Formato delle istruzioni aritmetiche
Formato I	op	rs	rt	indirizzo / costante			Formato delle istruzioni di trasferimento dati di salto condizionato e immediate
Formato J	op	indirizzo di destinazione					Formato delle istruzioni di salto incondizionato

Unità funzionali necessarie



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

PC	registro che contiene l'indirizzo della istruzione
memoria istruzioni	contiene le istruzioni
adder	per calcolare il PC (successivo o salto)
registri	contengono gli argomenti delle istruzioni
ALU	fa le operazioni aritmetico-logiche, confronti,
indirizzi in mem	
memoria dati	da cui leggere/in cui scrivere i dati (load/store)

Queste unità sono collegate da diversi **datapath**, ovvero dalle interconnessioni che definiscono il flusso delle informazioni nella CPU

Se una unità funzionale può ricevere dati da **più sorgenti** è necessario inserire un **MUX** per selezionare la sorgente necessaria

Le unità funzionali sono attivate e coordinate dai segnali prodotti dalla Control Unit (a seconda dell'istruzione corrente)

Memoria istr. PC e Adder

Memoria istruzioni:

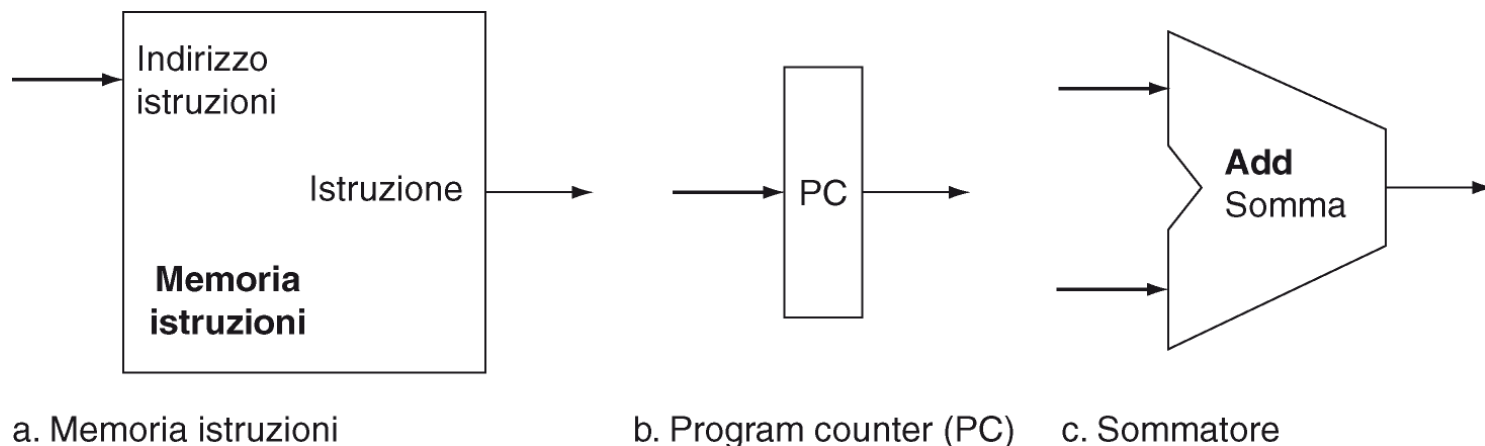
- Riceve un indirizzo a 32 bit
- Fornisce in uscita l'istruzione (da 32 bit) che si trova a quell'indirizzo

Program Counter:

- Registro che contiene l'**indirizzo** della istruzione corrente

Sommatore:

- Necessario per calcolare il nuovo PC e le destinazioni dei salti relativi
- Riceve due valori a 32 bit e ne fornisce in uscita la somma



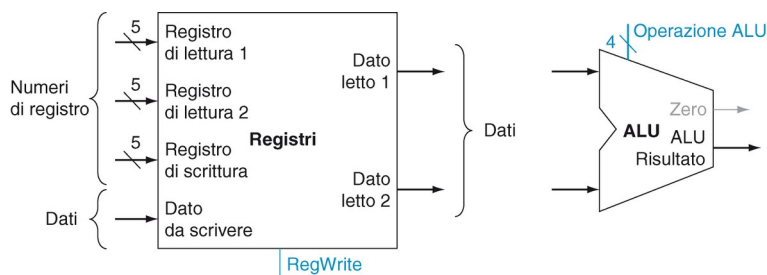
Registri e ALU

Il blocco dei registri:

- contiene **32 registri** a 32 bit, indirizzabili con 5 bit ($2^5 = 32$)
- fornisce **due argomenti** nello stesso momento su due porte dati di uscita da 32 bit
- può memorizzare un dato in un registro e contemporaneamente darlo in uscita
- ha 3 porte a 5 bit per indicare quali 2 registri leggere e quale registro scrivere, tre porte dati (a 32 bit), una in ingresso per il valore da memorizzare e 2 di uscita per i valori letti
- il segnale **RegWrite** abilita (se 1) la scrittura nel registro di scrittura (destinazione)

L' ALU: riceve due valori interi a 32 bit e svolge una operazione indicata dai segnali **Op. ALU**

- Oltre al risultato da 32 bit produce un segnale «**Zero**» asserito se il risultato è zero



a. Registri

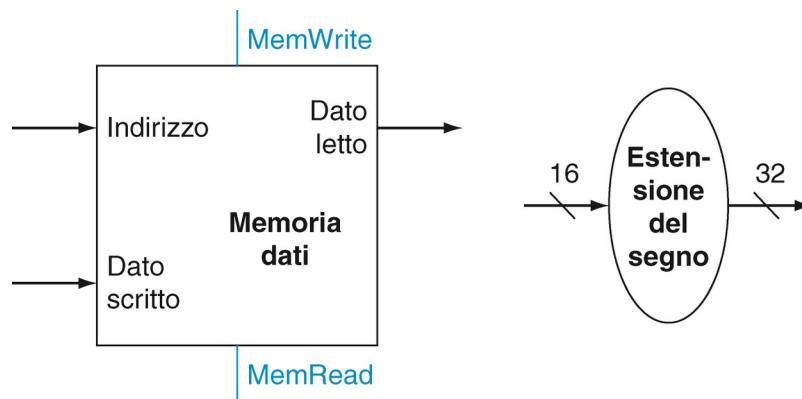
b. ALU

L'unità di memoria

- riceve un **indirizzo** (da 32 bit) che indica quale word della memoria va letta/scritta
- riceve il segnale **MemRead** che abilita la lettura dall'indirizzo (se lw)
- riceve un dato da 32 bit da scrivere in memoria a quell'indirizzo (se sw)
- riceve il segnale di controllo **MemWrite** che abilita (1) la scrittura del dato all'indirizzo
- e fornisce su una porta di uscita da 32 bit il lato letto (se **MemRead** = 1)

L'unità di estensione del segno serve a trasformare un intero relativo (in CA2) da 16 a 32 bit

- Ovvero copia il bit del segno nei 16 bit più significativi della parola



a. Unità di memoria dati

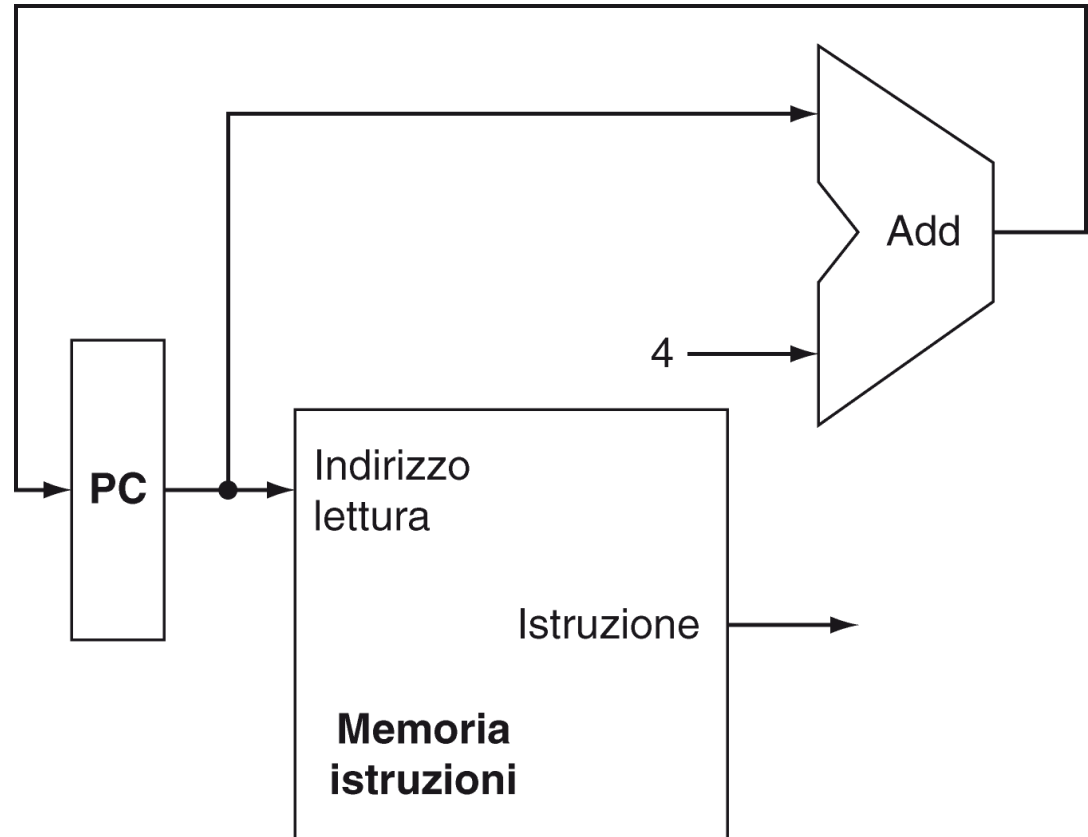
b. Unità di estensione del segno

Fetch della istruzione/aggiornamento PC

- PC = indirizzo della istruzione
- Viene letta l'istruzione
- Il PC è incrementato di 4 (1 word)
- e il valore viene rimesso nel PC

NOTE

- tutte connessioni da 32 bit
- mentre viene letta l'istruzione viene già calcolato il nuovo PC



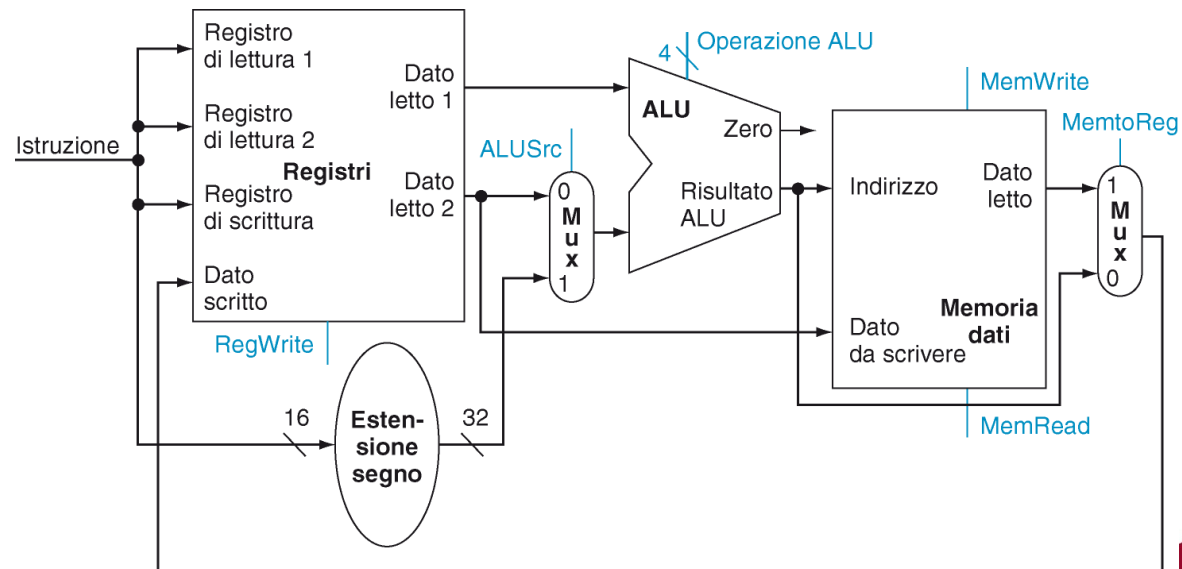
Operazioni ALU e accesso a MEM

La **decodifica** della istruzione è estremamente facile perché i formati I ed R sono quasi uguali

Il secondo argomento della istruzione può essere un registro oppure il campo immediato della istruzione stessa (in questo caso il valore viene esteso nel segno) a seconda del segnale di controllo **ALUSrc** che seleziona la porta corrispondente del MUX

Per calcolare l'indirizzo di accesso alla memoria si usa la stessa ALU, sommando il dato del primo registro (registro base) al campo immediato della istruzione

Il risultato dell'ALU o della lw viene selezionato da **MementoReg** che comanda il MUX a destra



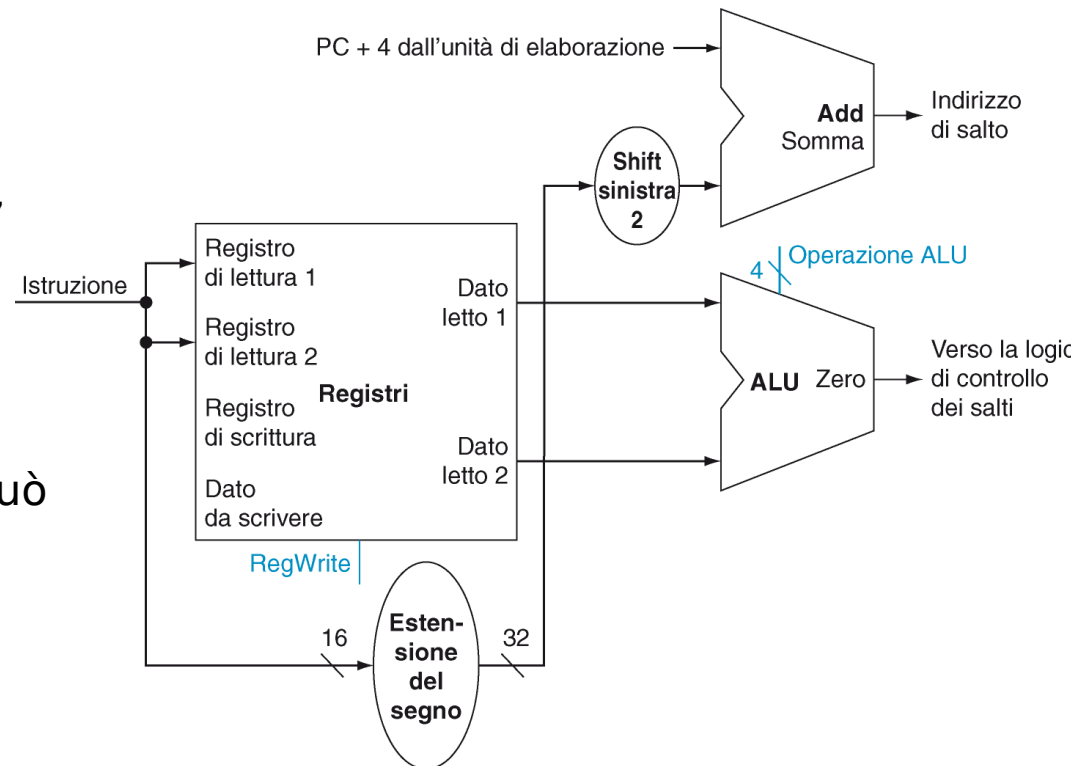
Salti condizionati (beq)

- L'**ALU** viene usata come **comparatore** (svolgendo una **sottrazione**)
- Il segnale **Zero** indica se va fatto il salto
- La destinazione dei salti è un **numero relativo di istruzioni** rispetto alla istruzione seguente, quindi va estesa nel segno e moltiplicata per 4 prima di sommarla al PC + 4 con un sommatore

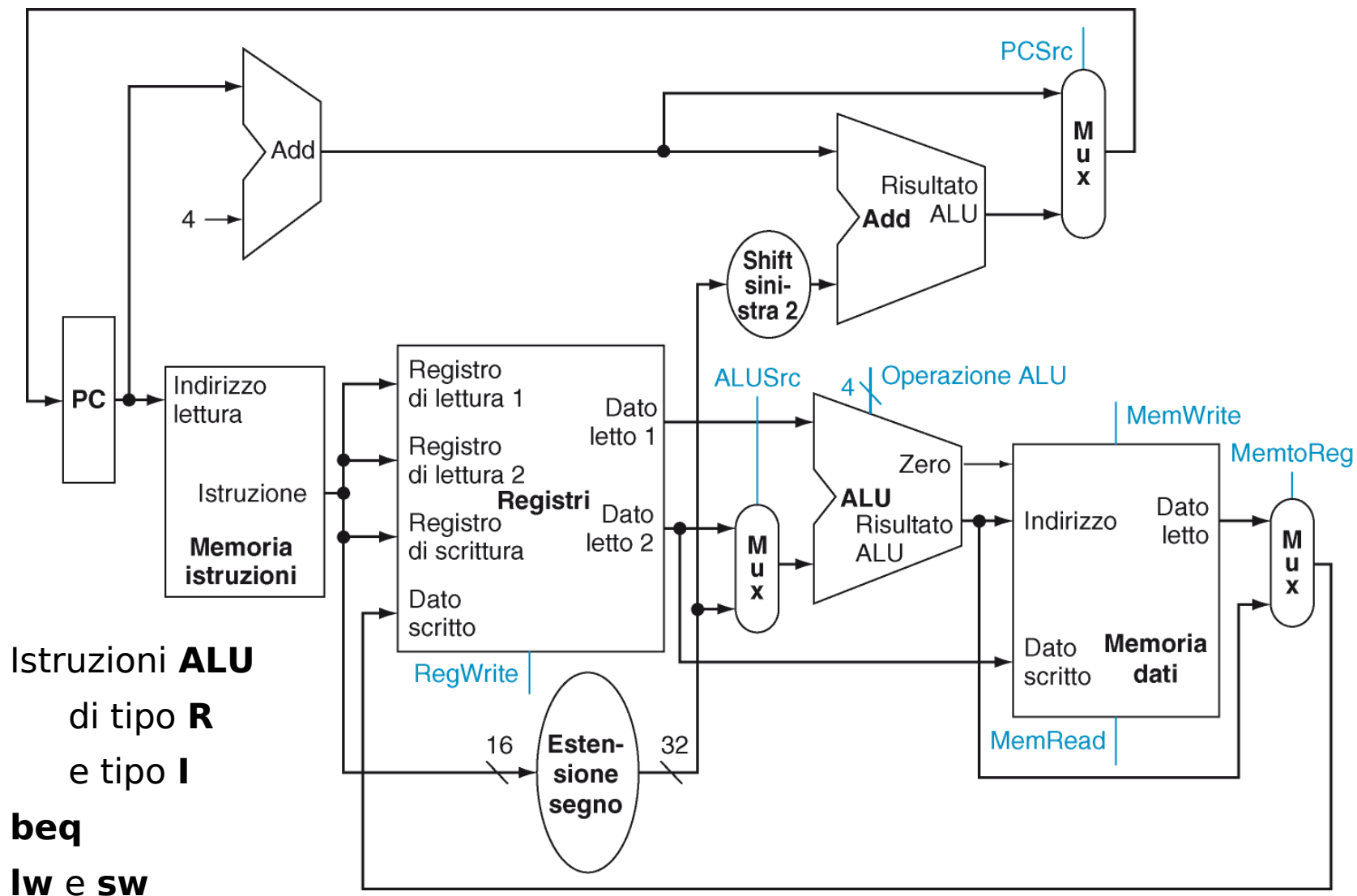
Notate che il nuovo valore del PC può venire da due diverse sorgenti:

- PC+4 (istruzione seguente)
- oppure uscita dell'adder (salto)

Quindi è necessario un **MUX di selezione**

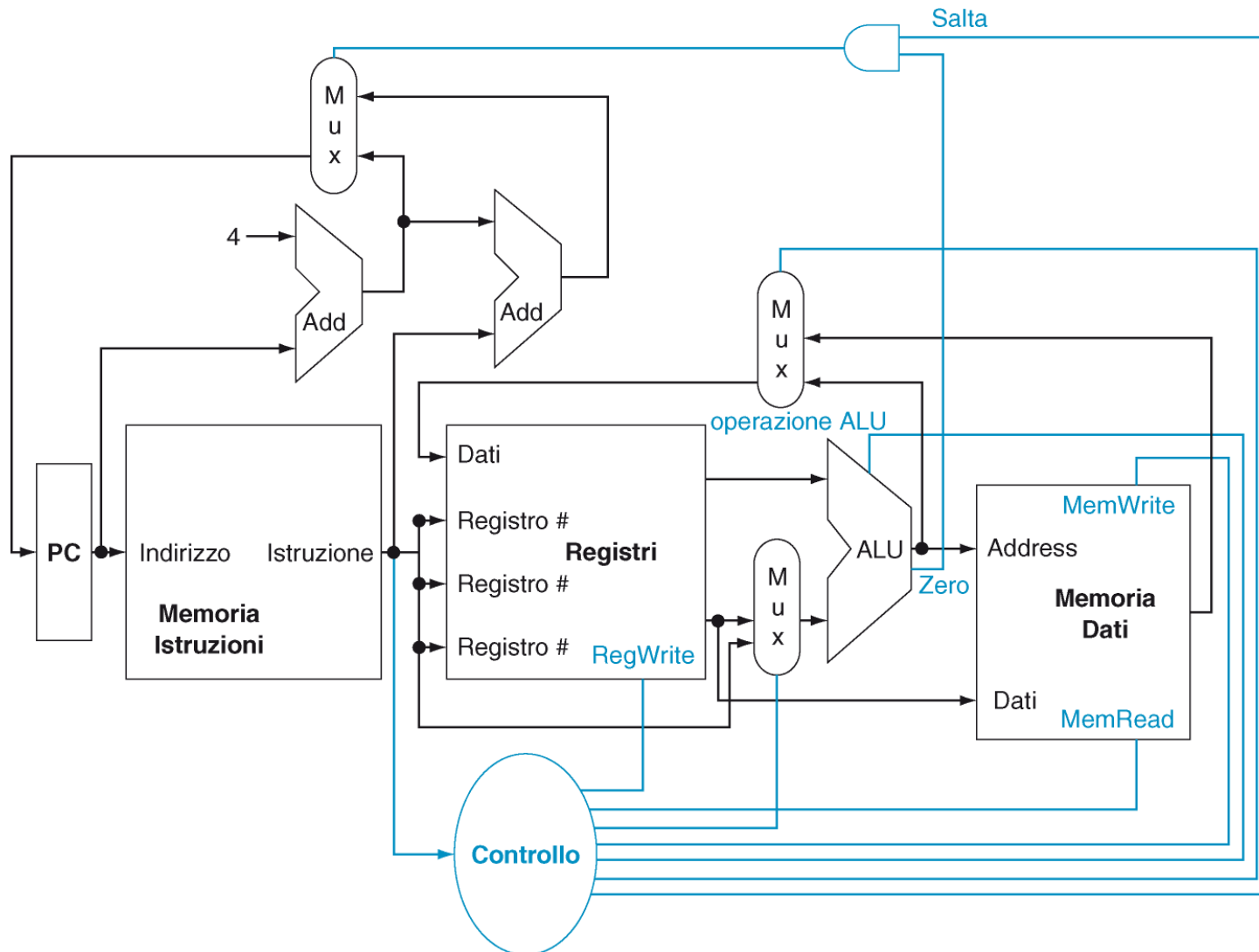


Mettiamo tutto assieme ...



Istruzioni **ALU**
di tipo **R**
e tipo **I**
beq
lw e **sw**

... con Control Unit e logica di salto



Notate che **l'indice del registro destinazione** si trova in campi diversi dell'istruzione nelle istruzioni di **tipo R** e nella **lw** (che è l'unica istruzione di tipo I che modifica un registro)

Campo	0	rs	rt	rd	shamt	funct
Posizione dei bit	31-26	25-21	20-16	15-11	10-6	5-0

a. Istruzioni di tipo R

Campo	35 or 43	rs	rt	indirizzo
Posizione dei bit	31-26	25-21	20-16	15-0

b. Istruzioni di load e store

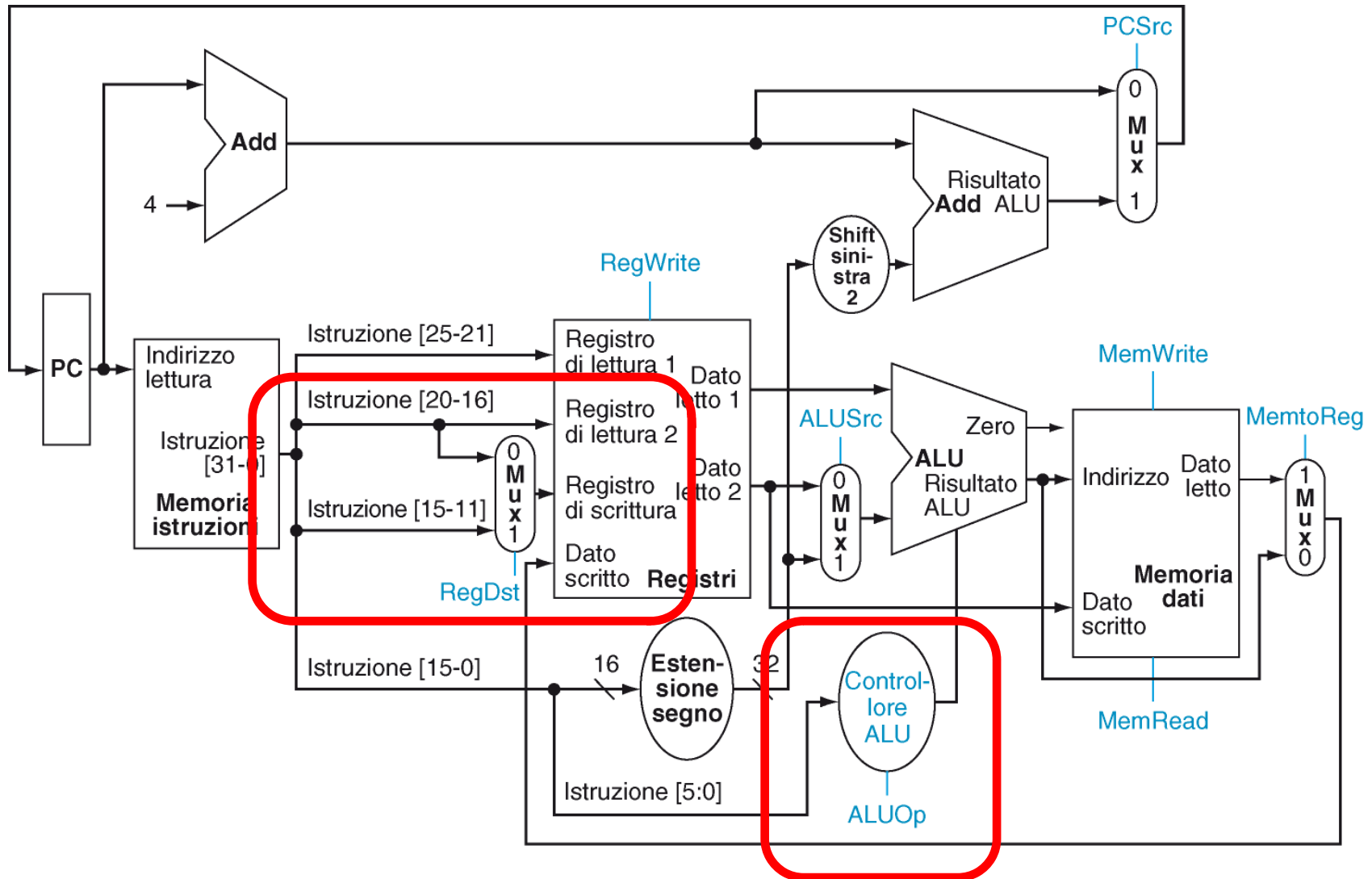
Campo	4	rs	rt	indirizzo
Posizione dei bit	31-26	25-21	20-16	15-0

c. Istruzioni di salto condizionato

È quindi necessario un MUX per selezionare il campo corretto della istruzione

INOLTRE: tutte le istruzioni R hanno lo stesso codice (0) e sono distinte dal

Datapath completo (senza CU)



Segnali di controllo

Nome del segnale	Effetto quando non asserito	Effetto quando asserito
RegDst	Il numero del registro di scrittura proviene dal campo rt (bit 20-16)	Il numero del registro di scrittura proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite	Nulla	Il dato viene scritto nel register file nel registro individuato dal numero del registro di scrittura
ALUSrc	Il secondo operando della ALU proviene dalla seconda uscita del register file (Dato letto 2)	Il secondo operando della ALU proviene dall'estensione del segno dei 16 bit meno significativi dell'istruzione
PCSrc	Nel PC viene scritta l'uscita del sommatore che calcola il valore di PC + 4	Nel PC viene scritta l'uscita del sommatore che calcola l'indirizzo di salto
MemRead	Nulla	Il dato della memoria nella posizione puntata dall'indirizzo viene inviato in uscita sulla linea «dato letto»
MemWrite	Nulla	Il contenuto della memoria nella posizione puntata dall'indirizzo viene sostituito con il dato presente sulla linea «dato scritto»
MemtoReg	Il dato inviato al register file per la scrittura proviene dalla ALU	Il dato inviato al register file per la scrittura proviene dalla Memoria Dati

I segnali da generare

L'ALU deve seguire 4 tipi di comportamento:

- Se l'istruzione è di **tipo R** eseguire l'operazione indicata dal campo **funct** dell'istruzione
- Se l'istruzione accede alla memoria (**lw, sw**) svolgere la **somma** che calcola l'indirizzo
- Se l'istruzione è un **beq** deve svolgere una **differenza**

Per codificare 3 comportamenti bastano 2 segnali dalla CU: **ALUOp1** ed **ALUOp0**

Istruzione	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	RegWrite	MemRead	MemWrite	Branch	ALUOp1	ALUOp0
Tipo R	1	0	0	1	0	0	0	1	0
lw	0	1	1	1	1	0	0	0	0
sw	X	1	X	0	0	1	0	0	0
beq	X	0	X	0	0	0	1	0	1

(X vuol dire 'don't care' ovvero 'non importa')

Tempi di esecuzione

Se conosciamo il tempo necessario a produrre i risultati delle diverse unità funzionali allora possiamo calcolare il tempo totale di ciascuna istruzione. Supponiamo che i tempi siano:

accesso alla memoria (dati o istruzione) = 100 ns (Fetch e MEM)

ALU e sommatori = 150 ns (EX e PC)

accesso ai registri (in lettura o scrittura) = 50 ns (ID e WB)

tutte le altre componenti = 0 ns

Allora i tempi di esecuzione delle istruzioni saranno

Istruzione	Instruction Fetch	Instruction Decode	Execution	MEM	Write Back	Totale
di tipo R	100	50	150		50	350
lw	100	50	150	100	50	450
sw	100	50	150	100		400
beq	100	50	150			300

NOTA: le due operazioni di somma per calcolare PC +4 (150ns) e salti condizionati (altri 150ns) sono svolte in parallelo al Fetch, Decode ed Execution e non allungano i tempi

Esercizio per casa

Se i codici dei 4 tipi di istruzioni sono:

istruzione	codice decimale	in binario
di tipo R	0	000000
lw	35	100011
sw	43	101011
beq	4	000100

... e dobbiamo produrre i segnali dell'unità di controllo come visto prima

Progettate la tabella di verità della **CU** (solo per le righe necessarie):

- che ha come ingresso i 6 bit del codice operativo della istruzione in binario
- e come uscita i 9 bit dei segnali di controllo da produrre:

(RegDst, ALUSrc, MemtoReg, RegWrite, MemRead ,MemWrite, Branch, ALUOp1, ALUOp0)