# Esercizi Cache

## organizzazione e tecniche di allocazione

**Es4c:** Con riferimento alle sequenze mostrate nell'es4a, supponendo di avere una cache ad associazione diretta in grado di memorizzare 8 parole, quale fra le seguenti dimensioni di blocco

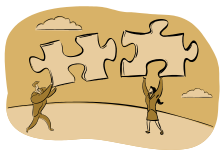
a) 1 parola

b) 2 parole

c) 4 parole

è la più conveniente (minimizza il numero di miss) ?

**Es4d:** Ripetere l'esercizio 4a nel caso di una cache ad associazione a 2 vie in grado di memorizzare 16 blocchi, ognuno costituito da 1 parola.



**Soluz. 4c:**

• trattandosi di una cache con associazione diretta, l'indirizzo di memoria centrale deve essere suddiviso nei campi etichetta, linea, e parola, ed in particolare:

a) blocco costituito da una sola parola:
il campo parola ha 0 bit; il campo linea sarà costituito da 3 bit in quanto occorre indirizzare 8 (= $2^3$) linee (blocchi) di cache; il campo tag sarà quindi costituito da (32 – 3 – 0) = 29 bit;

b) blocco costituito da 2 parole:
il campo parola ha 1 bit ($2^1$ parole); il campo linea sarà costituito da 2 bit in quanto occorre indirizzare 4 (= $2^2$) linee (blocchi) di cache; il campo tag sarà quindi costituito da (32 – 2 – 1) = 29 bit;

c) blocco costituito da 4 parole:
il campo parola ha 2 bit ($2^2$ parole); il campo linea sarà costituito da 1 bit in quanto occorre indirizzare 2 (= $2^1$) linee (blocchi) di cache; il campo tag sarà quindi cosituito da (32 – 1 – 2) = 29 bit.

Blocco di 1 parola

| | Sequenza 1 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|linea] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000001 | miss | blocco $1_{dec}$ in linea 001 |
| 2 | 00000000000000000000000010000110 | miss | blocco $134_{dec}$ in linea 110 |
| 3 | 00000000000000000000000011010100 | miss | blocco $212_{dec}$ in linea 100 |
| 4 | 00000000000000000000000000000001 | hit | |
| 5 | 00000000000000000000000010000111 | miss | blocco $135_{dec}$ in linea 111 |
| 6 | 00000000000000000000000011010101 | miss | blocco $213_{dec}$ in linea 101 |
| 7 | 00000000000000000000000010100010 | miss | blocco $162_{dec}$ in linea 010 |
| 8 | 00000000000000000000000010100001 | miss | blocco $161_{dec}$ in linea 001 [ $1_{dec}$ out] |
| 9 | 00000000000000000000000000000010 | miss | blocco $2_{dec}$ in linea 010 [$162_{dec}$ out] |
| 10 | 00000000000000000000000001101100 | miss | blocco $44_{dec}$ in linea 100 [$212_{dec}$ out] |
| 11 | 00000000000000000000000001101001 | miss | blocco $41_{dec}$ in linea 001 [$161_{dec}$ out] |
| 12 | 00000000000000000000000011011101 | miss | blocco $221_{dec}$ in linea 101 [$213_{dec}$ out] |

Blocco di 1 parola

| | Sequenza 2 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|linea] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000100 | miss | blocco $4_{dec}$ in linea 100 |
| 2 | 00000000000000000000000011010110 | miss | blocco $214_{dec}$ in linea 110 |
| 3 | 00000000000000000000000010101111 | miss | blocco $175_{dec}$ in linea 111 |
| 4 | 00000000000000000000000011010110 | hit | |
| 5 | 00000000000000000000000000000100 | hit | |
| 6 | 00000000000000000000000001010100 | miss | blocco $84_{dec}$ in linea 100 [ $4_{dec}$ out] |
| 7 | 00000000000000000000000001000001 | miss | blocco $65_{dec}$ in linea 001 |
| 8 | 00000000000000000000000010101110 | miss | blocco $174_{dec}$ in linea 110 [$214_{dec}$ out] |
| 9 | 00000000000000000000000001000000 | miss | blocco $64_{dec}$ in linea 000 |
| 10 | 00000000000000000000000001101001 | miss | blocco $105_{dec}$ in linea 001 [ $65_{dec}$ out] |
| 11 | 00000000000000000000000001010101 | miss | blocco $85_{dec}$ in linea 101 |
| 12 | 00000000000000000000000011010111 | miss | blocco $215_{dec}$ in linea 111 [$175_{dec}$ out] |

Blocco di 2 parole

l = linea
p = parola

| | Sequenza 1 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|l\|p] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000001 | miss | blocco $1_{dec}/2 = 0_{dec}$ in linea 00 |
| 2 | 00000000000000000000000010000110 | miss | blocco $134_{dec}/2 = 67_{dec}$ in linea 11 |
| 3 | 00000000000000000000000011010100 | miss | blocco $212_{dec}/2 = 106_{dec}$ in linea 10 |
| 4 | 00000000000000000000000000000001 | hit | |
| 5 | 00000000000000000000000010000111 | hit | |
| 6 | 00000000000000000000000011010101 | hit | |
| 7 | 00000000000000000000000010100010 | miss | blocco $162_{dec}/2 = 81_{dec}$ in linea 01 |
| 8 | 00000000000000000000000010100001 | miss | blocco $161_{dec}/2 = 80_{dec}$ in linea 00 a |
| 9 | 00000000000000000000000000000010 | miss | blocco $2_{dec}/2 = 1_{dec}$ in linea 01 b |
| 10 | 00000000000000000000000000101100 | miss | blocco $44_{dec}/2 = 22_{dec}$ in linea 10 c |
| 11 | 00000000000000000000000000101001 | miss | blocco $41_{dec}/2 = 20_{dec}$ in linea 00 d |
| 12 | 00000000000000000000000011011101 | miss | blocco $221_{dec}/2 = 110_{dec}$ in linea 10 e |

a = [ $0_{dec}$ out]
b = [ $81_{dec}$ out]
c = [$106_{dec}$ out]
d = [ $80_{dec}$ out]
e = [ $22_{dec}$ out]

Blocco di 2 parole

l = linea
p = parola

| | Sequenza 2 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|l\|p] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000100 | miss | blocco $4_{dec}/2 = 2_{dec}$ in linea 10 |
| 2 | 00000000000000000000000011010110 | miss | blocco $214_{dec}/2 = 107_{dec}$ in linea 11 |
| 3 | 00000000000000000000000010101111 | miss | blocco $175_{dec}/2 = 87_{dec}$ in linea 11 a |
| 4 | 00000000000000000000000011010110 | miss | blocco $214_{dec}/2 = 102_{dec}$ in linea 11 b |
| 5 | 00000000000000000000000000000100 | hit | |
| 6 | 00000000000000000000000001010100 | miss | blocco $84_{dec}/2 = 42_{dec}$ in linea 10 c |
| 7 | 00000000000000000000000001000001 | miss | blocco $65_{dec}/2 = 32_{dec}$ in linea 00 |
| 8 | 00000000000000000000000010101110 | miss | blocco $174_{dec}/2 = 87_{dec}$ in linea 11 d |
| 9 | 00000000000000000000000001000000 | hit | |
| 10 | 00000000000000000000000001101001 | miss | blocco $105_{dec}/2 = 52_{dec}$ in linea 00 e |
| 11 | 00000000000000000000000001010101 | hit | |
| 12 | 00000000000000000000000011010111 | miss | blocco $215_{dec}/2 = 102_{dec}$ in linea 11 f |

a = [$102_{dec}$ out]
b = [ $87_{dec}$ out]
c = [ $2_{dec}$ out]
d = [$102_{dec}$ out]
e = [ $32_{dec}$ out]
f = [ $87_{dec}$ out]

Blocco di 4 parole

l = linea
p = parola

| | Sequenza 1 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|l\|p] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000001 | miss | blocco $1_{dec}/4 = 0_{dec}$ in linea 0 |
| 2 | 00000000000000000000000010000110 | miss | blocco $134_{dec}/4 = 33_{dec}$ in linea 1 |
| 3 | 00000000000000000000000011010100 | miss | blocco $212_{dec}/4 = 53_{dec}$ in linea 1 a |
| 4 | 00000000000000000000000000000001 | hit | |
| 5 | 00000000000000000000000010000111 | miss | blocco $135_{dec}/4 = 33_{dec}$ in linea 1 b |
| 6 | 00000000000000000000000011010101 | miss | blocco $213_{dec}/4 = 53_{dec}$ in linea 1 c |
| 7 | 00000000000000000000000010100010 | miss | blocco $162_{dec}/4 = 40_{dec}$ in linea 0 d |
| 8 | 00000000000000000000000010100001 | hit | |
| 9 | 00000000000000000000000000000010 | miss | blocco $2_{dec}/4 = 0_{dec}$ in linea 0 e |
| 10 | 00000000000000000000000000101100 | miss | blocco $44_{dec}/4 = 11_{dec}$ in linea 1 f |
| 11 | 00000000000000000000000000101001 | miss | blocco $41_{dec}/4 = 10_{dec}$ in linea 0 g |
| 12 | 00000000000000000000000011011101 | miss | blocco $221_{dec}/4 = 55_{dec}$ in linea 1 h |

a = [ $33_{dec}$ out]
b = [ $53_{dec}$ out]
c = [ $33_{dec}$ out]
d = [ $0_{dec}$ out]
e = [ $40_{dec}$ out]

f = [ $53_{dec}$ out]
g = [ $0_{dec}$ out]
h = [ $11_{dec}$ out]

Blocco di 4 parole

l = linea
p = parola

| | Sequenza 2 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|l\|p] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000100 | miss | blocco $4_{dec}/4 = 1_{dec}$ in linea 1 |
| 2 | 00000000000000000000000011010110 | miss | blocco $214_{dec}/4 = 53_{dec}$ in linea 1 a |
| 3 | 00000000000000000000000010101111 | miss | blocco $175_{dec}/4 = 43_{dec}$ in linea 1 b |
| 4 | 00000000000000000000000011010110 | miss | blocco $214_{dec}/4 = 53_{dec}$ in linea 1 c |
| 5 | 00000000000000000000000000000100 | miss | blocco $4_{dec}/4 = 1_{dec}$ in linea 1 d |
| 6 | 00000000000000000000000001010100 | miss | blocco $84_{dec}/4 = 21_{dec}$ in linea 1 e |
| 7 | 00000000000000000000000001000001 | miss | blocco $65_{dec}/4 = 16_{dec}$ in linea 0 |
| 8 | 00000000000000000000000010101110 | miss | blocco $174_{dec}/4 = 43_{dec}$ in linea 1 f |
| 9 | 00000000000000000000000001000000 | hit | |
| 10 | 00000000000000000000000001101001 | miss | blocco $105_{dec}/4 = 26_{dec}$ in linea 0 g |
| 11 | 00000000000000000000000001010101 | miss | blocco $85_{dec}/4 = 21_{dec}$ in linea 1 h |
| 12 | 00000000000000000000000011010111 | miss | blocco $215_{dec}/4 = 53_{dec}$ in linea 1 i |

a = [ $1_{dec}$ out]
b = [ $53_{dec}$ out]
c = [ $43_{dec}$ out]
d = [ $53_{dec}$ out]
e = [ $1_{dec}$ out]

f = [ $21_{dec}$ out]
g = [ $16_{dec}$ out]
h = [ $43_{dec}$ out]
i = [ $21_{dec}$ out]

Riassumendo i risultati ottenuti abbiamo:

| Dimensione blocco | Numero totale miss | Numero totale hit | Migliore |
|---|---|---|---|
| 1 | 21 | 3 | |
| 2 | 18 | 6 | X |
| 4 | 21 | 3 | |

# Esercizi Cache

## organizzazione e tecniche di allocazione

**Es4c:** Con riferimento alle sequenze mostrate nell'es4a, supponendo di avere una cache ad associazione diretta in grado di memorizzare 8 parole, quale fra le seguenti dimensioni di blocco

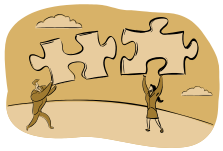
a) 1 parola

b) 2 parole

c) 4 parole

è la più conveniente (minimizza il numero di miss) ?

**Es4d:** Ripetere l'esercizio 4a nel caso di una cache ad associazione a 2 vie in grado di memorizzare 16 blocchi, ognuno costituito da 1 parola.



**Soluz. Es4d:**

- trattandosi di una cache con associazione a 2 vie, l'indirizzo di memoria centrale deve essere suddiviso nei campi etichetta, set, e parola, ed in particolare:
  - poiché un blocco è costituito da 1 parola, il campo parola è di 0 bit
  - il campo set sarà costituito da 3 bit in quanto: il numero totale di linee della cache è 16 (= $2^4$), che devono essere organizzate in gruppi di 2 linee (vie) ognuno; pertanto il numero di gruppi (set) è 8 (= $2^4/2$)
  - il campo tag sarà quindi costituito dai rimanenti $(32 - 3 - 0) = 29$ bit più significativi
- di seguito si mostra, per ogni sequenza di indirizzi, la corrispondente sequenza di hit e miss

| | Sequenza 1 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|set] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000001 | miss | blocco $1_{dec}$ in set 001[0] |
| 2 | 00000000000000000000000010000110 | miss | blocco $134_{dec}$ in set 110[0] |
| 3 | 00000000000000000000000011010100 | miss | blocco $212_{dec}$ in set 100[0] |
| 4 | 00000000000000000000000000000001 | hit | |
| 5 | 00000000000000000000000010000111 | miss | blocco $135_{dec}$ in set 111[0] |
| 6 | 00000000000000000000000011010101 | miss | blocco $213_{dec}$ in set 101[0] |
| 7 | 00000000000000000000000010100010 | miss | blocco $162_{dec}$ in set 010[0] |
| 8 | 00000000000000000000000010100001 | miss | blocco $161_{dec}$ in set 001[1] |
| 9 | 00000000000000000000000000000010 | miss | blocco $2_{dec}$ in set 010[1] |
| 10 | 00000000000000000000000000101100 | miss | blocco $44_{dec}$ in set 100[1] |
| 11 | 00000000000000000000000000101001 | miss | blocco $41_{dec}$ in set 001[1] |
| 12 | 00000000000000000000000011011101 | miss | blocco $221_{dec}$ in set 101[1] |

set 001[0] si riferisce alla linea 0 del set 001
set 001[1] si riferisce alla linea 1 del set 001

| | Sequenza 2 | h/m | cache |
|---|---|---|---|
| | [ tag \|set] | | |
| 1 | 00000000000000000000000000000100 | miss | blocco $4_{dec}$ in set 100[0] |
| 2 | 00000000000000000000000011010110 | miss | blocco $214_{dec}$ in set 110[0] |
| 3 | 00000000000000000000000010101111 | miss | blocco $175_{dec}$ in set 111[0] |
| 4 | 00000000000000000000000011010110 | hit | |
| 5 | 00000000000000000000000000000100 | hit | |
| 6 | 00000000000000000000000001010100 | miss | blocco $84_{dec}$ in set 100[1] |
| 7 | 00000000000000000000000001000001 | miss | blocco $65_{dec}$ in set 001[0] |
| 8 | 00000000000000000000000010101110 | miss | blocco $174_{dec}$ in set 110[1] |
| 9 | 00000000000000000000000001000000 | miss | blocco $64_{dec}$ in set 000[0] |
| 10 | 00000000000000000000000001101001 | miss | blocco $105_{dec}$ in set 001[1] |
| 11 | 00000000000000000000000001010101 | miss | blocco $85_{dec}$ in set 101[0] |
| 12 | 00000000000000000000000011010111 | miss | blocco $215_{dec}$ in set 111[1] |

set 001[0] si riferisce alla linea 0 del set 001
set 001[1] si riferisce alla linea 1 del set 001

**Es5:** Sia data la seguente sequenza di indirizzi in lettura (l) o scrittura (s) emessi dalla CPU:

| | Indirizzo | l/s | dato scritto (in esadecimale) |
|---|---|---|---|
| 1 | 000100000000 | l | |
| 2 | 000100001000 | l | |
| 3 | 000100001100 | s | B1 |
| 4 | 000100001100 | l | |
| 5 | 000100010000 | s | B4 |
| 6 | 000100010000 | l | |
| 7 | 000100010100 | s | B7 |

Si assuma che la dimensione di parola coincida con un byte, e la presenza di una cache di ampiezza 16B, dimensione di blocco 4B, inizialmente vuota, e ad associazione a 2 vie (con politica di rimpiazzo LRU e politica di scrittura write-through).
Si assuma che la memoria abbia il contenuto esadecimale mostrato di seguito:

| ind | byte | ind | byte | ind | byte | ind | byte |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 0C | 101 | 00 | 102 | 07 | 103 | 02 |
| 104 | 00 | 105 | 00 | 106 | 00 | 107 | 00 |
| 108 | AE | 109 | 13 | 10A | A1 | 10B | 23 |
| 10C | A1 | 10D | 42 | 10E | 90 | 10F | 75 |
| 110 | B9 | 111 | 16 | 112 | 00 | 113 | 00 |
| 114 | 0A | 115 | 07 | 116 | 03 | 117 | 71 |

ind = indirizzo

**Si mostri come sia il contenuto della cache che il contenuto della memoria cambia.**

**Soluzione:**

Poiché un blocco è costituito da 4B, e la cache è di 16B, si avranno in cache 16/4 = 4 linee.

Essendo l'associatività a due linee (2 vie), la cache sarà costituita da due insiemi (set 0 e set 1) ognuno di 2 linee.

Quindi i 12 bit di indirizzo saranno suddivisi nel seguente modo:

- i 2 bit meno significativi individueranno il byte all'interno del blocco;
- il terzo bit da destra individuerà l'insieme (set 0 o set 1);
- i restanti bit costituiranno il campo tag.

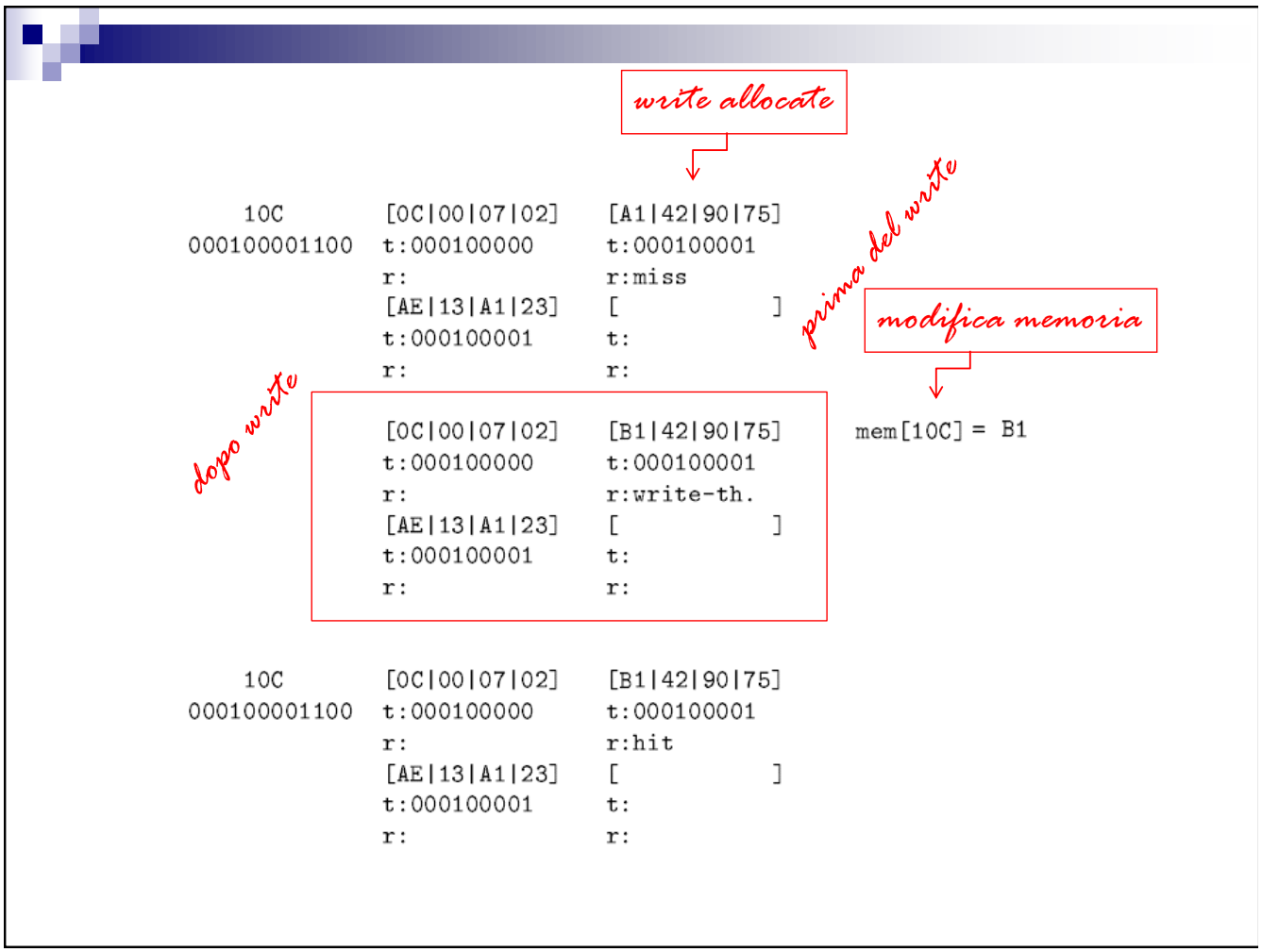
Mostriamo di seguito l'evoluzione del contenuto della cache e della memoria.

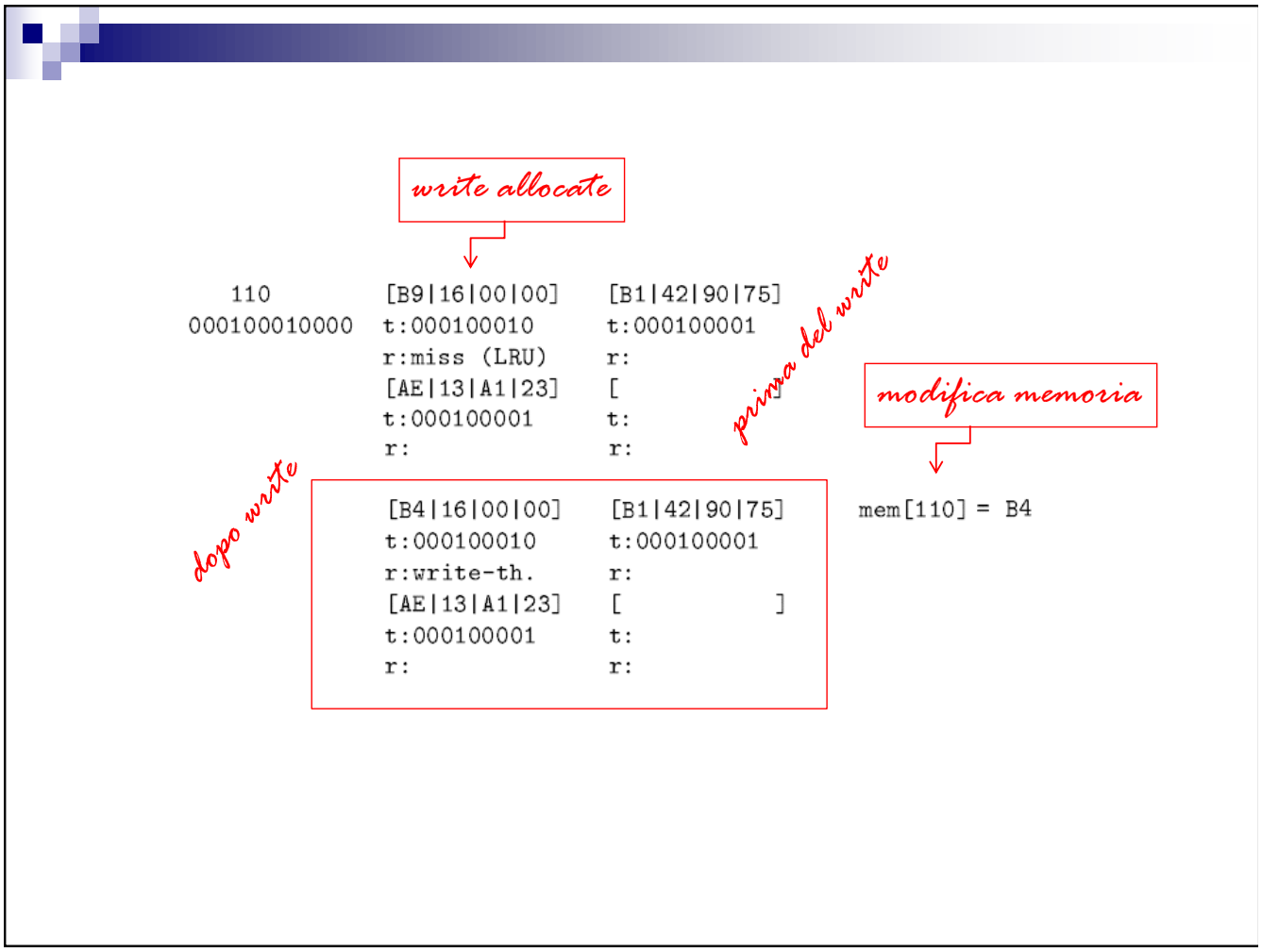
Per la cache, nel caso in cui tutte e due le linee di un insieme (set) siano libere, si sceglie la linea con indirizzo minore per la allocazione (scelta arbitraria: si poteva usare un criterio diverso).

In caso di miss per una operazione di scrittura, si assume la politica "write allocate", cioè si porta prima in cache il blocco che contiene la parola da scrivere e poi si effettua la scrittura.

Codifica della soluzione

| ind. rif. memoria | cache dati set 0 | set 1 | modifica memoria mem[ind.] = cont. |
|---|---|---|---|
| hex | [ linea 0 ] | [ linea 2 ] | |
| binario | t: tag | t: tag | |
| | r: rif. | r: rif. | |
| | [ linea 1 ] | [ linea 3 ] | |
| | t: tag | t: tag | |
| | r: rif. | r: rif. | |
| 100 | [0C\|00\|07\|02] | | |
| 000100000000 | t:000100000 | | |
| | r:miss | | |
| | [ ] | | |
| | t: | | |
| | r: | | |
| 108 | [0C\|00\|07\|02] | | |
| 000100001000 | t:000100000 | | |
| | r: | | |
| | [AE\|13\|A1\|23] | | |
| | t:000100001 | | |
| | r:miss | | |


write allocate
prima del write
modifica memoria
dopo write
10C
000100001100
[0C|00|07|02]
t:000100000
r:
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[A1|42|90|75]
t:000100001
r:miss
[ ]
t:
r:
[0C|00|07|02]
t:000100000
r:
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[B1|42|90|75]
t:000100001
r:write-th.
[ ]
t:
r:
mem[10C] = B1
10C
000100001100
[0C|00|07|02]
t:000100000
r:
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[B1|42|90|75]
t:000100001
r:hit
[ ]
t:
r:


write allocate
prima del write
modifica memoria
dopo write
110
000100010000
[B9|16|00|00]
t:000100010
r:miss (LRU)
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[B1|42|90|75]
t:000100001
r:
[
t:
r:
[B4|16|00|00]
t:000100010
r:write-th.
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[B1|42|90|75]
t:000100001
r:
[ ]
t:
r:
mem[110] = B4


110
000100010000
[B4|16|00|00]
t:000100010
r:hit
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[B1|42|90|75]
t:000100001
r:
[ ]
t:
r:
write allocate
114
000100010100
[B4|16|00|00]
t:000100010
r:
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[B1|42|90|75]
t:000100001
r:
[0A|07|03|71]
t:000100010
r:miss
prima del write
dopo write
[B4|16|00|00]
t:000100010
r:
[AE|13|A1|23]
t:000100001
r:
[B1|42|90|75]
t:000100001
r:
[B7|07|03|71]
t:000100001
r:write-th.
modifica memoria
mem[114] = B7