

---

# **Esercitazione E2**

## **Memoria virtuale**

# Memoria virtuale 1

---

Si consideri un sistema a memoria virtuale con indirizzi virtuali a 32 bit, indirizzi fisici a 24 bit e pagine di 4K byte, e descrittori di pagina di 8 byte:

- a) di quante pagine sono costituiti rispettivamente lo spazio di indirizzamento virtuale e quello fisico?
- b) di quanti bit è costituito l'offset?
- c) di quante righe è costituita e quanti byte occupa la tavola delle pagine?
- d) Come è organizzata una tavola delle pagine a due livelli corrispondenti rispettivamente a gruppi di 12 e 8 bit?
- e) quante pagine occupa una procedura il cui codice occupa 9734 byte.

# Memoria virtuale 1

---

a)

a) di quante pagine sono costituiti rispettivamente lo spazio di indirizzamento virtuale e quello fisico?

- Essendo gli indirizzi virtuali a 32 bit lo spazio virtuale è costituito da  $2^{32}$  byte
- Le pagine sono da 4 K byte =  $2^{12}$  byte, pertanto il numero di pagine virtuali è di:

$$2^{32}/2^{12} = 2^{20} = 1 \text{ M pagine}$$

- Essendo gli indirizzi fisici a 24 bit lo spazio fisico è costituito da  $2^{24}$  byte
- Le pagine sono da 4 K byte =  $2^{12}$  byte, pertanto il numero di pagine fisiche è di:

$$2^{24}/2^{12} = 2^{12} = 4 \text{ K pagine}$$

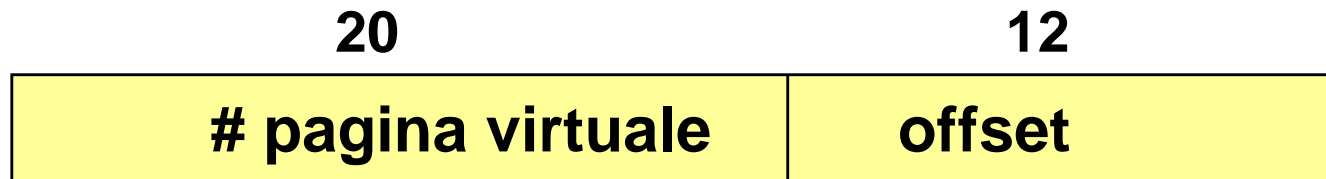
# Memoria virtuale 1

---

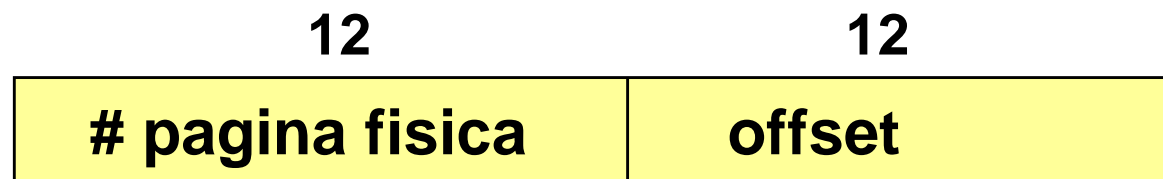
b)

b) di quanti bit è costituito l'offset?

- L'offset dipende solo dalla dimensione delle pagine
- Dato che le pagine sono da 4 K byte =  $2^{12}$  byte, l'offset è di 12 bit
- Struttura dell'indirizzo virtuale:



- Struttura dell'indirizzo fisico



# Memoria virtuale 1

---

c)

c) di quante righe è costituita e quanti byte occupa la tavola delle pagine?

- La tavola delle pagine ha un elemento per ogni pagina dello spazio di indirizzamento virtuale. Le pagine virtuali sono  $2^{20}$
- Ogni elemento della tavola è costituito da un descrittore di pagina.
- Nei dati del problema i descrittori di pagina sono di  $8=2^3$  byte
- Pertanto la tavola delle pagine occupa complessivamente:

$$2^{20} \cdot 2^3 \text{ byte} = 2^{23} \text{ byte} = 8 \text{ Mbyte}$$

# Memoria virtuale 1

---

d)

- d) Come è organizzata una tavola delle pagine a due livelli corrispondenti rispettivamente a gruppi di 12 e 8 bit?
- Una tavola delle pagine a due livelli è costituita da:
    - Una *tavola di primo livello* in cui viene usato come indice il primo gruppo di bit (12 bit). Pertanto la tavola ha  $2^{12}$  elementi.
    - Una *tavola di secondo livello* in corrispondenza a ciascun elemento della tavola di primo livello (nell'esempio  $2^{12}$  tavole), in ciascuna delle quali viene usato come indice il secondo gruppo di bit (8 bit).
  - Ciascun elemento della tavola di primo livello è un puntatore alla corrispondente tavola di secondo livello, ed ha le dimensioni di un indirizzo virtuale; nell'esempio 32 bit cioè 4 byte =  $2^2$  byte.
  - Ciascun elemento della tavola di secondo livello è un descrittore, nell'esempio 8 byte =  $2^3$  byte.

d) Come è organizzata una tavola delle pagine a due livelli corrispondenti rispettivamente a gruppi di 12 e 8 bit?

— La *tavola di primo livello* ha  $2^{12}$  elementi di  $2^2$  byte ciascuno, quindi occupa complessivamente:

$$2^{12} \cdot 2^2 \text{ byte} = 2^{14} \text{ byte} = 16 \text{ Kbyte}$$

— Ciascuna delle *tavole di secondo livello* ha  $2^8$  elementi di  $2^3$  byte ciascuno, quindi occupa complessivamente:

$$2^8 \cdot 2^3 \text{ byte} = 2^{11} \text{ byte} = 2 \text{ Kbyte}$$

— Dato che le tavole di secondo livello sono  $2^{12}$ , esse occupano complessivamente:

$$2^{12} \cdot 2^{11} \text{ byte} = 2^{23} \text{ byte} = 8 \text{ Mbyte}$$

# Memoria virtuale 1

---

e)

e) quante pagine occupa una procedura il cui codice occupa 9734 byte.

- La procedura viene allocata in pagine da 4 Kbyte = 4096 byte.
- Il numero di pagine occupate dalla procedura è dato da:

$$P = \lceil 9734/4096 \rceil = 3$$

- L'ultima pagina è solo parzialmente occupata. C'è uno sfrido pari a:

$$S = 3 \cdot 4096 - 9734 = 2554 \quad (\text{pari al } 2554/4096 \cong 62\%)$$

- Questo spreco corrisponde al fenomeno della *frammentazione interna*

# Memoria virtuale 2

---

In un sistema a memoria virtuale si stima che la dimensione media dei processi sia di  $s = 512$  KB. Assumendo che la dimensione dei descrittori di pagina è  $e=16$  byte, confrontare l'occupazione di memoria dovuta alla tavola delle pagine ed alla frammentazione interna, nei seguenti casi:

- a) Pagine da  $p=512$  byte
- b) Pagine da  $p=4$  KB
- c) Pagine da  $p=16$  KB
- d) Quale è la dimensione ottima (potenza di due!)?

- La dimensione ottima delle pagine costituisce un compromesso tra:
  - Dimensione della tavola delle pagine : cresce col numero di pagine utilizzate, e quindi col diminuire della dimensione delle pagine.
  - Spreco dovuto a frammentazione interna : cresce con la dimensione delle pagine; è pari a mezza pagina per ogni oggetto allocato.
- Per valutare l'overhead complessivo sia:
  - **s** : dimensione media del processo in byte
  - **p** : dimensione della pagina in byte
  - **e** : dimensione del descrittore in byte

$$\text{overhead} = s/p \cdot e + p/2$$

- Il primo termine rappresenta l'occupazione nella tavola delle pagine relativa ad un processo
- Il secondo termine è lo sfrido attribuibile al processo: metà dell'ultima pagina allocata al processo

# Memoria virtuale 2

---

ter

- La dimensione ottima delle pagine si ottiene, per dati valori dei parametri **s** ed **e**, trovando il valore di **p** che minimizza l'overhead:

$$p_{opt} = \sqrt{2 s e}$$

- Nel caso **s** = 512 Kbyte ed **e** = 16 byte, per le varie dimensioni di **p** le due componenti dell'overhead sono:
  - **p** = 512 byte:    tavola=16 Kbyte, sfrido=256 byte, totale=16.25 Kbyte
  - **p** = 4 Kbyte:    tavola=2 Kbyte,    sfrido=2 Kbyte, totale=4 Kbyte
  - **p** = 16 Kbyte:    tavola=512 byte,    sfrido=8 Kbyte, totale=8.5 Kbyte
- Il valore ottimo (teorico) per la dimensione di pagina è:

$$p_{opt} = \sqrt{2 s e} = \sqrt{2 \cdot 2^{19} \cdot 2^4} = 2^{12} = 4 \text{ Kbyte}$$

# Memoria virtuale 3

---

In un sistema a memoria virtuale occorre scegliere tra le seguenti pagine quale fare uscire dalla memoria centrale:

Pagina	Entrata	Riferita	R	M
0	126	280	1	0
1	230	265	0	1
2	140	270	0	0
3	110	285	1	1

Quale pagina sceglie ciascuno dei seguenti algoritmi?

- FIFO
- LRU
- NRU
- Second chance

# Memoria virtuale 3: FIFO

---

Pagina	Entrata	Riferita	R	M
0	126	280	1	0
1	230	265	0	1
2	140	270	0	0
3	110	285	1	1

- Conta solo l'ordine di entrata
- Le pagine vengono scelte nell'ordine:
  - 3: entrata all'istante 110
  - 0: entrata all'istante 126
  - 2: entrata all'istante 140
  - 1: entrata all'istante 230

# Memoria virtuale 3: LRU

---

Pagina	Entrata	Riferita	R	M
0	126	280	1	0
1	230	265	0	1
2	140	270	0	0
3	110	285	1	1

- Vale la vecchiaia dell'ultimo riferimento
- Le pagine vengono scelte nell'ordine:
  - 1: riferita all'istante 265
  - 2: riferita all'istante 270
  - 0: riferita all'istante 280
  - 3: riferita all'istante 285

# Algoritmo NRU

---

- NRU (Not Recently Used)
- Ogni pagina ha un *Reference bit* e un *Modified bit*
- Le pagine vengono classificate
  1. Non referenziate e non modificate
  2. Non referenziate e modificate
  3. Referenziate e non modificate
  4. Referenziate e modificate
- La pagina da buttare viene selezionata random dalla classe non vuota più bassa

# Memoria virtuale 3: NRU

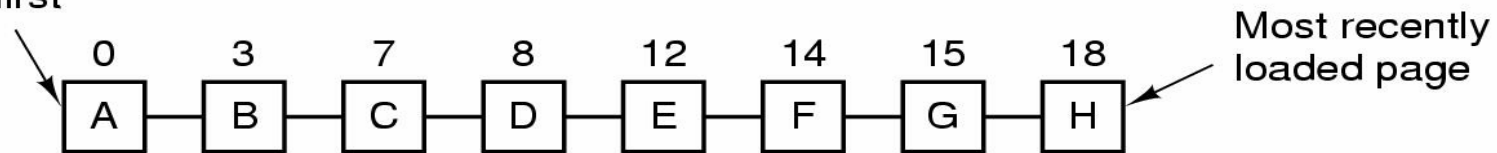
---

Pagina	Entrata	Riferita	R	M
0	126	280	1	0
1	230	265	0	1
2	140	270	0	0
3	110	285	1	1

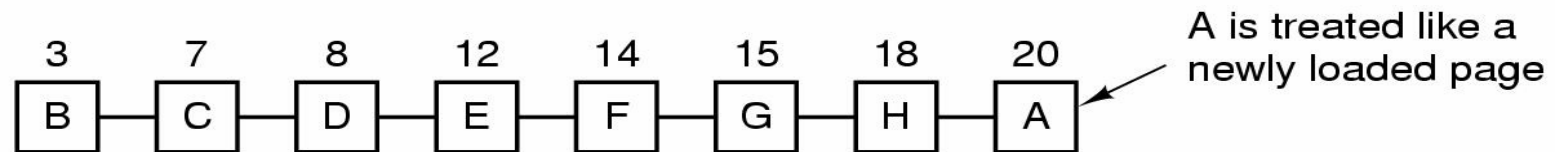
- Le pagine vengono scelte nell'ordine:
  - 2: non referenziata e non modificata
  - 1: non referenziata ma modificata
  - 0: referenziata e non modificata
  - 3: referenziata e non modificata

# Algoritmo 'second chance'

Page loaded first



(a)



(b)

- Lista gestita FIFO: in base all'ordine di entrata
- Se la pagina in testa ha  $R=0$  viene buttata fuori
- Se la pagina in testa ha  $R=1$  viene messa in fondo alla coda con  $R=0$
- Si passa alla successiva finché non se ne trova una con  $R=0$

# Memoria virtuale 3: second chance

---

Pagina	Entrata	Riferita	R	M
0	126	280	1	0
1	230	265	0	1
2	140	270	0	0
3	110	285	1	1

- Le pagine vengono esaminate in ordine FIFO:
  - 3: ha  $R=1$  viene messa in coda con tempo 285 e  $R=0$
  - 0: ha  $R=1$  viene messa in coda con tempo 286 e  $R=0$
  - 2: ha  $R=0$  è viene espulsa
- Alle pagine 3 e 0, in quanto 'virtuose' è stata data una *second chance*
- 2 non era 'virtuosa' ed è stata punita subito.

# Memoria virtuale 4

---

Un processo genera la seguente sequenza di riferimenti a pagine virtuali:

1, 2, 2, 4, 4, 1, 5, 8, 2, 5, 3, 4, 5, 3, 4, 1, 2, 3, 4, 5

Calcolare il *numero* e la *sequenza* di page fault che si verificano usando i seguenti algoritmi di rimpiazzamento:

- a) Ottimo, con 4 page frame
- b) FIFO, con 4 page frame
- c) LRU, con 4 page frame
- d) Working set con finestra k pari a 6

# Memoria virtuale 4

a)

Algoritmo ottimo										7 page fault									
1	2	2	4	4	1	5	8	2	5	3	1	4	5	3	4	2	3	4	5
1	2	2	4	4	4	5	8	8	8	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	1	1	2	2	2	4	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3
			1	1	1	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
						1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
P	P		P			P	P			P		P							

# Memoria virtuale 4

b)

Algoritmo FIFO															11 page fault				
1	2	2	4	4	1	5	8	2	5	3	1	4	5	3	4	2	3	4	5
1	2	2	4	4	4	5	8	8	8	3	1	4	5	5	5	2	3	3	3
	1	1	2	2	2	4	5	5	5	8	3	1	4	4	4	5	2	2	2
			1	1	1	2	4	4	4	5	8	3	1	1	1	4	5	5	5
						1	2	2	2	4	5	8	3	3	3	1	4	4	4
P	P		P			P	P			P	P	P	P			P	P		

# Memoria virtuale 4

c)

Algoritmo LRU														10 page fault					
1	2	2	4	4	1	5	8	2	5	3	1	4	5	3	4	2	3	4	5
1	2	2	4	4	1	5	8	2	5	3	1	4	5	3	4	2	3	4	5
	1	1	2	2	4	1	5	8	2	5	3	1	4	5	3	4	2	3	4
			1	1	2	4	1	5	8	2	5	3	1	4	5	3	5	2	3
						2	4	1	1	8	2	5	3	1	1	5	4	5	2
P	P		P			P	P	P		P	P	P				P			

# Memoria virtuale 4

d)

Working set K=6													8 page fault						
1	2	2	4	4	1	5	8	2	5	3	1	4	5	3	4	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3
			4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4
						5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5
							8	8	8	8	8	5	5			5			
												8							
P	P		P			P	P			P		P				P			