Corso di Calcolatori Elettronici I

Architettura di un calcolatore: introduzione

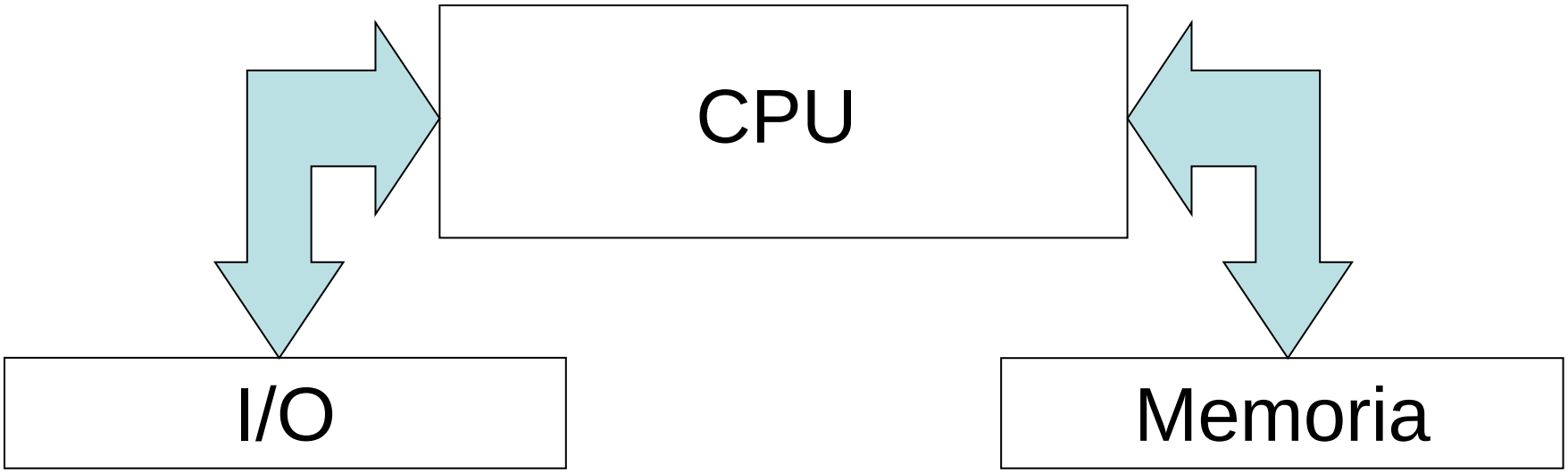
Prof. Roberto Canonico

Università degli Studi di Napoli Federico II

Dipartimento di Ingegneria Elettrica
e delle Tecnologie dell'Informazione (DIETI)

Calcolatore: sottosistemi

- Processore o CPU (*Central Processing Unit*)
- Memoria centrale
- Sottosistema di input/output (I/O)



Calcolatore: organizzazione a bus

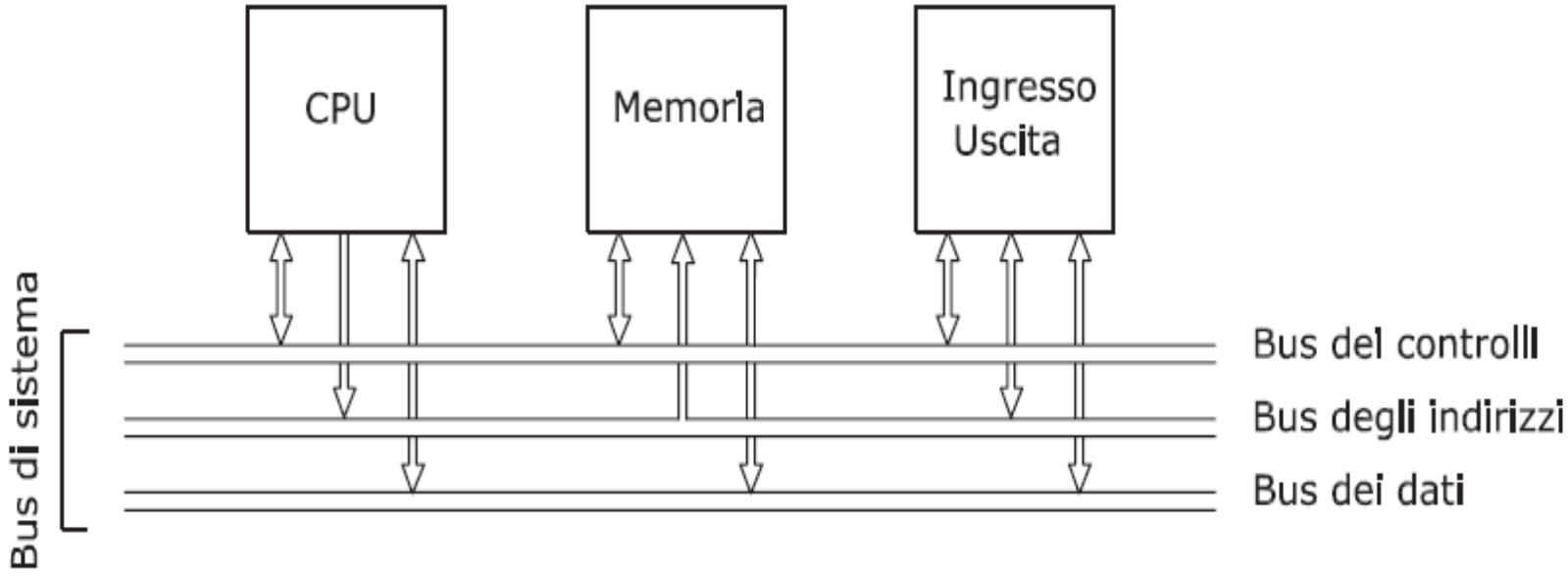
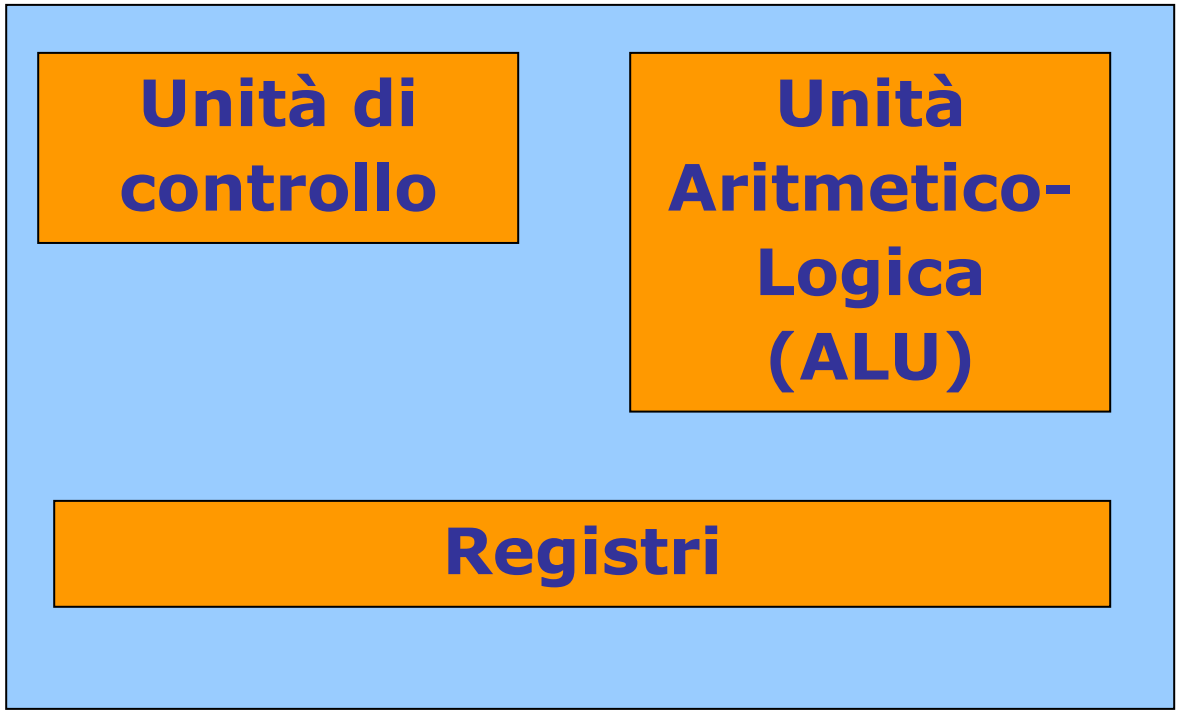


Figura 5.2 - Organizzazione a bus. Un bus è semplicemente un percorso che collega tutte le parti che si affacciano su di esso. La figura mostra che il bus di sistema si compone di tre sotto-bus.

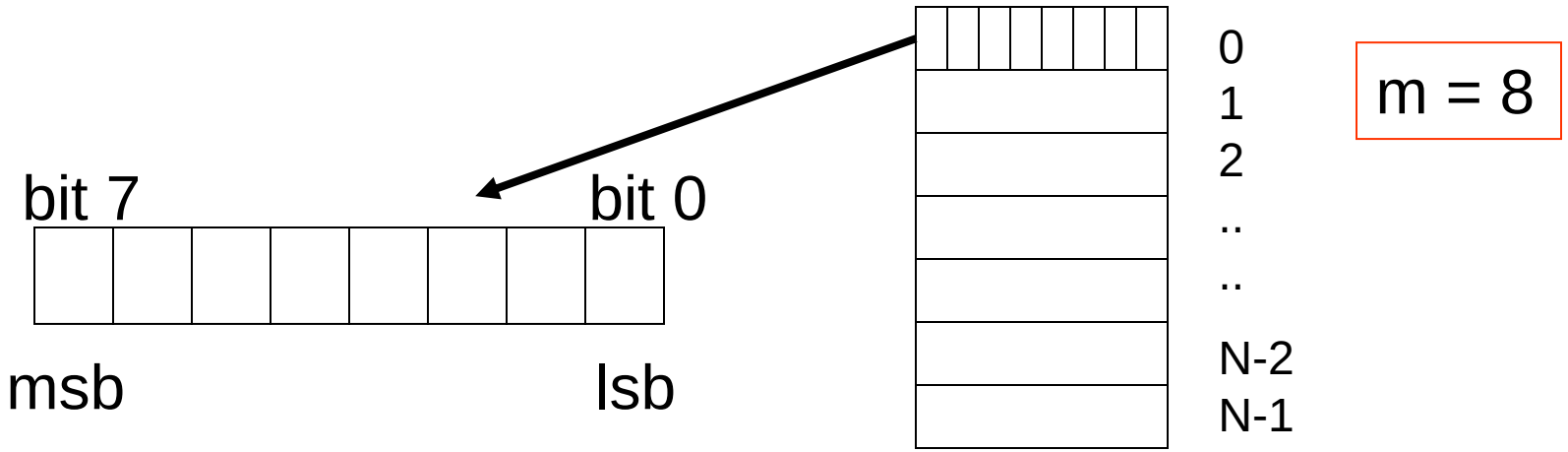
Il processore o CPU



Processore o CPU

La memoria centrale

- La memoria centrale di un computer è organizzata come un array di stringhe di bit di lunghezza m, dette *locazioni*
- Gli m bit di una locazione sono accessibili dal processore (in lettura/scrittura) mediante un'unica operazione
- Ogni locazione è individuata da un *indirizzo*, cioè un intero compreso tra 0 e N-1, con $N = 2^k$
  - » [0, N-1] = SPAZIO DI INDIRIZZAMENTO
- La memoria centrale è *ad accesso casuale* (RAM) cioè il tempo di accesso non dipende dalla posizione del dato



CPU: struttura interna

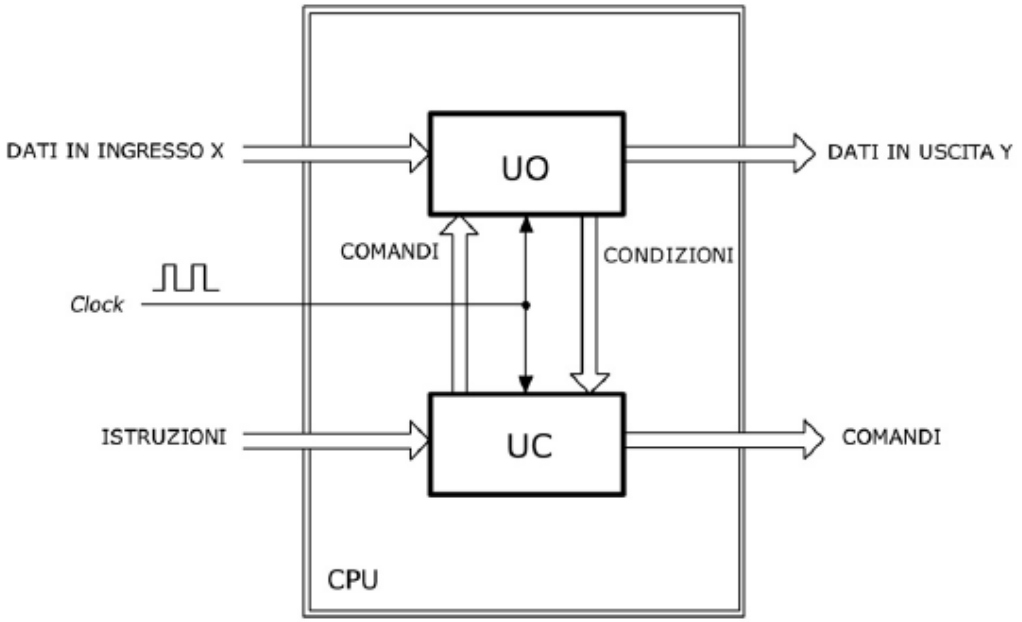


Figura 5.8 - Struttura generale della CPU. Lo schema mette in evidenza due parti: l'unità operativa (UO) e l'unità di controllo (UC). Lo schema mostra anche i flussi informativi tra UC e UO e tra l'intera CPU e l'esterno [LP86].

Il funzionamento della CPU è scandito dal clock.

CPU: struttura interna (2)

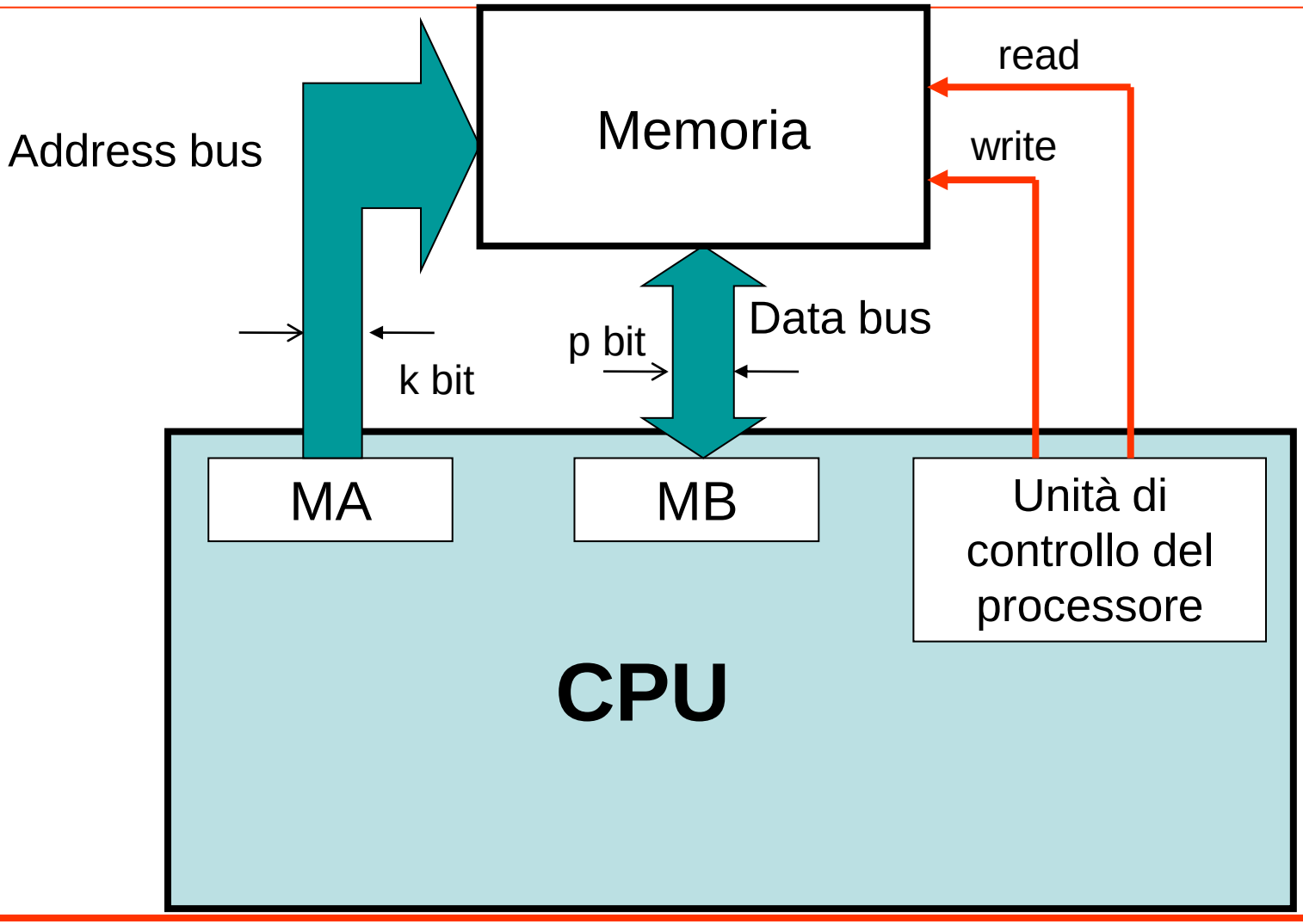
- Componenti fondamentali del processore:
  - Unità di controllo
    - registro Program Counter (PC) o Prossima Istruzione
    - Instruction Register o registro di decodifica (IR o D)
    - registri di Macchina
  - Unità aritmetico-logica (ALU)
  - Sezione di Collegamento con la memoria
    - registro degli indirizzi di memoria o Memory Address Register MAR
    - registro di transito dei dati dalla memoria DTR o Memory Buffer MB
  - Sezione di Collegamento con Ingresso-Uscita

- Il *linguaggio macchina* di un processore è costituito dalla codifica in binario delle istruzioni eseguibili dal processore

Registri della CPU

- Registri interni
  - Necessari al funzionamento del processore
  - Non direttamente visibili al programmatore
    - non appartengono al *modello di programmazione*
    - *Es. MAR, MDR, IR, …*
- Registri di macchina
  - Visibili al programmatore
    - appartengono al *modello di programmazione*
      - Registri generali (R0, R1, Rn-1)
      - Registri speciali (PC, SR, …)

Interazione processore-memoria

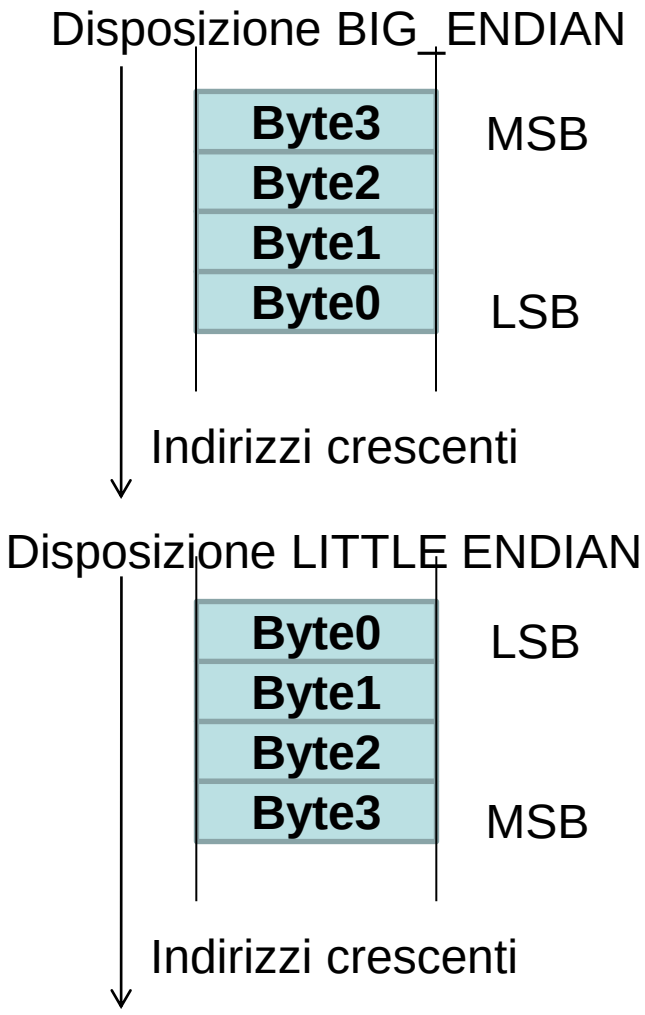


Accesso alla memoria

- Nei calcolatori moderni l'unità indirizzabile di memoria (*locazione*) è il byte
  - Si parla di sistemi a memoria *byte-addressable*: ogni byte ha il suo indirizzo
- I registri interni delle CPU moderne hanno parallelismo di 16, 32 o 64 bit
- E' possibile per una CPU accedere a parole (word) di 16, 32 o 64 bit (che occupano in memoria 2, 4, o 8 locazioni consecutive)
- Terminologia Motorola 68000:
  - word = 2 byte (16 bit),
  - longword = 4 byte (32 bit)

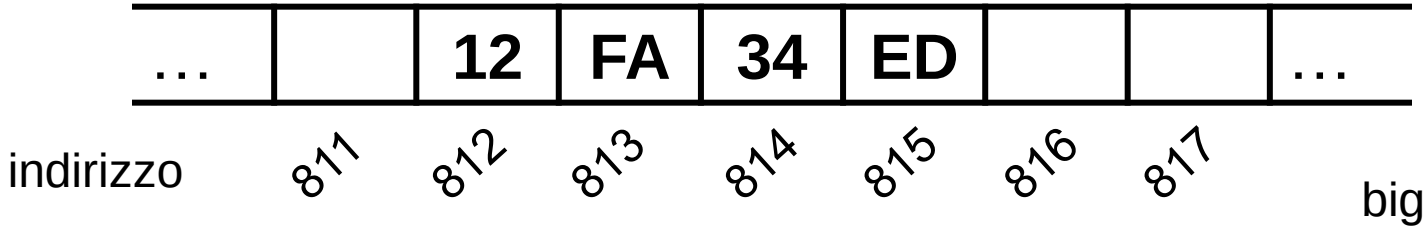
Big-endian e little-endian

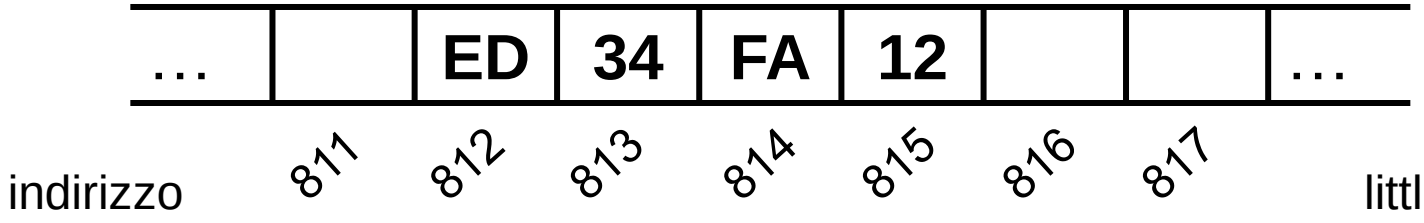
- I processori possono disporre in memoria i byte che formano una parola da 16, 32 o 64 bit in 2 modi
  - *Big-endian*:
    i byte sono disposti in memoria in modo che il più significativo MSB occupi la locazione di memoria di indirizzo minore, e poi via via gli altri, fino a quello meno significativo LSB che è collocato nella locazione di indirizzo maggiore
  - *Little-endian:* disposizione opposta
- Il processore Motorola 68000 usa la convenzione *Big Endian*



Big-endian e little-endian: un esempio

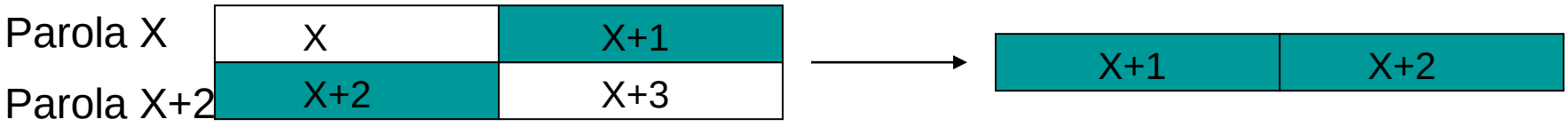
- Immaginiamo di avere un processore a parola, con parole di 32 bit (4 byte) e voler scrivere in memoria il valore intero (esadecimale) $**12FA34ED** all'indrizzo **812**
- Le figure sottostanti illustrano il contenuto della memoria nei due casi big-endian e little-endian





Memoria: parole allineate e non

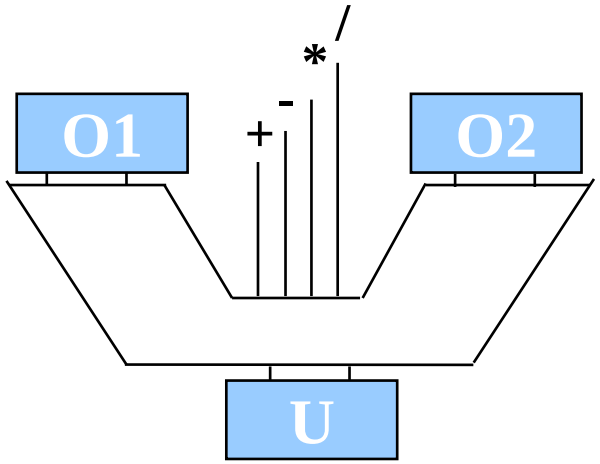
- Per un processore a parola di 16 bit, una *parola* che inizia ad un indirizzo pari si dice “allineata sul limite di parola”
- Tipicamente, un tale processore è in grado di accedere ai due byte che costituiscono una parola allineata mediante una sola operazione di lettura
- Il processore 8086 consente l’utilizzo di parole non allineate, cioè parole che iniziano ad un indirizzo dispari, ma in tal caso sono necessari 2 distinti accessi in memoria
- Il processore 68000 NON consente l’accesso a parole non allineate



(X pari) La parola (X+1) non è allineata sul limite di parola

Unità Aritmetico-Logica (ALU)

- L'Unità di controllo fornisce alla ALU gli operandi, insieme ad un comando che indica l'operazione da effettuare
- Gli operandi sono copiati nei registri di ingresso della ALU (O1, O2)
- La ALU esegue l'operazione e pone il risultato nel registro risultato (U); inoltre, altera il valore dei flag del registro di stato (SR) in funzione del risultato

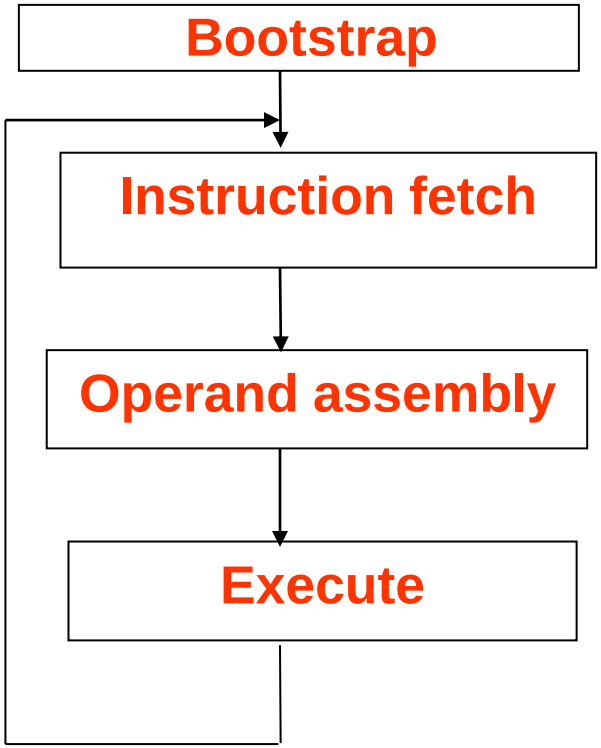


Algoritmo del Processore

- Prelievo dell'istruzione (Fetch)
  - La CPU preleva dalla memoria l'istruzione il cui indirizzo è in PC
  - L'istruzione viene copiata nel registro IR
- Decodifica / prelievo degli operandi (Operand Assembly)
  - L'unità di controllo esamina il contenuto di IR e ricava il tipo di operazione ed i relativi operandi
  - Eventuali operandi contenuti in memoria vengono prelevati
- Esecuzione dell'istruzione (Execute)
  - L'unità di controllo richiede all'ALU di effettuare l'operazione specificata nell'istruzione ed invia il risultato ad un registro o alla memoria

Algoritmo del processore

- L'unità di controllo opera in un ciclo infinito:
  1. Prelievo
  2. Preparazione degli operandi
  3. Esecuzione

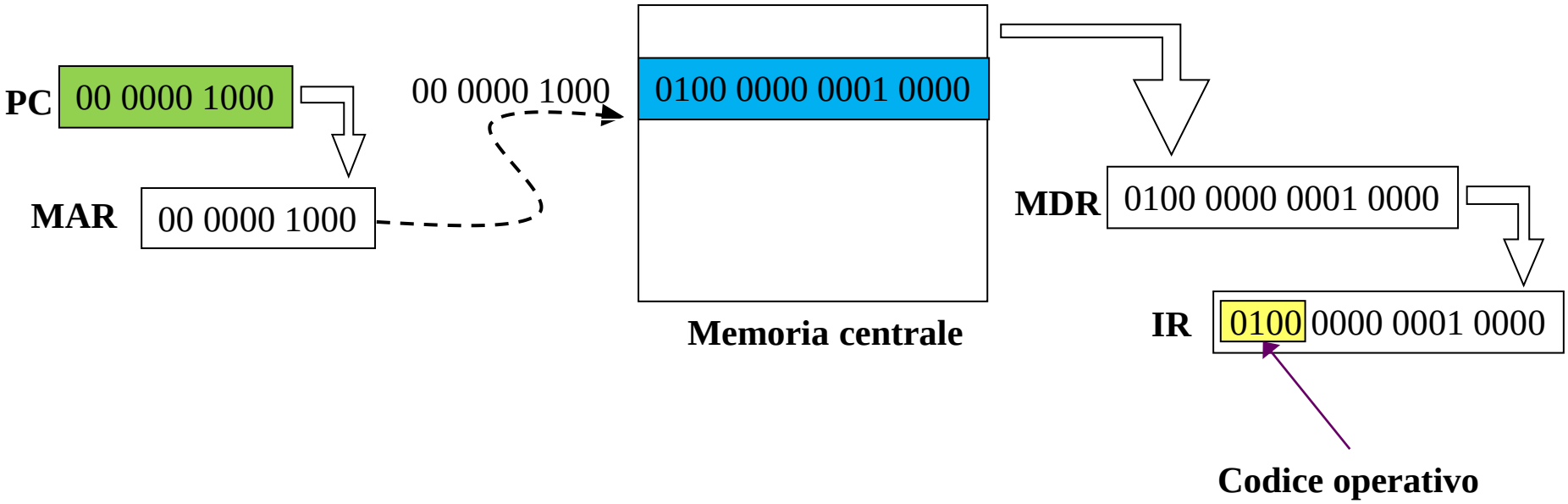


Nella fase di bootstrap il ciclo viene inizializzato;

viene assegnato un valore iniziale opportuno a PC in modo da avviare l'esecuzione di un programma iniziale in ROM

Fase fetch

- IR=M[PC]; PC=PC+k



Fase fetch: sottopassi

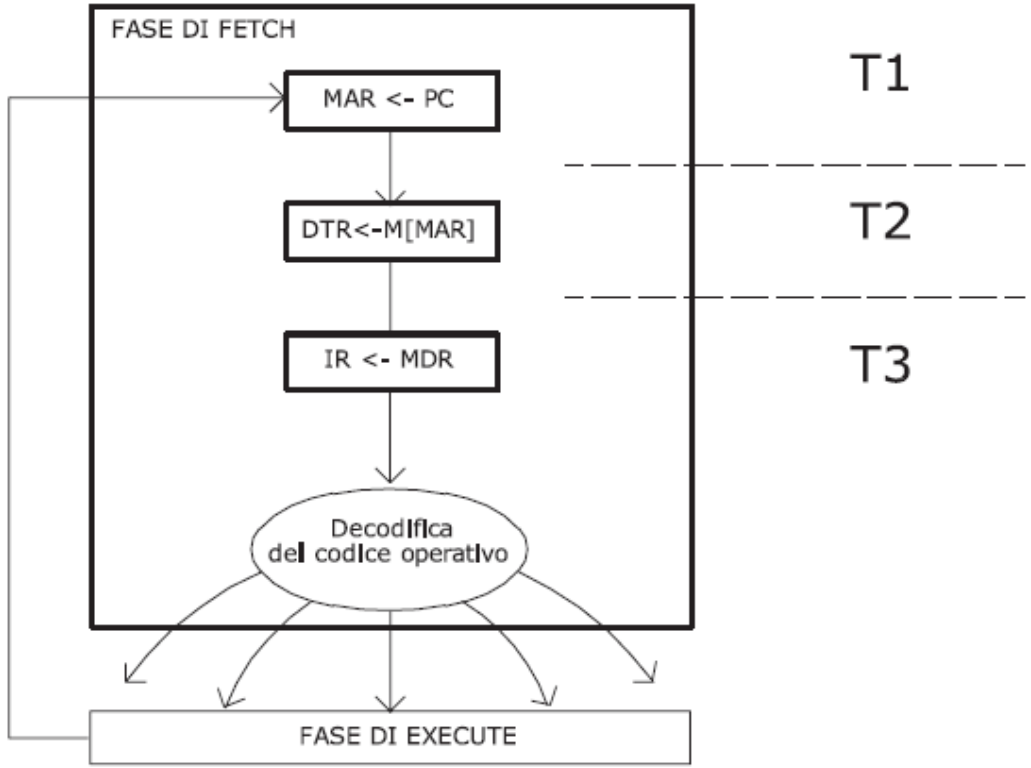
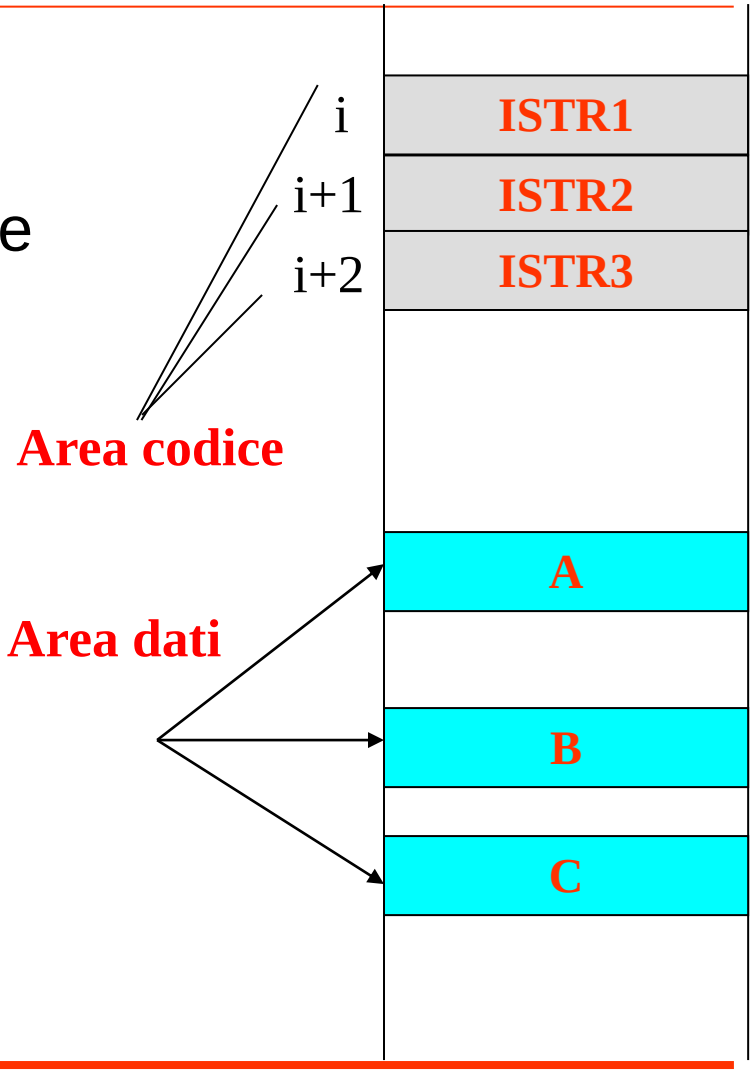


Figura 5.11 - Esplosione della fase di fetch.

Esecuzione sequenziale delle istruzioni

- Alla fine della fase fetch:
  - PC=PC+k
  - k = lunghezza istruzioni in byte
- serve a far sì che PC punti all'istruzione posta subito dopo
- Esecuzione delle istruzioni in sequenza così come sono memorizzate
- Per cicli e figure di controllo (if-then, if-then-else, switch) occorrono istruzioni di salto



Sequenze di istruzioni in memoria

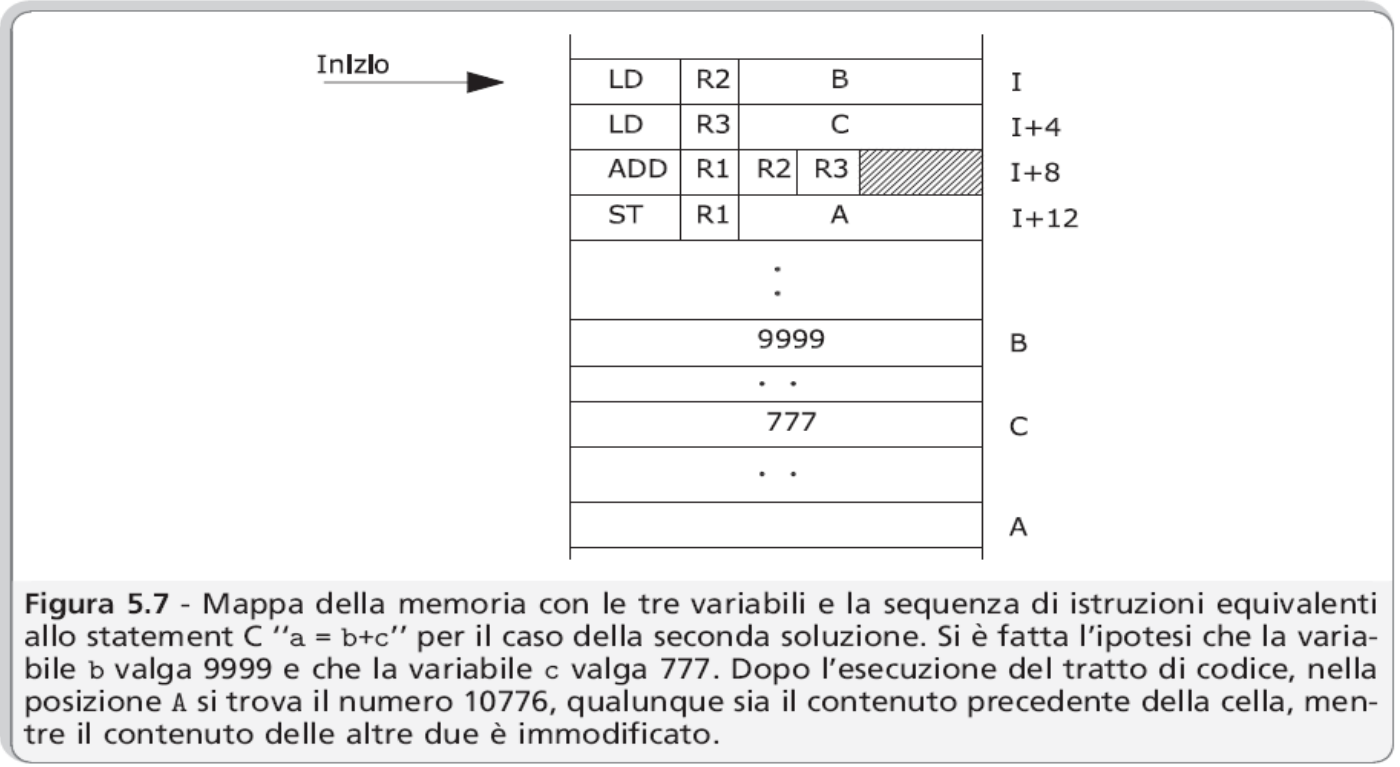
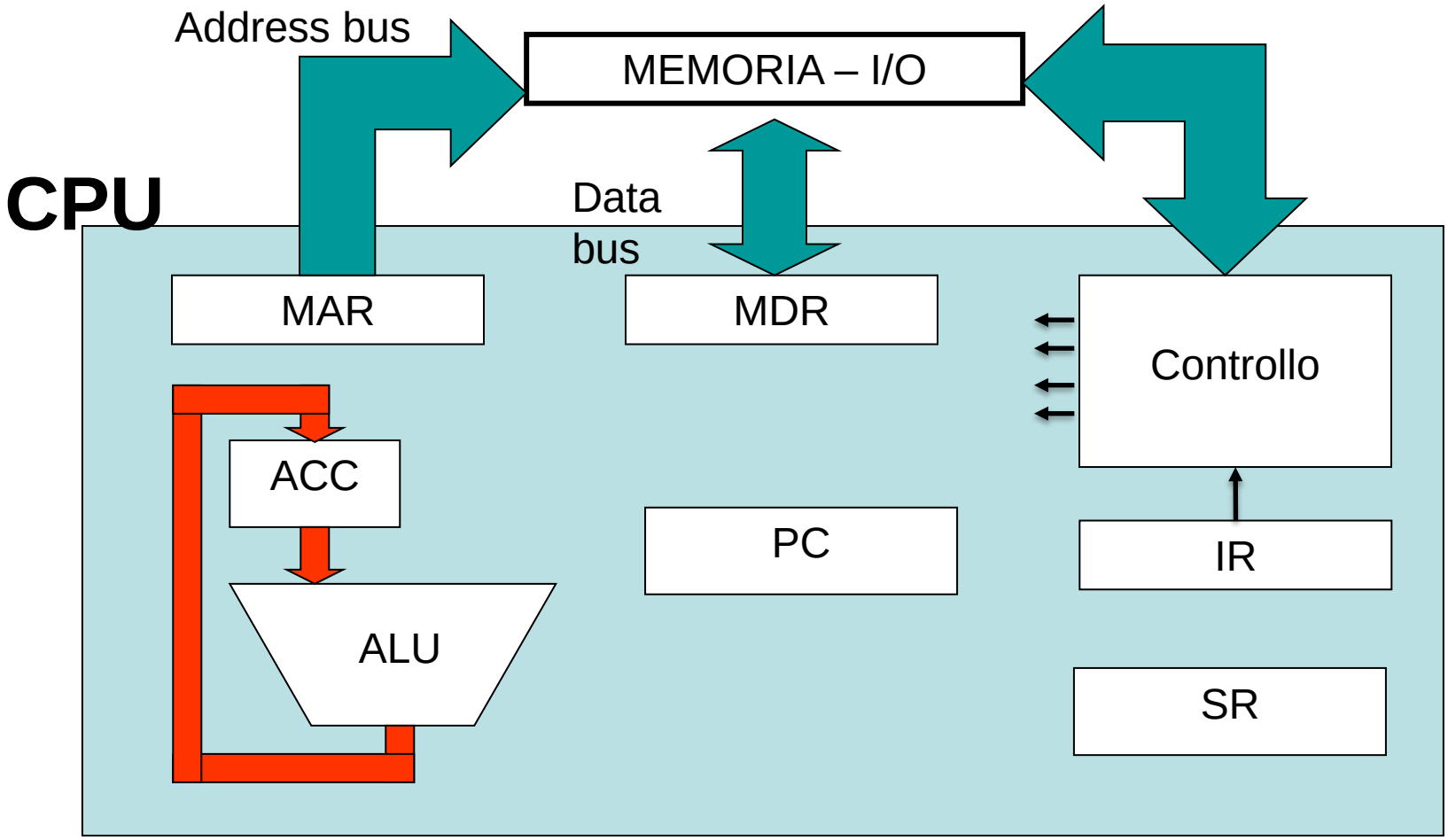


Figura 5.7 - Mappa della memoria con le tre variabili e la sequenza di istruzioni equivalenti allo statement C "a = b+c" per il caso della seconda soluzione. Si è fatta l'ipotesi che la variabile b valga 9999 e che la variabile c valga 777. Dopo l'esecuzione del tratto di codice, nella posizione A si trova il numero 10776, qualunque sia il contenuto precedente della cella, mentre il contenuto delle altre due è immodificato.

Lo statement *a* = *b* + *c* si traduce come:

```
LD   R2, B          ;B indirizzo a cui è allocata la parola b
LD   R3, C          ;C indirizzo a cui è allocata la parola c
ADD R1, R2, R3
ST   A, R1          ;A indirizzo a cui è allocata la parola a
```

Modello architetturale di un processore: modello ad accumulatore



Processori ad accumulatore

- In un processore ad accumulatore tutte le istruzioni aritmetiche, logiche e di confronto hanno un operando in memoria ed un altro (riferito implicitamente) contenuto in un registro interno del processore detto *accumulatore*
- Esempio: per realizzare [x]+[y] $\rightarrow$ z con una macchina ad accumulatore (es. Motorola 6809) occorre eseguire una sequenza di istruzioni del tipo

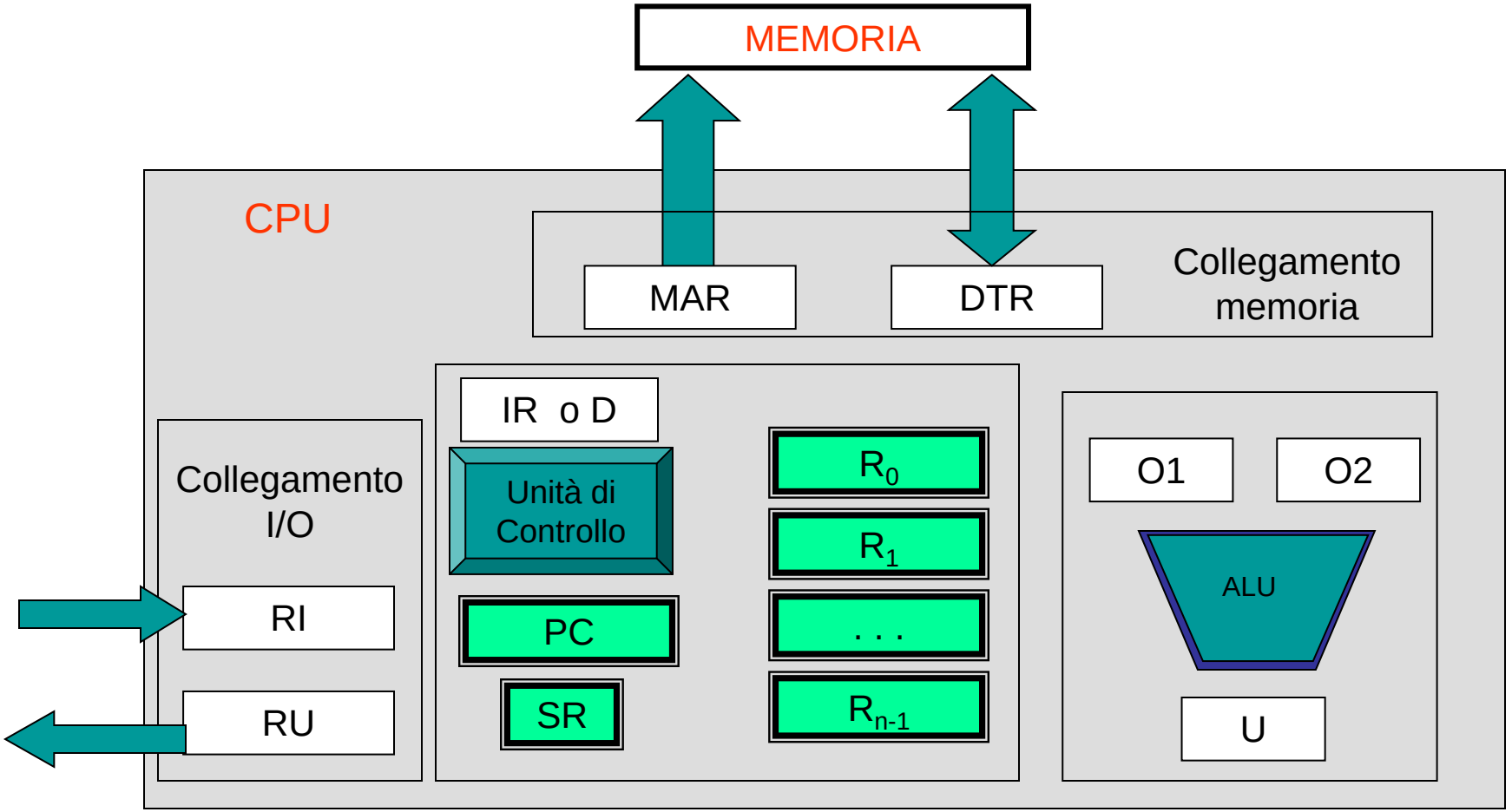
`LDA x`	[x] $\rightarrow$ accumulatore (Istruzione LOAD)
`ADDA y`	[y]+[accumulatore] $\rightarrow$ accumulatore
`STA z`	[accumulatore] $\rightarrow$ z (Istruzione STORE)

- Dimensione e velocità di esecuzione dei programmi penalizzate dal fatto che tutte le istruzioni devono indirizzare un dato in memoria

Esempio: y=a*b+c*d

`LDA a`	[a] → accumulatore (Istruzione LOAD)
`MULU b`	[b]*[accumulatore] → accumulatore
`STA t`	[accumulatore] → t (Istruzione STORE)
`LDA c`	[c] → accumulatore (Istruzione LOA D)
`MULU d`	[d]*[accumulatore] → accumulatore
`ADDA t`	[t]+[accumulatore] → accumulatore
`STA y`	[accumulatore] → y (Istruzione STORE)

Modello architetturale di un processore: modello a registri generali



Processore a registri generali

- Il processore dispone di un set di registri R_0, R_1, ..., R_{N-1} utilizzabili indifferentemente dal programmatore
- Le istruzioni che operano su registri sono più veloci di quelle che operano su locazioni di memoria
- Il programmatore può utilizzare i registri del processore per memorizzare i dati di uso più frequente
  - concetto di gerarchia di memorie
- Istruzioni con operandi registri:
  $[R_0] + [R_1] \rightarrow R_1$
- Istruzioni con operandi memoria-registri:
  $[R_0] + M[1000] \rightarrow R_0$ *memory-to-register*
  $M[1000] + [R_1] \rightarrow M[1000]$ *register-to-memory*

Architetture a stack

- In un’architettura a stack si impiega una struttura di memoria organizzata a stack
- Lo stack può essere realizzato all’interno della CPU e/o utilizzando memorie esterne
- Gli operandi devono essere memorizzati sullo stack ed il risultato di una qualsiasi operazione (eseguita sullo stack) sostituisce successivamente gli operandi
- Di solito il valore in cima allo stack viene «duplicato» all’interno della CPU

CPU: struttura interna ad 1 bus

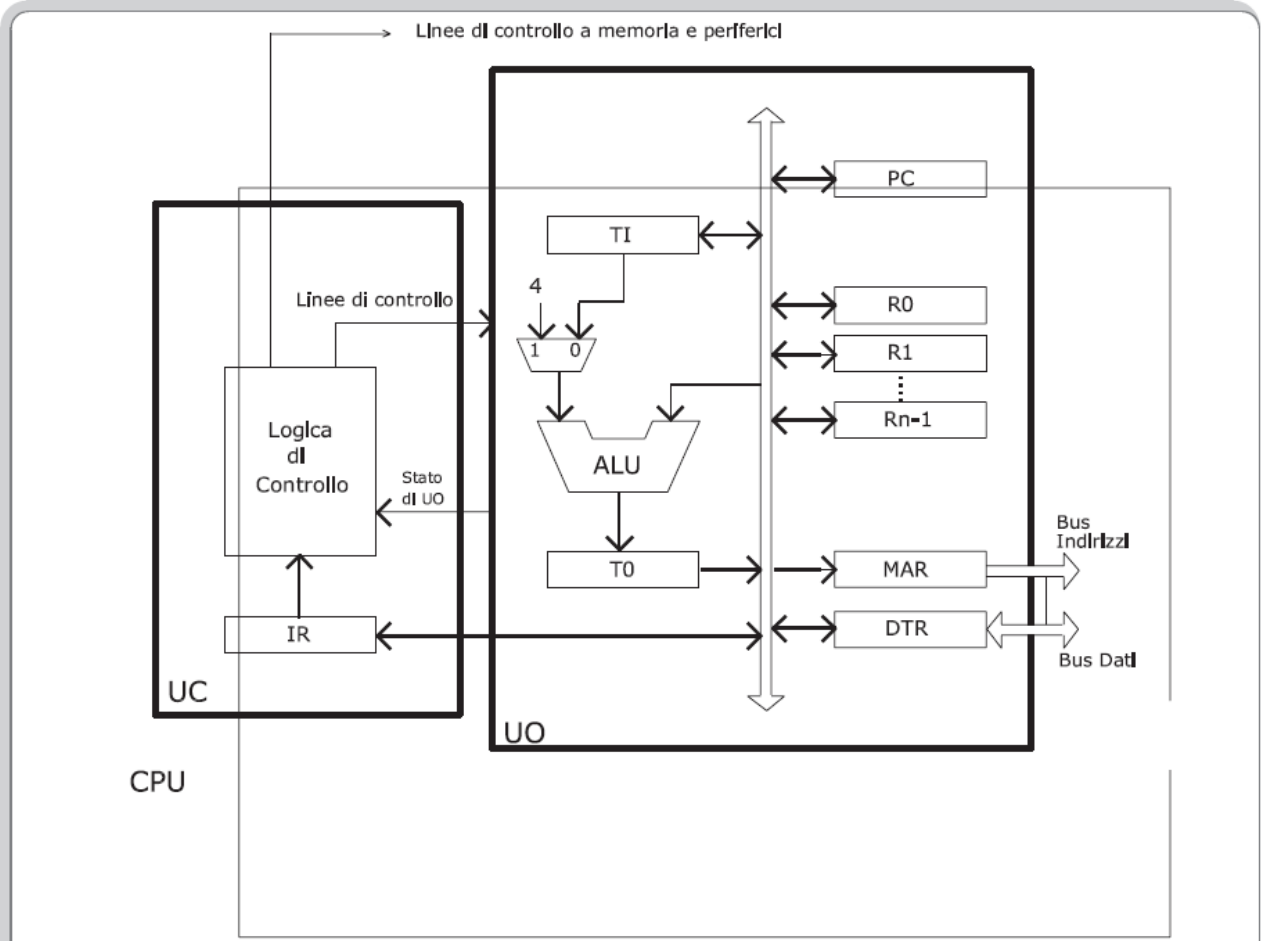
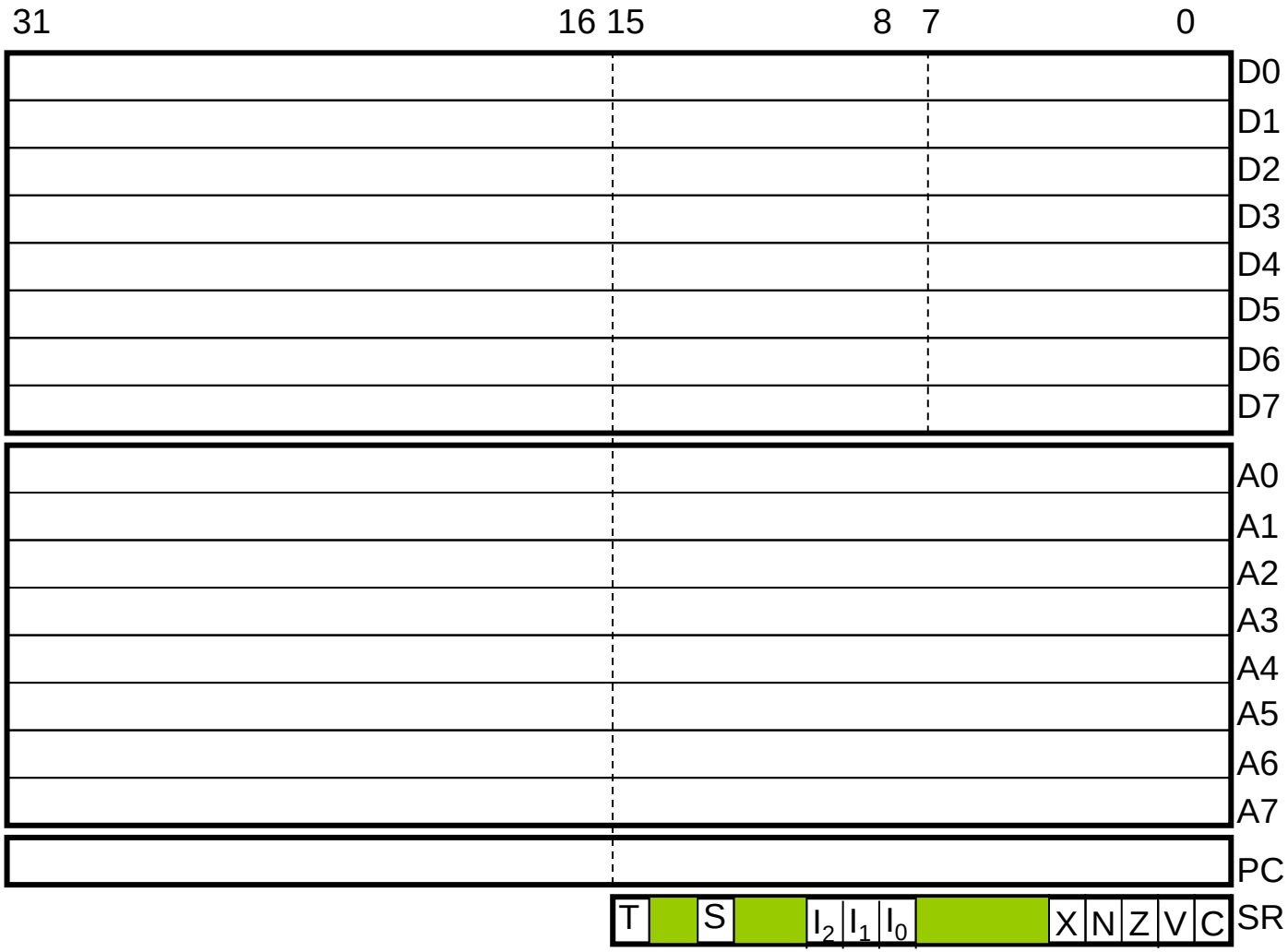


Figura 5.10 - Organizzazione del percorso dati a singolo bus interno.

Modello di programmazione del MC68000



Caratteristiche del processore MC68000

- Dati:
  - All'esterno:

    parola di 16 bit (16 pin per i dati)
  - All'interno:

    registri di 32 bit
- Indirizzi:
  - All'esterno:

    24 bit (spazio di indirizzamento fisico 2^{24} = 16M)
    - 512 pagine (2^9) da 32K (2^{15})
  - All'interno:

    32 bit

MC68000 e memoria

- Memoria ***byte addressable***
- Le istruzioni del processore consentono al programmatore di accedere a:
  - singoli byte (sia ad indirizzi pari che dispari)
  - word di 16 bit ***allineate*** ad indirizzi pari
  - longword da 32 bit ***allineate*** ad indirizzi pari
- L'accesso a word e longword ad indirizzi dispari non è consentito
- Word e longword sono memorizzate con la disposizione dei byte secondo la ***convenzione big-endian***

Esempio: y=a*b+c*d (MC68000)

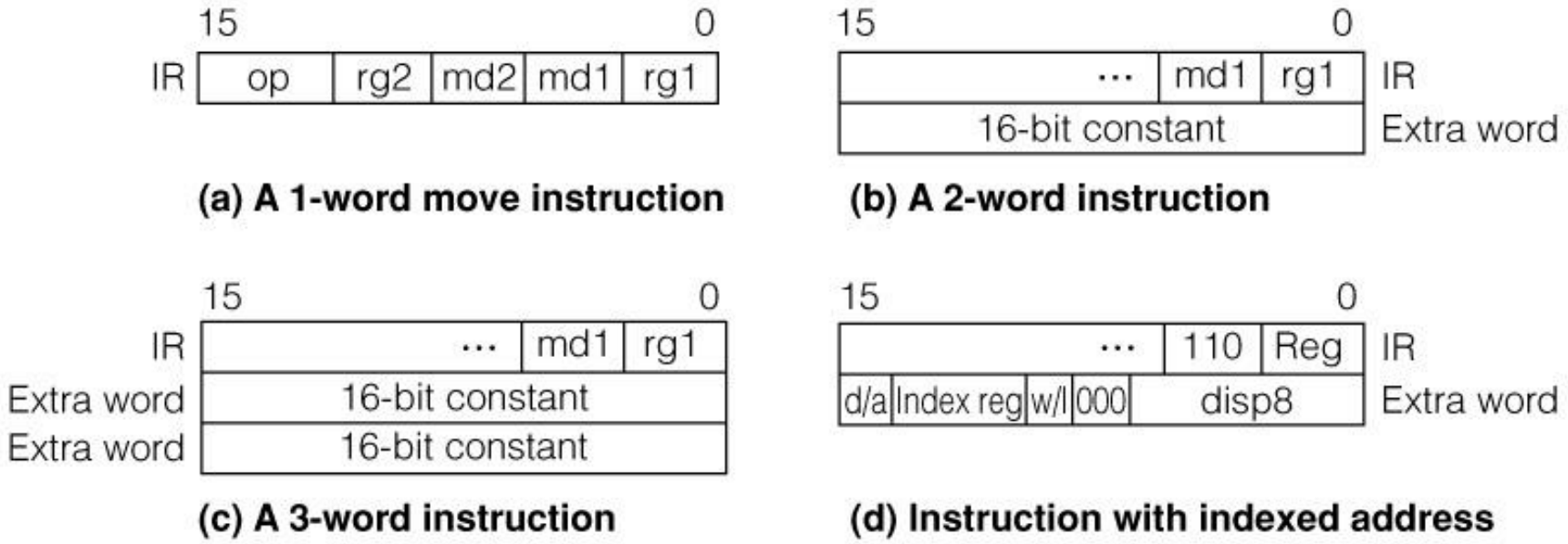
`MOVE a,D0`	[a] → D0
`MULU b,D0`	[b]*[D0] → D0
`MOVE c,D1`	[c] → D1
`MULU d,D1`	[d]*[D1] → D1
`ADD.L D0,D1`	[D0]+[D1] → D1
`MOVE.L D1,y`	[D1] → y

Rispetto all'esempio del processore ad accumulatore, il programma:

- necessita di una istruzione in meno (STA a)
- fa un accesso in meno in scrittura sulla memoria (STA a)
- fa un accesso in meno in lettura sulla memoria (ADDA t)

Il programma illustra i vantaggi di un'architettura con più registri generali rispetto ad un processore con singolo accumulatore

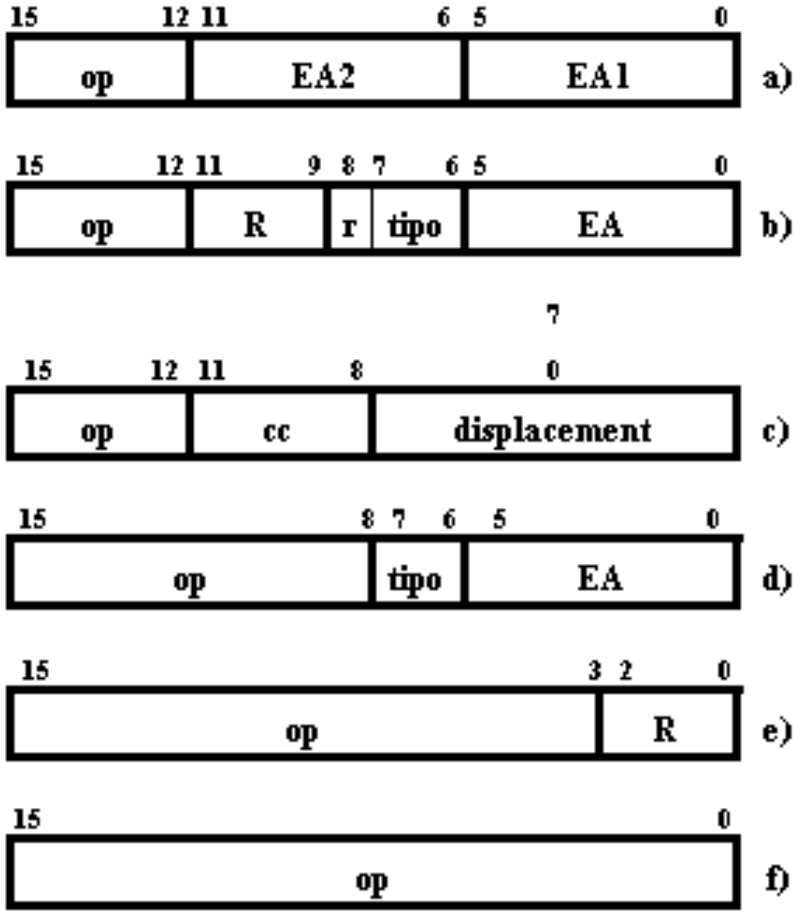
Codifica istruzioni MC68000



Codifica a lunghezza variabile multipla di 2 byte:
opcode word + extra word(s)

Codifica istruzioni MC68000 (2)

Si analizza qui solo la struttura della prima word (16 bit) del codice di una istruzione, detta OPCODE WORD



op= codice operativo
R =indirizzo di registro D oppure A
tipo= tipo di operando (B,W,L)
displacement =indirizzo di salto relativo

EA = Effective Address (cfr. § 4)
r =il registro è origine o destinazione
cc= codice di condizione

Codifica delle istruzioni di un processore in stile RISC

ESEMPIO: una CPU con istruzioni a lunghezza fissa di 32 bit

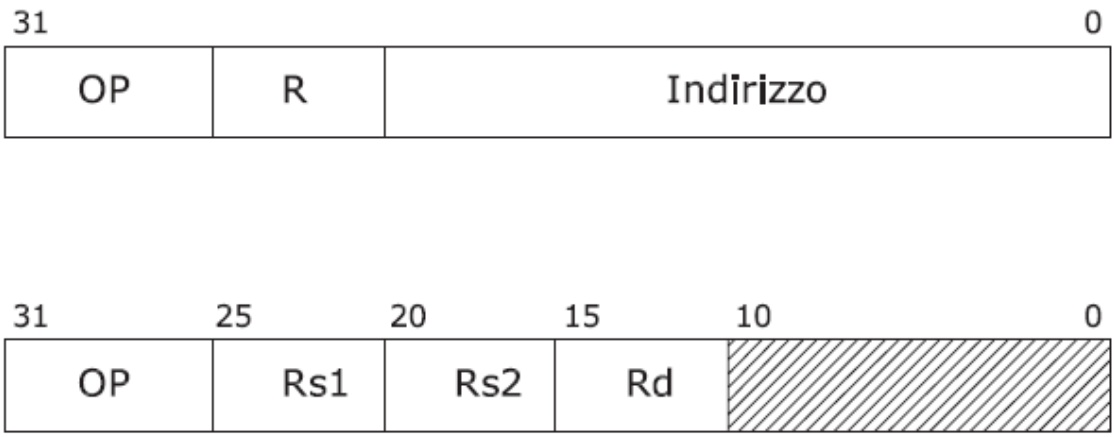


Figura 5.6 - Due possibili formati per la codifica delle istruzioni di macchina su parole di 32 bit. Il campo OP contiene il codice di operazione ed è sempre presente; gli altri campi dipendono dal codice di operazione stesso. Il primo formato prevede due operandi: un registro della CPU e un indirizzo della memoria. Il secondo formato prevede tre operandi, tutti registri della CPU; il campo tratteggiato è inutilizzato. La numerazione dei bit all'interno delle parole adotta la convenzione di assegnare il numero 0 al meno significativo.

```
LD   R1, Var          ; R1 ← M[Var]
ADD R1, R2, R3        ; R1 ← R2 + R3
```