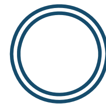
Sistemi Operativi

Docente: Ugo Erra

ugoerr+so@dia.unisa.it



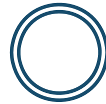
5° LEZIONE

SCHEDULING DELLA CPU

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA

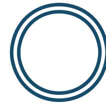
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA

Sommario della lezione



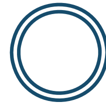
- Introduzione allo scheduling
- Scheduler della CPU
  - Dispatcher
- Criteri di scheduling
- Algoritmi di scheduling
- Scheduling per multiprocessori

Introduzione allo scheduling



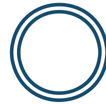
- Lo scheduling è una delle operazioni fondamentali dei moderni sistemi operativi multiprogrammati
- L’operazione di scheduling permette di sfruttare al meglio le risorse di un sistema di calcolo rendendolo di fatto più produttivo
- Sebbene si parli di scheduling dei processi gli oggetti su cui opera lo scheduling sono i thread
- I termini scheduling dei processi e scheduling dei thread sono dunque equivalenti

Idea dello scheduling

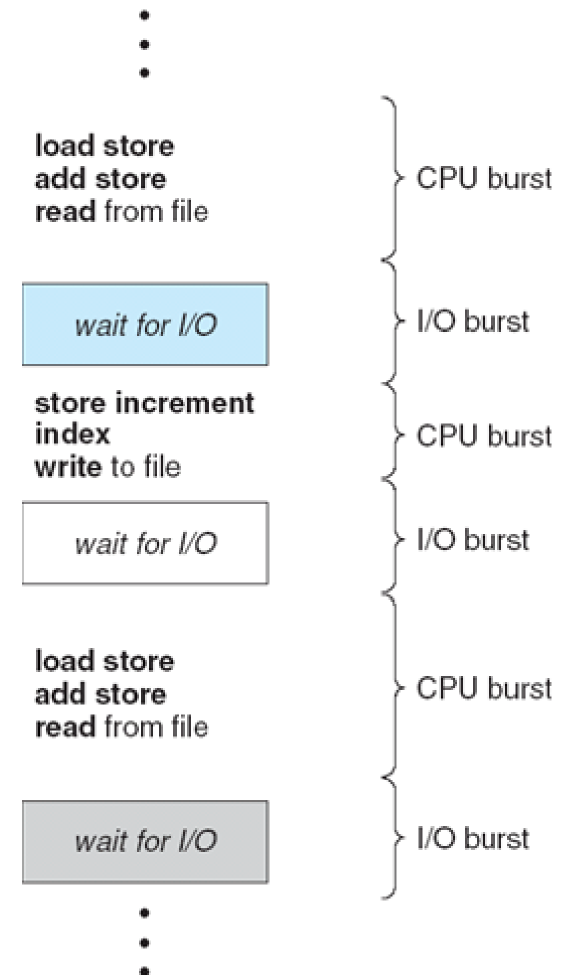


- In un sistema monoprocessore un solo processo viene eseguito per volta
- Un processo nell'arco della sua esecuzione alterna fasi di *CPU burst* (utilizzo della CPU) con fasi di *I/O burst* (attesa di input/output da un dispositivo)
- Poiché durante una fase di I/O burst la CPU sarebbe inutilizzata l'idea di base è di utilizzare questi tempi di attesa assegnando la CPU ad un altro processo
- Quindi più processi in esecuzione sono mantenuti in memoria in attesa che venga loro assegnato il controllo della CPU

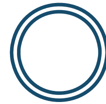
Fasi CPU burst – I/O burst



- Un processo consiste in un **ciclo** di elaborazione svolto dalla CPU e da un tempo di attesa da un dispositivo di I/O
- In fase di lancio un processo esegue un lungo ciclo di utilizzo della CPU
- Successivamente le fase si alternano tra CPU burst e I/O burst
- Processi con prevalenza di I/O (*I/O bound*) producono frequenti accessi alla CPU ma di breve durata
- Processi con prevalenza di CPU (*CPU bound*) producono pochi accessi alla CPU ma molto lunghi



Frequenza dei CPU burst



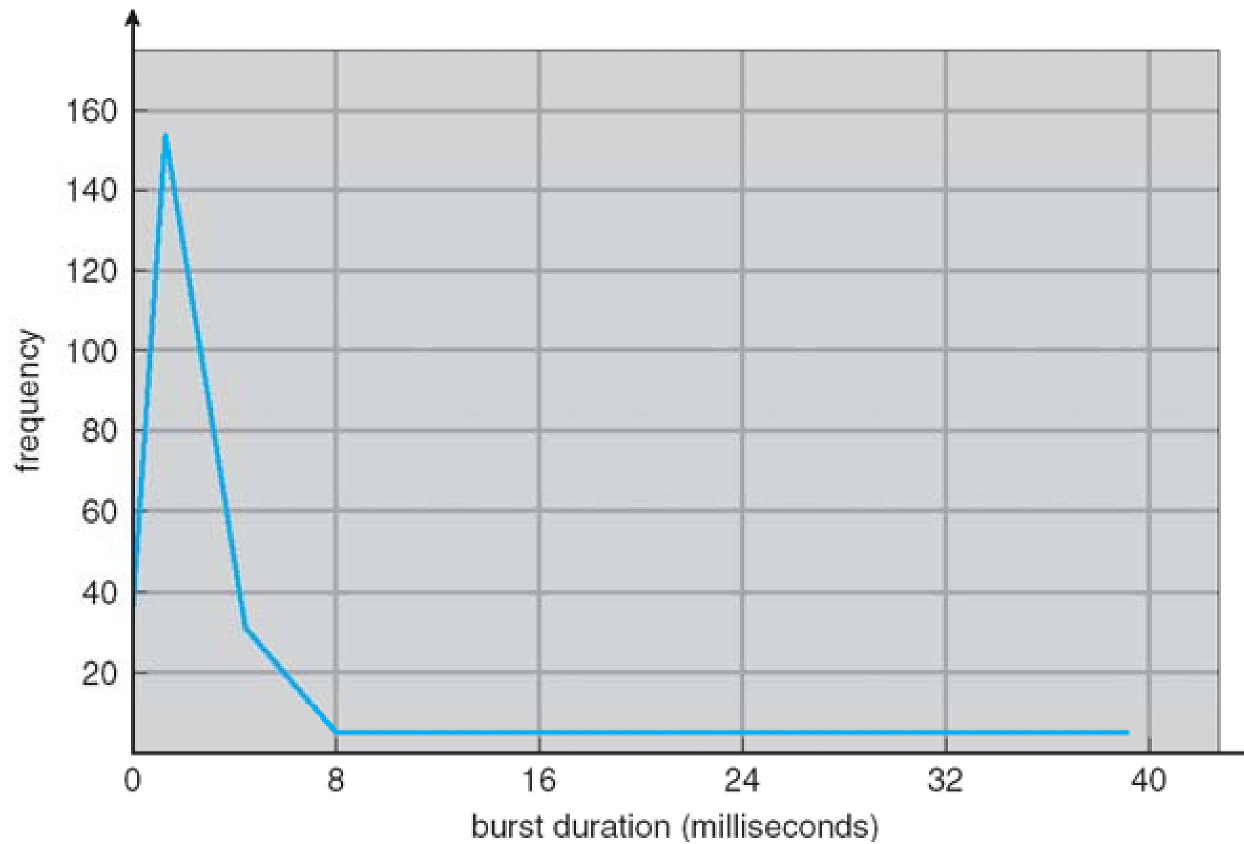
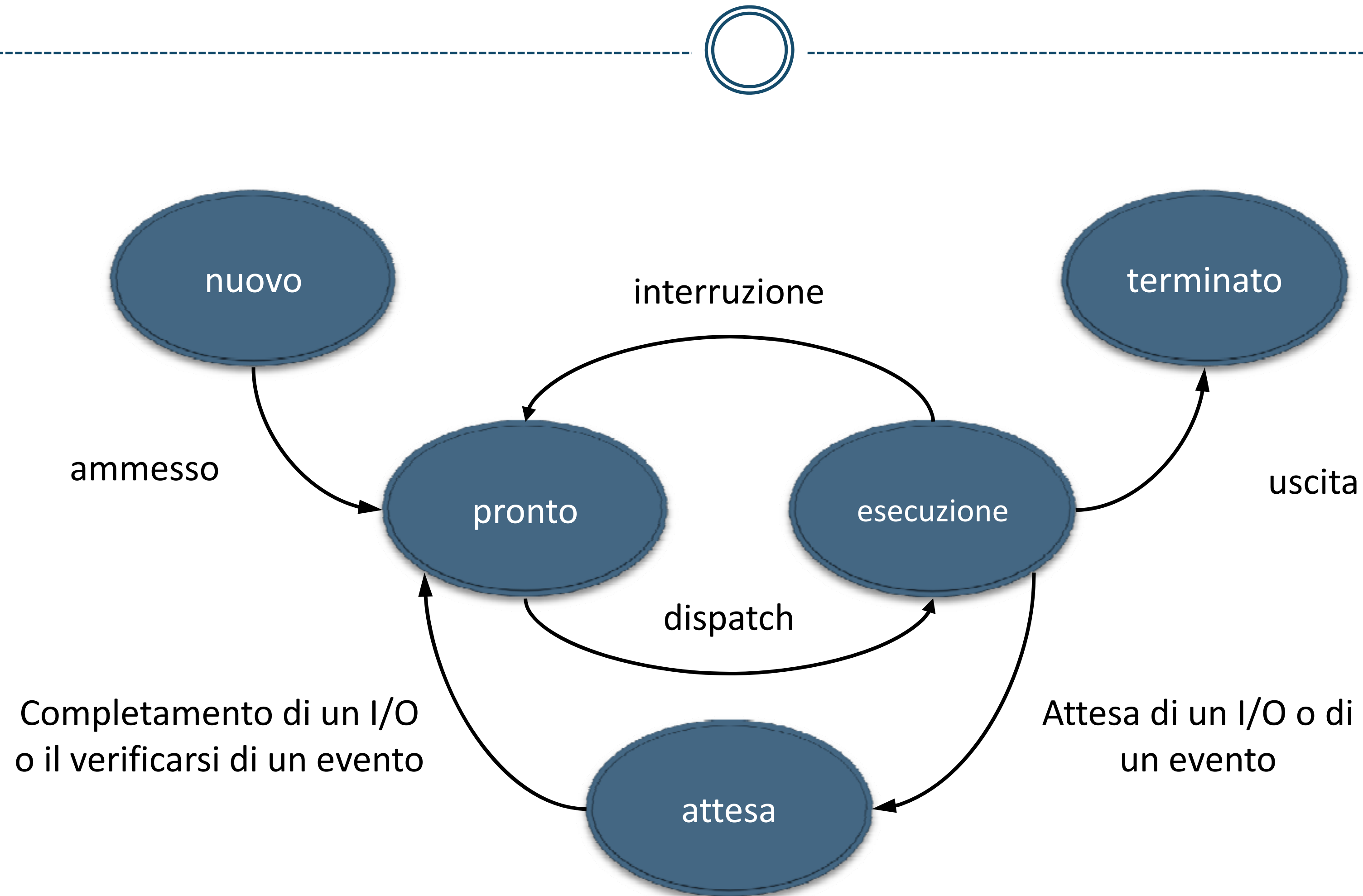
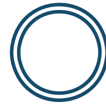


Diagramma di transizione degli stati di un processo

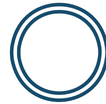


Scheduler della CPU



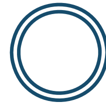
- Lo **scheduler a breve termine** della CPU seleziona tra tutti i processi presenti in memoria e pronti per essere eseguiti quello a cui assegnare la CPU
- Lo scheduler della CPU può prendere una decisione nelle seguenti condizioni:
  1. Un processo passa dallo stato di esecuzione allo stato di attesa
  2. Un processo passa dallo stato di esecuzione allo stato di pronto
  3. Un processo passa dallo stato di attesa allo stato di pronto
  4. Un processo termina
- Se le scheduler interviene solo nelle fasi 1 e 4 allora è chiamato **senza diritto di prelazione** (*nonpreemptive*) o cooperativo (cooperative)
  - Windows 3.x
- Altrimenti è chiamato **con diritto di prelazione** (*preemptive*)
  - Windows 95, XP, Mac OS X, Linux

Problemi dello scheduler con prelazione



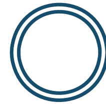
- Alcuni problemi dello scheduler con prelazione:
  - Due processi che lavorano su dati condivisi potrebbero avere problemi di incoerenza nel momento in cui uno dei due processi viene "prelazionato" mentre sta modificando i dati
  - Anche durante una chiamata di sistema il processo potrebbe essere prelazionato mentre il sistema operativo è in modalità kernel
  - Le interruzioni potrebbero essere un'altra fonte di problemi se non gestite adeguatamente poiché diversi processi potrebbero accedere in modo concorrente al codice di una interruzione

Dispatcher



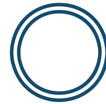
- Il **dispatcher** è il modulo del sistema operativo che si occupa di passare alla CPU il processo scelto dallo scheduler a breve termine
- Le operazioni del dispatcher sono:
  - Il cambio di contesto
  - Il passaggio alla modalità utente
  - Il salto alla giusta posizione del programma utente per riavviare l'esecuzione
- La **latenza di dispatch** è definito come il tempo necessario per fermare un processo e avviare l'esecuzione di un altro processo

Criteri di scheduling



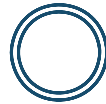
- Alla base della scelta di un algoritmo di scheduling ci sono diversi criteri:
  - **Utilizzo della CPU**
    - Indica la percentuale di occupazione della CPU
  - **Produttività**
    - Numero di processi completati nell'unità di tempo (*throughput*)
  - **Tempo di completamento**
    - Il tempo impiegato al processo per completare l'esecuzione comprensivi dei tempi di attesa per entrare in memoria, nella coda dei processi pronti, tempo di esecuzione sulla CPU e nella operazioni di I/O (*turnaround time*)
  - **Tempo d'attesa**
    - Somma degli intervalli di tempo passati nella coda dei processi pronti
  - **Tempo di risposta**
    - Tempo trascorso dalla sottomissione di un processo fino alla sua prima risposta (escluso il tempo di output del dispositivo)

Cosa ottimizzare?



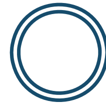
- Massimizzare l'utilizzo della CPU
  - Tenere occupata quanto più è possibile la CPU
- Massimizzare la produttività
  - Svolgere quanti più lavori nell'unità di tempo
- Minimizzare il tempo di completamento
  - Ridurre le fasi di attesa nella coda e l'esecuzione
- Minimizzare il tempo di attesa
  - Ridurre gli intervalli di tempo che un processo resta nella coda dei processi pronti (in genere si considera la media)
- Minimizzare il tempo di risposta
  - Produrre quanto prima un risultato per garantire un buon servizio agli utenti

Algoritmi di scheduling



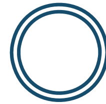
- **First-come, first-served (FCFS)**
- Shortest-job-first (SJF)
- Scheduling per priorità
- Round Robin (RR)
- Scheduling a code multiple
- Scheduling a code multiple con retroazione

Scheduling First-Come First-Server



- Lo **scheduling in ordine di arrivo** (*scheduling first-come, first-served*, FCFS) assegna la CPU al primo processo che la richiede
- La realizzazione è affidata da una coda FIFO (First In First Out)
  - Il PCB viene collegato all'ultimo elemento della coda
- Quando la CPU è libera si assegna al primo processo in testa alla coda dei processi pronti

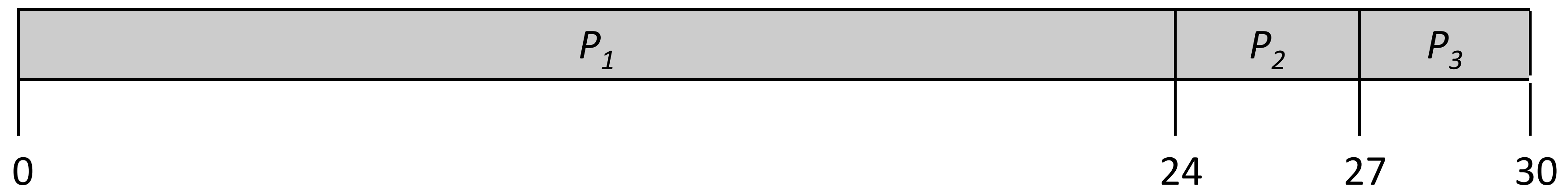
Esempio di Scheduling First-Come First-Server



- Supponiamo di avere i seguenti processi

Processo	Durata della sequenza
P_1	24
P_2	3
P_3	3

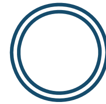
- Il **diagramma di Gantt** esprime l'ordine di arrivo dei processi con i tempi di attesa
- Supponendo che i processi arrivano nell'ordine P_1,P_2 e P_3 avremo:



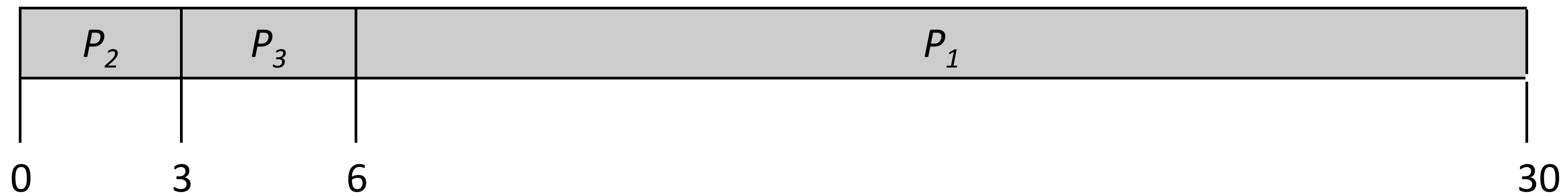
- Il tempo medio di attesa sarà

(0+24+27)/3 = 17 millisecondi

Esempio Scheduling First-Come First-Server



- Supponendo che i processi arrivano invece nell'ordine P_2,P_3 e P_1 avremo:

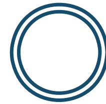


- Il tempo medio di attesa sarà

$$(0+3+6)/3 = 3 \text{ millisecondi}$$

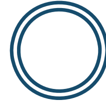
- Quindi il tempo medio di attesa varia in base alla durata delle sequenze di operazioni della CPU dei processi e di conseguenza anche in base all'ordine di arrivo

FCFS senza prelazione



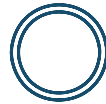
- Nello scheduling FCFS si verifica l'**effetto convoglio** quando un processo occupa per molto tempo la CPU e numerosi processi al termine di un I/O si accodano
- FCFS è senza prelazione, la CPU viene rilasciata dal processo dopo che
  - Termina l'esecuzione
  - Richiede una operazione di I/O
- Non è un buon scheduler negli ambienti multi-utente in cui ad ogni utente deve essere garantito un tempo di utilizzo della CPU

Algoritmi di scheduling



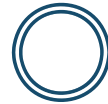
- First-come, first-served (FCFS)
- **Shortest-job-first (SJF)**
- Scheduling per priorità
- Round Robin (RR)
- Scheduling a code multiple
- Scheduling a code multiple con retroazione

Shortest-Job-First



- Lo **scheduling per brevità** (*shortest-job-first,* SJF) assegna la CPU al processo con il CPU burst minore
  - Se due processi hanno lo stesso tempo di occupazione della CPU si utilizza uno scheduler FCFS
- L'algoritmo SJF può essere:
  - *Senza prelazione* – una volta che la CPU è stata assegnata non può essere prelazionata finché il processo non completa il suo CPU burst
  - *Con prelazione* – se arriva un nuovo processo con CPU burst inferiore a quello attualmente in esecuzione il processo viene prelazionato. Questo schema è chiamato *Shortest-Remaining-Time-First* (SRTF)
- SJF è ottimale
  - Il tempo media di attesa è minimo per un dato insieme di processi

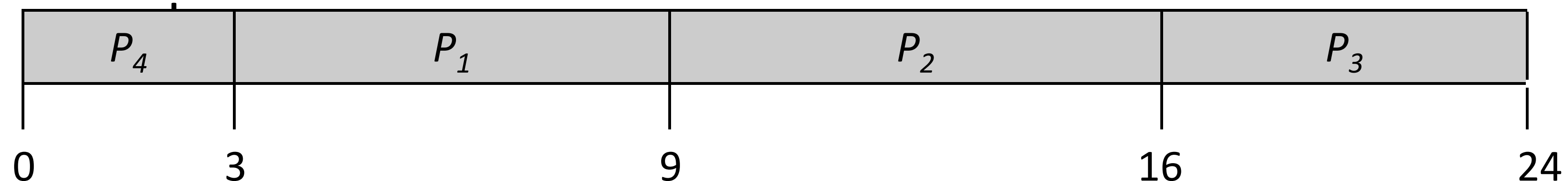
Esempio Shortest-Job-First



- Supponiamo di avere i seguenti processi

Processo	Durata della sequenza
P_1	6
P_2	8
P_3	7
P_4	3

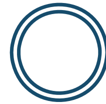
- Con lo scheduler SJF i processi sarebbero ordinati nel seguente



- Il tempo medio di attesa è

$$(0 + 3 + 9 + 16) / 4 = 7 \text{ millisecondi}$$

Media esponenziale - 1



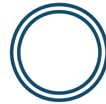
- La difficoltà nello SJF è determinare la durata del successivo CPU burst
- Non è possibile conoscere la lunghezza del prossimo CPU burst ma è possibile predire il suo valore attraverso la seguente **media esponenziale**:

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

dove:

  - t_n è la lunghezza dell'n-esima sequenza di operazioni della CPU
  - τ_{n+1} il valore previsto per la successiva sequenza di operazioni della CPU
  - Il valore di α è compreso tra $0 \leq \alpha \leq 1$

Media esponenziale - 2



- Media esponenziale

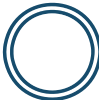
$$\tau_{n+1} = \alpha t_n + (1- \alpha)\ \tau_n$$

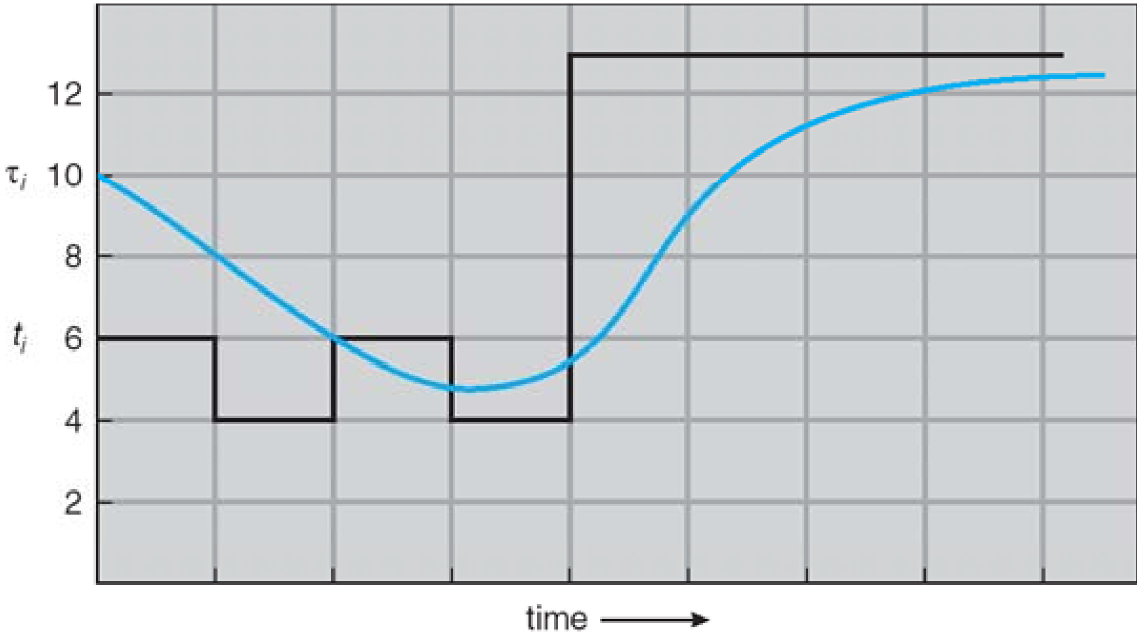
- Al variare del parametro α otteniamo:
  - Se α =0 allora la storia recente non ha effetto ($\tau_{n+1} = \tau_n$)
  - Se α =1 allora diamo importanza solo alla storia recente ($\tau_{n+1} = t_n$)
  - Se α =1/2 allora la storia recente e la storia passata hanno lo stesso peso
- Sviluppando la formula per τ_{n+1} otteniamo

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

poiché i valori di α ed (α -1) sono minori o uguali ad 1 i termini passati hanno meno peso

Predizione della lunghezza del successivo CPU burst



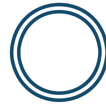


CPU burst (t_i)		6	4	6	4	13	13	13	…
"guess" (τ_i)	10	8	6	6	5	9	11	12	…

$\tau_0 = 10$

$\alpha = 1/2$

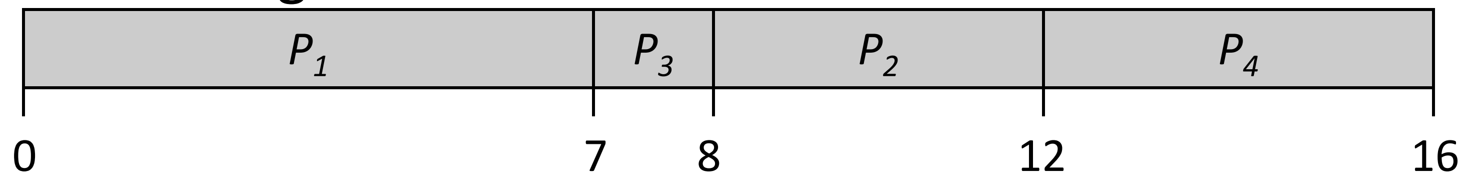
Esempio Shortest-Job-First (senza prelazione)



- Supponiamo di avere i seguenti processi

Processo	Istante di arrivo	Durata della sequenza
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

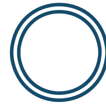
- Con lo scheduler SJF *senza prelazione* i processi sarebbero ordinati nel seguente modo:



- Il tempo medio di attesa è

$$(0 + 3 + 6 + 7) / 4 = 4 \text{ millisecondi}$$

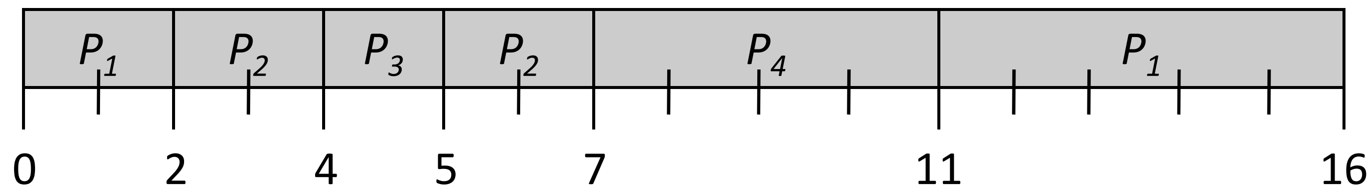
Esempio Shortest-Job-First (con prelazione)



- Supponiamo di avere i seguenti processi

Processo	Istante di arrivo	Durata della sequenza
P_1	0.0	7
P_2	2.0	4
P_3	4.0	1
P_4	5.0	4

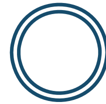
- Con lo scheduler SJF *con prelazione* i processi sarebbero ordinati nel seguente modo:



- Il tempo medio di attesa è

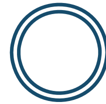
(9 + 1 + 0 + 2) / 4 = 3 millisecondi

Algoritmi di scheduling



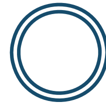
- First-come, first-served (FCFS)
- Shortest-job-first (SJF)
- **Scheduling per priorità**
- Round Robin (RR)
- Scheduling a code multiple
- Scheduling a code multiple con retroazione

Scheduling per priorità



- Nello **scheduling per priorità** associamo un valore di priorità ad ogni processo
  - Lo SFJ è un caso particolare dello scheduling per priorità
- La CPU è allocata al processo con la priorità più alta
  - Ad esempio il valore 0 potrebbe indicare una priorità bassa mentre il valore 4095 una priorità alta
  - In generale non esiste un modo univoco per indicare una priorità alta e la priorità bassa

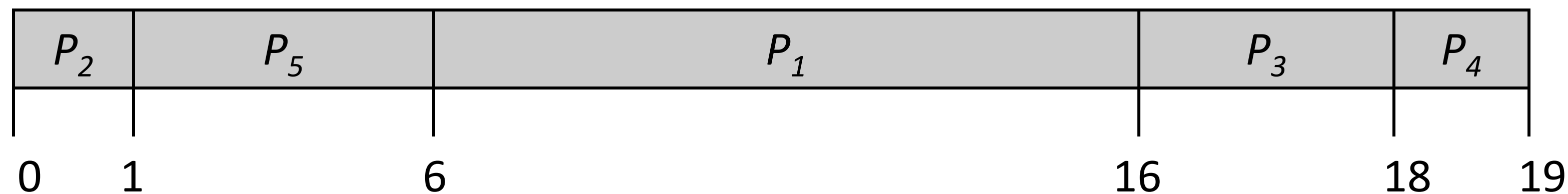
Esempio Scheduling per priorità



- Supponiamo di avere i seguenti processi

Processo	Durata della sequenza	Priorità
P_1	10	3
P_2	1	1
P_3	2	4
P_4	1	5
P_5	5	2

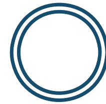
- Con lo scheduler per priorità i processi sarebbero ordinati nel seguente modo:



- Il tempo medio di attesa è

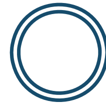
$$(0 + 1 + 6 + 16 + 18) / 5 = 8{,}2 \text{ millisecondi}$$

Assegnazione delle priorità



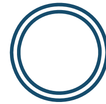
- Le priorità possono essere assegnate
  - Internamente: in base al numero di operazioni di I/O e alla lunghezza delle sequenze di operazioni della CPU
  - Esternamente: importanza del processo, tipo di processo, fondi pagati, politica di assegnazione delle priorità
- Lo scheduling per priorità può essere:
  - Con prelazione: nel momento in cui arriva un processo con priorità maggiore viene prelazionato il processo attuale in esecuzione
  - Senza prelazione: l'ultimo processo arrivato viene inserito in testa alla coda dei processi pronti

Starvation



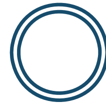
- L'**attesa indefinita** o **starvation** è un problema che si verifica con lo scheduling per priorità
- Un processo con bassa priorità ed in attesa della CPU potrebbe rimanere in attesa per un tempo indefinito a causa di processi con priorità maggiore
  - Il processo solitamente è eseguito di notte quando la maggior parte dei processi con alta priorità non è in esecuzione
- Una soluzione consiste nell'applicare una sorta di **invecchiamento** (*aging*) in cui la priorità dei processi viene aumentata man mano che passa il tempo

Algoritmi di scheduling



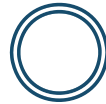
- First-come, first-served (FCFS)
- Shortest-job-first (SJF)
- Scheduling per priorità
- **Round Robin (RR)**
- Scheduling a code multiple
- Scheduling a code multiple con retroazione

Round Robin - 1



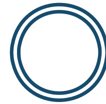
- Nell’algoritmo di **scheduling circolare** (*round robin*, RR) ad ogni processo è concesso un **quanto di tempo** o **porzione di tempo** (*time slice*)
  - Solitamente da 10 a 100 millisecondi
- Al termine del quanto di tempo il processo in esecuzione è prelazionato ed inserito alla fine della coda circolare
- Lo scheduler della CPU scorre la coda dei processi pronti per individuare il primo processo della coda a cui assegnare il prossimo quanto di tempo
- Una volta determinato il processo lo scheduler imposta un timer pari al quanto di tempo ed attiva il dispatcher per l’esecuzione del processo

Round Robin - 2



- Durante l'esecuzione del processo possono accadere due cose:
  - Il processo ha un sequenza di operazioni della CPU minore del quanto di tempo e quindi rilascerà spontaneamente la CPU
  - Il processo termina il suo quanto di tempo e lo scheduler passa all'esecuzione del prossimo processo
- Se ci sono n processi nella coda dei processi pronti e il quanto di tempo è q allora ogni processo otterrà $1/n$ del tempo della CPU e nessun processo attenderà più di $(n\text{-}1)q$ quanti di tempo
- Performance
  - Se q è molto grande si ottiene lo scheduling FCFS
  - Se q è piccolo il contex switch potrebbe essere prevalente sul tempo totale creando un eccessivo overhead

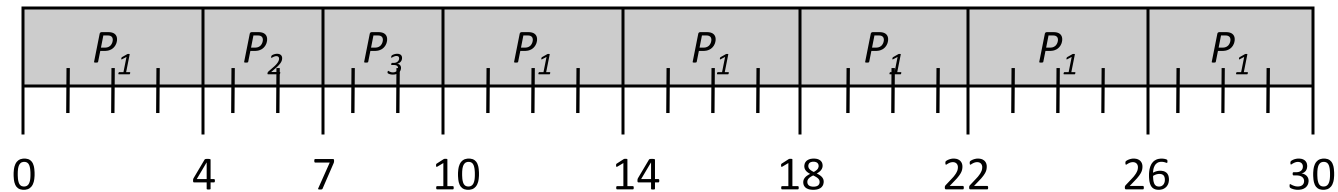
Esempio Round Robin



- Supponiamo di avere i seguenti processi

Processo	Durata della sequenza
P_1	24
P_2	3
P_3	3

- Con uno scheduler Round Robin ed una durata del quando di 4 millisecondi abbiamo:

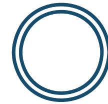


- Il tempo medio di attesa è
  (6 + 4 + 7) / 3 = 5,66 millisecondi

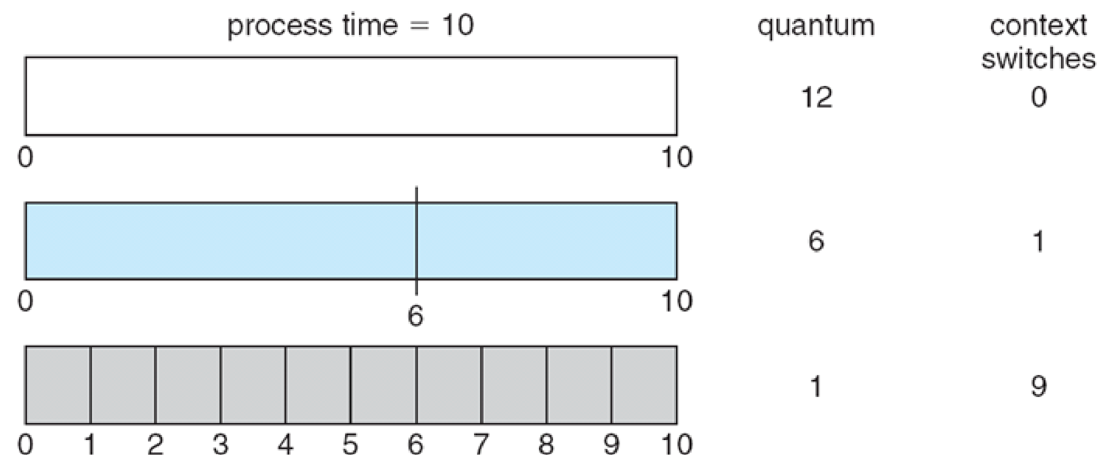
Nota:

- P_1 attende in coda 0 + (10 – 4) = 6 millisecondi
- P_2 attente in coda 4 millisecondi
- P_3 attende in coda 7 millisecondi

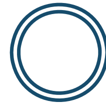
Dimensione quanto di tempo



- La dimensione del quanto di tempo è fondamentale per evitare overhead dei cambi di contesto
- Ad esempio se un processo dura 10 unità di tempo in base alla durata del quanto di tempo *q* avremo:
  - Se q=12, nessun cambio di contesto
  - Se q=6, un solo cambio di contesto
  - Se q=1, 9 cambi di contesto

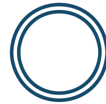


Algoritmi di scheduling



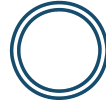
- First-come, first-served (FCFS)
- Shortest-job-first (SJF)
- Scheduling per priorità
- Round Robin (RR)
- **Scheduling a code multiple**
- Scheduling a code multiple con retroazione

Scheduling a code multiple

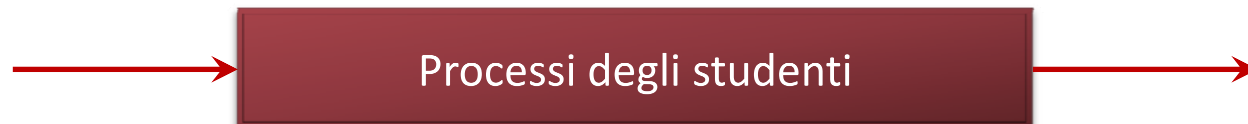


- Nei sistemi in cui i processi sono classificabili in gruppi diversi è possibile creare code distinte per ogni gruppo
- Una distinzione comune è
  - Processi eseguiti in **primo piano** (*foreground*) o **interattivi**
  - Processi eseguiti in **sottofondo** (*background*)
- L'algoritmo di scheduling a code multiple utilizza per ogni coda un algoritmo di scheduling differente, ad esempio:
  - Per i processi in foreground si può utilizzare un algoritmo RR
  - Per i processi in background si può utilizzare un algoritmo FCFS
- Lo scheduling deve essere applicato anche tra le diverse code
  - Tutti i processi in foreground devono essere eseguiti prima dei processi in background
  - Oppure assegnare ad ogni coda un certa quantità di tempo della CPU che può utilizzare per i diversi processi della coda
    - 80% per i processi foreground usando RR
    - 20% per i processi in background usando FCFS

Esempio Scheduling a code multiple

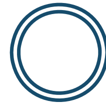


Priorità più alta



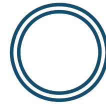
Priorità più bassa

Algoritmi di scheduling



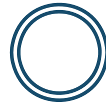
- First-come, first-served (FCFS)
- Shortest-job-first (SJF)
- Scheduling per priorità
- Round Robin (RR)
- Scheduling a code multiple
- **Scheduling a code multiple con retroazione**

Scheduling a code multiple con retroazione



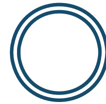
- Nello **scheduling a code multiple con retroazione** i processi possono essere spostati da una coda ad un'altra
  - In generale non sarebbe possibile perché un processo non può cambiare le proprie caratteristiche
- Si potrebbe ipotizzare un comportamento del genere:
  - Un processo che utilizza troppi cicli di CPU è spostato su di una coda con priorità più bassa
  - Processi con prevalenza di I/O sono spostati in code a priorità più alta
  - Processi che attendono da troppo tempo l'uso della CPU possono essere spostati in code a priorità più alta

Parametri



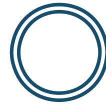
- Uno scheduler a code multiple con retroazione è caratterizzato dai seguenti parametri:
  - Numero di code
  - Algoritmo di scheduling per ciascuna coda
  - Metodo utilizzato per spostare una processo su una coda con priorità maggiore
  - Metodo utilizzato per spostare una processo su una coda con priorità minore
  - Metodo da utilizzare per decidere in quale coda spostare un processo quando viene lanciato

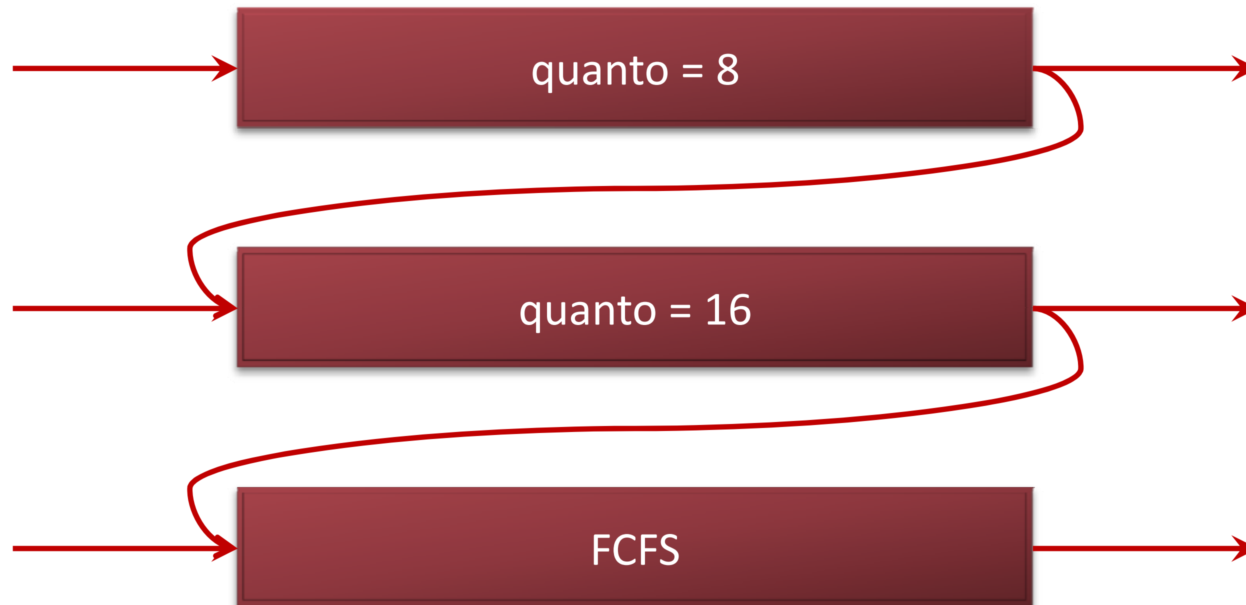
Esempio Scheduling a code multiple



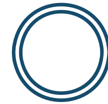
- Consideriamo uno scheduler con tre code:
  - Q_0 – servita con RR con un quanto di tempo di 8 millisecondi
  - Q_1 – servita con RR con un quanto di tempo di 16 millisecondi
  - Q_2 – servita con FCFS
- Lo scheduler opera nel seguente modo:
  - Un nuovo processo entra nella coda Q_0. Quando riceve la CPU se non termina nel quanto di 8 millisecondi è spostato nella coda Q_1
  - Un processo nella coda Q_1 ricevi 16 millisecondi se non termina entro il quanto assegnato viene spostato nella coda Q_2
  - I processi nella coda Q_2 sono eseguiti solo se non ci sono processi nella coda Q_1
  - I processi nella coda Q_1 sono eseguiti solo se non ci sono processi nella coda Q_0
  - I processi a priorità maggiore hanno diritto di prelazione sui processi a priorità minore
- L'intero scheduler favorisce i processi che non richiedono un uso della CPU per non più di 8 millisecondi

Esempio Scheduling a code multiple



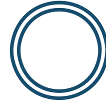


Scheduling per sistemi multiprocessori



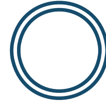
- Al crescere del numero di processori è possibile gestire le CPU come risorse da assegnare ai processi ma…
- …lo scheduling diventa più complesso
- Nei **sistemi omogenei** i processori sono identici tra di loro e quindi qualunque CPU può essere utilizzata
- In alcuni sistemi omogenei può capitare che un processore sia l'unico responsabile dell'I/O quindi i processi devono essere eseguiti su questo processore

Tipi di multielaborazione



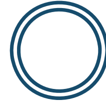
- Esistono due tipi di multielaborazione
  - **Multielaborazione asimmetrica** – un solo processore si occupa di gestire il sistema e gli altri processori eseguono solo il codice
  - **Multielaborazione simmetrica** (*symmetric multiprocessing*, SMP)- i processi sono mantenuti in una coda comune oppure ogni processore ha un coda propria
    - I dati condivisi devono essere gestiti adeguatamente

Predilezione per il processore



- I processori moderni dispongono di enormi quantità di cache per aumentare le prestazioni
- Se un processo è eseguito su di un processore i dati della cache saranno invalidati nel momento in cui il processo è spostato su di un altro processore
- Per evitare situazioni del genere si utilizza la **predilezione per il processore** (*processor affinity*) in cui un processo "preferisce" essere eseguito su di una particolare CPU
- Può essere di due tipi:
  - **Predilezione debole** – un processo può cambiare processore
  - **Predilezione forte** – un processo non può cambiare processore

Bilanciamento del carico



- Nei sistemi SMP è importante che ogni processore sia sempre occupato al pari degli altri
- Il bilanciamento del carico cerca di distribuire uniformemente il lavoro su tutti i processori
  - Se la coda è comune lavoreranno tutti i processori poiché al termine di un processo sarà immediatamente selezionato dalla coda un nuovo processo
- Se un processore è sbilanciato sono possibili due soluzioni:
  - **Migrazione guidata** – un processo si occupa di bilanciare periodicamente il carico di lavoro spostando i processi sui diversi processori
  - **Migrazione spontanea** – un processore poco carico sottrae processi ad un processore troppo carico
- Linux utilizza un approccio ibrido:
  - Utilizza la migrazione guidata ogni 200 millisecondi
  - Utilizza la migrazione spontanea quando un processore ha svuotato la propria coda