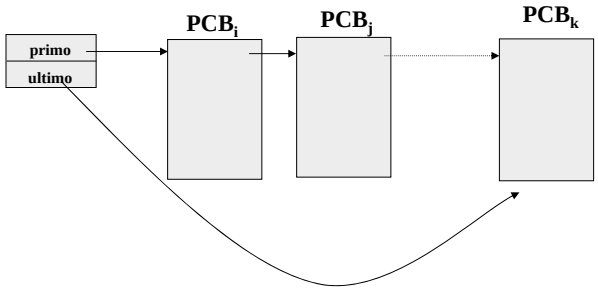
Scheduling della CPU

Scheduling della CPU

Obiettivo della multiprogrammazione: massimizzazione dell'utilizzo della CPU

- **Scheduling della CPU:** commuta l'uso della CPU tra i vari processi
- **Scheduler della CPU (a *breve termine*):** è quella parte del SO che seleziona ***dalla coda dei processi pronti*** il prossimo processo al quale assegnare l'uso della CPU

Coda dei processi pronti (*ready queue*):



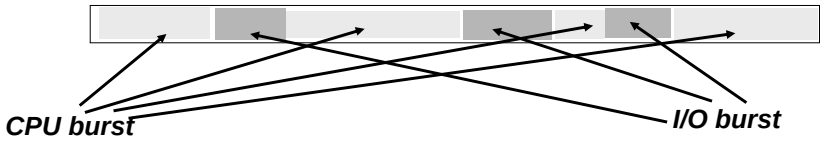
contiene i descrittori (process control block, PCB) dei processi pronti

strategia di gestione della ready queue è realizzata mediante ***politiche (algoritmi) di scheduling***

Terminologia: CPU burst & I/O burst

Ogni processo alterna (burst = raffica)

- **CPU burst**: fasi in cui viene impiegata ***soltanto la CPU senza I/O***
- **I/O burst:** fasi in cui il processo effettua ***I/O da/verso una risorsa*** (dispositivo) del sistema



- Quando un processo è in I/O burst, la CPU non viene utilizzata: in un ***sistema multiprogrammato***, lo ***scheduler*** assegna la CPU a un nuovo processo

Terminologia: processi I/O bound & CPU bound

A seconda delle caratteristiche dei programmi eseguiti dai processi, è possibile classificare i processi in

- ***I/O bound***: prevalenza di attività di I/O
  - ➔***Molti CPU burst di breve durata***, intervallati da ***I/O burst di lunga durata***
- ***CPU bound***: prevalenza di attività di computazione
  - ➔***CPU burst di lunga durata***, intervallati da ***pochi I/O burst di breve durata***

Terminologia: *pre-emption*

Gli algoritmi di scheduling si possono classificare in due categorie:

- ***senza prelazione (non pre-emptive)***: la CPU rimane allocata al processo *running* finché esso non si sospende volontariamente o non termina
- ***con prelazione (pre-emptive)***: il processo *running* può essere prelazionato, cioè SO può sottrargli la CPU per assegnarla ad un nuovo processo

➢ I sistemi a divisione di tempo hanno uno scheduling ***pre-emptive***

Politiche & meccanismi

Lo ***scheduler decide a quale processo assegnare la CPU***

- A seguito della decisione, viene attuato il cambio di contesto (*context-switch*)

Dispatcher: è la parte di SO che realizza il cambio di contesto

Scheduler = POLITICHE
Dispatcher = MECCANISMI

Criteri di scheduling

Per analizzare e confrontare i diversi algoritmi di scheduling, vengono considerati alcuni parametri:

- ***Utilizzo della CPU*****:** percentuale media di utilizzo CPU nell'unità di tempo
- ***Throughput*** (del sistema): numero di processi completati nell'unità di tempo
- ***Tempo di Attesa*** (di un processo): tempo totale trascorso nella ready queue
- ***Turnaround*** (di un processo): tempo tra la sottomissione del job e il suo completamento
- ***Tempo di Risposta*** (di un processo): intervallo di tempo tra la sottomissione e l'inizio della prima risposta (a differenza del turnaround, non dipende dalla velocità dei dispositivi di I/O)

Criteri di scheduling

In generale:

- devono essere **massimizzati**
  - **Utilizzo della CPU**
  - **Throughput**

- invece, devono essere **minimizzati**
  - **Turnaround** (sistemi *batch*)
  - **Tempo di Attesa**
  - **Tempo di Risposta** (sistemi *interattivi*)

Criteri di scheduling

Non è possibile ottimizzare tutti i criteri contemporaneamente

A seconda del tipo di SO, gli algoritmi di scheduling possono avere **diversi obiettivi**

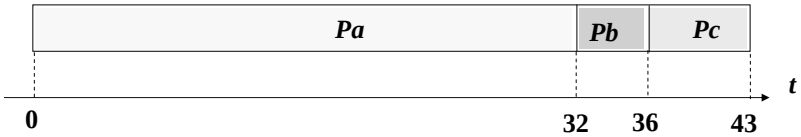
- nei sistemi *batch*:
  - ***massimizzare throughput e minimizzare turnaround***
- nei sistemi *interattivi*:
  - ***minimizzare il tempo medio di risposta*** dei processi
  - ***minimizzare il tempo di attesa***

Algoritmo di scheduling FCFS

First-Come-First-Served: la coda dei processi pronti viene gestita in modo FIFO

- i processi sono schedulati secondo ***l'ordine di arrivo*** nella coda
- algoritmo ***non pre-emptive***

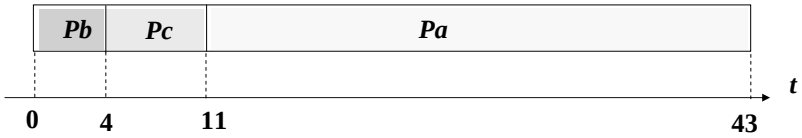
Esempio: tre processi [Pa, Pb, Pc] (diagramma di ***Gantt***)



$T_{attesa\ medio} = (0 + 32 + 36)/3 = 22,7$

Algoritmo di scheduling FCFS

Esempio: se cambiassimo l'ordine di scheduling [Pb, Pc, Pa]



$T_{attesa\ medio} = (0 + 4 + 11)/3 = 5$

Problemi dell'algoritmo *FCFS*

Non è possibile influire sull'ordine dei processi:

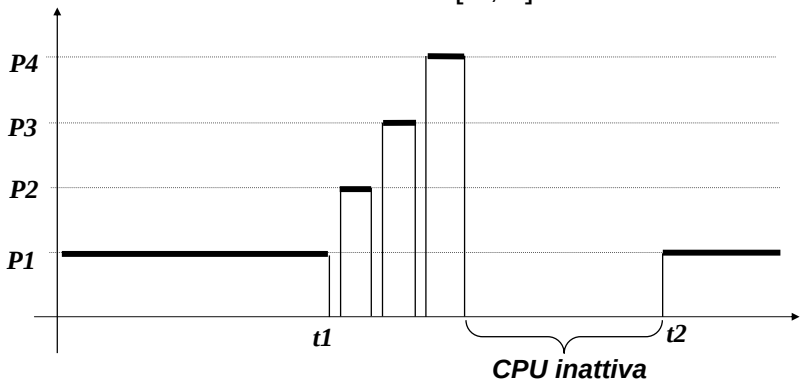
- nel caso di processi in attesa ***dietro a processi con lunghi CPU burst (processi CPU bound),*** il tempo di attesa è alto
- **Possibilità di effetto *convoglio***

  se molti processi I/O bound seguono un processo CPU bound: ***scarso grado di utilizzo della CPU***

Algoritmo di scheduling FCFS: effetto convoglio

Esempio: [P1, P2, P3, P4]

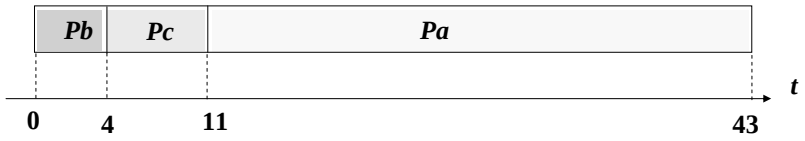
- P1 è CPU bound; P2, P3, P4 sono I/O bound
- P1 effettua I/O nell'intervallo [t1,t2]



Algoritmo di scheduling SJF (*Shortest Job First*)

Per risolvere i problemi dell'algoritmo FCFS:

- per ogni processo nella ready queue, viene stimata ***la lunghezza del prossimo CPU-burst***
- viene schedulato il processo con il ***CPU burst più corto*** (*Shortest Job First*)



- si può dimostrare che il tempo di attesa è **ottimale**

Algoritmo di scheduling SJF (*Shortest Job First*)

SJF può essere:

- ***non pre-emptive***
- ***pre-emptive*: (*Shortest Remaining Time First, SRTF)*** se nella coda arriva un processo (Q) con CPU burst minore del CPU burst rimasto al processo running (P) ➔ ***pre-emption***

Problema

- è difficile ***stimare la lunghezza del prossimo CPU burst*** di un processo (di solito, uso del passato per predire il futuro)

Stimare la lunghezza di CPU burst

Unica cosa ragionevole: stimare probabilisticamente la lunghezza in ***dipendenza dai precedenti CPU burst di quel processo***

- Possibilità molto usata: ***exponential averaging***

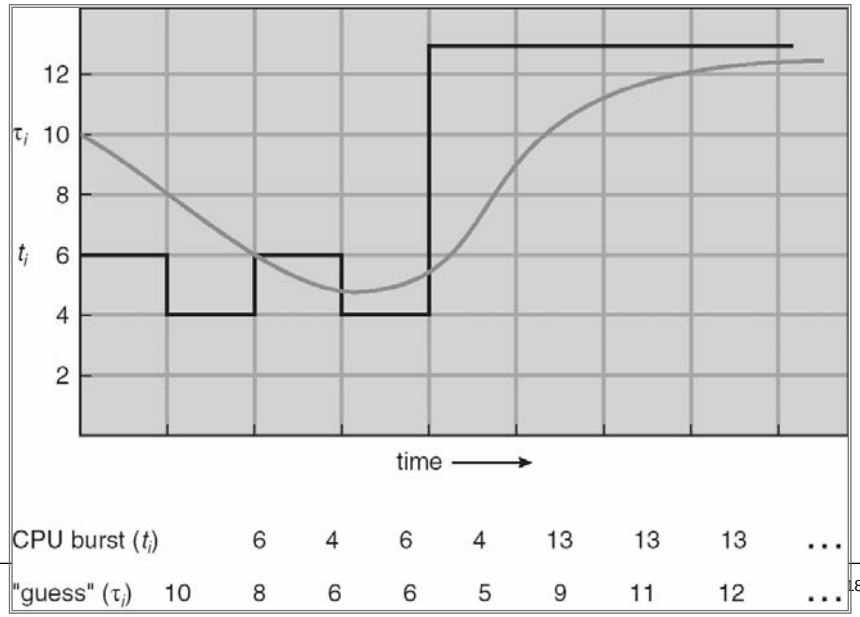
t_n = actual length of n^{th} CPU burst

τ_{n+1} = predicted value for the next CPU burst

α, $0 \le \alpha \le 1$

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

Stimare la lunghezza di CPU burst



CPU burst (t_i)	6	4	6	4	13	13	13	...
"guess" (τ_i)	10	8	6	6	5	9	11	12 ...

SJF con exponential averaging

- α =0
  - $\tau_{n+1} = \tau_n$
  - ovvero la storia recente degli attuali valori non conta
- α =1
  - $\tau_{n+1} = \alpha\, t_n$
  - ovvero conta solo l'ultimo valore reale

Sviluppando l'espressione:

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

⇒ ogni termine successivo ha meno peso del termine precedente

Scheduling con priorità

Ad ogni processo viene assegnata una priorità:

- lo scheduler seleziona il processo pronto con ***priorità massima***
- processi con ***uguale priorità*** vengono trattati in modo ***FCFS***

Priorità possono essere definite

- **internamente**: SO attribuisce ad ogni processo una priorità in base a politiche interne
- **esternamente**: criteri esterni al SO (es: `nice` in UNIX)

➢ Le priorità possono ***essere costanti o variare dinamicamente***

Scheduling con priorità

Algoritmi di ***scheduling con priorità*** possono essere

- ***non-preemptive***
- ***pre-emptive***: se arriva in coda un processo con priorità maggiore del processo running
  - ⇨ ***pre-emption***

SJF è un esempio di algoritmo con priorità

- per ogni processo, la priorità è **1/CPU$_{burst}$**
- la priorità è variabile

Scheduling con priorità

Problema: ***starvation*** dei processi

Starvation: si verifica quando uno o più processi di priorità bassa vengono ***lasciati indefinitamente nella coda dei processi pronti***, perchè vi è sempre almeno un processo pronto di priorità più alta

Soluzione: invecchiamento (***aging***) dei processi

ad esempio

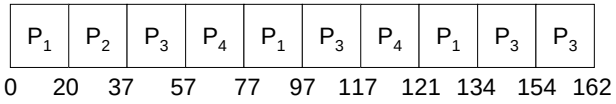
- la ***priorità cresce dinamicamente*** con il ***tempo di attesa*** del processo
- la ***priorità decresce*** al crescere del ***tempo di CPU*** già utilizzato

Algoritmo di scheduling *round robin*

È tipicamente usato in sistemi *time sharing*:

- Ready queue gestita come una ***coda FIFO circolare*** (FCFS)
- ad ogni processo viene allocata la CPU per un ***intervallo di tempo costante Δt*** (*time slice* o, *quanto di tempo*)
  - il processo usa la CPU per Δt (oppure si blocca prima)
  - allo scadere del quanto di tempo: **prelazione** della CPU e re-inserimento in coda

Process	Burst Time
P_1	53
P_2	17
P_3	68
P_4	24



➢ l'algoritmo RR può essere visto come un'estensione di FCFS con **pre-emption periodica**

Round robin

- Obiettivo principale è la ***minimizzazione del tempo di risposta*** (adeguato per sistemi interattivi)
- Tutti i processi sono trattati allo stesso modo ***(assenza di starvation)***

Problemi:

- ***dimensionamento del quanto di tempo***
  - Δt ***piccolo*** (ma non troppo: **Δt>>T$_{context\ switch}$**)
    tempi di risposta ridotti, ma alta frequenza di context switch
  - Δt ***grande***
    overhead di context switch ridotto, ma tempi di risposta più alti
- ***trattamento equo dei processi***
  - ➢ possibilità di degrado delle prestazioni del SO

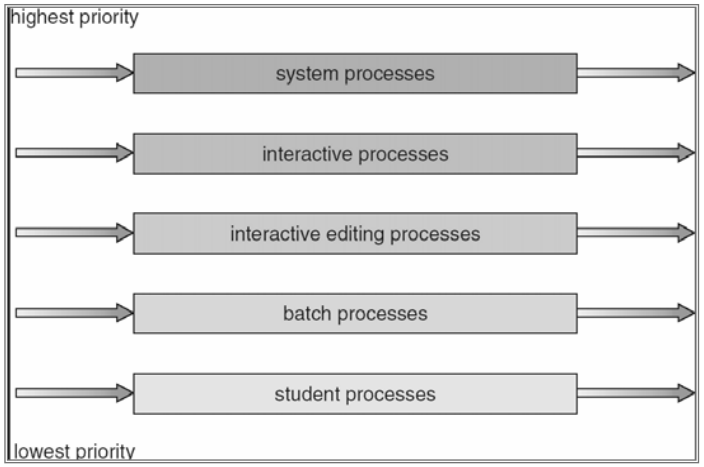
Approcci misti

Nei sistemi operativi reali, ***spesso si combinano diversi algoritmi di scheduling***

Esempio: ***Multiple Level Feedback Queues***

- ***più code***, ognuna associata a un tipo di job diverso (batch, interactive, CPU-bound, ...)
- ogni coda ha una ***diversa priorità***: scheduling delle code con priorità
- ogni coda viene gestita con scheduling ***FCFS o Round Robin***
- i processi possono muoversi da una coda all'altra, in base alla loro storia:
  - passaggio **da priorità bassa ad alta**: processi in attesa da ***molto*** tempo (feedback *positivo*)
  - passaggio **da priorità alta a bassa**: processi che hanno già utilizzato ***molto*** tempo di CPU (feedback **negativo**)

Multi Level Feedback Queue



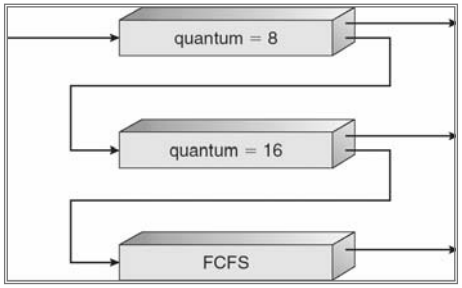
Esempio di Multi Level Feedback Queue

3 code

- Q_0 – RR con time quantum=8ms
- Q_1 – RR con time quantum=16ms
- Q_2 – FCFS

Scheduling

- Un ***processo nuovo entra in Q_0***; quando acquisisce la CPU ha 8ms per utilizzarla; se non termina nel quanto di tempo viene ***spostato in Q_1***
- In Q_1 il processo è servito ancora RR e riceve 16ms di CPU; se non termina nel quanto di tempo, viene ***spostato in Q_2***



Priorità elevata a processi con breve uso CPU

Scheduling in UNIX (BSD 4.3)

Obiettivo: ***privilegiare i processi interattivi***

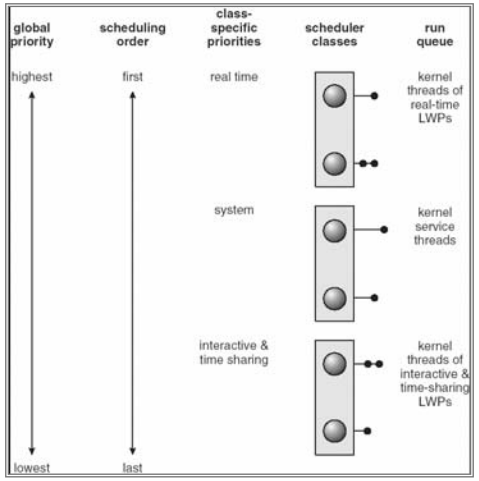
Scheduling MLFQ:

- **più livelli di priorità** (circa 160): più grande è il valore, più bassa è la priorità
- Viene definito un valore di riferimento **`pzero`**:
  - **Priorità ≥ `pzero`:** processi di utente ordinari
  - **Priorità < `pzero`:** processi di sistema (ad es. esecuzione di system call), non possono essere interrotti da segnali (**`kill`**)
- Ad ogni livello è associata una coda, gestita con ***Round Robin*** (quanto di tempo: 0,1 s)

Scheduling in UNIX

- ***Aggiornamento dinamico delle priorità*:** ad ogni secondo viene ricalcolata la priorità di ogni processo
- La priorità di un processo ***decresce al crescere del tempo di CPU già utilizzato***
  - feedback negativo
  - di solito, processi interattivi usano poco la CPU: in questo modo vengono favoriti
- L'utente può influire sulla priorità: comando **`nice`** (ovviamente **soltanto per decrescere** la priorità)

Scheduling in Solaris2



priority	time quantum	time quantum expired	return from sleep
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

per i processi interattivi o time-sharing

Priorità in MS WindowsXP

classe variable

	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

classe real-time

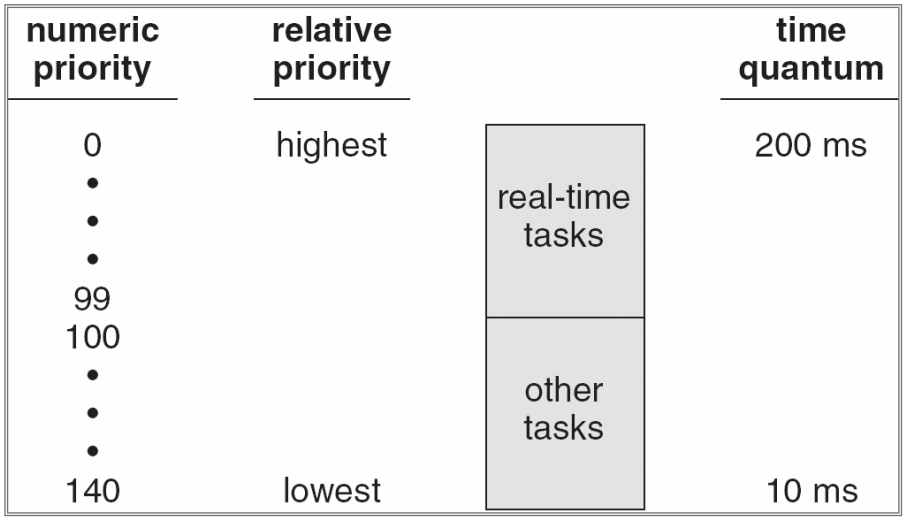
Priorità variabile con aumento in caso di rilascio da waiting

Linux scheduling (da v2.5)

Due algoritmi: ***time-sharing*** e ***real-time***

- ***Time-sharing***
  - Con ***priorità dinamiche, basato su crediti*** – processi con più crediti schedulati prima
  - Crediti vengono decrementati in base a ***timer***
  - Quando crediti=0, il processo viene ***deschedulato***
  - Si ***rialza il credito di tutti*** quando tutti i processi arrivano a credito=0
- ***Real-time***
  - ***Soft real-time con priorità statiche***
  - Conforme a POSIX.1b compliant – due classi
    - FCFS e RR all'interno della stessa priorità
    - processo a priorità maggiore esegue sempre per primo

Linux scheduling (da v2.5)



Scheduling dei thread Java

Java Virtual Machine (JVM) usa ***scheduling con prelazione e basato su priorità***

- FIFO Queue usata fra thread con stessa priorità

JVM mette in stato di running un thread quando:

1. thread che sta usando la CPU esce dallo stato Runnable
2. un thread a priorità più alta entra nello stato Runnable

* NB: JVM non specifica se i thread hanno quanto di tempo o no

Time-Slicing

Siccome JVM ***non garantisce time-slicing***, andrebbe usato il metodo `yield()`, per trasferire il controllo ad altro thread di uguale priorità:

```
while (true) {
    // perform CPU-intensive task
    . . .
    Thread.yield();
}
```

Si possono assegnare valori di priorità tramite il metodo `setsetPriority()`

Valutazione algoritmi di scheduling tramite simulazione