

# **SISTEMI OPERATIVI**

Gestione della Memoria Centrale  
Memoria Virtuale

## **Lezione 2 – Tecniche di sostituzione della pagina**

**Vincenzo Piuri**

---

Università degli Studi di Milano

# Sommario

- Meccanismo di caricamento delle pagine
- Meccanismo di scaricamento delle pagine
- Sostituzione delle pagine
- Politiche di selezione delle pagine da scaricare
- Politiche di selezione delle pagine da caricare

# **Caricamento della pagina (1)**

L'esecuzione del programma richiede la presenza in memoria centrale dei frame contenenti le istruzioni e i dati su cui deve operare in quel momento

**Stringa di riferimento** delle pagine  
sequenza delle pagine richieste dal processo

# Caricamento della pagina (2)

CPU

0	A
1	B
2	C
3	D
4	E
5	F
6	G
7	H

memoria virtuale

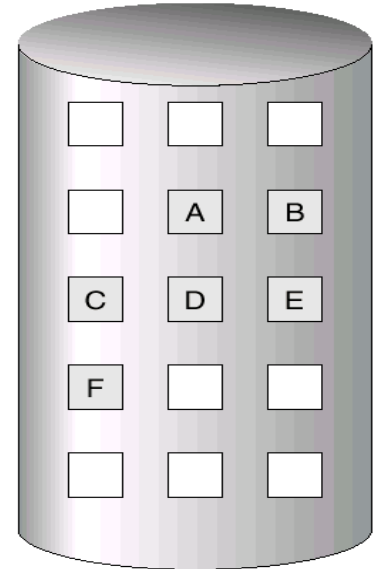
valid-invalid bit		
frame		
0	4	v
1		i
2	6	v
3		i
4		i
5	9	v
6		i
7		i

tabella delle pagine

MMU

0	
1	
2	
3	
4	A
5	
6	C
7	
8	
9	F
10	
11	
12	
13	
14	
15	

memoria fisica



area di swap

# Caricamento della pagina (3)

CPU

0	A
1	B
2	C
3	D
4	E
5	F
6	G
7	H

memoria virtuale

PAGE  
FAULT

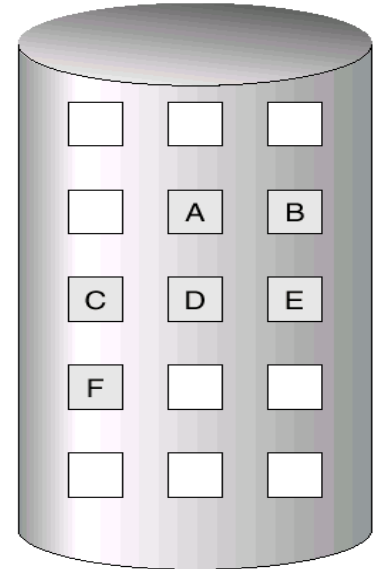
valid-invalid bit		
frame		bit
0	4	v
1		
2	6	v
3		i
4		i
5	9	v
6		i
7		i

tabella delle  
pagine

MMU

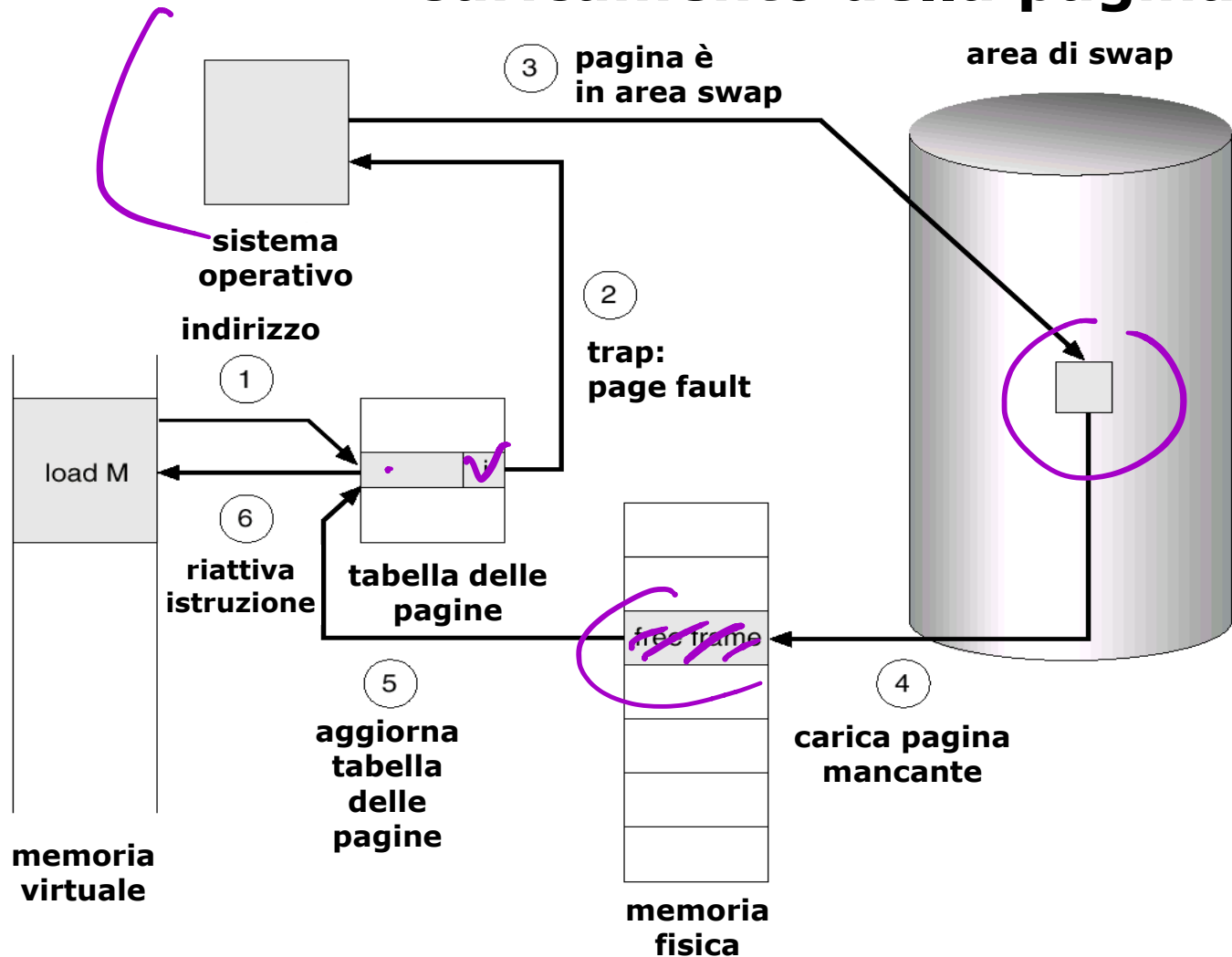
0	
1	
2	
3	
4	A
5	
6	C
7	
8	
9	F
10	
11	
12	
13	
14	
15	

memoria fisica



area di swap

# Caricamento della pagina (4)



# Caricamento della pagina (5)

## Prestazioni della richiesta di paginazione

**p** probabilità di mancanza di pagina

**ma** tempo di accesso alla memoria centrale fisica

**spf** tempo di servizio dell'interruzione di mancanza di pagina

$$\text{tempo di accesso effettivo} = (1 - p) \times \underbrace{ma} + p \times \underbrace{spf}$$

# Scaricamento della pagina

- Frame non modificata

→ rimuovere frame da memoria centrale

- Frame modificata

→ salvare frame su area di swap e rimuoverla da memoria centrale

→ salvare frame in buffer delle pagine e rimuoverlo da memoria

centrale;

salvare poi il buffer su area di swap e liberarlo

- Frame residenti

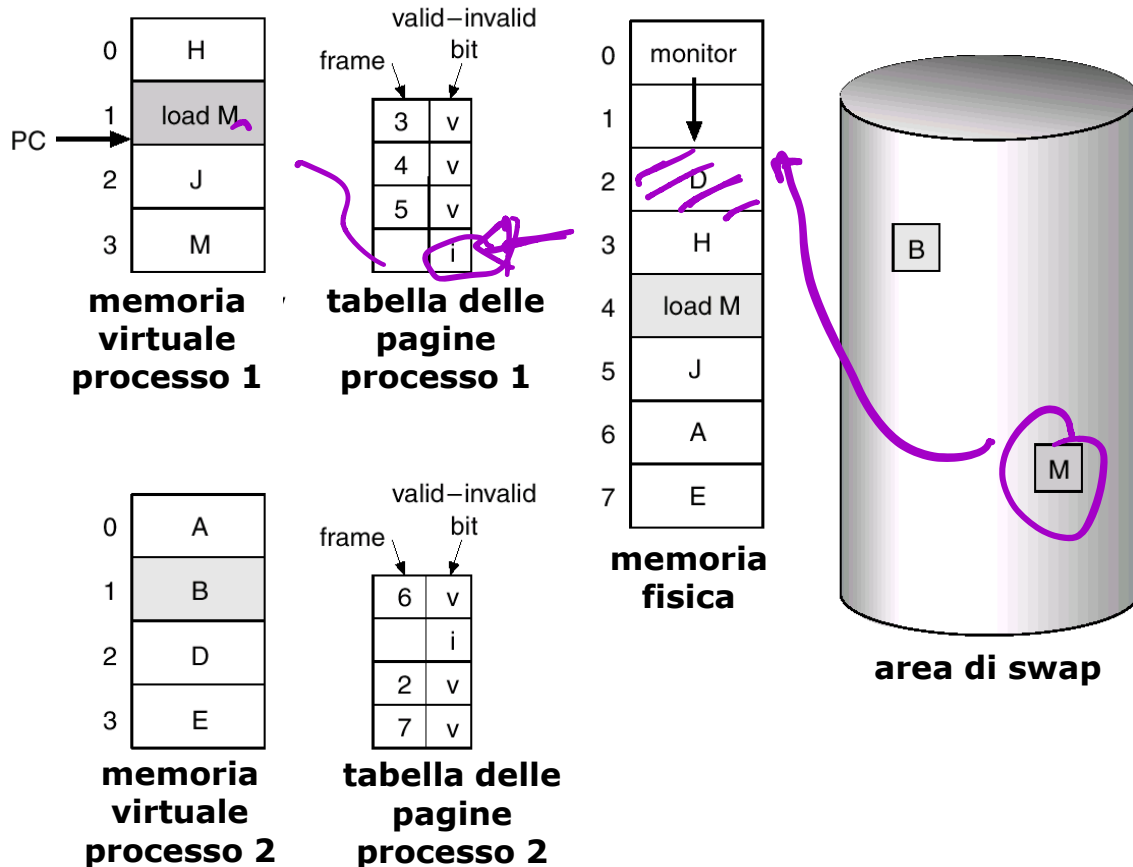
→ non possono mai essere rimosse dalla memoria centrale

MHU BIT MODIFICA



# Sostituzione della pagina (1)

Scaricamento di una pagina  
per caricare un'altra pagina



# Sostituzione della pagina (2)

Identificazione del frame da scaricare  
(pagina o frame vittima)

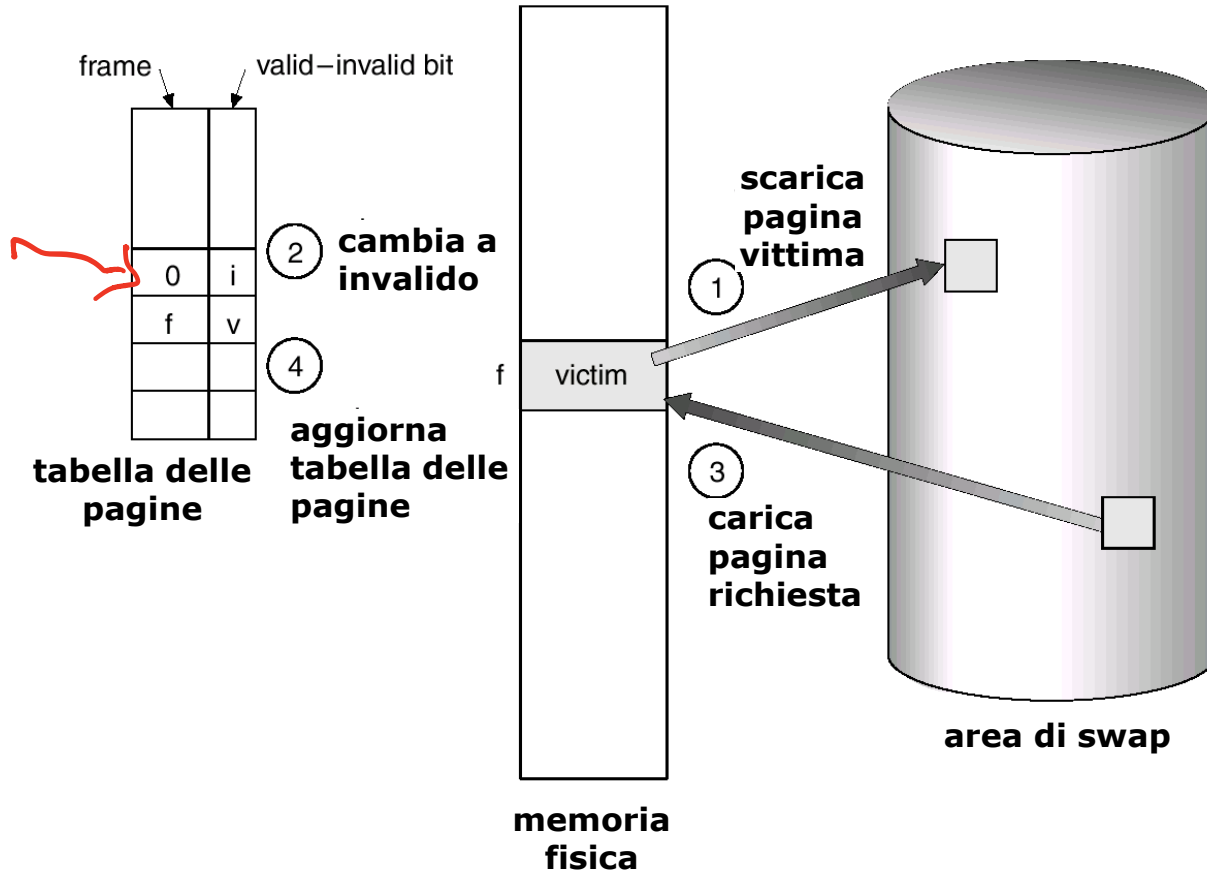
- Sostituzione locale

Il processo seleziona un frame da scaricare  
**solo** tra i frame ad esso assegnati

- Sostituzione globale

Il processo può selezionare un frame da scaricare  
tra tutti i frame, inclusi quelli di altri processi

# Sostituzione della pagina (3)



- Sostituzione = trasferimento di **due** pagine
- Miglioramento tramite **bit di modifica**

# Politiche di sostituzione della pagina

Politiche di selezione del frame da scaricare dalla memoria centrale

- First In / First Out
- Sostituzione ottima
- Least Recently Used (usato meno recentemente)
- Reference Bits (bit di riferimento)
- Second Chance (seconda possibilità)
- Least Frequently Used  
(usato meno frequentemente)
- Most Frequently Used  
(usato più frequentemente)

# Politiche di sostituzione della pagina: FIFO

## First In / First Out

Il frame da scaricare è il frame più vecchio  
(quello caricato per primo)  
tra i candidati allo scaricamento

**stringa di riferimento**

7 0 1 2 0 3 0 4 2 3 0 3 2 1 2 0 1 7 0 1

7	7	7	2	2	2	4	4	4	0	0	0	7	7	7
	0	0	0	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0
		1	1	0	0	0	0	3	3	3	2	2	2	1

**frame**

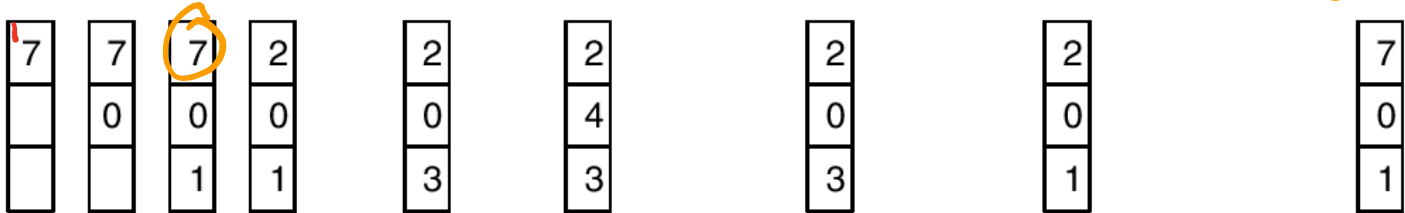
# Politiche di sostituzione della pagina: SO

## Sostituzione Ottima

Il frame da scaricare è quello che non sarà usato per il più lungo periodo di tempo

**stringa di riferimento**

7 0 1 2 0 3 0 4 2 3 0 3 2 1 2 0 1 7 0 1



**frame**

# Politiche di sostituzione della pagina: LRU (1)

## Least Recently Used

Il frame da scaricare è quello che è stato usato meno recentemente

**stringa di riferimento**

7 0 1 2 0 3 0 4 2 3 0 3 2 1 2 0 1 7 0 1

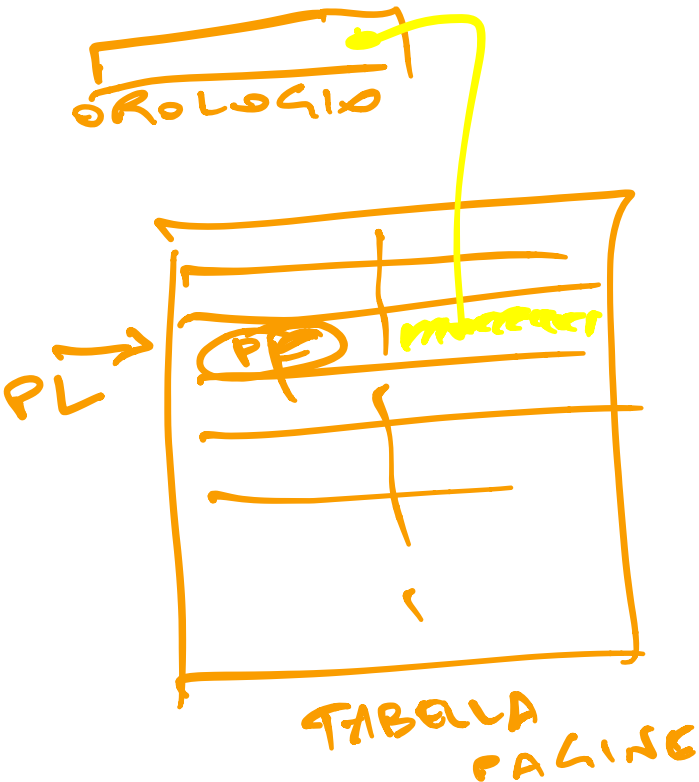
7	7	7	2		2		4	4	4	0			1		1		1		
	0	0	0		0		0	0	3	3			3		0		0		
		1	1		3		3	2	2	2			2		2		7		

**frame**

# Politiche di sostituzione della pagina: LRU (2)

## Realizzazione

### Orologio o Contatore



### Stack

stringa di riferimento

4 7 0 7 1 0 1 2 1 2 7 1 2

2
1
0
7
4

stack prima di a

7
2
1
0
4

stack dopo b

a b



# Politiche di sostituzione della pagina: RB (1)

## Reference Bits (bit di riferimento)

- Bit di riferimento per ogni pagina
  - 1  $\Rightarrow$  pagina referenziata
  - 0  $\Rightarrow$  pagina non referenziata
- Il sistema operativo azzerava periodicamente i bit di riferimento
- Accesso ad una pagina  $\rightarrow$  bit di riferimento posto a 1
- Dopo un periodo di tempo  $T$ , bit di riferimento = 0 sono quelli dei frame a cui non si è acceduto nel periodo di tempo  $T$
- Il frame da scaricare è uno con bit di riferimento = 0

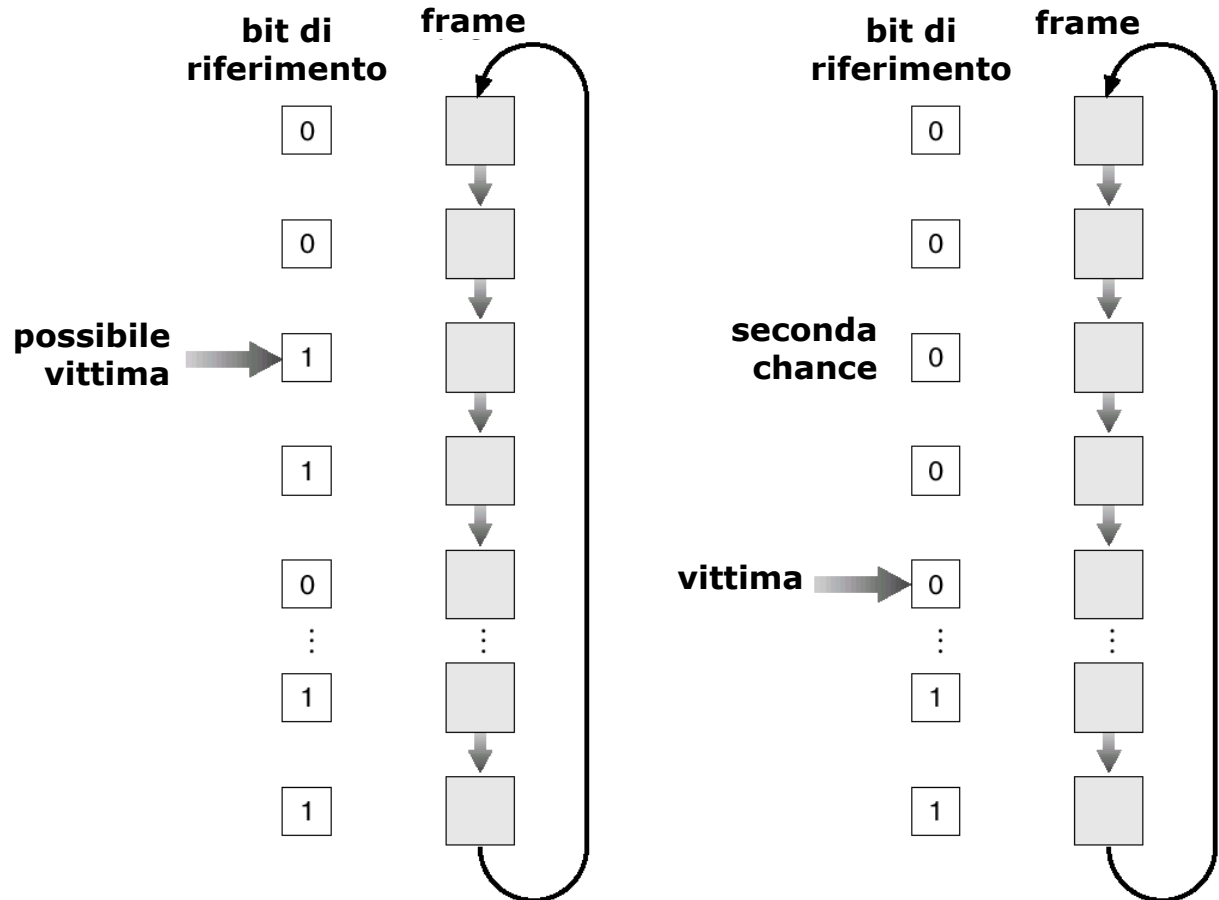
# **Politiche di sostituzione della pagina: RB (2)**

Estensione con storia più recente

- Gruppi di N bit di riferimento per ogni pagina
- Allo scadere di ogni periodo:
  - Bit di riferimento shiftati verso bit meno significativi
  - Bit più significativo inizializzato a 0
- Gruppo di bit conserva la storia più recente (ultimi N periodi)
- Il frame da scaricare è quello con gruppo di bit di riferimento avente valore minore

# Politiche di sostituzione della pagina: SC (1)

## Second Chance (seconda possibilità)



# Politiche di sostituzione della pagina: SC (2)

## Bit di riferimento e bit di modifica

- Bit di riferimento: accesso al frame
- Bit di modifica: scrittura nel frame
- Frame con
  - $R=0, M=0$ : né usato né modificato recentemente  
miglior frame da sostituire
  - $R=0, M=1$ : non usato recentemente, ma modificato  
seconda scelta: bisogna salvare frame
  - $R=1, M=0$ : recentemente usato, ma non modificato  
probabilmente sarà usato presto
  - $R=1, M=1$ : recentemente usato e modificato  
probabilmente sarà usato presto e  
deve essere salvato

# Politiche di sostituzione della pagina: LFU

## Least Frequently Used

(meno frequentemente usato)

- Contatore degli accessi al frame
- Contatori inizializzati a zero
- Il contatore di frame incrementato ad ogni accesso
- Il frame da scaricare è quello  
con il contatore **minore**
- Problema: frame usati intensamente in un passato remoto rimangono in memoria  
Soluzione: decadimento dell'uso mediante divisione per 2 dei contatori a intervalli regolari

# Politiche di sostituzione della pagina: MFU

## Most Frequently Used

(più frequentemente usato)

- Contatore degli accessi al frame
- Contatori inizializzati a zero
- Il contatore di frame incrementato ad ogni accesso
- Il frame da scaricare è quello  
con il contatore **maggiore**

# Politiche di selezione delle pagine da caricare

- 
- Pagina richiesta

- Previsione delle pagine richieste

- Pagina richiesta + N pagine successive adiacenti
- N pagine della stringa di riferimento predetta a partire dalla pagina richiesta

# **In sintesi**

- Meccanismo di caricamento delle pagine
- Meccanismo di scaricamento delle pagine
- Sostituzione delle pagine
- Politiche di selezione delle pagine da scaricare
- Politiche di selezione delle pagine da caricare