



L'unità di controllo di CPU a singolo ciclo

Prof. Alberto Borghese
Dipartimento di Informatica
alberto.borghese@unimi.it

Università degli Studi di Milano

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



Sommario

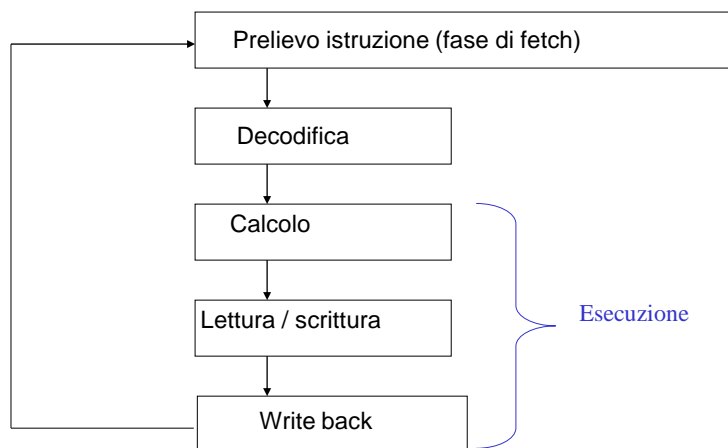
Costruzione di una CPU per le istruzioni di tipo I (branch).

UC della CPU

Control and Data path



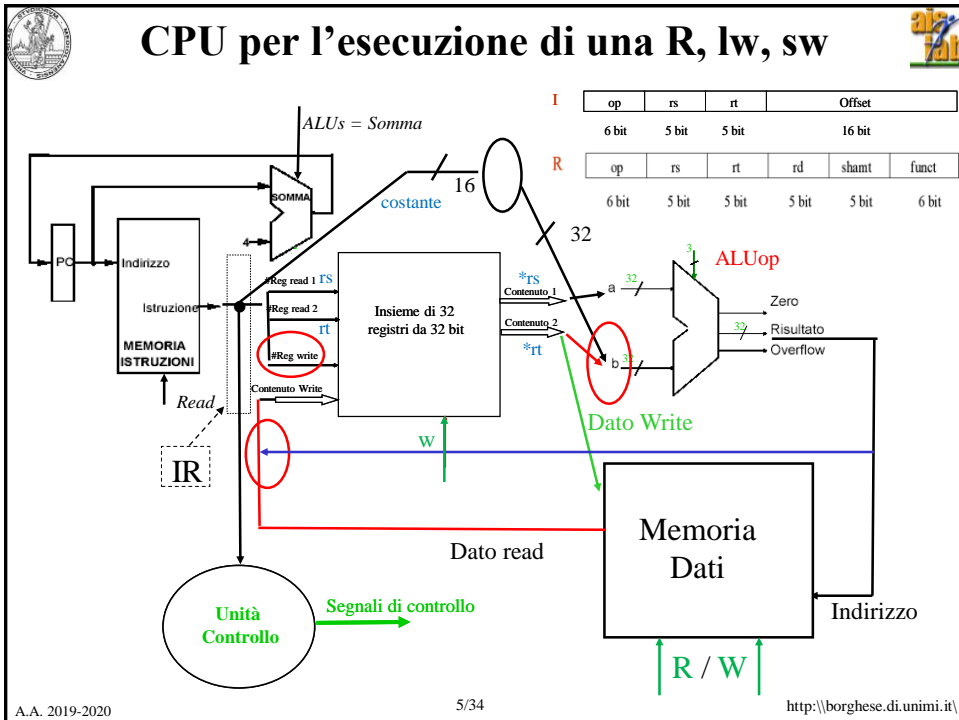
Ciclo di esecuzione di un'istruzione MIPS



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		
J	op	indirizzo				



Commenti

Questa CPU può eseguire istruzioni di tipo R, lw, sw

Fase di fetch e decodifica è uguale per tutte e 3 i tipi di istruzioni

Le fasi di Exe, Memoria e WriteBack sono diverse:

- Le istruzioni di tipo R hanno solo Exe e WriteBack.
- Le istruzioni di sw hanno Exe e Mem
- Le istruzioni di lw hanno Exe, Mem e Write Back.

- Nelle istruzioni di tipo R i due operandi vengono prelevati dal RF e il risultato scritto nel RF proviene dall'uscita della ALU
- Nelle istruzioni di sw e lw il secondo operando è la costante estesa di segno.
- Nelle istruzioni di sw rt contiene il dato da scrivere in memoria, nelle istruzioni di lw rt conterrà il dato letto dalla memoria.
- Nelle istruzioni di lw viene scritto nel RF il dato letto dalla memoria dati.

L'UC guida le scelte dei cammini

L'UC imposta i segnali di controllo per le unità funzionali.

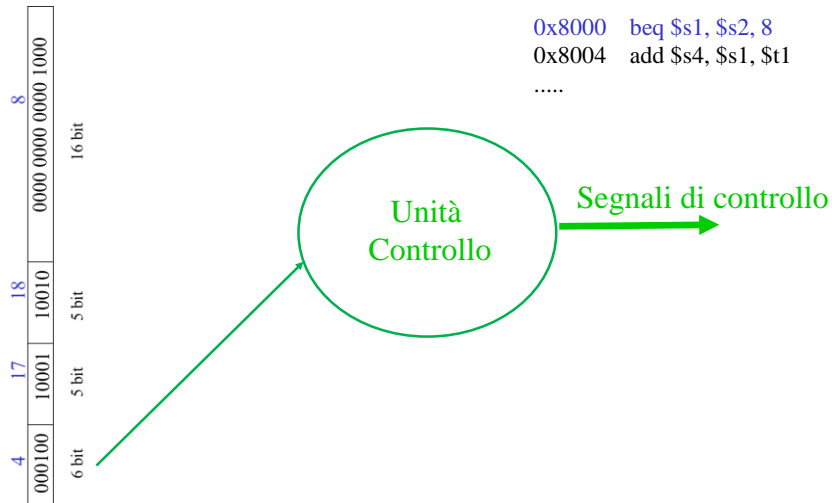
A.A. 2019-2020 6/34 http://borghese.di.unimi.it/



Fase di decodifica



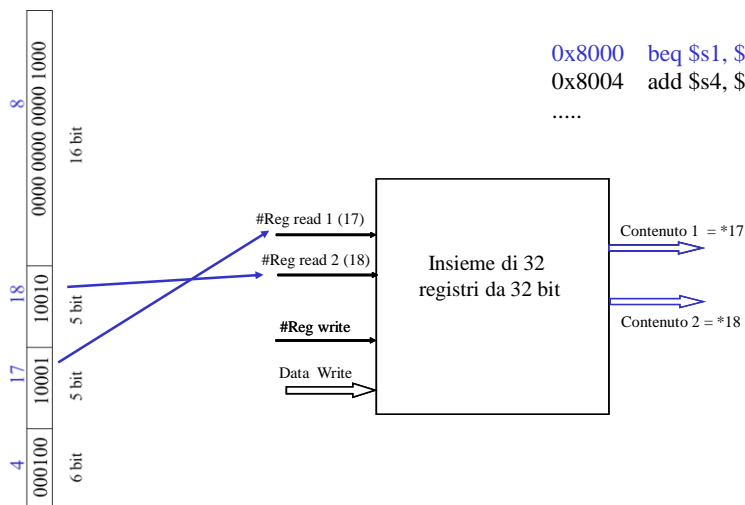
- 1) Leggo l'istruzione e genero i segnali di controllo opportuni.
Bus che connette i 6 bit del CodOp con la UC

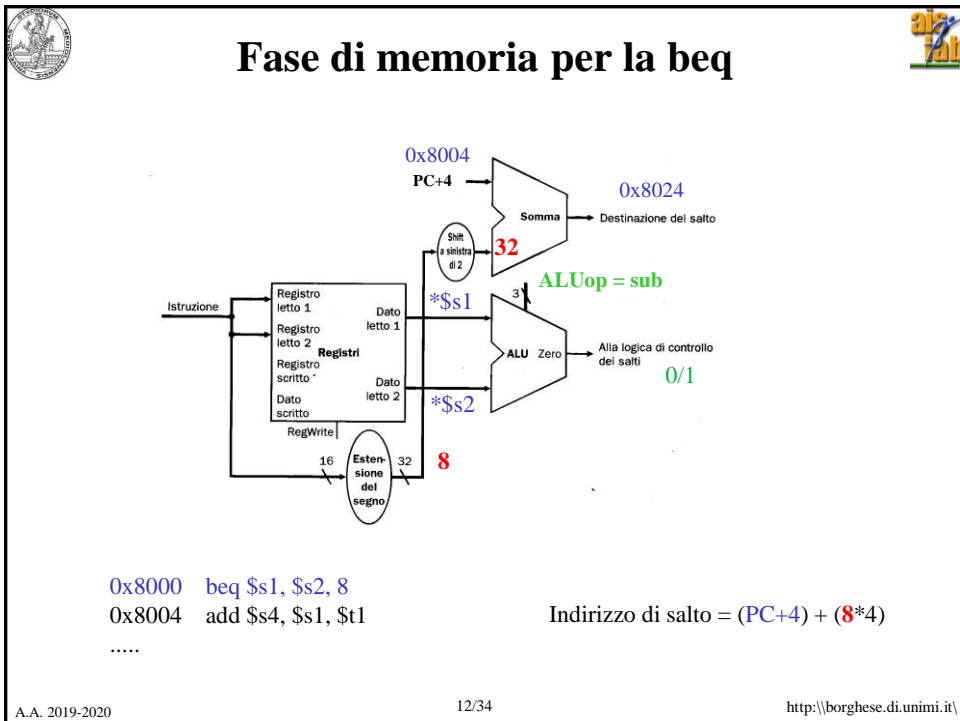
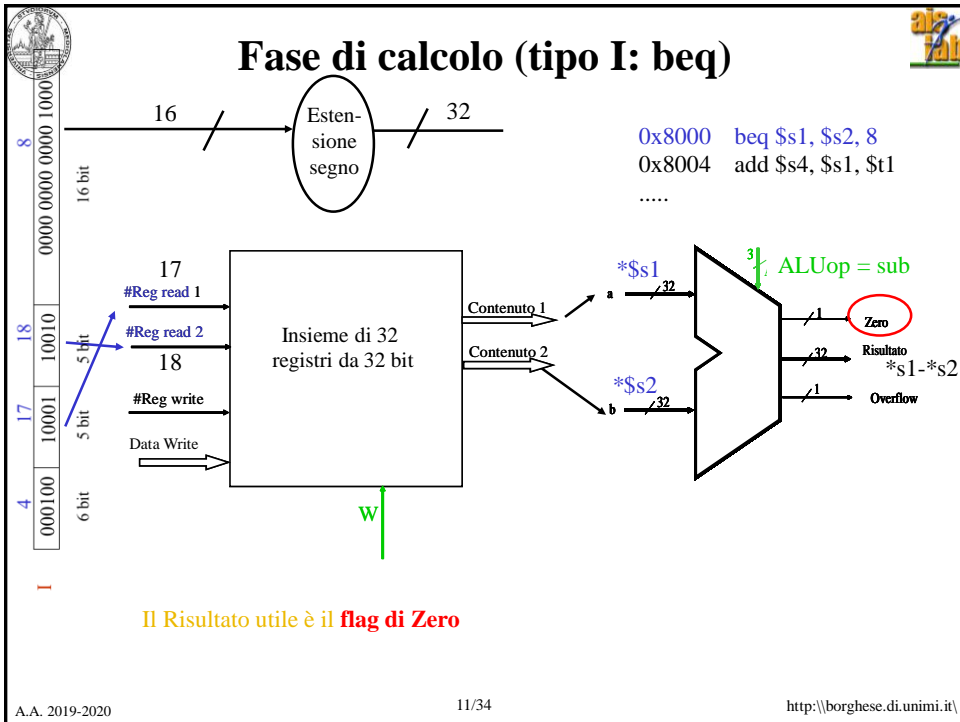


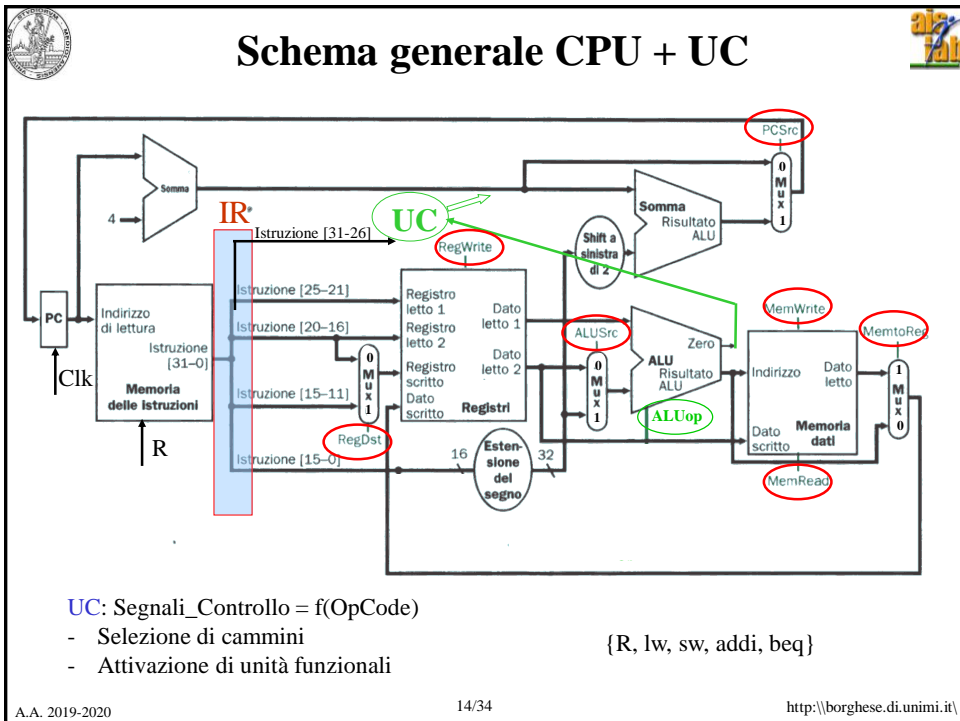
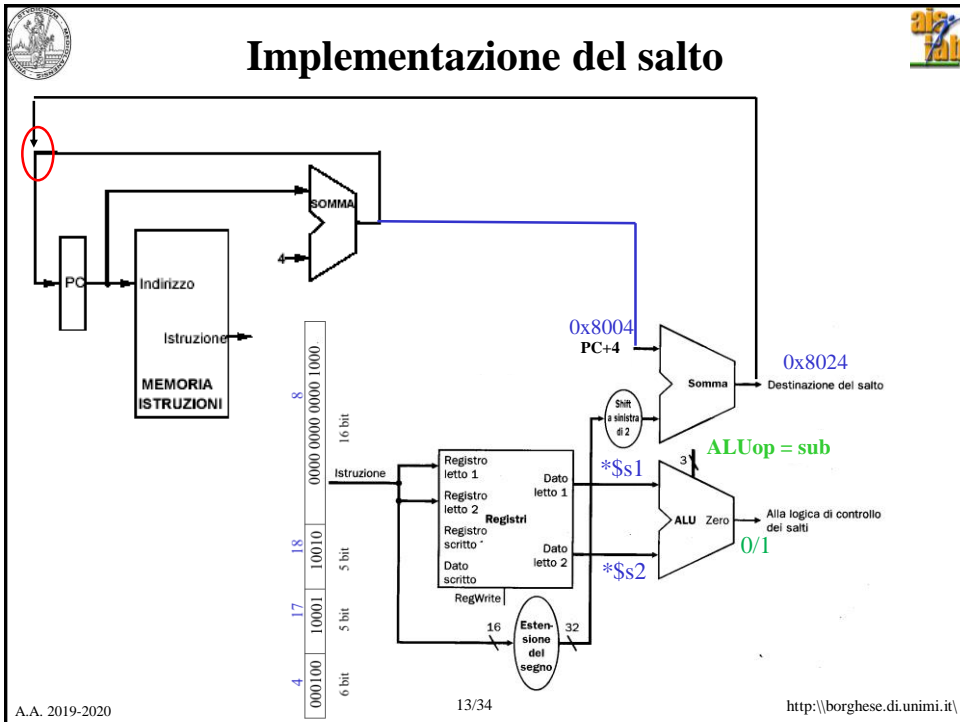
Lettura dei registri (istruzioni di tipo R)



- 2) Leggo il contenuto dei registri. 2 bus che collegato i campi rs e rt con gli input corrispondenti del register file









Osservazioni



Il ciclo di esecuzione di un'istruzione si compie in un **unico** ciclo di clock.



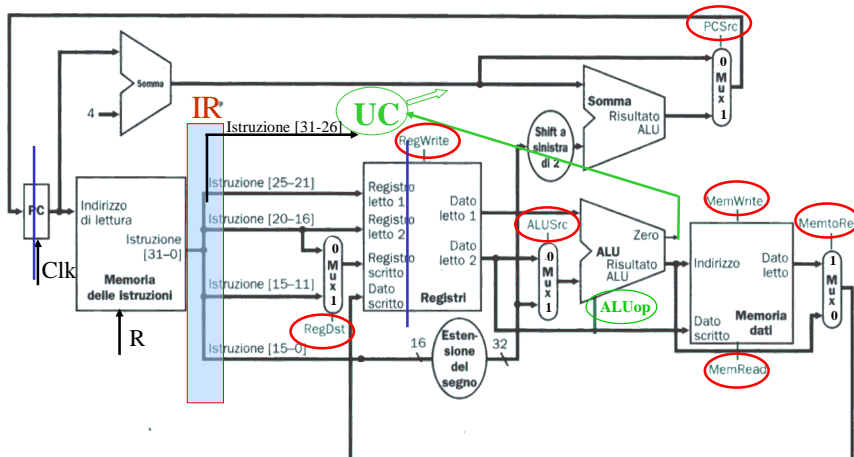
Ogni unità funzionale può essere utilizzata 1 sola volta.



Duplicazione Memoria: Memoria dati e memoria istruzioni (split memory).
Triplicazione ALU: 2 sommatori + 1 ALU general purpose.

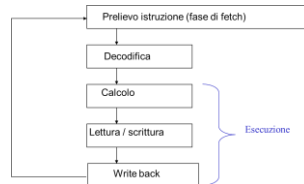


Schema generale CPU + UC



E' un'architettura retroazionata sincronizzata dal clock

Sincronizzazione del controllo (sul PC)
Sincronizzazione sui dati (sul RF)





Sommario



Costruzione di una CPU per le istruzioni di tipo I (branch).

UC della CPU

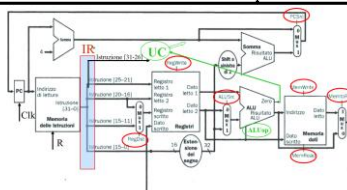
Control and Data path




Segnali di controllo su 1 bit




Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst		
RegWrite		
ALUSrc		
Branch		
MemRead		
MemWrite		
MemoReg		

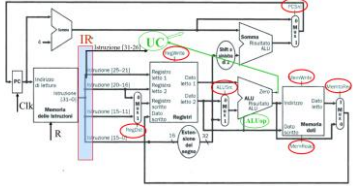





Segnali di controllo su 1 bit




Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rt (R2, bit 20-16)	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite		
ALUSrc		
Branch		
MemRead		
MemWrite		
MemtoReg		



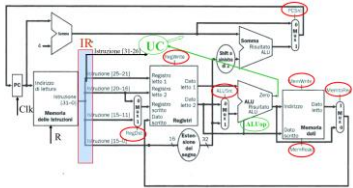
A.A. 2020-2021
<http://borghese.di.unimi.it/>





Segnali di controllo su 1 bit

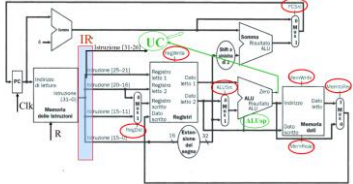


Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rt (R2, bit 20-16)	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite	Nessuno	Nel registro specificato all'ingresso registro scritto del Register File, viene scritto il valore presente all'ingresso Dato Scritto
ALUSrc		
Branch		
MemRead		
MemWrite		
MemtoReg		





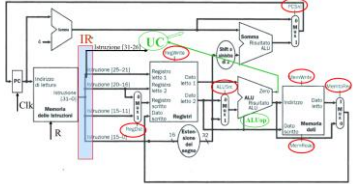
A.A. 2020-2021
<http://borghese.di.unimi.it/>

 <h2 style="text-align: center;">Segnali di controllo su 1 bit</h2> 		
Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rt (R2, bit 20-16)	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite	Nessuno	Nel registro specificato all'ingresso registro scritto del Register File, viene scritto il valore presente all'ingresso Dato Scritto
ALUSrc	Il secondo operando della ALU proviene dalla seconda uscita in lettura del Register File	Il secondo operando della ALU è la versione estesa (con segno) del campo offset
Branch		
MemRead		
MemWrite		
MemtoReg		



A.A. 2020-2021 <http://borghese.di.unimi.it/>

 <h2 style="text-align: center;">Segnali di controllo su 1 bit</h2> 		
Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rt (R2, bit 20-16)	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite	Nessuno	Nel registro specificato all'ingresso registro scritto del Register File, viene scritto il valore presente all'ingresso Dato Scritto
ALUSrc	Il secondo operando della ALU proviene dalla seconda uscita in lettura del Register File	Il secondo operando della ALU è la versione estesa (con segno) del campo offset
Branch	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola PC+4 (condizionato all'uscita di ALU)	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola la destinazione del salto (condizionato all'uscita di ALU)
MemRead		
MemWrite		
MemtoReg		



A.A. 2020-2021 <http://borghese.di.unimi.it/>

Segnali di controllo su 1 bit

Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rt (R2, bit 20-16)	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite	Nessuno	Nel registro specificato all'ingresso registro scritto del Register File, viene scritto il valore presente all'ingresso Dato Scritto
ALUSrc	Il secondo operando della ALU proviene dalla seconda uscita in lettura del Register File	Il secondo operando della ALU è la versione estesa (con segno) del campo offset
Branch	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola PC+4 (condizionato all'uscita di ALU)	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola la destinazione del salto (condizionato all'uscita di ALU)
MemRead	Nessuno	Il contenuto della cella di memoria dati indirizzata dal MAR è posto nel MDR
MemWrite		
MemtoReg		

A.A. 2020-2021 <http://borghese.di.unimi.it/>

Segnali di controllo su 1 bit

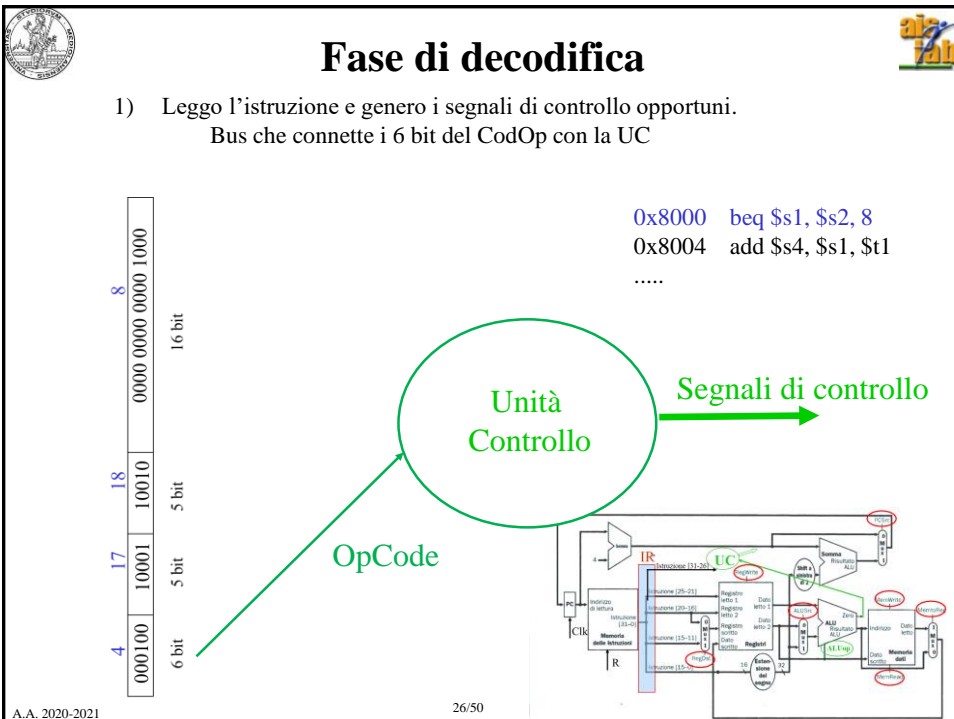
Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rt (R2, bit 20-16)	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite	Nessuno	Nel registro specificato all'ingresso registro scritto del Register File, viene scritto il valore presente all'ingresso Dato Scritto
ALUSrc	Il secondo operando della ALU proviene dalla seconda uscita in lettura del Register File	Il secondo operando della ALU è la versione estesa (con segno) del campo offset
Branch	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola PC+4 (condizionato all'uscita di ALU)	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola la destinazione del salto (condizionato all'uscita di ALU)
MemRead	Nessuno	Il contenuto della cella di memoria dati indirizzata dal MAR è posto nel MDR
MemWrite	Nessuno	Il contenuto in ingresso al MDR, viene memorizzato nella cella il cui indirizzo è caricato nel MAR
MemtoReg		

A.A. 2020-2021 <http://borghese.di.unimi.it/>

Segnali di controllo su 1 bit

Nome del segnale	Effetto quando è negato	Effetto quando è affermato
RegDst	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rt (R2, bit 20-16)	Il numero del registro destinazione proviene dal campo rd (bit 15-11)
RegWrite	Nessuno	Nel registro specificato all'ingresso registro scritto del Register File, viene scritto il valore presente all'ingresso Dato Scritto
ALUSrc	Il secondo operando della ALU proviene dalla seconda uscita in lettura del Register File	Il secondo operando della ALU è la versione estesa (con segno) del campo offset
Branch	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola PC+4 (condizionato all'uscita di ALU)	Il valore del PC viene sostituito dall'uscita del sommatore che calcola la destinazione del salto (condizionato all'uscita di ALU)
MemRead	Nessuno	Il contenuto della cella di memoria dati indirizzata dal MAR è posto nel MDR
MemWrite	Nessuno	Il contenuto in ingresso al MDR, viene memorizzato nella cella il cui indirizzo è caricato nel MAR
MemoReg	Il valore inviato all'ingresso Dato al Register File proviene dalla ALU	Il valore inviato all'ingresso Dato al Register File proviene dalla memoria

A.A. 2020-2021 <http://borghese.di.unimi.it/>

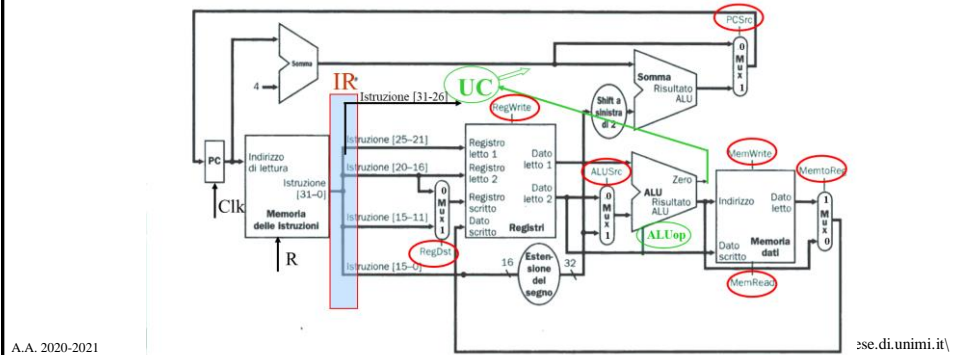




Codifica dei segnali di controllo



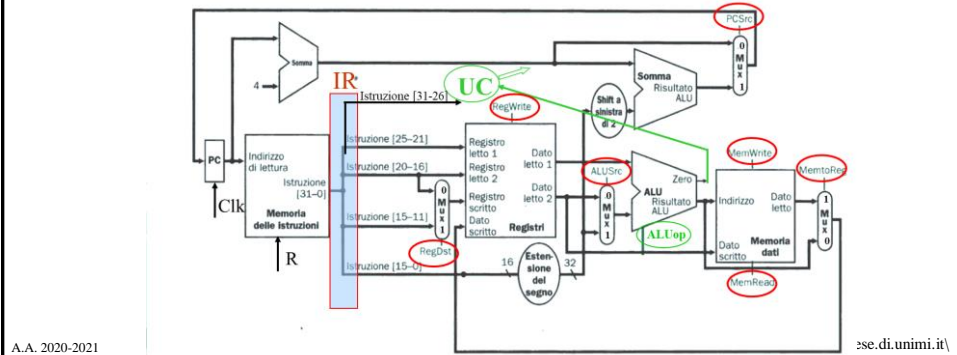
Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs
R (000000)								
lw (100011)								
sw (101011)								
beq (000100)								
addi(001000)								



Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)								
sw (101011)								
beq (000100)								
addi(001000)								

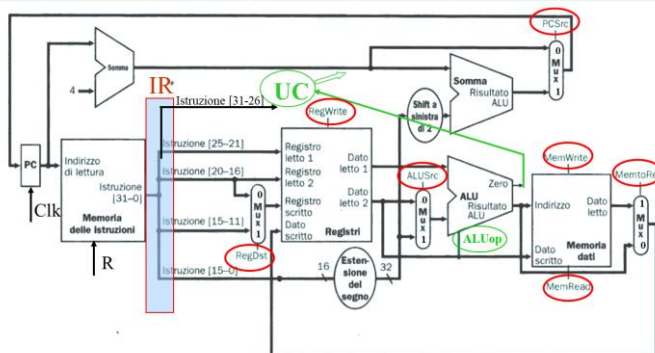




Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00
sw (101011)								
beq (000100)								
addi(001000)								



A.A. 2020-2021

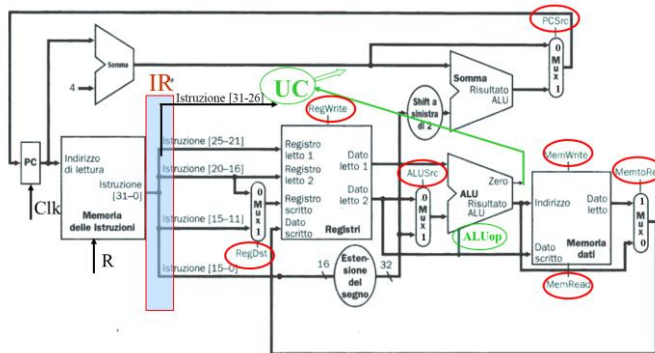
ese.di.unimi.it



Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00
sw (101011)	x	1	x	0	0	1	0	00
beq (000100)								
addi(001000)								



A.A. 2020-2021

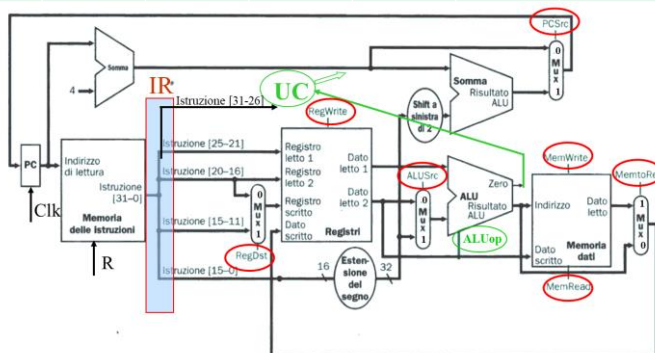
ese.di.unimi.it



Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00
sw (101011)	x	1	x	0	0	1	0	00
beq (000100)	x	0	x	0	0	0	1	01
addi(001000)								



A.A. 2020-2021

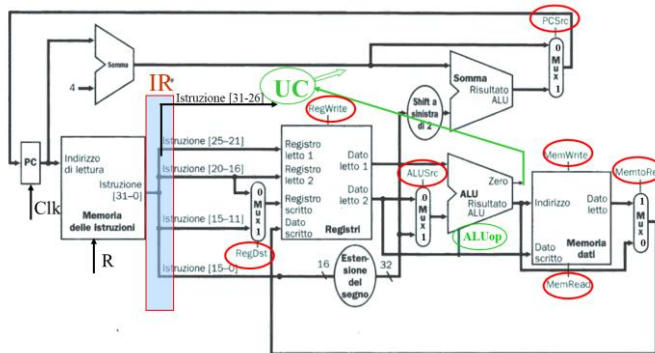
ese.di.unimi.it



Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00
sw (101011)	x	1	x	0	0	1	0	00
beq (000100)	x	0	x	0	0	0	1	01
addi(001000)								



A.A. 2020-2021

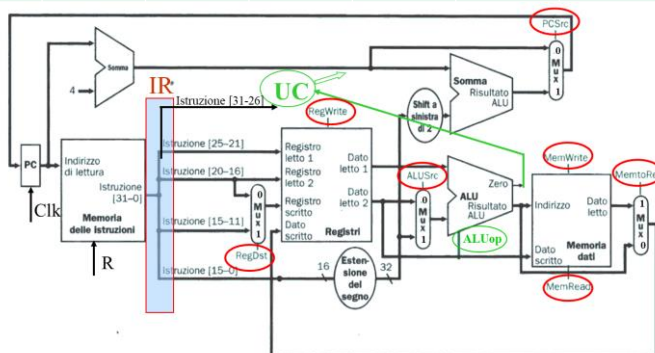
ese.di.unimi.it



Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg	Mem	Mem	Branch	ALUs
				Write	Read	Write		
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00
sw (101011)	x	1	x	0	0	1	0	00
beq (000100)	x	0	x	0	0	0	1	01
addi(001000)	1	1	0	1	0	0	0	00



A.A. 2020-2021

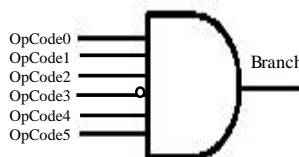
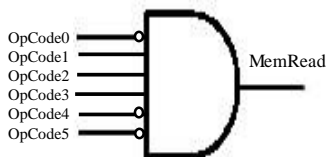
ese.di.unimi.it



Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg	Mem	Mem	Branch	ALUs
				Write	Read	Write		
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00
sw (101011)	x	1	x	0	0	1	0	00
beq (000100)	x	0	x	0	0	0	1	01
addi(001000)	1	1	0	1	0	0	0	00



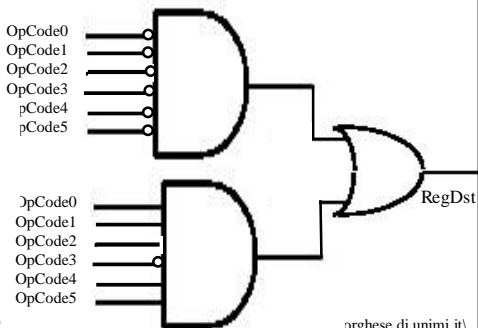
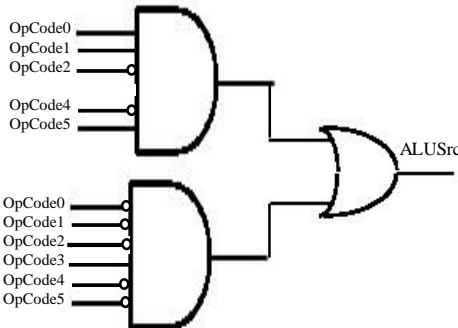
A.A. 2020-2021



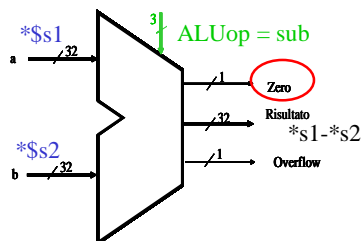
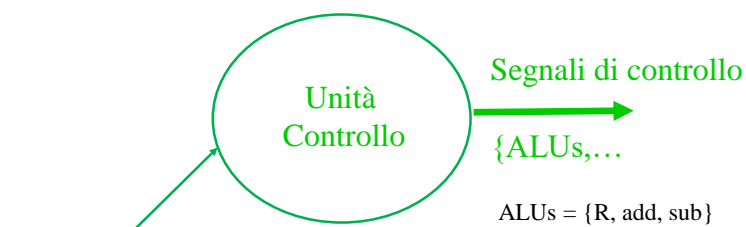
Controllo del data-path



Istruzione (OpCode)	RegDst	ALUSrc	MemtoReg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00
sw (101011)	x	1	x	0	0	1	0	00
beq (000100)	x	0	x	0	0	0	1	01
addi(001000)	1	1	0	1	0	0	0	00

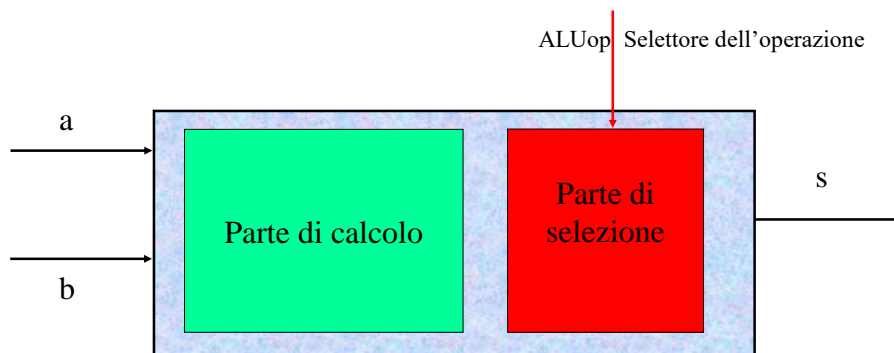


Controllo della ALU





Struttura a 2 livelli di una ALU



Le operazioni consentite dalla ALU (selezionate tramite ALUOp):

Tipo	Aluop
and	000
or	001
add	010
sub	110
slt	111



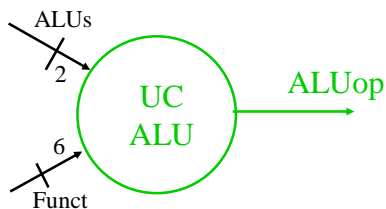
UC e ALU

Data l'istruzione, l'UC deve inviare il comando opportuno alla ALU.

Campo Op Code
Campo Funct

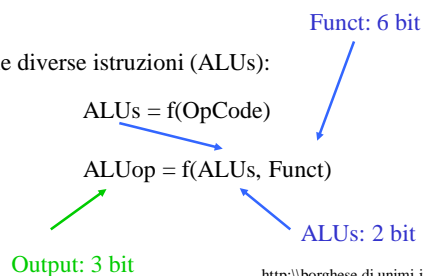
Le operazioni consentite dalla ALU:

- and 000
- or 001
- add 010
- sub 110
- slt 111



Quali operazioni devono essere eseguite per le diverse istruzioni (ALUs):

- R -> Dipende dal campo funct
- lw -> Somma
- sw -> Somma
- beq -> Differenza

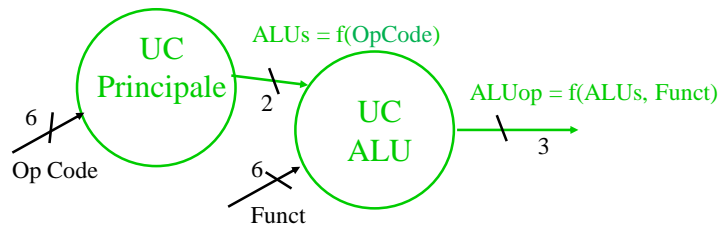




Controllo gerarchico

Le operazioni consentite dalla ALU:

- and 000
- or 001
- add 010
- sub 110
- slt 111

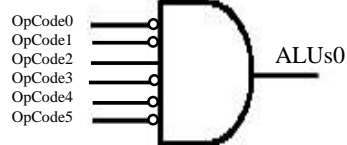
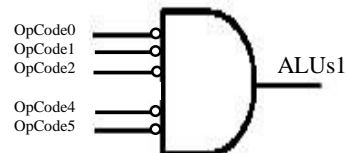


If (OpCode == R) then
 Funct → ALUop
 Else
 OpCode → ALUop



Controllo della ALU

Istr	OpCode						ALUs	
lw	1	0	0	0	1	1	0	0
sw	1	0	1	0	1	1	0	0
beq	0	0	0	1	0	0	0	1
addi	0	0	1	0	0	0	1	0
add	0	0	0	0	0	0	1	0
sub	0	0	0	0	0	0	1	0
and	0	0	0	0	0	0	1	0
or	0	0	0	0	0	0	1	0
slt	0	0	0	0	0	0	1	0



Sintetizzo i 2 bit come SOP

$$ALUs = f(OpCode)$$



Controllo della ALU

Istr	OpCode						ALUs		Funct						ALUop		
	1	0	0	0	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x	0	1	0
lw	1	0	0	0	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x	0	1	0
sw	1	0	1	0	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x	0	1	0
beq	0	0	0	1	0	0	0	1	x	x	x	x	x	x	1	1	0
add	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
sub	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
and	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
or	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
slt	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1

$$ALUop = f(ALUs, Funct)$$

SOP ↗



Sommario

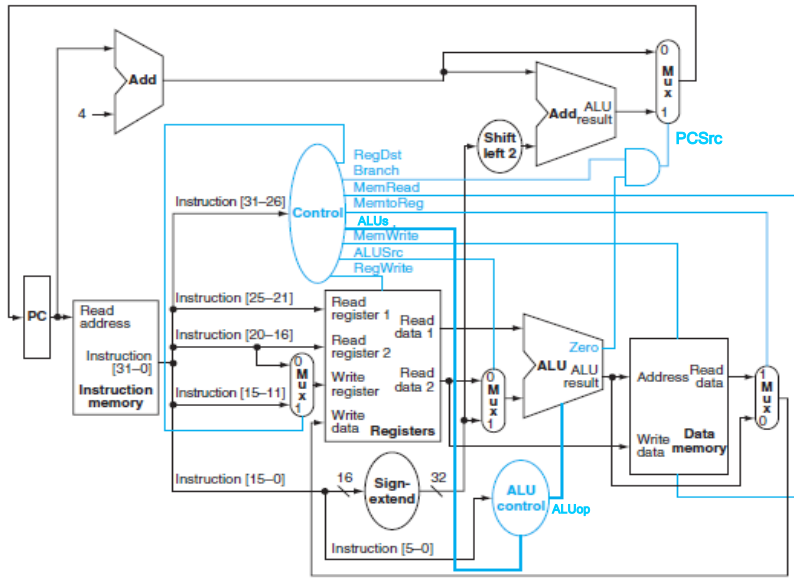
Costruzione di una CPU per le istruzioni di tipo I (branch).

UC della CPU

Control and Data path



The control and data path

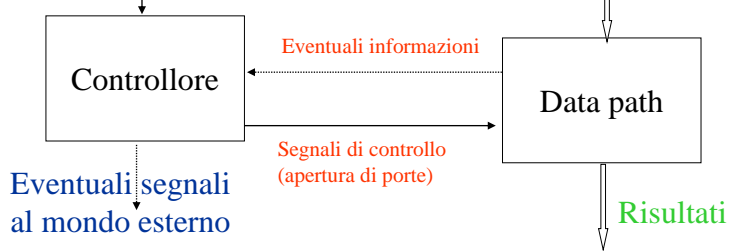


Rapporto UC - Dati



La CPU è un'architettura del tipo: **Controllore - Data-path**

Dal mondo esterno



Fase comune nel ciclo di esecuzione:

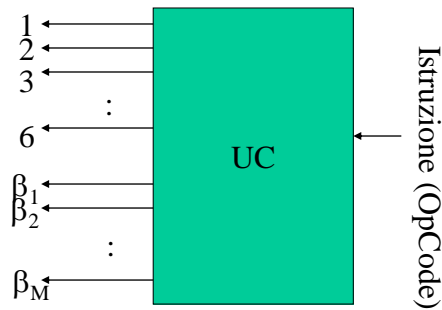
- Fase di fetch
- Decodifica (generazione dei segnali di controllo)

Fase diversa: Esecuzione (Calcolo, Memoria, WriteBack)

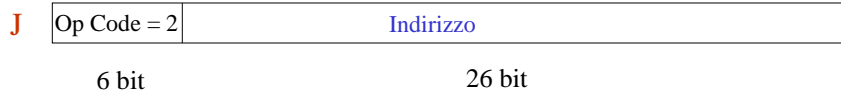


L'unità di controllo

- Unità di controllo coordina i flussi di informazione (è il “cervello” della CPU):
- 1) abilitando le vie di comunicazione opportune a seconda dell'istruzione in corso di esecuzione.
- 2) selezionando l'operazione opportuna delle ALU.
- 3) modificando un elemento di stato (memoria o register file)



L'istruzione jump



L'indirizzo di salto sarà determinato in due passi: 0x8000 j 80040

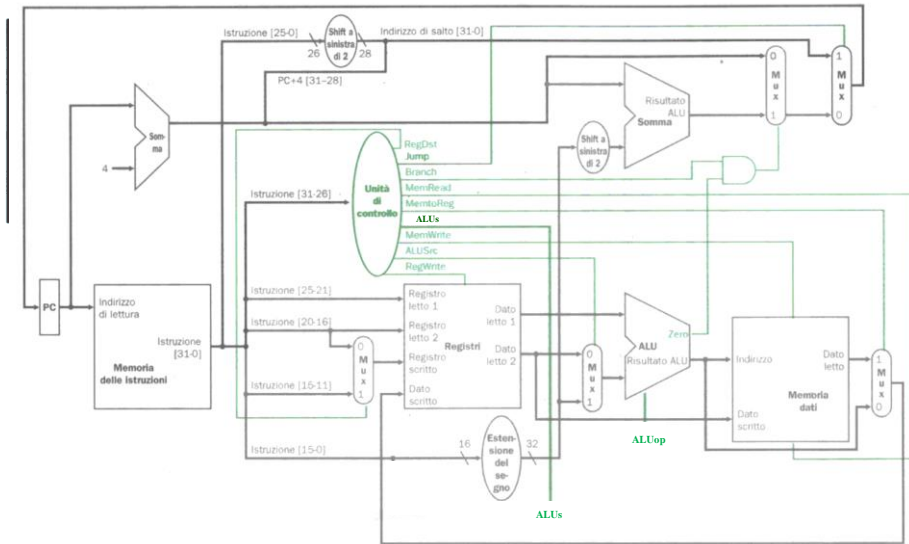
- A) Calcolo di Indirizzo = Indirizzo * 4.
 B) Determinazione dell'indirizzo di salto come:

Base (PC)	0100	1000 0011 0001 1011 1011 1011 10 00
Nuovo indirizzo	0000 0110 0111	0000 0000 0001 00 00 =
Indirizzo salto	0100	0000 0110 0111 0000 0000 0001 00 00

L'indirizzo è un numero positivo (posizione in memoria assoluta).



CPU + UC completa (aggiunta di jump)



Controllo del data-path

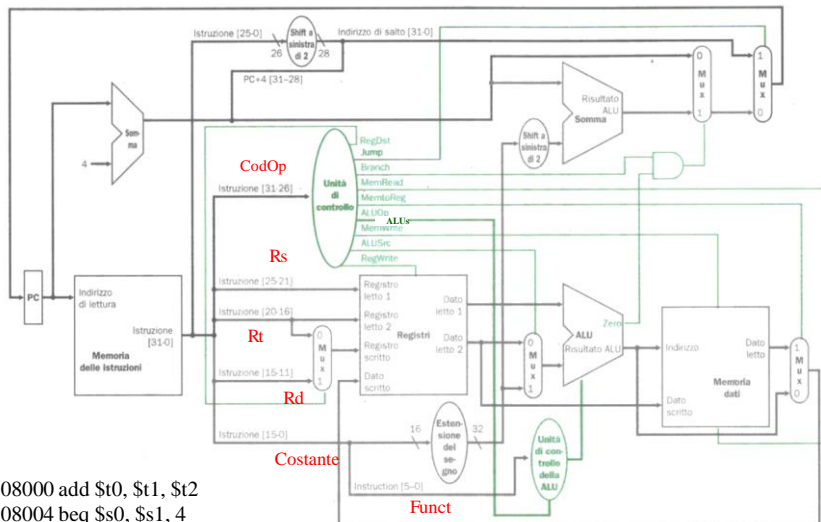


Istruzione (OpCode)	Reg Dst	ALU Src	Memto Reg	Reg Write	Mem Read	Mem Write	Branch	ALUs	Jump
R (000000)	1	0	0	1	0	0	0	10	0
lw (100011)	0	1	1	1	1	0	0	00	0
sw (101011)	x	1	x	0	0	1	0	00	0
addi (001000)	0	1	0	1	0	0	0	00	0
beq (000100)	x	0	x	0	0	0	1	01	0
j (000010)	x	x	x	0	0	0	0	xx	1

La lettura della memoria non è indolore soprattutto quando sono presenti dei livelli (di cache).



Contenuto della CPU per l'esecuzione di istruzioni diverse



0x00008000 add \$t0, \$t1, \$t2
 0x00008004 beq \$s0, \$s1, 4
 0x00008008 lw \$t1, 32(\$s0)
 0x0000800C sw \$t1, 32(\$s0)
 0x00008010 addi \$t1, \$t1, \$t2

49/50

<http://borghese.di.unimi.it/>



Sommario



Costruzione di una CPU per le istruzioni di tipo I (branch).

UC della CPU

Control and Data path