Scheduling della CPU

Scheduling della CPU

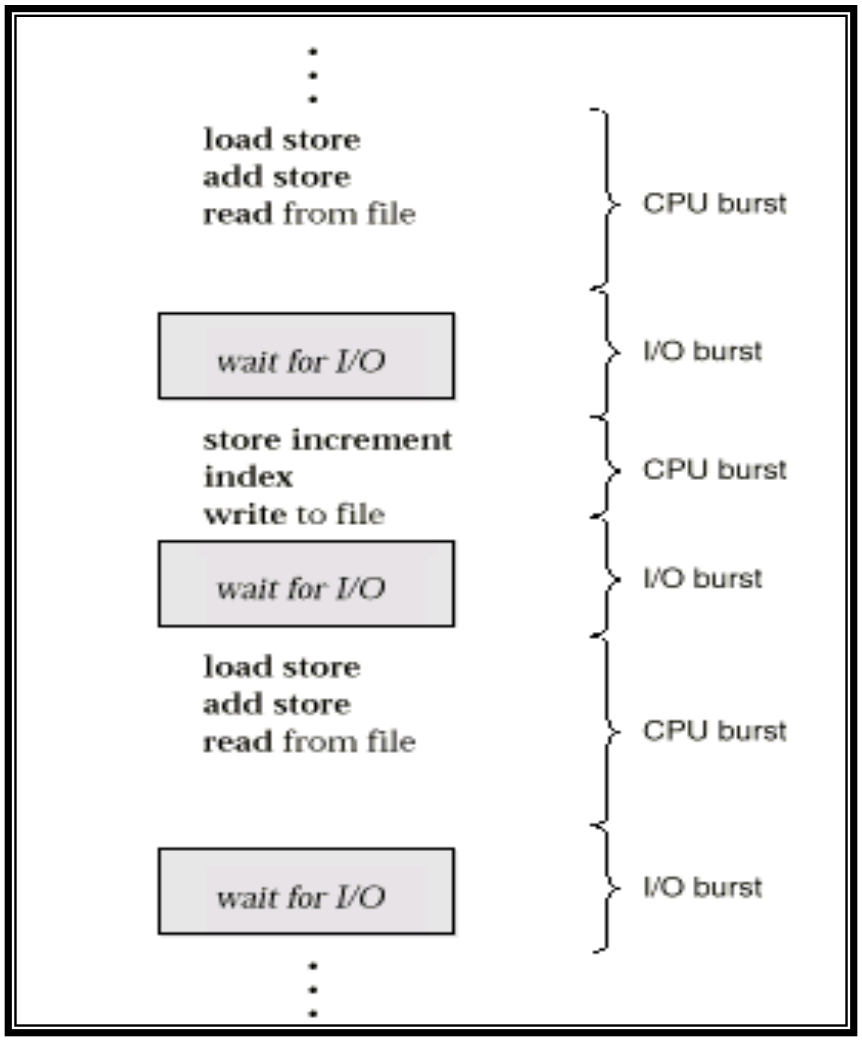
- Concetti di Base
- Criteri di Scheduling
- Algoritmi di Scheduling
  - FCFS, SJF, Round-Robin, Con priorità, A code multiple
- Scheduling in Multi-Processori
- Scheduling Real-Time
- Valutazione di Algoritmi

Concetti di Base

- Lo scheduling della CPU **è l'elemento fondamentale** dei sistemi operativi con multiprogrammazione.
- L'obiettivo dello scheduling è la **massimizzazione dell'utilizzo della CPU**.
- Questo si ottiene assegnando al processore processi che sono pronti per eseguire delle istruzioni.
- Concetti fondamentali: Ciclo **CPU Burst – I/O Burst**

  L'esecuzione di un processo consiste di un ciclo di esecuzione nella CPU e attesa di eseguire una operazione di I/O.

Sequenza Alternata di CPU e I/O Burst



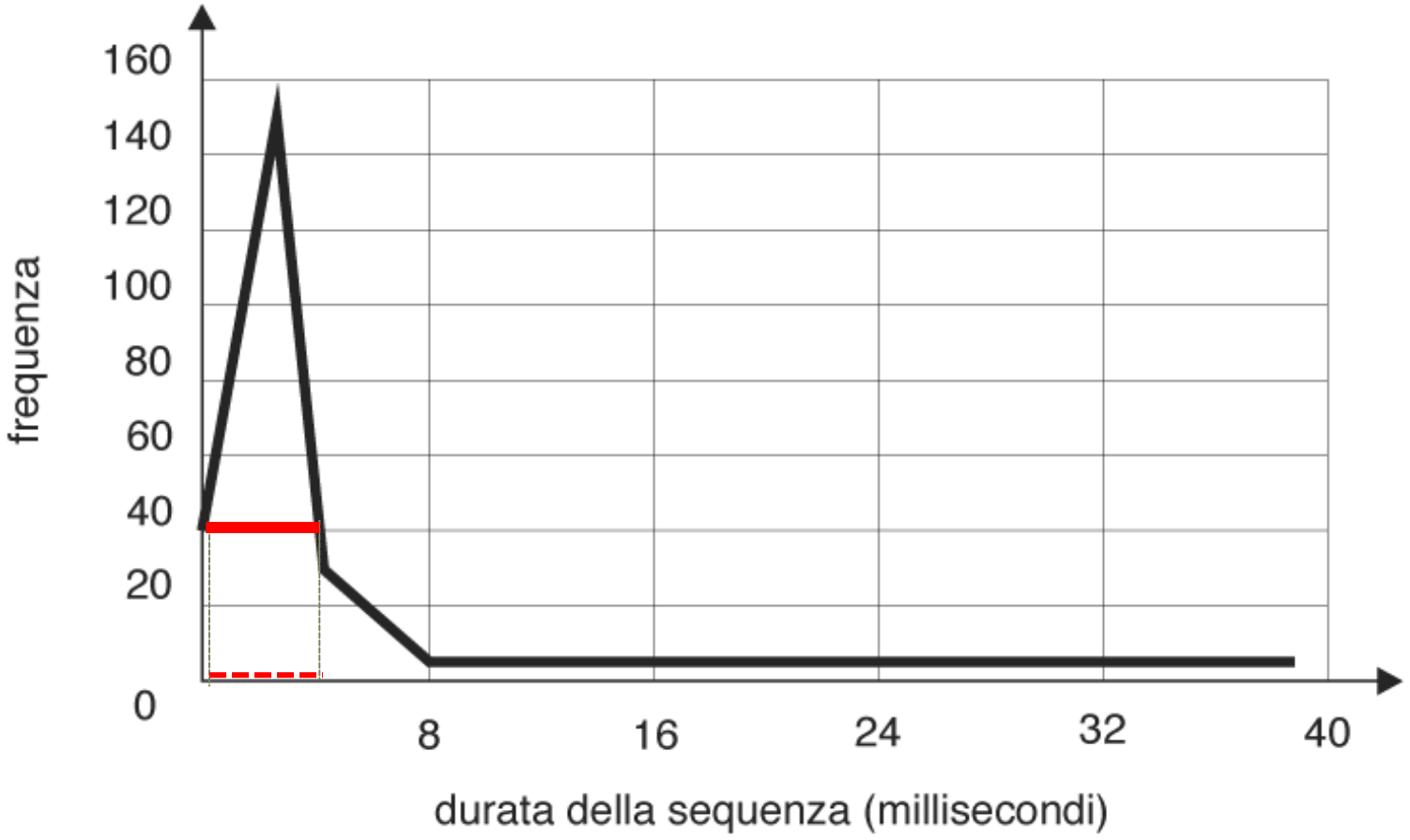
CPU Burst: Sequenza di operazioni comprese tra due operazioni di I/O.

I/O Burst: Operazioni di I/O eseguite tra due CPU burst.

Concetti di Base

- La distribuzione dei CPU burst dipende dalle attività dei diversi programmi.
- **La frequenza dei CPU burst brevi è molto alta mentre la frequenza dei CPU burst lunghi è molto bassa.**
- Differenza tra processi *CPU bound* e processi *I/O bound*.
- Queste caratteristiche sono considerate nella selezione delle strategie di scheduling.

Distribuzione della durata dei CPU burst

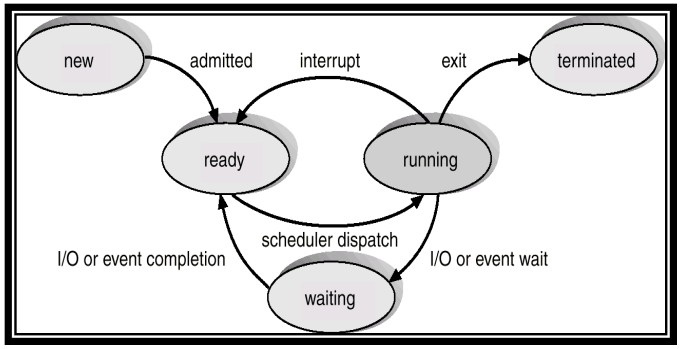


Molti CPU burst hanno una durata breve (meno di 8 ms).

Scheduler della CPU

- Lo **scheduler a breve termine** seleziona uno tra i processi in memoria pronti per essere eseguiti (*ready queue*) e lo assegna alla CPU.

- Lo scheduler interviene quando un processo:
  1. Passa dallo stato **running** allo stato **waiting**.
  2. Passa dallo stato **running** allo stato **ready**.
  3. Passa dallo stato **waiting** allo stato **ready**.
  4. **Termina**.



- Nei casi 1 e 4 lo scheduling è ***nonpreemptive*** *(senza prelazione)*.
- Negli altri casi è ***preemptive*** *(con prelazione).*

Dispatcher

- Il modulo **dispatcher** svolge il lavoro di passare il controllo ai processi selezionati dallo scheduler della CPU per la loro esecuzione. Esso svolge:
  - il context switch
  - il passaggio al modo utente
  - il salto alla istruzione da eseguire del programma corrente.
- Il **dispatcher** deve essere molto veloce.
- *Latenza di dispatch* – tempo impiegato dal dispatcher per fermare un processo e far eseguire il successivo.

Criteri di Scheduling

- Nella scelta di una strategia di scheduling occorre tenere conto delle diverse caratteristiche dei programmi.
- CRITERI da considerare:
  - **Utilizzo della CPU** – avere la CPU il più attiva possibile
  - **Throughput** – n° di processi completati nell'unità di tempo
  - **Tempo di turnaround** – tempo totale per eseguire un processo
  - **Tempo di waiting** – tempo totale di attesa sulla ready queue
  - **Tempo di risposta** – tempo da quando viene inviata una richiesta fino a quando si produce una prima risposta (non considerando il tempo di output).

Criteri di Ottimizzazione

CRITERI:

- Massimizzare l'utilizzo della CPU
- Massimizzare il throughput
- Minimizzare il tempo di turnaround
- Minimizzare il tempo di waiting
- Minimizzare il tempo di risposta

- Generalmente si tende ad **ottimizzare i valori medi**.

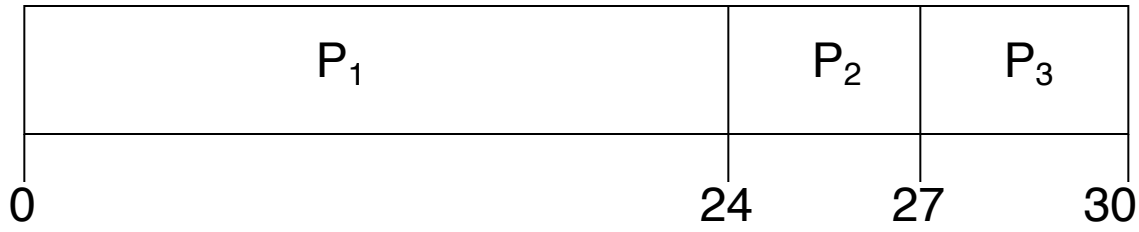
- Nei sistemi time-sharing è più importante **minimizzare la varianza del tempo di risposta**.

Scheduling First-Come, First-Served (FCFS)

- Il Primo arrivato è il primo servito (gestito con coda FIFO).

Processo	Burst Time
P_1	24
P_2	3
P_3	3

- Supponiamo che i processi arrivino nell'ordine: P_1 , P_2 , P_3
  Lo schema di Gantt è:



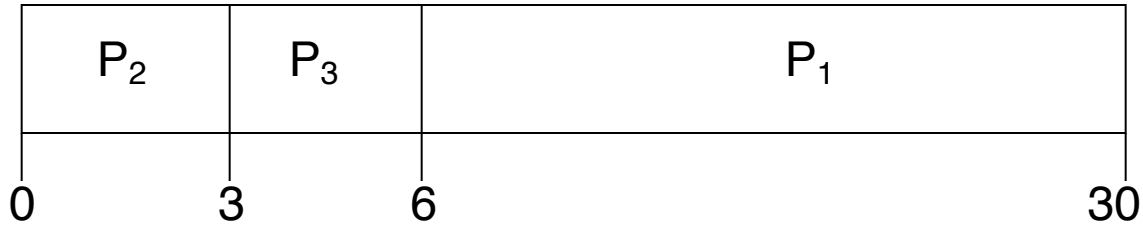
- Tempo di waiting per: $P_1 = 0$; $P_2 = 24$; $P_3 = 27$
- Tempo di waiting medio: (0 + 24 + 27)/3 = 17

Scheduling FCFS

Supponiamo che i processi arrivino nell'ordine

$$P_2 , P_3 , P_1 .$$

- Lo schema di Gantt è:



- Tempo di waiting per $P_1 = 6; P_2 = 0; P_3 = 3$
- Tempo di waiting medio: (6 + 0 + 3)/3 = 3
- Molto meglio che nel caso precedente.

- *Effetto convoglio:* i processi "brevi" attendono i processi "lunghi".

Scheduling Shortest-Job-First (SJF)

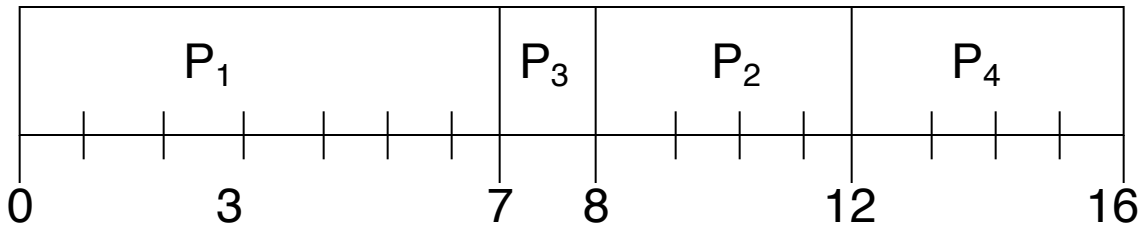
- Associa ad ogni processo la lunghezza del prossimo CPU burst. Usa questi tempi per schedulare il processo con la lunghezza minima.
- I processi sono ordinati nella ready queue in base al loro prossimo CPU burst in ordine crescente (il primo processo ha il minino CPU burst)

- Due schemi:
  - ***nonpreemptive*** – il processo assegnato alla CPU (cioè in ***running***) non può essere sospeso prima di completare il suo CPU burst.
  - ***preemptive*** – se arriva un nuovo processo nella coda ***ready*** con un CPU burst più breve del tempo rimanente per il processo corrente (cioè in ***running***), viene servito. Questo schema è conosciuto come ***Shortest-Remaining-Time-First (SRTF).***
- *SJF è ottimale* (rispetto al waiting time) – offre il minimo tempo medio di attesa per un insieme di processi.

Esempio di Non-Preemptive SJF

Processo	Tempo Arrivo	Tempo di Burst
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

- SJF (non-preemptive)

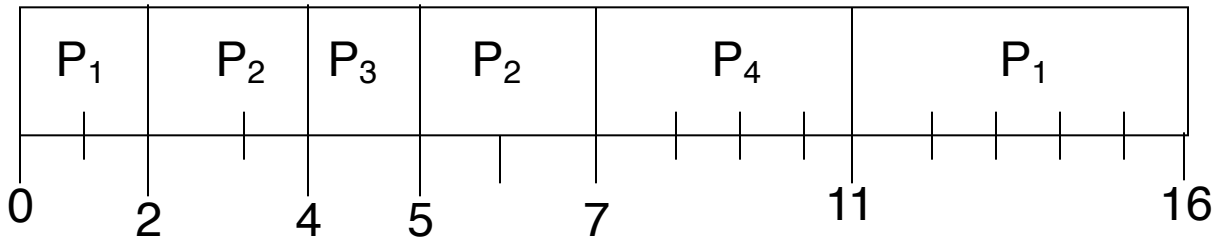


- Tempo di attesa medio = (0 + 6 + 3 + 7)/4= 4

Esempio di Preemptive SJF

Processo	Tempo di Arrivo	Tempo di 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

Lunghezza del prossimo CPU Burst?

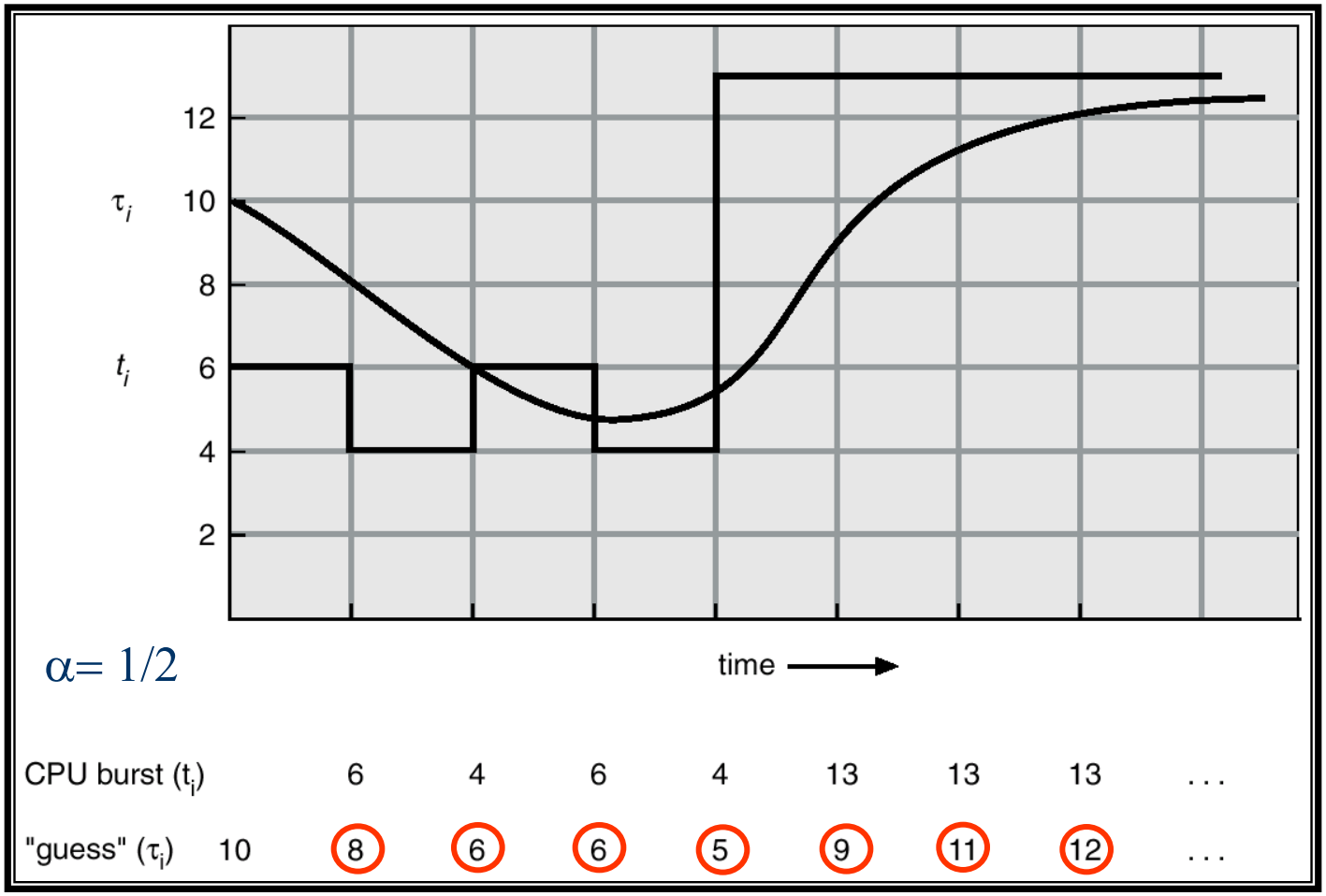
- La lunghezza del prossimo CPU burst non si conosce.
- Ma può essere stimato (**per decidere in quale posizione della coda inserire il processo**).
- Usando la lunghezza dei precedenti CPU burst e usando una media esponenziale:

t_n	lunghezza dell'n-esimo CPU burst
τ_{n+1}	valore predetto del prossimo CPU burst
α	$0 <= \alpha <= 1$

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

- Il processo che viene selezionato per l'esecuzione **verrà eseguito per il tempo effettivo del suo CPU burst.**

Predizione della lunghezza del prossimo CPU Burst



Esempi di media esponenziale

- α **=0**

  $\tau_{n+1} = \tau_n$

  - La storia recente non conta.

- α **=1**

  $\tau_{n+1} = t_n$

  - Conta solo l'ultimo valore reale del CPU burst.

- Se espandiamo la formula, si ha:

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

- Poiché sia α che (1 - α) sono minori o uguali ad 1, ogni termine successivo da un contributo sempre più piccolo.

Scheduling con Priorità

- Una priorità (numero intero) è assegnata ad ogni processo.
- La CPU è assegnata al processo con più alta priorità (in alcuni SO: il più piccolo intero ≡ la più alta priorità).
- Due versioni:
  1. **Preemptive**
  2. **Non-preemptive**

- Ergo: SJF è uno scheduling con priorità stabilita dal valore del tempo del prossimo CPU burst.

- Problema ≡ ***Starvation*** – i processi a più bassa priorità potrebbero non essere mai eseguiti.
- Soluzione ≡ ***Aging*** – al trascorrere del tempo di attesa si incrementa la priorità di un processo che attende.

Scheduling Round Robin (RR)

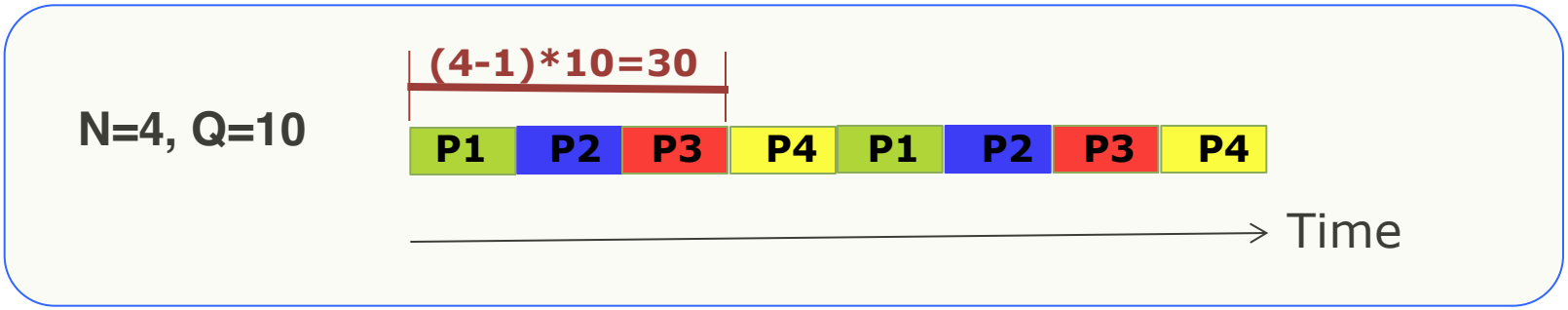
- Ogni processo è assegnato alla CPU per un intervallo temporale fissato (*quanto di tempo*), ad es: 10, 30, 80, 100 millisecondi.

- Quando il tempo è trascorso il processo viene tolto dalla CPU e inserito nella ready queue (L'inserimento nella coda segue l'ordine temporale FIFO).

Scheduling Round Robin (RR)

- Se ci sono **N** processi nella ready queue e il quanto di tempo è **Q**, ogni processo ottiene **1/N** del tempo della CPU a blocchi di lunghezza **Q**.

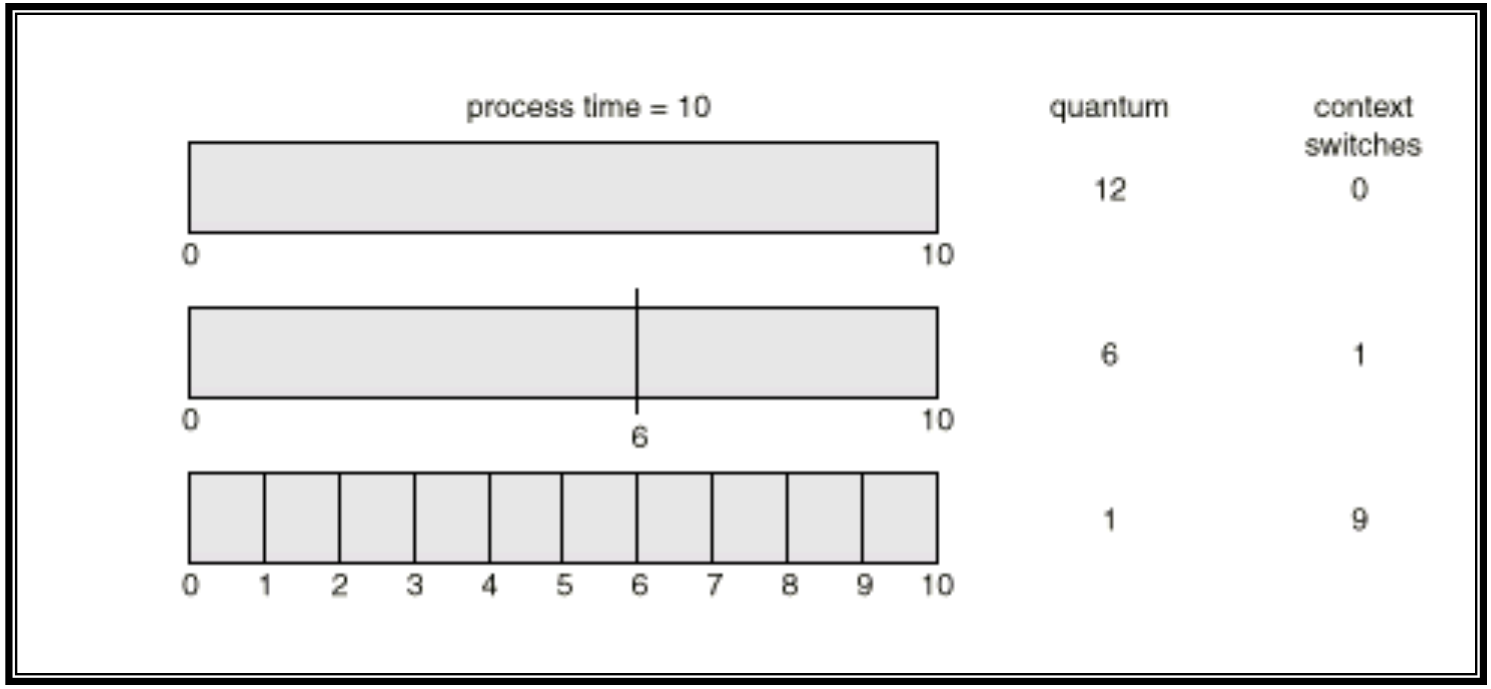
- Nessun processo attende più di **(N-1)Q** unità di tempo.



- Prestazioni
  - *Q* grande ⇒ FIFO
  - *Q* piccolo ⇒ *Q deve essere molto più grande del tempo di context switch*, altrimenti il costo è troppo alto.

Quanto di tempo e Context Switch

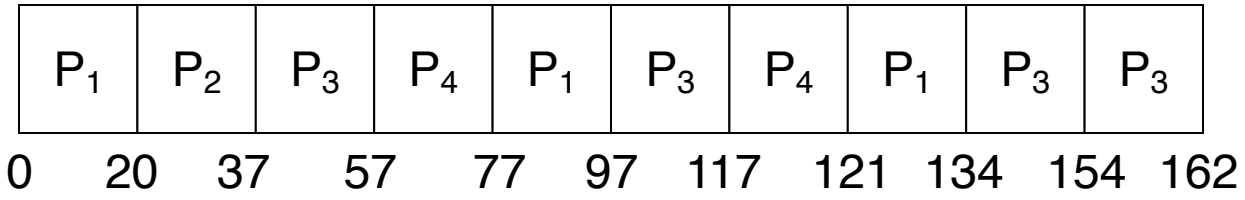
- Il quanto di tempo deve essere molto più grande del tempo di context switch, altrimenti il costo è troppo alto.



Esempio di RR con Q = 20

Processi	tempo di burst
P_1	53
P_2	17
P_3	68
P_4	24

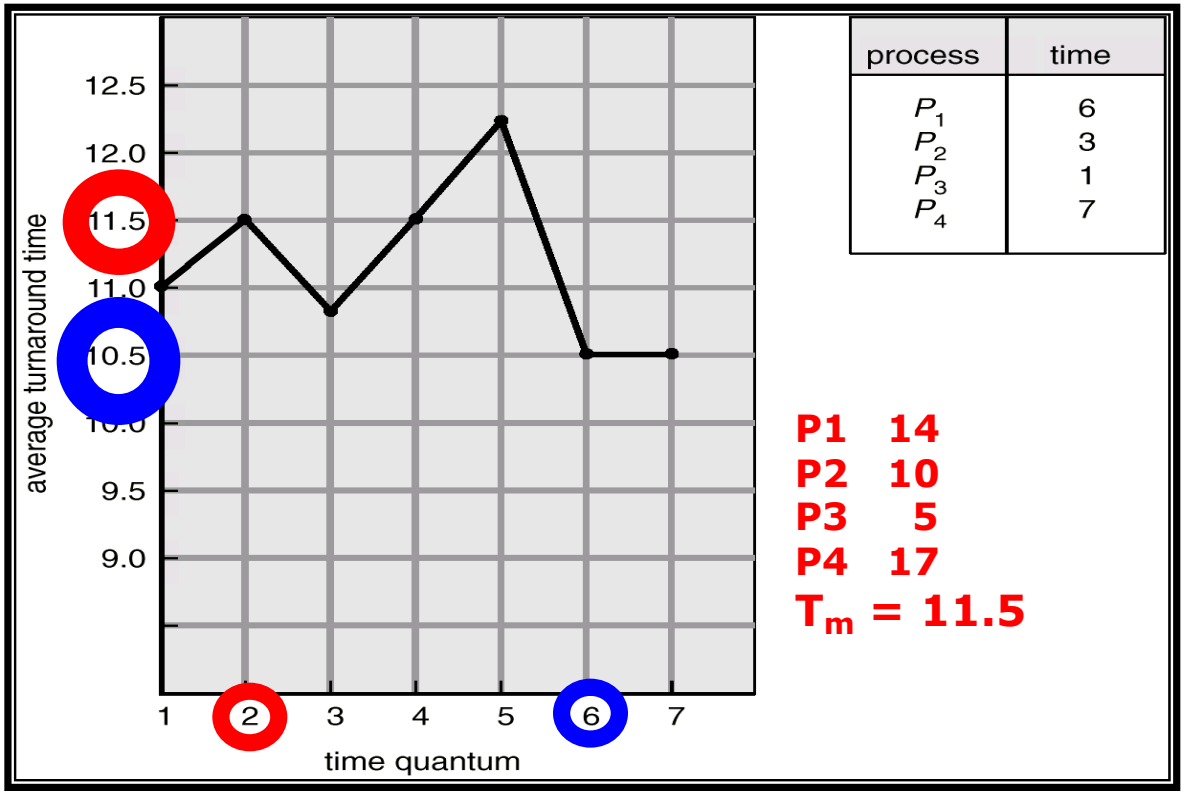
- Gantt:



- Tempo di *turnaround* maggiore di SJF, ma **migliore *tempo di risposta***.

Il tempo di Turnaround dipende da Q

- Anche il tempo di Turnaround dipende dal quanto di tempo.

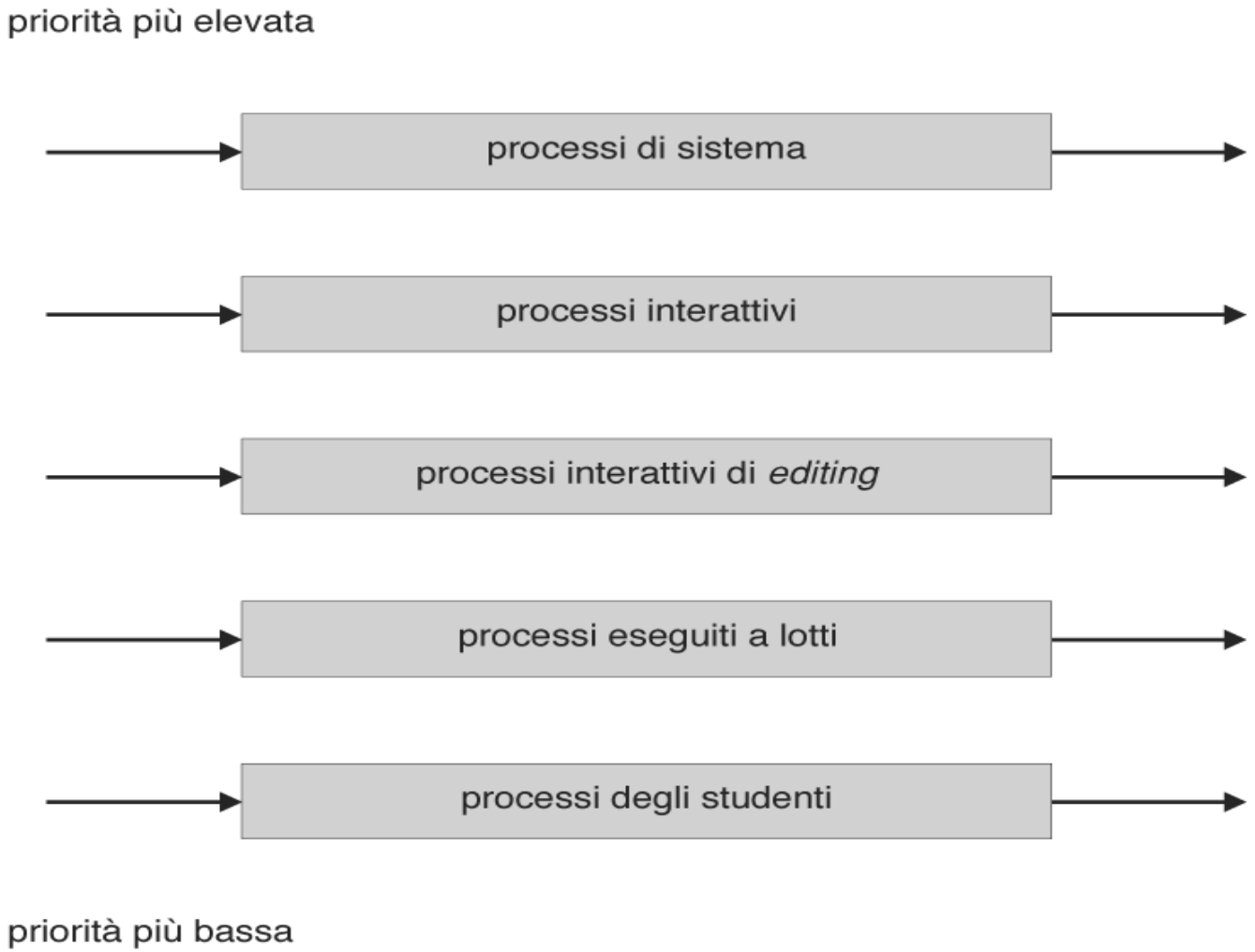


- Circa l'80% dei CPU burst devono essere più brevi di Q.

Scheduling a code multiple

- **La ready queue è partizionata in più code.**
- Ad esempio:
  - **foreground** (processi interattivi)
  - **background** (processi batch)
- Ogni coda è gestita da un proprio algoritmo di scheduling. Ad esempio:
  - **foreground** – RR
  - **background** – FCFS
- **E' necessario uno scheduling tra le code**.
  - ***Scheduling a priorità fissa*** : Possibilità di starvation.
  - ***Quanto di tempo*** : ogni coda ha un certo ammontare di tempo di CPU che usa per i suoi processi. Ad esempio:
    - 80% ai processi interattivi con RR
    - 20% ai processi batch con FCFS.

Scheduling a code multiple



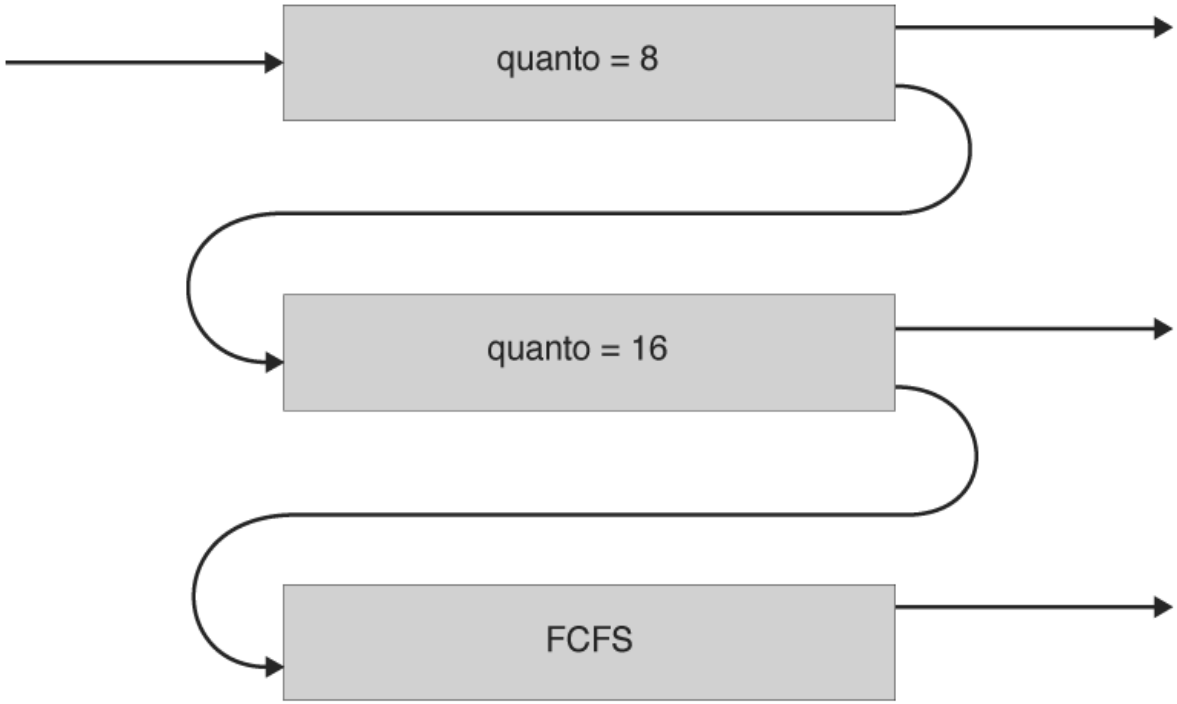
Scheduling a code multiple con feedback

- **Attraverso un feedback un processo si può spostare tra le code**. Questo evita situazioni di starvation o di eccessivo utilizzo della CPU.

- Lo scheduler che usa code multiple con feedback usa i seguenti parametri:
  - numero di code
  - algoritmi di scheduling per ogni coda
  - un metodo per “promuovere” un processo (--> maggiore priorità)
  - un metodo per “degradare” un processo (--> minore priorità)
  - un metodo per decidere in quale coda inserire un processo quando questo chiede un servizio.

Esempio di scheduling a code multiple con feedback

- **Esempio** con tre code:
  - Q_0 – quanto di tempo di 8 millisecondi
  - Q_1 – quanto di tempo di 16 millisecondi
  - Q_2 – FCFS

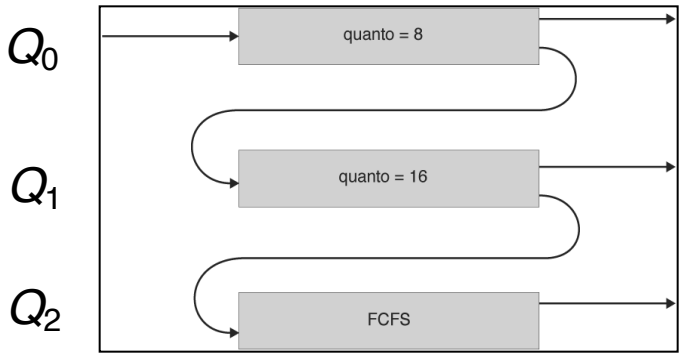


Scheduling a code multiple con feedback

- Si servono prima i processi della coda 0, quindi quelli della coda 1 e solo dopo quelli della coda 2.

- Esempio di scheduling
  - un nuovo processo arriva nella coda Q_0 e quando è servito dalla CPU gli viene assegnato un quanto di tempo di 8 millisecondi. Se non completa in questo tempo va in Q_1.

  - Nella coda Q_1 il processo riceve 16 millisecondi. Se non completa l'esecuzione, dopo questo tempo viene tolto dalla CPU e assegnato alla coda Q_2.



Scheduling per Multiprocessori

- Lo scheduling nei sistemi multiprocessore è più complesso.
- Si possono avere **processori omogenei** (tutti uguali) o **disomogenei** (diversi processori).
- Problema del **bilanciamento del carico** *(load balancing).*
- *Multiprocessing Asimmetrico* – solo un processore (master) accede alle strutture del sistema, gli altri (slave) eseguono programmi utente.
- Scheduling dei processi/thread nei sistemi **multicore**.

Scheduling Real-Time

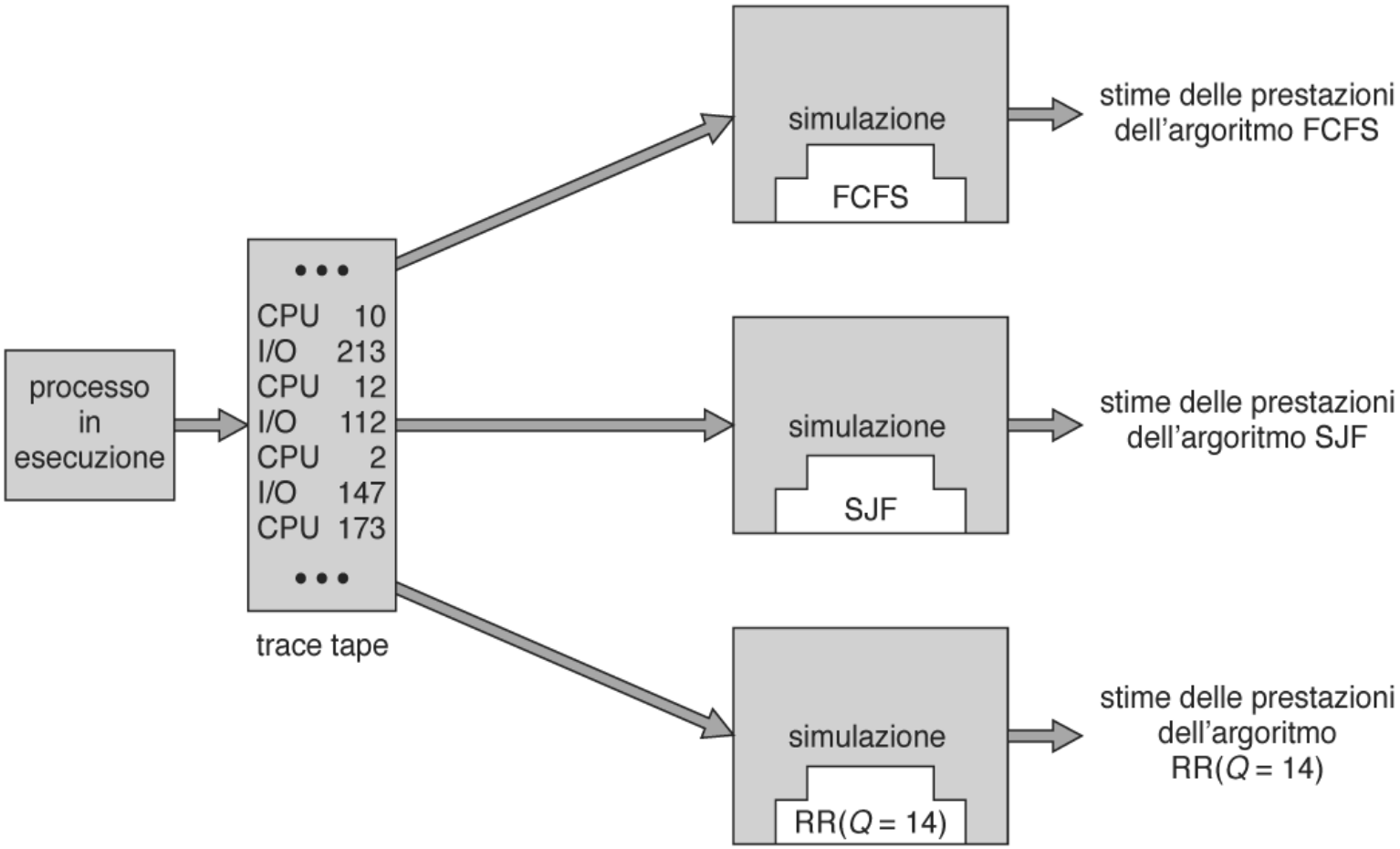
- ***Sistemi hard real-time*** – i processi devono completare l'esecuzione entro un tempo fissato.
  - *Prenotazione delle risorse*: il processo viene accettato con una indicazione di tempo di completamento
  - Se il sistema non può soddisfare la richiesta rifiuta l'esecuzione del processo.

- ***Sistemi soft real-time*** – i processi "critici" ricevono una maggiore priorità rispetto ai processi "normali".
  - Priorità non decrescente
  - Prelazione delle system call. A volte le system call prevedeno dei "punti di prelazione".

Valutazione di algoritmi di scheduling

- **Come scegliere un algoritmo di scheduling adatto/ottimale?**
- Fissare i criteri di ottimizzazione.
- Usare metodi di valutazione:
  - **Modellazione Deterministica** (valutazione analitica)
    - Fissati i diversi carichi di lavoro definisce le prestazioni dei diversi algoritmi per ognuno dei carichi analizzati.
  - **Modelli di code**
    - Il sistema viene modellato come un insieme di server con le code associate; date le distribuzioni degli arrivi delle richieste si calcola la lunghezza media delle code, il tempo medio di attesa, etc.
  - **Realizzazione**
  - **Simulazione**

Valutazione tramite simulazione



Esempi di scheduling in alcuni S.O.

- Scheduling in
  - Solaris
  - Windows XP
  - Linux

Classi di Scheduling di Solaris

- Interattivo (IA)
- Time Sharing (TS)
- Fair Share Scheduler (Ripartizione Equa) (FSS)
- Fixed Priority (Ripartizione Fissa) (FP)

- Sistema (SYS)

- Real Time (RT)

- *Caso particolare*:
- Thread per gestire le interruzioni (num. limitato)

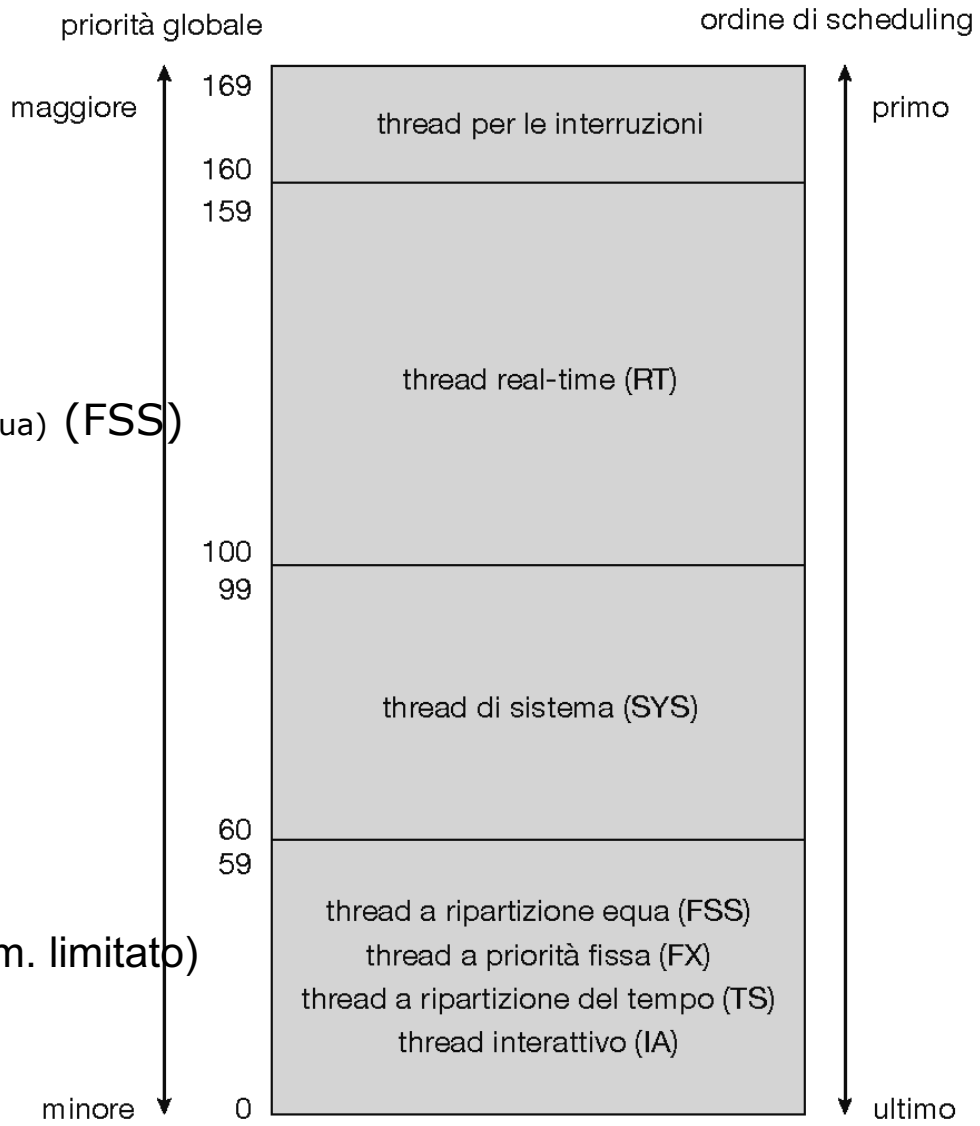


Tabella di dispatch di Solaris per i thread interattivi e a tempo ripartito (IA, TS)

Valori di priorità da assegnare nelle codizioni di:

priorità	quanto di tempo	quanto di tempo esaurito	ripresa dell'attività
0	200	0	50
5	200	0	50
10	160	0	51
15	160	5	51
20	120	10	52
25	120	15	52
30	80	20	53
35	80	25	54
40	40	30	55
45	40	35	56
50	40	40	58
55	40	45	58
59	20	49	59

Scheduling di Windows XP

Windows

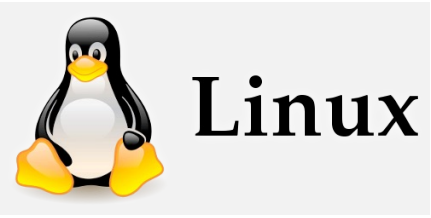
Scheduling basato su **priorità** (32 livelli e 6 classi di priorità), **prelazione** e **quanto di tempo**.

Classi di priorità

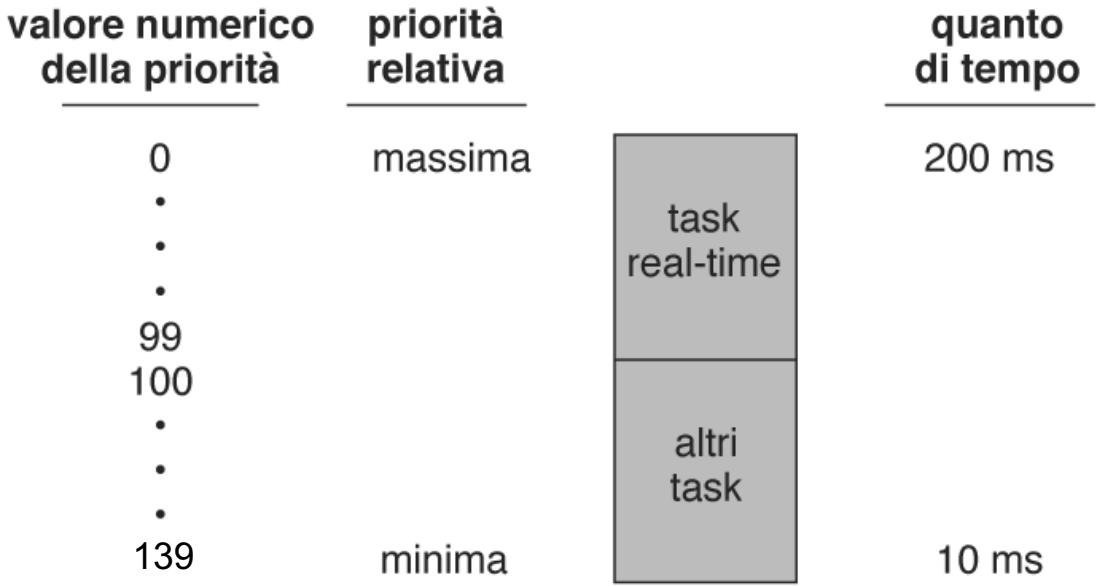
Livelli di priorità

	real-time	high	above normal	normal	below normal	idle priority
time-critical	31	15	15	15	15	15
highest	26	15	12	10	8	6
above normal	25	14	11	9	7	5
normal	24	13	10	8	6	4
below normal	23	12	9	7	5	3
lowest	22	11	8	6	4	2
idle	16	1	1	1	1	1

Scheduling di Linux



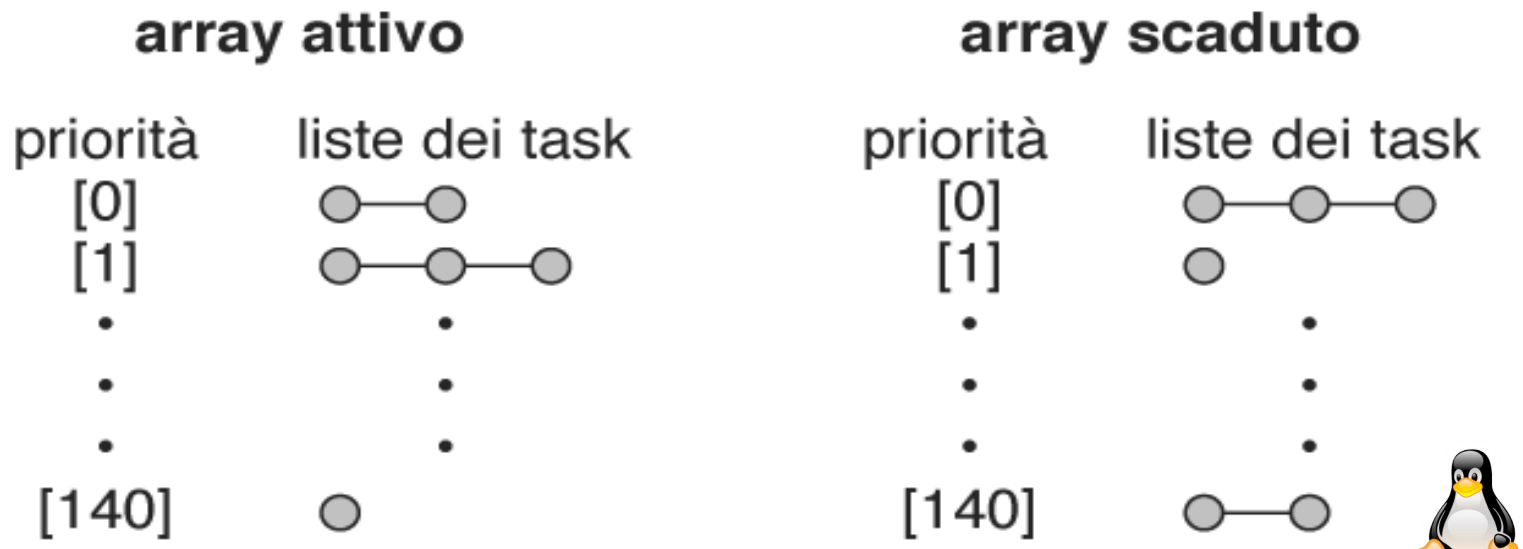
- Un algoritmo di ***scheduling con prelazione basato su priorità con due intervalli*** (a valori più bassi corrispondono priorità più alte):
  1. **real-time** - priorità tra 0 e 99.
  2. **nice** - priorità tra 100 e 140.



- Quando un task consuma il suo quanto di tempo deve attendere che tutti gli altri abbiano consumato il loro, prima di essere eseguito.

Liste dei task indicizzate in base alla priorità

- Nel sistema Linux un **array delle priorità** contiene gli indirizzi delle liste dei task con la stessa priorità.
- Esistono due array delle priorità (uno attivo e uno scaduto). Il primo contiene i task che hanno ancora del tempo da usare, il secondo i task che hanno completato il loro tempo. Quando l'array attivo è vuoto, gli array vengono scambiati.
- Ogni lista è gestita in maniera RR.



Linux