



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA  
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

# Architettura degli Elaboratori

## 21 – Esercizi su cache e Memoria Virtuale

Prof. Andrea Sterbini – [sterbini@di.uniroma1.it](mailto:sterbini@di.uniroma1.it)



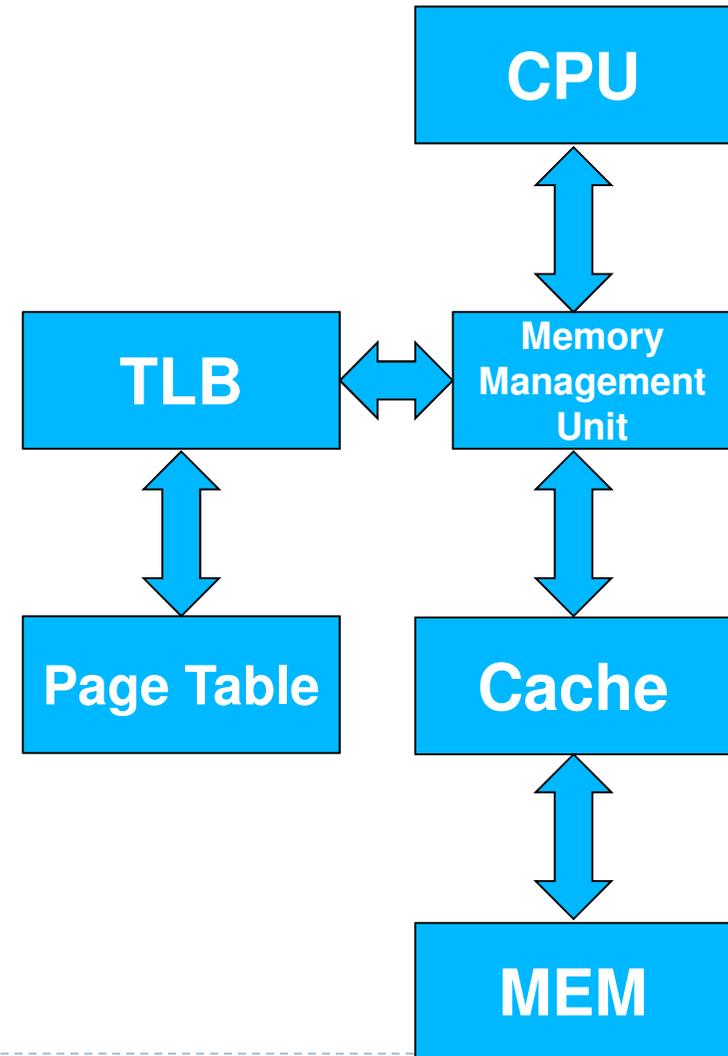
# Caching degli indirizzi fisici

## ► Memoria Virtuale + cache (su indirizzi fisici)

► Sia data una gerarchia di memoria con un solo livello di cache, il TLB e la memoria virtuale come in figura (è presente una unità di gestione della memoria virtuale che si occupa di convertire gli indirizzi virtuali in fisici)

- Il TLB è fully-associative ed ha **2 linee**
- La memoria virtuale ha pagine da **2Kbyte** e politica di rimpiazzo LRU
- La memoria fisica ha spazio per sole **4 pagine**
- La cache è set-associativa a **2 vie** con blocchi da **16 word** e **8 set** per ogni via, politica di sostituzione LRU e fa il caching degli indirizzi fisici prodotti dalla MMU come traduzione degli indirizzi virtuali elencati

► Per la seguente sequenza di accessi (virtuali) si determinino quali sono gli HIT/MISS sulla cache, gli HIT/MISS sul TLB ed i Page Fault della cache



## Svolgimento (caching ind. fisici)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#pagina	/2048	0	1	0	2	1	4	0	2	0

#pagina = address / dim. pagina  
= address / 2048

## Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>

offset nella pagina = address % dim. pagina  
= address % 2048

## Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>

HIT in TLB se #pagina uguale nelle 2 ultime richieste  
(abbiamo un TLB da 2 linee)

le MISS possono essere solo di tipo:  
cold start (la prima volta che viene richiesta la pagina)  
capacità (il TLB è fully-associative)

## Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>
<b>Page Fault?</b>	<b>(4 pag.)</b>	<b>Sì</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>

Page Fault se #pagina non c'è nelle 4 ultime richieste  
(abbiamo una RAM da 4 pagine fisiche)

## Svolgimento (caching ind. fisici)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#pagina	/2048	0	1	0	2	1	4	0	2	0
offset	%2048	100	1452	121	1004	1432	708	91	1252	110
TLB H/M	(2 ways)	MISS cold	MISS cold	HIT	MISS cold	MISS cap.	MISS cold	MISS cap.	MISS cap.	HIT
Page Fault?	(4 pag.)	Sì	Sì	NO	Sì	NO	Sì	NO	NO	NO
#pag. fis.	(a caso)	2	3	2	1	3	0	2	1	2

il #pagina fisica può essere inventato a piacere tra 0 e 3  
(abbiamo una RAM da 4 pagine fisiche)

## Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>
<b>Page Fault?</b>	<b>(4 pag.)</b>	<b>Sì</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>#pag. fis.</b>	<b>(a caso)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>ind. fisico</b>	<b>#p.f.*2K +offset</b>	<b>2*2K +100</b>	<b>3*2K +1452</b>	<b>2*2K +121</b>	<b>1*2K +1004</b>	<b>3*2K +1432</b>	<b>0*2K +708</b>	<b>2*2K +91</b>	<b>1*2K +1252</b>	<b>2*2K +110</b>

l'indirizzo fisico è dato dall'indirizzo della pagina + offset  
 ovvero da  $\#pagina\ fisica * 2048 + offset$

# Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>
<b>Page Fault?</b>	<b>(4 pag.)</b>	<b>Sì</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>#pag. fis.</b>	<b>(a caso)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>ind. fisico</b>	<b>#p.f.*2K +offset</b>	<b>2*2K +100</b>	<b>3*2K +1452</b>	<b>2*2K +121</b>	<b>1*2K +1004</b>	<b>3*2K +1432</b>	<b>0*2K +708</b>	<b>2*2K +91</b>	<b>1*2K +1252</b>	<b>2*2K +110</b>
<b>#blocco</b>	<b>/64</b>	<b>65</b>	<b>118</b>	<b>65</b>	<b>47</b>	<b>118</b>	<b>11</b>	<b>65</b>	<b>51</b>	<b>65</b>

**#blocco = indirizzo fisico / dim. blocco**  
**= indirizzo fisico / 64**

# Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>
<b>Page Fault?</b>	<b>(4 pag.)</b>	<b>Sì</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>#pag. fis.</b>	<b>(a caso)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>ind. fisico</b>	<b>#p.f.*2K +offset</b>	<b>2*2K +100</b>	<b>3*2K +1452</b>	<b>2*2K +121</b>	<b>1*2K +1004</b>	<b>3*2K +1432</b>	<b>0*2K +708</b>	<b>2*2K +91</b>	<b>1*2K +1252</b>	<b>2*2K +110</b>
<b>#blocco</b>	<b>/64</b>	<b>65</b>	<b>118</b>	<b>65</b>	<b>47</b>	<b>118</b>	<b>11</b>	<b>65</b>	<b>51</b>	<b>65</b>
<b>Tag</b>	<b>/8</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>

$$\begin{aligned} \text{tag} &= \# \text{blocco} / \# \text{set per via} \\ &= \# \text{blocco} / 8 \end{aligned}$$

# Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>
<b>Page Fault?</b>	<b>(4 pag.)</b>	<b>Sì</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>#pag. fis.</b>	<b>(a caso)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>ind. fisico</b>	<b>#p.f.*2K +offset</b>	<b>2*2K +100</b>	<b>3*2K +1452</b>	<b>2*2K +121</b>	<b>1*2K +1004</b>	<b>3*2K +1432</b>	<b>0*2K +708</b>	<b>2*2K +91</b>	<b>1*2K +1252</b>	<b>2*2K +110</b>
<b>#blocco</b>	<b>/64</b>	<b>65</b>	<b>118</b>	<b>65</b>	<b>47</b>	<b>118</b>	<b>11</b>	<b>65</b>	<b>51</b>	<b>65</b>
<b>Tag</b>	<b>/8</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>Index</b>	<b>%8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

**index = #blocco % #set per via = #blocco % 8**

# Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>
<b>Page Fault?</b>	<b>(4 pag.)</b>	<b>Sì</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>#pag. fis.</b>	<b>(a caso)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>ind. fisico</b>	<b>#p.f.*2K +offset</b>	<b>2*2K +100</b>	<b>3*2K +1452</b>	<b>2*2K +121</b>	<b>1*2K +1004</b>	<b>3*2K +1432</b>	<b>0*2K +708</b>	<b>2*2K +91</b>	<b>1*2K +1252</b>	<b>2*2K +110</b>
<b>#blocco</b>	<b>/64</b>	<b>65</b>	<b>118</b>	<b>65</b>	<b>47</b>	<b>118</b>	<b>11</b>	<b>65</b>	<b>51</b>	<b>65</b>
<b>Tag</b>	<b>/8</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>Index</b>	<b>%8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>HIT / MISS</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>

# Svolgimento (caching ind. fisici)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#pagina</b>	<b>/2048</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>offset</b>	<b>%2048</b>	<b>100</b>	<b>1452</b>	<b>121</b>	<b>1004</b>	<b>1432</b>	<b>708</b>	<b>91</b>	<b>1252</b>	<b>110</b>
<b>TLB H/M</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>MISS cap.</b>	<b>HIT</b>
<b>Page Fault?</b>	<b>(4 pag.)</b>	<b>Sì</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>Sì</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>#pag. fis.</b>	<b>(a caso)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>ind. fisico</b>	<b>#p.f.*2K +offset</b>	<b>2*2K +100</b>	<b>3*2K +1452</b>	<b>2*2K +121</b>	<b>1*2K +1004</b>	<b>3*2K +1432</b>	<b>0*2K +708</b>	<b>2*2K +91</b>	<b>1*2K +1252</b>	<b>2*2K +110</b>
<b>#blocco</b>	<b>/64</b>	<b>65</b>	<b>118</b>	<b>65</b>	<b>47</b>	<b>118</b>	<b>11</b>	<b>65</b>	<b>51</b>	<b>65</b>
<b>Tag</b>	<b>/8</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>Index</b>	<b>%8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>HIT / MISS</b>	<b>(2 ways)</b>	<b>MISS cold</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>	<b>MISS cold</b>	<b>HIT</b>

Memoria Virtuale e TLB: 2 HIT su TLB e 4 page fault Cache: 4 HIT e 5 MISS (cold start)

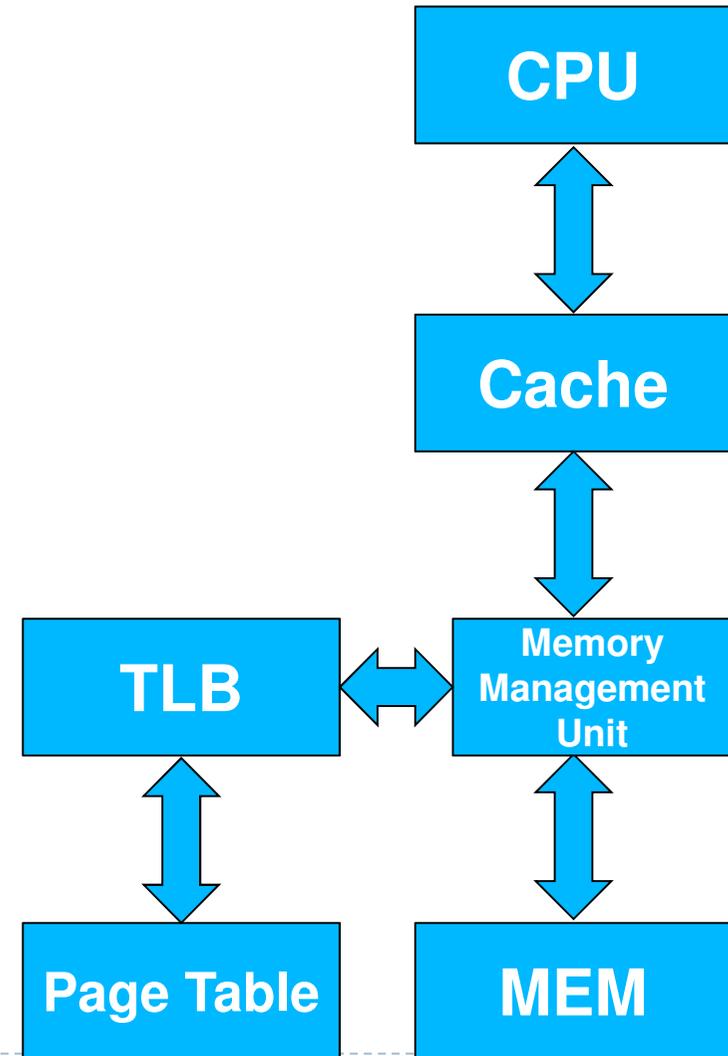
# Caching degli indirizzi virtuali

## ▶ Memoria Virtuale + cache (su indirizzi virtuali)

▶ Sia data una gerarchia di memoria con un solo livello di cache, il TLB e la memoria virtuale come in figura (è presente una unità di gestione della memoria virtuale che si occupa di convertire gli indirizzi virtuali in fisici)

- Il TLB è fully-associative ed ha **2 linee**
- La memoria virtuale ha pagine da **2Kbyte** e politica di rimpiazzo LRU
- La memoria fisica ha spazio per sole **4 pagine**
- La cache è set-associativa a **2 vie** con blocchi da **16 word** e **8 set** per ogni via, politica di sostituzione LRU e fa il caching degli indirizzi virtuali

▶ Per la seguente sequenza di accessi (virtuali) si determinino quali sono gli HIT/MISS sulla cache, gli HIT/MISS sul TLB ed i Page Fault della cache



# Svolgimento (caching ind. virtuali)

<b>Ind. virtuale</b>	<b>Op. da svolgere</b>	<b>100</b>	<b>3500</b>	<b>121</b>	<b>5100</b>	<b>3480</b>	<b>8900</b>	<b>91</b>	<b>3300</b>	<b>110</b>
<b>#blocco</b>	<b>/64</b>	<b>1</b>	<b>54</b>	<b>1</b>	<b>79</b>	<b>54</b>	<b>139</b>	<b>1</b>	<b>51</b>	<b>1</b>

$$\begin{aligned}\#blocco &= \text{address} / \text{dim. blocco} \\ &= \text{address} / 64\end{aligned}$$

# Svolgimento (caching ind. virtuali)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#blocco	/64	1	54	1	79	54	139	1	51	1
Tag	/8	0	6	0	9	6	17	0	6	0

$$\begin{aligned} \text{tag} &= \# \text{blocco} / \# \text{insiemi per via} \\ &= \# \text{blocco} / 8 \end{aligned}$$

# Svolgimento (caching ind. virtuali)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#blocco	/64	1	54	1	79	54	139	1	51	1
Tag	/8	0	6	0	9	6	17	0	6	0
Index	%8	1	6	1	7	6	3	1	3	1

$$\begin{aligned} \text{index} &= \text{\#blocco} \% \text{\#insiemi per via} \\ &= \text{\#blocco} \% 8 \end{aligned}$$

# Svolgimento (caching ind. virtuali)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#blocco	/64	1	54	1	79	54	139	1	51	1
Tag	/8	0	6	0	9	6	17	0	6	0
Index	%8	1	6	1	7	6	3	1	3	1
HIT / MISS		MISS cold	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT

HIT se index uguale e tag uguale  
 negli ultimi 2 accessi allo stesso insieme  
 (cache a 2 vie e politica di rimpiazzo LRU)

# Svolgimento (caching ind. virtuali)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#blocco	/64	1	54	1	79	54	139	1	51	1
Tag	/8	0	6	0	9	6	17	0	6	0
Index	%8	1	6	1	7	6	3	1	3	1
HIT / MISS		MISS cold	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT
#pagina	/2048	0	1		2		4		2	

#pagina = address / dim. pagina  
 = address / 2048  
 (SOLO per i MISS!)

# Svolgimento (caching ind. virtuali)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#blocco	/64	1	54	1	79	54	139	1	51	1
Tag	/8	0	6	0	9	6	17	0	6	0
Index	%8	1	6	1	7	6	3	1	3	1
HIT / MISS		MISS cold	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT
#pagina	/2048	0	1		2		4		2	
TLB H/M	(2 ways)	MISS cold	MISS cold		MISS cold		MISS cold		HIT	

HIT su TLB se #pagina presente negli ultimi 2 accessi diversi (TLB da 2 linee)

# Svolgimento (caching ind. virtuali)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#blocco	/64	1	54	1	79	54	139	1	51	1
Tag	/8	0	6	0	9	6	17	0	6	0
Index	%8	1	6	1	7	6	3	1	3	1
HIT / MISS		MISS cold	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT
#pagina	/2048	0	1		2		4		2	
TLB H/M	(2 ways)	MISS cold	MISS cold		MISS cold		MISS cold		HIT	
Page Fault?	(4 pag.)	Sì	Sì		Sì		Sì		NO	

Page Fault solo se #pagina non presente nelle ultime 4 richieste (4 sole pagine fisiche e politica di rimpiazzo LRU)

# Svolgimento (caching ind. virtuali)

Ind. virtuale	Op. da svolgere	100	3500	121	5100	3480	8900	91	3300	110
#blocco	/64	1	54	1	79	54	139	1	51	1
Tag	/8	0	6	0	9	6	17	0	6	0
Index	%8	1	6	1	7	6	3	1	3	1
HIT / MISS		MISS cold	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT	MISS cold	HIT
#pagina	/2048	0	1		2		4		2	
TLB H/M	(2 ways)	MISS cold	MISS cold		MISS cold		MISS cold		HIT	
Page Fault?	(4 pag.)	Sì	Sì		Sì		Sì		NO	

- ▶ **Memoria Virtuale e TLB:** 1 HIT su TLB e 4 page fault  
(ma solo 5 richieste alla VM → meno MISS su TLB!)
- ▶ **Cache:** 4 HIT e 5 MISS (cold start)