



# La ALU

Prof. Alberto Borghese  
Dipartimento di Scienze dell'Informazione

[borgnese@dsi.unimi.it](mailto:borgnese@dsi.unimi.it)

Università degli Studi di Milano

Riferimento sul Patterson: sezione B.5



# Sommario

ALU ad 1 bit

ALU a 32 bit

Comparazione, Overflow, Test di uguaglianza

Tecnologie di costruzione di una ALU



## Funzione della ALU



E' integrata nel processore, all'inizio degli anni 90 è stata rivoluzionaria la sua introduzione con il nome di co-processore matematico.

Esegue le operazioni aritmetico-logiche.

E' costituita da circuiti combinatori. Utilizza i blocchi di base già visti.

Opera su parole (MIPS 32 bit).

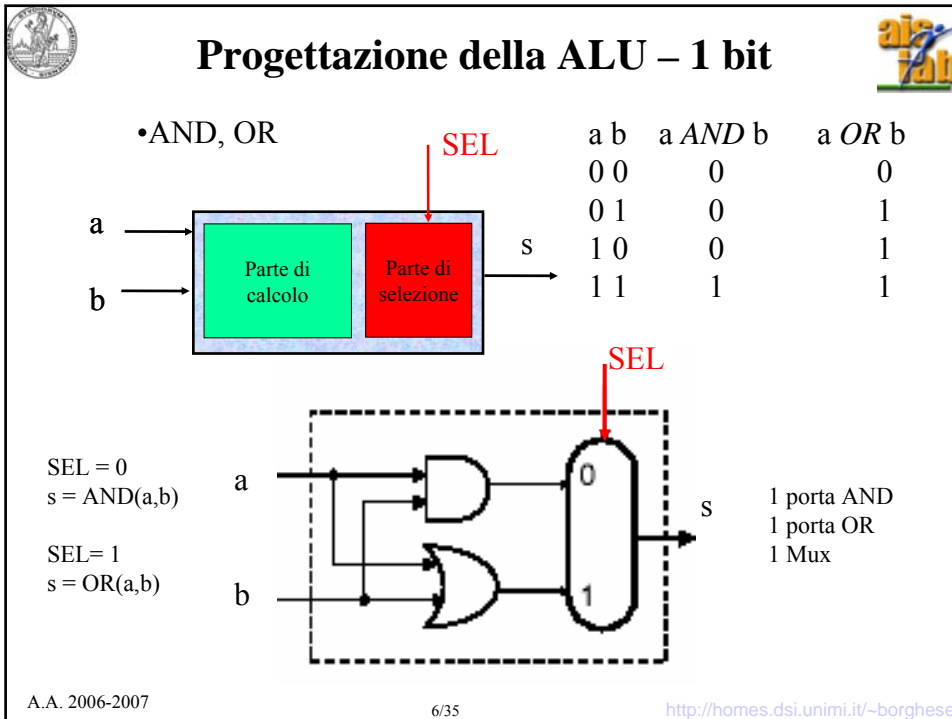
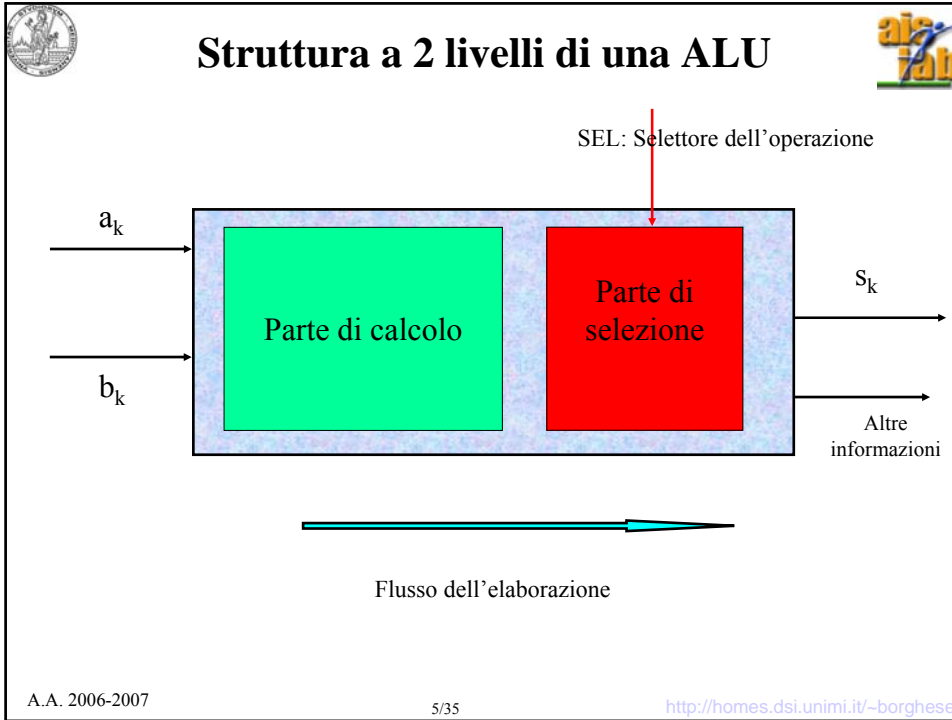
Le ALU non compaiono solamente nei micro-processori.



## Problematiche di progetto



- Velocità (Riporto).
- Costo.
- Precisione.
- Affidabilità
- Consumo.

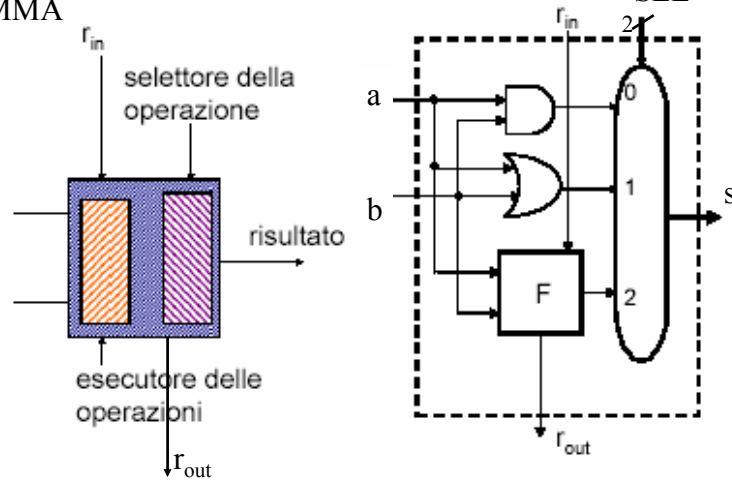




## La nuova struttura della ALU – 1 bit



- AND
- OR
- SOMMA



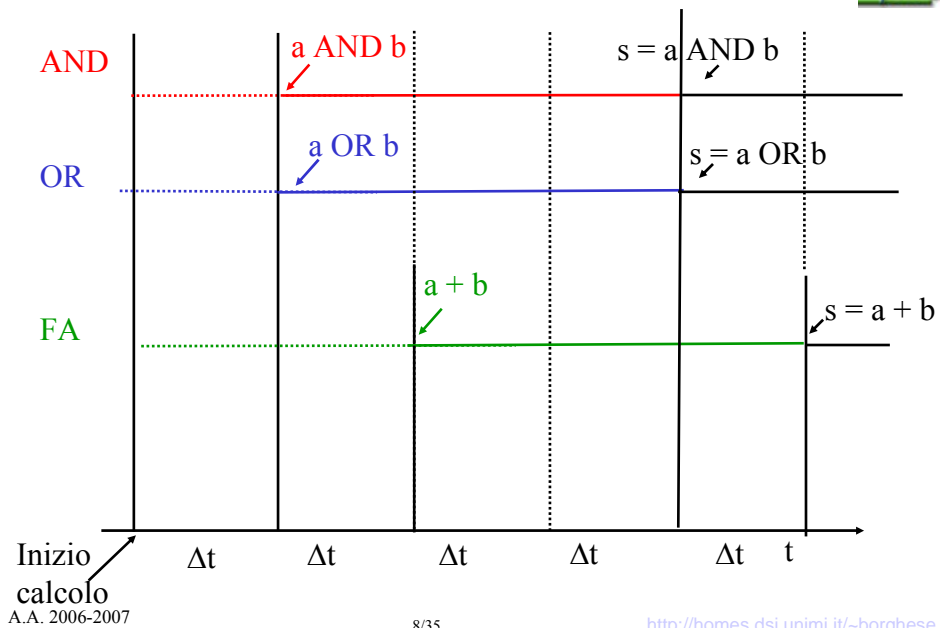
A.A. 2006-2007

7/35

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghe>



## I cammini critici all'interno della ALU



A.A. 2006-2007

8/35

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghe>



## Sommario



ALU ad 1 bit

ALU a 32 bit

Comparazione, Overflow, Test di uguaglianza

Tecnologie di costruzione di una ALU



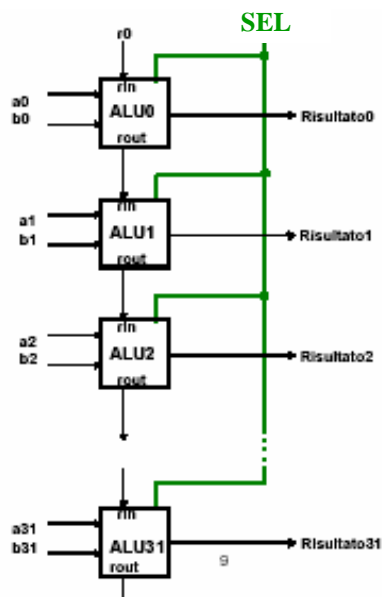
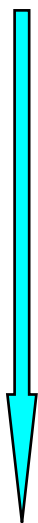
## ALU a 32 bit



Come collegare le  
ALU ad 1 bit?

Flusso di calcolo

Perchè non si può  
parallelizzare?





## Sottrazione



In complemento a 2 diventa un'addizione:  $a - b = a + \bar{b} + 1$

Esempio:  $s = 3 - 4$ ; su 3 bit

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 3 -> 011                     | 011 + |
| -4 -> 100 in complemento a 2 | 100 = |
| -1 -> 111 in complemento a 2 | 111   |

Posso scrivere il numero negativo in complemento a 2 come somma:

|                             |          |                              |
|-----------------------------|----------|------------------------------|
|                             | 4 -> 100 | numero positivo: b           |
| Passo I - Complemento a 1   | 011+     | complemento a 1: $\bar{b}$ + |
| Passo II - Sommo + 1        | 1=       | sommo 1: 1=                  |
| Risultato - Complemento a 2 | 100      | risultato -b                 |

**Posso quindi scrivere:  $-b = \bar{b} + 1$**



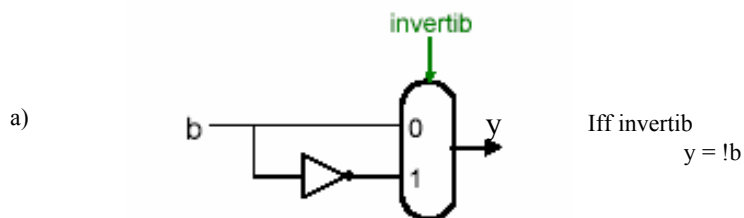
## Sottrazione



In complemento a 2 diventa un'addizione:  $a - b = a + \bar{b} + 1$

Serve:

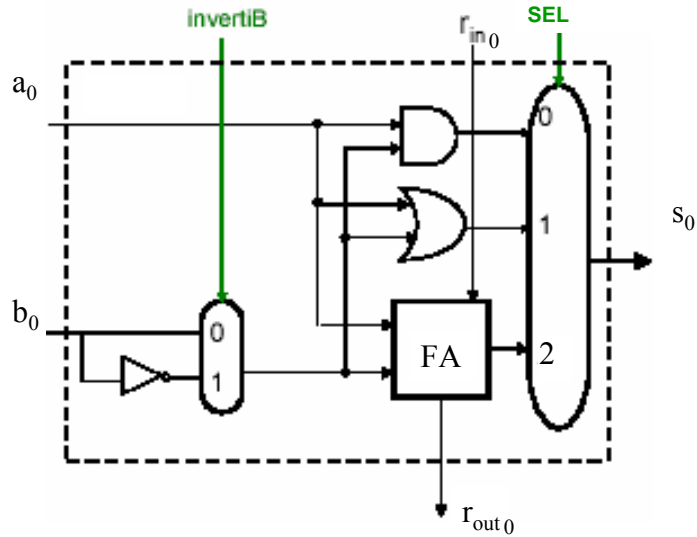
- un inverter (NOT).
- la costante 1



- Da dove prendo la costante 1?



## Sottrazione - ALU<sub>0</sub>

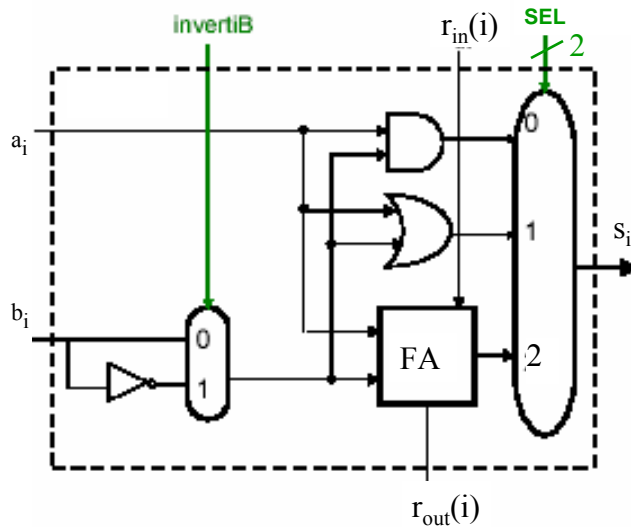


$r_{in}(0) = InvertiB = 1$  sse sottrazione  
 (occorre utilizzare un full adder anche per il bit meno significativo con  $r_{in0} = 1$ ).



## Sottrazione - ALU<sub>i</sub>

- AND
- OR
- SOMMA
- SOTTRAZIONE



$r_{in}(i) = r_{out}(i-1)$   $i = 1, 2, 3, \dots, 31$   $i \neq 0$   
 $InvertiB = 1$  sse sottrazione



## Sottrazione: ALU a 32 bit



$r_{in}(0) = \text{InvertiB} = 1$   
sse sottrazione

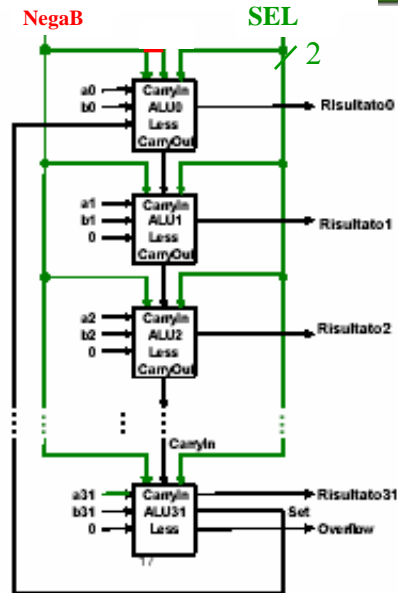
- AND
- OR
- SOMMA
- SOTTRAZIONE

| From_UC | SEL | $r_0$ | InvertiB |
|---------|-----|-------|----------|
| And     | And | 0     | 0        |
| Or      | Or  | 0     | 0        |
| Somma   | Add | 0     | 0        |
| Sottr.  | Add | 1     | 1        |

InvertiB e  $r_0$  sono lo stesso segnale, si può ancora ottimizzare.

$r_{in}(0)$  entra solo in  $ALU_0$

A. InvertiB entra in tutte le  $ALU_i$



15

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghe>



## Sommario



ALU ad 1 bit

ALU a 32 bit

Comparazione, Overflow, Test di uguaglianza

Tecnologie di costruzione di una ALU





## Confronto



Fondamentale per **dirigere il flusso** di esecuzione (test, cicli....)

if **a less\_than b** then  
    s = 1

if a < b then  
    s = 1

if **(a - b) < 0** then  
    s = 1



## Come sviluppare la comparazione - I?



if **(a - b) < 0** then  
    s = 1  
    else  
    s = 0


if **differenza(a,b) < 0** then  
    s = 1  
    else  
    s = 0

Si controlla che il primo bit del risultato della somma (bit di segno) sia = 1.

Esempio: s = 3 - 4; su 3 bit

3 -> 011  
-4 -> 100 in complemento a 2  
-1 -> 111 in complemento a 2

0 1 1 +  
1 0 0 =  
1 1 1

 MSB = bit di segno



## Come sviluppare la comparazione - II?



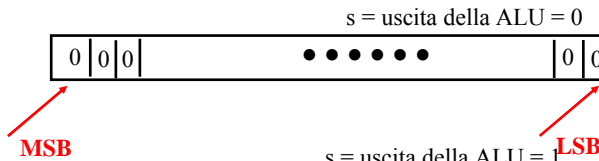
```

if (a - b) < 0 then
  s = 1
else
  s = 0

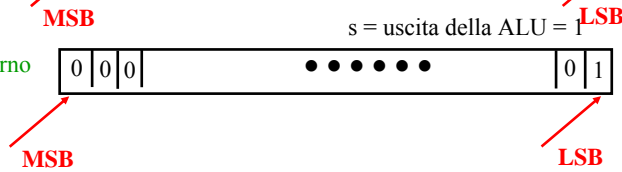
```

Viene impostato un flag = 1 se  $a < b$ .  
 Valori possibili in uscita della ALU: {0, 1}

Risultato verso l'esterno  
 Flag = s = 0  
 $a \geq b$



Risultato verso l'esterno  
 Flag = s = 1  
 $a < b$



## Come sviluppare la comparazione (riassunto)?

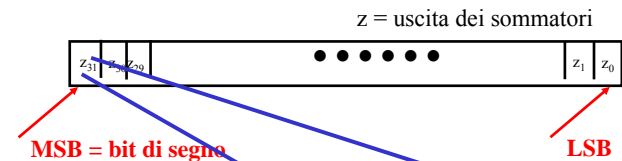


```

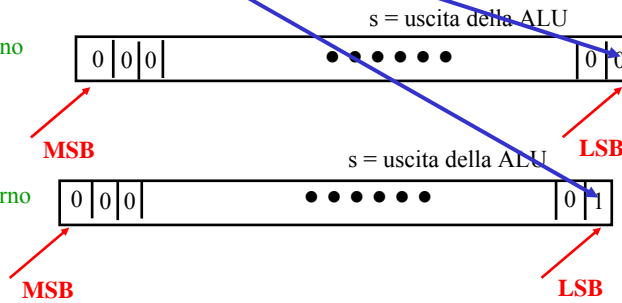
if (a - b) < 0 then
  s = 1
else
  s = 0

```

Risultato verso l'esterno  
 Flag = 0



Risultato verso l'esterno  
 Flag = 1



**Comparatore – ALU<sup>0</sup> : ALU<sup>31</sup>**

InvertiB =  $r_{in}^0 = 1$   
 SEL = 11

if  $(a - b) < 0$  then  
   s = 1  
 else  
   s = 0

Less(0) = MSB

**Set**

Segnale di set  
(set on less than)

A.A. 2006-2007 21/35 <http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>

**Comparatore - ALU<sup>i</sup>**

Less(i) = 0     $i = 1, 2, 3, \dots, 31$      $i \neq 0$

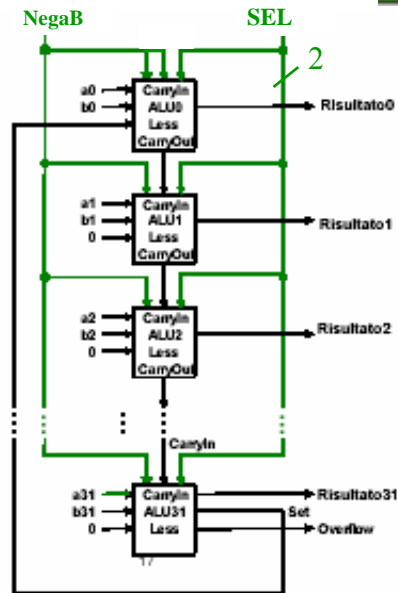
A.A. 2006-2007 22/35 <http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



## Comparazione - ALU completa a 32 bit



- AND
- OR
- SOMMA
- SOTTRAZIONE
- COMPARAZIONE



## Overflow



Esempio decimale:

$a + b = c$  - codifica su 2 cifre,  $a = 19$ ,  $b = 83 \Rightarrow$  Overflow.

$$19 + 83 = (1)02$$

Supponiamo sia definito il bit di segno possiamo riscrivere:

$$019 + 083 = 102.$$

Quindi si ha overflow nella somma quando:

$a + b = s$ ,  $a > 0$ ,  $b > 0$  MSB di  $a$  e  $b = 0$ , MSB di  $s = 1$ .

$a + b = s$ ,  $a < 0$ ,  $b < 0$  MSB di  $a$  e  $b = 1$ , MSB di  $s = 0$ .

Si può avere overflow con la differenza?

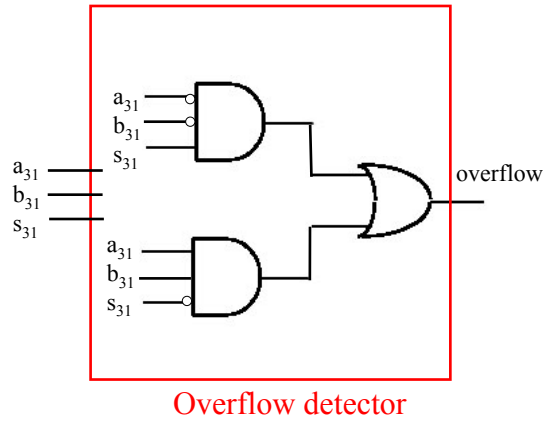


## Circuito di riconoscimento dell'overflow

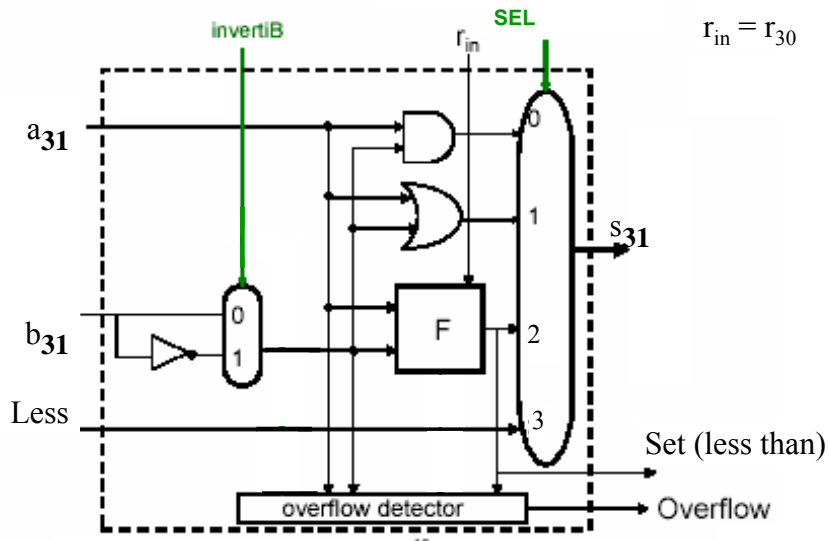


Lavora sui MSB

| $a_{31}$ | $b_{31}$ | $s_{31}$ | overflow |
|----------|----------|----------|----------|
| 0        | 0        | 0        | 0        |
| 0        | 0        | 1        | 1        |
| 0        | 1        | 0        | 0        |
| 0        | 1        | 1        | 0        |
| 1        | 0        | 0        | 0        |
| 1        | 0        | 1        | 0        |
| 1        | 1        | 0        | 1        |
| 1        | 1        | 1        | 0        |



## ALU<sub>31</sub>





## Operazione di uguaglianza



beq rs, rt label                      iff (rs – rt) = 0 , salta.

*Occorre quindi:*

- Impostare una differenza.
- Effettuare l'OR logico di tutti i bit somma.
- L'uscita dell'OR logico = 0 i due numeri sono uguali.

Input: a, b su 32 bit

Output: {0,1}. In questo caso viene dedicata una linea di uscita.



## Uguaglianza – prima possibilità



beq rs, rt label                      iff (rs – rt) = 0 , salta.

| $A_0$ | $B_0$ | $C_0$ | $A_1$ | $B_1$ | $C_1$ |                             |                                   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | $C = C_0 C_1 \dots C_{n-1}$ |                                   |
| 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |                             | ...                               |
| 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     |                             |                                   |
| 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |                             | $C_k = \overline{a_k \oplus b_k}$ |

Input: a, b su 32 bit

Output: {0,1}.

Per 32 bit occorrono le seguenti porte a 2 ingressi:

32 XOR

31 AND

Si può fare di meglio sfruttando il sommatore già presente nella ALU



## Operazione di uguaglianza



beq rs, rt label                      iff  $(rs - rt) = 0$  , salta.

*Occorre quindi:*

- Impostare una differenza.
- Effettuare l'OR logico di tutti i bit somma.
- L'uscita dell'OR logico = 0 i due numeri sono uguali.

Input: a, b su 32 bit

Output:  $\{0,1\}$ . In questo caso viene dedicata una linea di uscita.

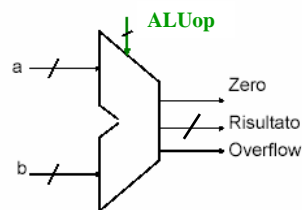


## ALU a 32 bit: struttura finale

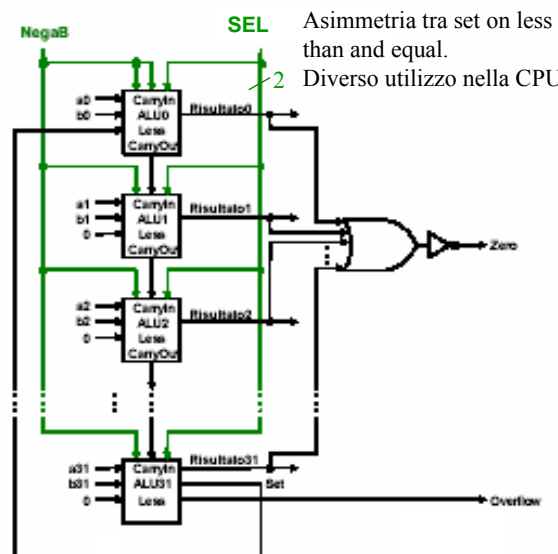


*Operazioni possibili:*

- AND
- OR
- Somma / Sottrazione
- Comparazione
- Test di uguaglianza



Sono evidenziate  
solamente le variabili  
visibili all'esterno.





## Sommario



ALU ad 1 bit

ALU a 32 bit

Comparazione, Overflow, Test di uguaglianza

**Tecnologie di costruzione di una ALU**



## Approcci tecnologici alla ALU.



Tre approcci tecnologici alla costruzione di una ALU (e di una CPU):

- **Approccio hardware programmabile (e.g. PAL).** Ad ogni operazione corrisponde un circuito combinatorio specifico.
- **Approccio ROM.** E' un approccio esaustivo (tabellare). Per ogni funzione, per ogni ingresso viene memorizzata l'uscita. E' utilizzabili per funzioni molto particolari (ad esempio di una variabile). Non molto utilizzato.
- **Approccio firmware (firm = stabile), o microprogrammato.** Si dispone di circuiti specifici solamente per alcune operazioni elementari (tipicamente addizione e sottrazione). Le operazioni più complesse vengono sintetizzate a partire dall'algoritmo che le implementa.





## Approccio ROM alla ALU



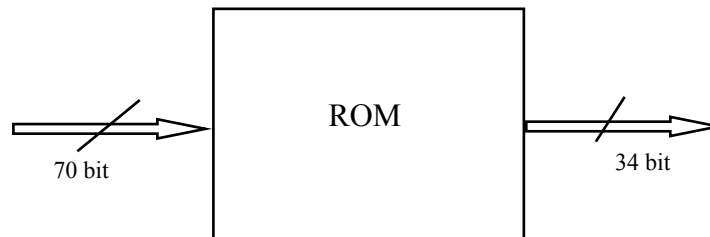
### Input:

- A n bit
- B n bit
- SEL k bit
- InvertiB: 1 bit
- Totale:  $2*n + k + 1$  bit

### Output:

- S n bit
- zero 1 bit
- overflow 1 bit
- Totale:  $n + 2$  bit

Per dati su 32 bit, 5 operazioni:



Capacità della ROM:  $2^{68} = 2.95.. \times 10^{20}$  parole di 34 bit!

A.A. (Capacità della ROM per dati su 4 bit, 5 operazioni:  $2^{12} = 4,098$  parole di 6 bit) /-borghesi



## L'approccio firmware



Nell'approccio firmware, viene inserita nella ALU una unità di controllo e dei registri. L'unità di controllo attiva opportunamente le unità aritmetiche ed il trasferimento da/verso i registri. Approccio "controllore-datapath".

Viene inserito un microcalcolatore dentro la ALU.

Il primo microprogramma era presente nell'IBM 360 (1964).



## L'approccio firmware vs hardware



La soluzione HW è più veloce ma più costosa per numero di porte e complessità dei circuiti.

La soluzione firmware risolve l'operazione complessa mediante una sequenza di operazioni semplici. E' meno veloce, ma più flessibile e, potenzialmente, adatta ad inserire nuove procedure.

La soluzione HW è percorsa per le operazioni frequenti: la velocizzazione di operazioni complesse che vengono utilizzate raramente non aumenta significativamente le prestazioni (legge di Amdahl).



## Sommario



ALU ad 1 bit

ALU a 32 bit

Comparazione, Overflow, Test di uguaglianza

Tecnologie di costruzione di una ALU