Capitolo 6: Scheduling della CPU

- Concetti fondamentali.
- Criteri di scheduling.
- Algoritmi di scheduling.
- Scheduling dei thread.
- Scheduling per sistemi multiprocessore
- Scheduling real-time della CPU
- Esempi di sistemi operativi. (solo Linux)
- Valutazione degli algoritmi.

Concetti fondamentali

- L'obiettivo della multiprogrammazione è:
  - l'esecuzione concorrente di più processi in modo da massimizzare l'utilizzo della CPU.
- L'obiettivo del time-sharing è:
  - commutare l'uso della CPU tra i vari processi così frequentemente, che gli utenti possano interagire con ciascun programma in esecuzione
- L'elaborazione di un processo è costituita da:
  - un ciclo di esecuzione di CPU,
  - uno di attesa di I/O.
  - I processi si alternano tra questi due stati.
- Le durate delle sequenze di operazioni della CPU sono state sperimentalmente misurate e la loro curva di frequenza è in genere simile a quella in figura.
- La curva è di tipo esponenziale con molte brevi sequenze di operazioni della CPU e poche sequenze di operazioni di CPU molto lunghe.
- Queste caratteristiche sono spesso utili per la scelta di un appropriato algoritmo di schedulazione della CPU.

Serie alternata di sequenze di operazioni della CPU e di sequenze di operazioni di I/O

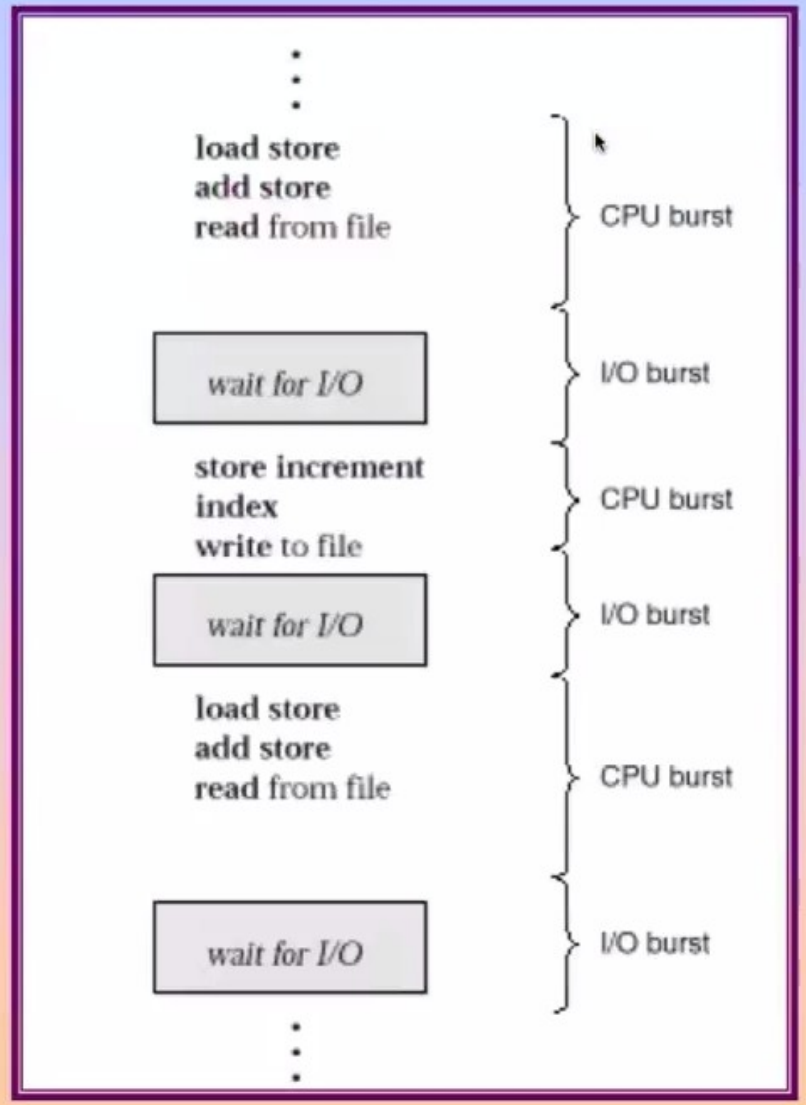
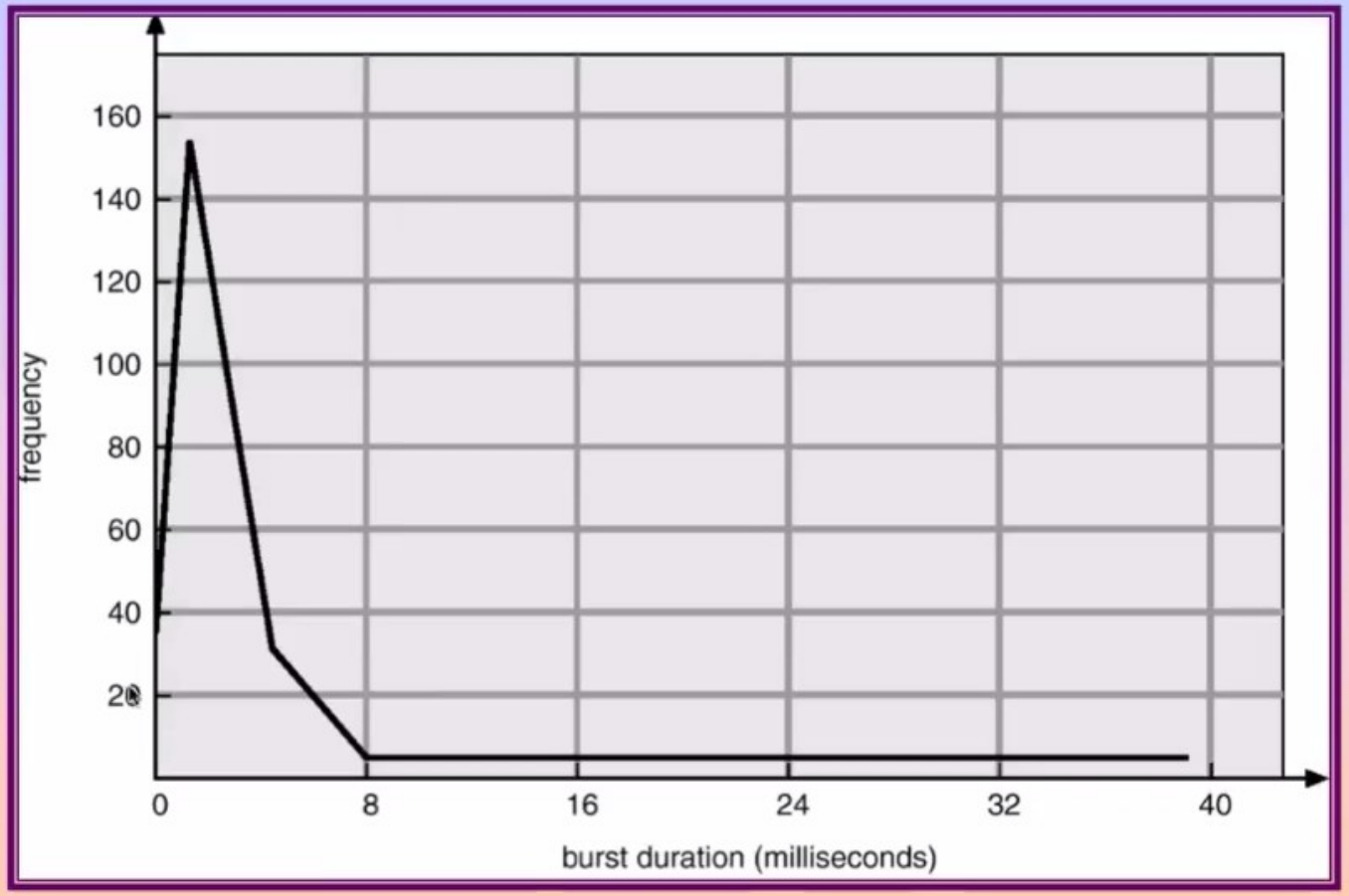


Diagramma delle durate delle sequenze di operazioni della CPU



Scheduler della CPU

- Lo scheduler a breve termine (scheduler della CPU) sceglie il processo a cui assegnare la CPU tra quelli in memoria pronti per l'esecuzione,
- Le decisioni riguardanti lo scheduling della CPU vengono prese nelle seguenti circostanze:
  1. Quando un processo passa da un stato running allo stato waiting:
     - ✓ in caso di richiesta di I/O, oppure di attesa per la terminazione di uno dei processi figli.
  2. Quando un processo passa da uno stato di running ad uno stato ready:
     - ✓ in caso di interrupt.
  3. Quando un processo passa da uno stato waiting ad uno stato ready:
     - ✓ in caso di completamento di un I/O.
  4. Quando un processo termina.

Scheduler della CPU (II)

- Quando lo schema di scheduling interviene nelle condizioni 1 e 4 si dice che è senza diritto di prelazione (*non-preemptive*), altrimenti è con diritto di prelazione (*preemptive*).
- Gli algoritmi di scheduling vengono suddivisi quindi in due classi principali: *preemptive* e *non-preemptive*.
- Uno scheduling è **non-preemptive** se ogni processo a cui viene assegnata la CPU rimane in possesso della CPU fino a quando o termina la sua esecuzione oppure passa in uno stato di waiting.
- Altrimenti è **preemptive.**
- Se la politica di scheduling è preemptive allora bisognerà anche disporre di meccanismi per la sincronizzazione dei processi.

Dispatcher

- Il dispatcher è il modulo che passa effettivamente il controllo della CPU ai processi scelti dallo scheduler a breve termine.
- Il dispatcher opera quindi:
  - Il cambio di contesto
  - Il passaggio al modo d'utente
  - Il salto alla giusta posizione del programma utente per riavviarne l'esecuzione.
- Il tempo richiesto dal dispatcher per fermare un processo e avviare l'esecuzione di un altro è noto come *latenza di dispatch*.

Criteri di scheduling

- **Utilizzo della CPU:**
  - la CPU deve essere più attiva possibile.
- **Produttività** (throughput):
  - # di processi che completano lo loro esecuzione nell'unità di tempo.
- **Tempo di completamento** (turnaround time):
  - intervallo che intercorre tra la sottomissione del processo ed il completamento dell' esecuzione.
  - E' la somma dei tempi passati in attesa dell'ingresso nella memoria, nella coda dei processi pronti, durante l'esecuzione nella CPU e nel compiere operazioni di I/O.
- **Tempo di attesa**:
  - la somma degli intervalli di attesa passati nella coda dei processi pronti.
- **Tempo di risposta**:
  - tempo che intercorre tra la sottomissione di una richiesta e la prima risposta prodotta (non l'output finale...).

Criteri di ottimizzazione

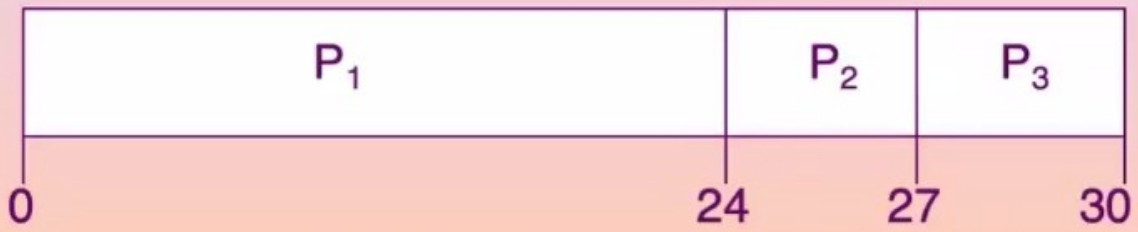
- Utilizzo massimo della CPU.
- Produttività massima.
- Minimo tempo di completamento.
- Minimo tempo di attesa.
- Minimo tempo di risposta.

Scheduling First-Come, First-Served (FCFS)

- Con questo schema la CPU si assegna al processo che la richiede per primo.
- Ad es.

Processo	Durata della sequenza
P_1	24
P_2	3
P_3	3

- Supponiamo che i processi arrivino in ordine: P_1 , P_2 , P_3
  Il diagramma di Gantt per lo scheduling è:



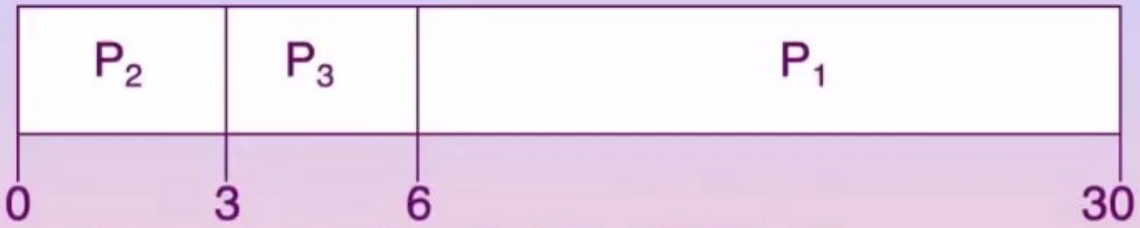
- Tempo di attesa per $P_1 = 0$; $P_2 = 24$; $P_3 = 27$
- Tempo di attesa medio: $(0 + 24 + 27)/3 = 17$

Scheduling FCFS (II)

- Supponiamo che i processi arrivano in ordine:

  P_2 , P_3 , P_1.

- Il diagramma di Gantt per lo scheduling è:



- Tempo di attesa per $P_1 = 6; P_2 = 0; P_3 = 3$
- Tempo di attesa medio: (6 + 0 + 3)/3 = 3
- Molto meglio dell'esempio precedente:
  - in FCFS il tempo di attesa medio può variare notevolmente al variare della durata dei CPU burst dei processi e del loro ordine di arrivo.
- *Effetto convoglio*: processi corti dietro i processi lunghi.
- FCFS è non preemptive.

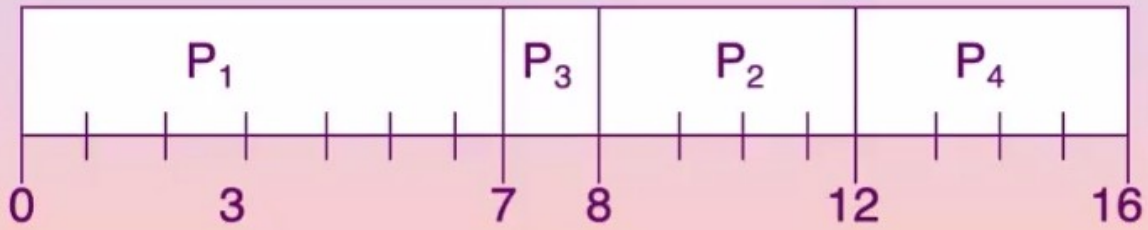
Scheduling per brevità (*Shortest-Job-First* - SJF)

- Questo algoritmo associa a ogni processo la lunghezza del suo CPU burst successivo.
- Quando la CPU è disponibile, viene assegnata al processo che ha il CPU burst successivo più breve.
- Se due processi hanno i CPU burst successivi della stessa lunghezza, si applica l'algoritmo FCFS.
- Due schemi:
  - Nonpreemptive: quando la CPU è allocata al processo non viene deallocata fino al completamento del burst di CPU
  - Preemptive: se arriva un nuovo processo con burst di CPU più corto del tempo di CPU rimanente al processo correntemente in esecuzione la CPU viene subito deallocata ed allocata al nuovo processo.
    - ✓ Detto anche Shortest Remaining Time First: SRTF.
- SJF è ottimale nel senso che rende il tempo medio di attesa minimo per un dato insieme di processi.
- La difficoltà consiste nel conoscere la durata della successiva richiesta della CPU.

Esempio di SJF Non-Preemptive

Processo	Tempo di arrivo	Lunghezza del burst
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

- SJF (non-preemptive)

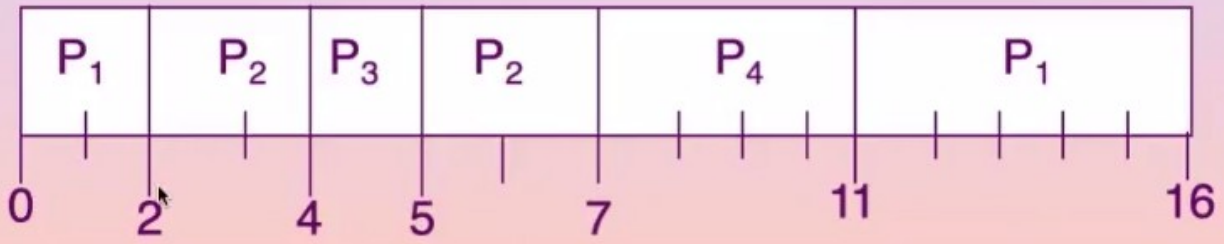


- Il tempo di attesa è la somma degli intervalli di attesa passati nella coda dei processi pronti.
- Tempo di attesa medio = (0 + (8-2) + (7-4) + (12-5))/4 = 4

Esempio di SJF Preemptive

Processo	Tempo di arrivo	Lunghezza del burst
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

- SJF (preemptive)



- Tempo di attesa medio = (9 + 1 + 0 + 2)/4 = 3

Determinare la lunghezza del prossimo burst di CPU

- La lunghezza può solo essere stimata.
- Può essere fatto utilizzando le lunghezze dei burst di CPU precedenti:
  - calcolando la *media esponenziale* delle effettive lunghezze delle precedenti sequenze di operazioni della CPU:
    1. t_n = lunghezza attuale del n^{th} CPU burst
    2. τ_{n+1} = valore predetto del prossimo CPU burst
    3. $\alpha,\ 0 \le \alpha \le 1$
    4. Definiamo :

$$\tau_{n+1} = \alpha\, t_n + (1-\alpha)\tau_n .$$

- t_n contiene le informazioni più recenti, τ_n registra la storia passata, α controlla il peso relativo sulla predizione della storia recente.

Esempi di media esponenziale

- $\alpha = 0$
  - $\tau_{n+1} = \tau_n$
  - La storia recente non conta (le condizioni attuali sono transitorie).
- $\alpha = 1$
  - $\tau_{n+1} = t_n$
  - Conta solo l'ultimo CPU burst.
- Se espandiamo la formula $\tau_{n+1} = \alpha t_n + (1-\alpha)\tau_n$. otteniamo:

$$\tau_{n+1} = \alpha\, t_n + (1-\alpha)\,\alpha\, t_{n-1} + \ldots$$
$$+(1-\alpha)^j \alpha\, t_{n-j} + \ldots$$
$$+(1-\alpha)^{n+1} t_n\, \tau_0$$

- Giacché entrambi α e $(1-\alpha)$ sono minori o uguali di 1, ciascun termine successivo ha peso minore del suo predecessore.

Scheduling per priorità

- Un valore di priorità (intero) viene associato ad ogni processo.
- La CPU viene allocata al processo con priorità più alta (intero più basso ≡ priorità più alta).
  - Preemptive
  - nonpreemptive
- SJF è uno scheduling a priorità dove la priorità è il valore predetto del prossimo burst di CPU.
- Problema: *blocco indefinito* o *starvation*:
  - processi a bassa priorità potrebbero non essere mai eseguiti
- Soluzione: *invecchiamento (aging)*:
  - con il passare del tempo incrementare la priorità del processo.

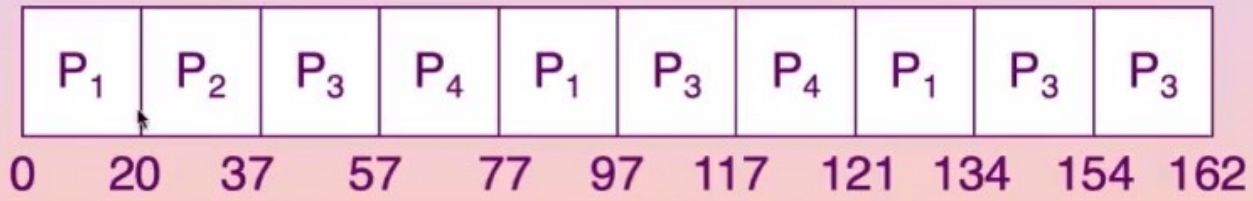
Scheduling circolare (Round Robin - RR)

- Ogni processo ottiene una piccola quantità fissata di tempo di CPU (*quanto di tempo*), in genere 10-100 millisecondi.
- Allo scadere di questo tempo il processo viene sospeso e aggiunto alla fine della coda dei processi pronti.
- Se ci sono *n* processi nella coda dei processi pronti e il quanto di tempo è *q* :
  - allora ciascun processo riceve 1/*n* del tempo di CPU in blocchi di al più *q* unità alla volta.
- Nessun processo rimane sospeso per più di (*n*-1)*q* unità di tempo.
- Prestazioni:
  - Valore di *q* grande⇒ FIFO
  - Valore di *q* piccolo ⇒ *q* deve essere sufficentemente grande rispetto al tempo necessario al cambio di contesto, altrimenti l' overhead è troppo alto.

Esempio di RR con quanto di tempo = 20

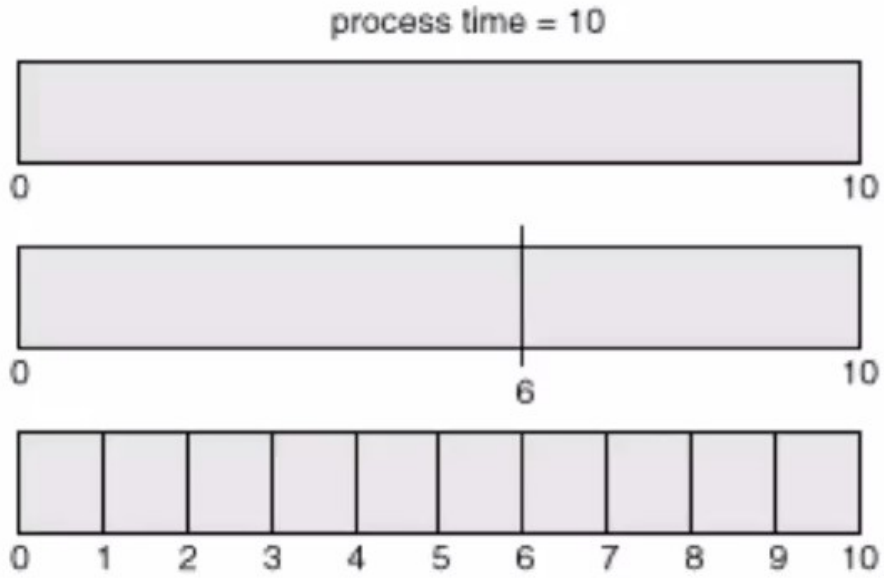
Processo	Lunghezza del burst
P_1	53
P_2	17
P_3	68
P_4	24

- Il diagramma di Gantt per lo scheduling è:



- Generalmente ha tempo di completamento medio più alto di SJF ma tempo di risposta migliore.

Un quanto di tempo minore incrementa il numero di cambi di contesto

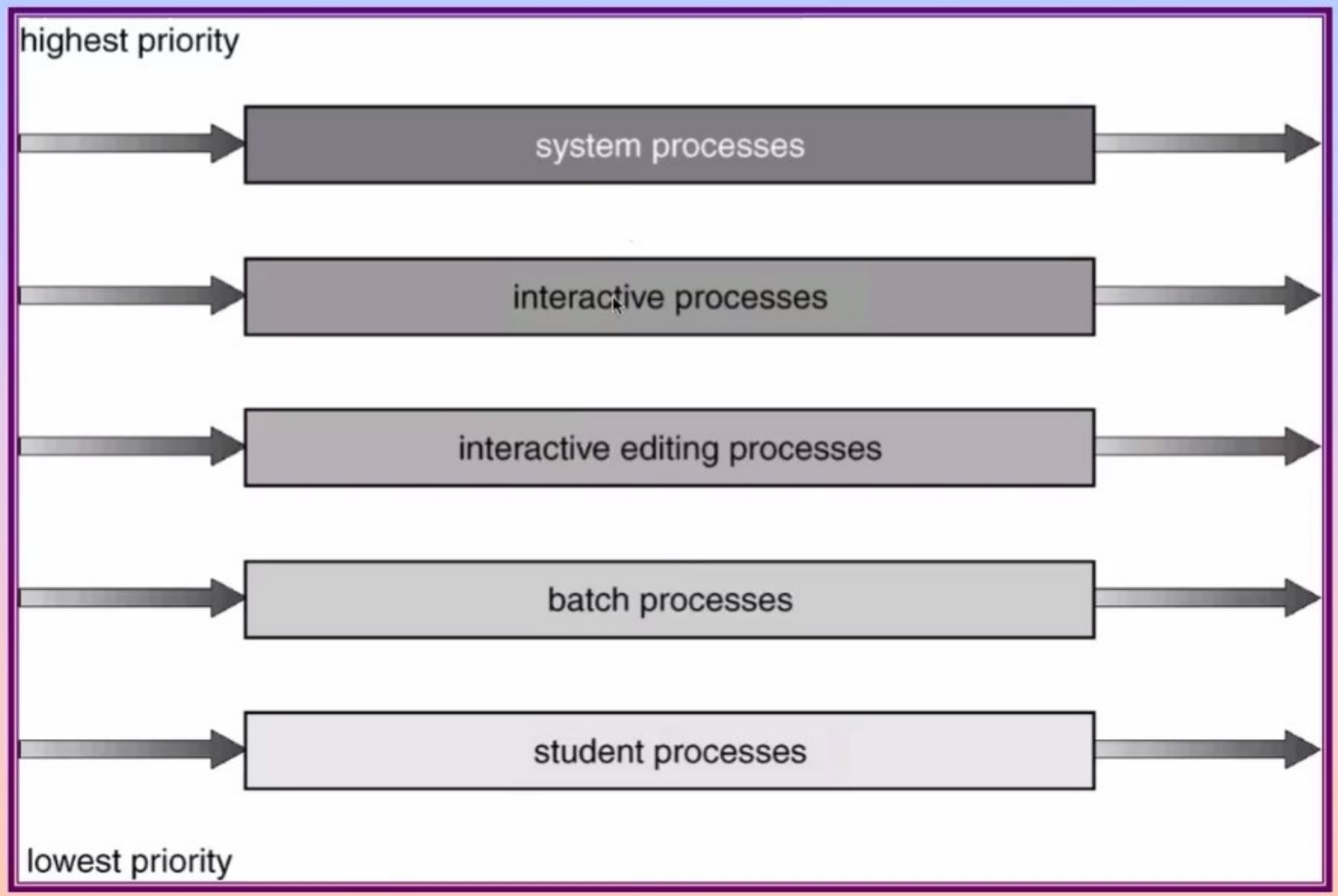


quantum	context switches
12	0
6	1
1	9

Scheduling a code multiple

- La coda dei processi pronti è partizionata in più code separate.
- I processi non possono essere spostati tra le varie code.
  - Ad es. processi che si eseguono in primo piano (foreground) o interattivi e quelli che si eseguono in sottofondo (background), o a lotti (batch).
- Ciascuna coda ha il proprio algoritmo di scheduling.
  - Ad es: foreground – RR, background – FCFS
- E' necessario avere uno scheduling tra le code:.
  - Scheduling a priorità fissa;
    - ✓ ad es. eseguire tutti i processi nella coda foreground e passare solo dopo alla background.
    - ✓ Possibilità di starvation.
  - Quanti di tempo: ciascuna coda ottiene un quanto di tempo della CPU con cui può schedulare i processi in coda.
    - ✓ ad es., 80% alla coda dei processi in foreground in RR e 20% all'altra in FCFS

Scheduling a code multiple (II)



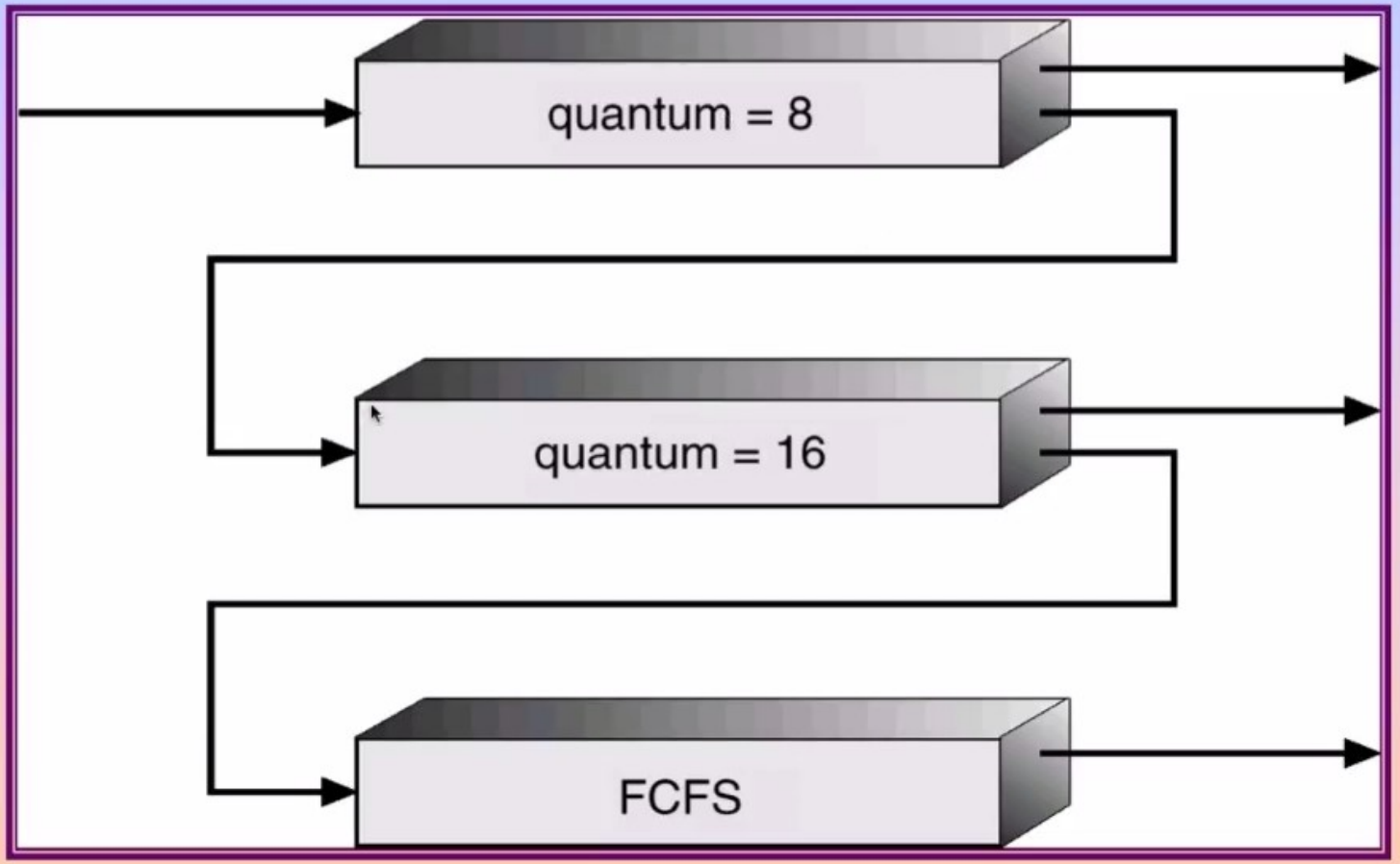
Scheduling a code multiple con retroazione

- Un processo può essere spostato da una coda ad un'altra, ad es. per *invecchiamento*.
- Lo scheduling a code multiple con retroazione è caratterizzato dai seguenti parametri:
  - numero di code,
  - algoritmo di scheduling per ciascuna coda,
  - metodo usato per determinare quando spostare un processo in una coda con priorità maggiore,
  - metodo usato per determinare quando spostare un processo in una coda con priorità minore,
  - metodo usato per determinare in quale coda si deve mettere un processo quando richiede un servizio.

Esempio di scheduling a code multiple con retroazione

- Tre code:
  - Q_0 – quanto di tempo 8 millisecondi
  - Q_1 – quanto di tempo 16 millisecondi
  - Q_2 – FCFS
- Scheduling:
  - Un nuovo processo entra nella coda Q_0
  - Quando gli viene assegnata la CPU, riceve 8 millisecondi.
  - Se non finisce in 8 millisecondi, viene spostato nella coda Q_1.
  - Nella coda Q_1 riceve altri 16 millisecondi.
  - Se non termina entro questo quanto di tempo, viene deallocato e spostato nella coda Q_2 schedulata con FCFS.

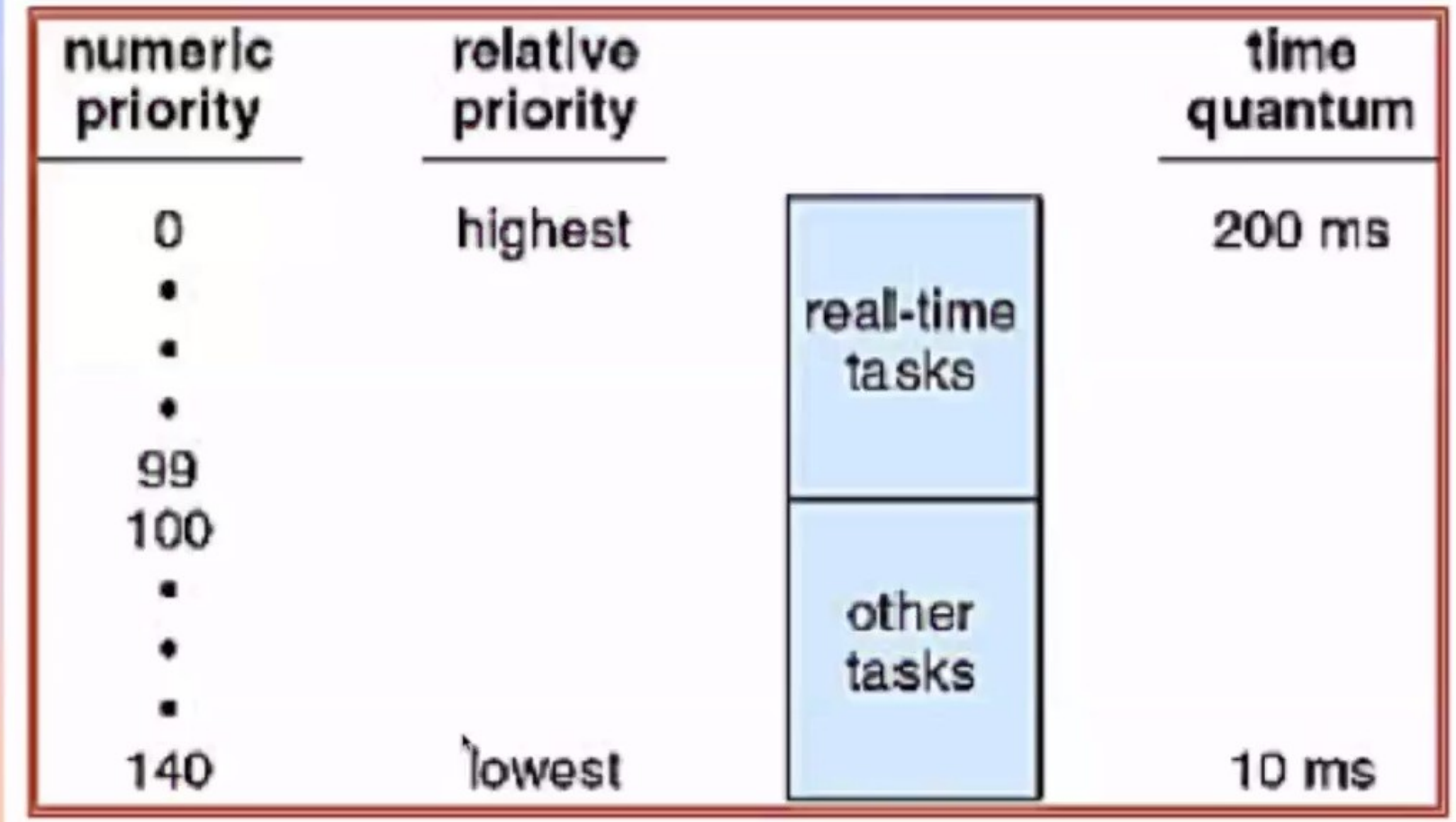
Esempio di scheduling a code multiple con retroazione (II)



Esempio: scheduling di Linux

- Lo scheduler di Linux ricorre ad un algoritmo di scheduling con prelazione basato sulle priorità.
- Ci sono due gamme di priorità separate:
  - un intervallo real-time che va da 0 a 99
  - un intervallo nice compreso tra 100 e 140.
- I valori di questi due range sono mappati in un valore di priorità globale.
  - Numeri bassi implicano priorità alta.
- Il kernel mantiene una lista di tutti i task in una *runqueue.*
- La runqueue contiene due array di priorità:
  - attivo e scaduto (active array ed expired array).
    - ✓ il primo contiene tutti i task che hanno ancora tempo da sfruttare,
    - ✓ il secondo i task scaduti.

Relazione fra le priorità e la lunghezza del quanto di tempo



Valutazione degli algoritmi

- Modelli deterministici:
  - dato un carico di lavoro predeterminato definiscono una formula o un algoritmo che valuta le prestazioni dell'algoritmo di schedulazione per quel carico di lavoro.
  - Necessitano in genere di conoscenze troppo dettagliate ed impossibili da ottenere.
- Reti di code:
  - il sistema di calcolo si descrive come una rete di unità serventi, ciascuna con una coda di attesa:
    - ✓ la CPU è un'unità servente con la propria coda dei processi pronti, il sistema di I/O con le code dei dispositivi, etc..
  - Se sono noti (o stimabili) l'andamento degli arrivi e dei servizi, si possono calcolare l'utilizzo, la lunghezza media delle code, il tempo medio di attesa, etc.
  - Questo tipo di studio si chiama analisi delle reti di code.
  - Il risultato è una approssimazione, non sempre esatta, del sistema reale.

Valutazione degli algoritmi (II)

- Simulazioni:
  - implicano la programmazione di un modello del sistema di calcolo.
  - I processi sono simulati, ad esempio, attraverso generatori di numeri casuali che simulano le quantità di risorse necessarie ad ogni processo.
  - Il simulatore dispone di una variabile che rappresenta un clock.
  - Con l'aumentare del valore di questa variabile, il simulatore modifica lo stato del sistema in modo da descrivere le attività dei dispositivi, dei processi e dello scheduler.
  - Sono spesso onerose, in termini di risorse di calcolo, e non sempre precise.
  - Durante l'esecuzione della simulazione si raccolgono e si stampano statistiche che indicano le prestazioni degli algoritmi.
- Realizzazione:
  - l'unico modo assolutamente sicuro di valutare un algoritmo di scheduling consiste nel codificarlo, inserirlo nel S.O. ed osservarne il comportamento nelle reali condizioni di funzionamento.