ESD Electronic Systems Design

Synthesis Verification Testing Power Communication

Scheduling

Dipartimento di Informatica

Università di Verona, Italy

Sommario

- Concetto di scheduling
- Tipi di scheduling
  - Lungo termine
  - Breve termine (scheduling della CPU)
  - Medio termine
- Scheduling della CPU
  - Definizioni
  - Modello del sistema
  - Criteri di scheduling
  - Algoritmi di scheduling

CONCETTO DI SCHEDULING

Scheduling dei processi

- Scheduling = assegnazione di attività nel tempo
- L'utilizzo della multiprogrammazione impone l'esistenza di una strategia per regolamentare:
  1. ammissione dei processi nel "sistema" (memoria)
  2. ammissione dei processi all'esecuzione (CPU)

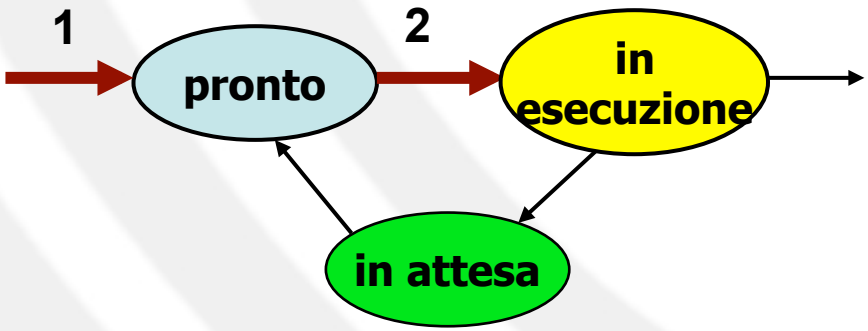
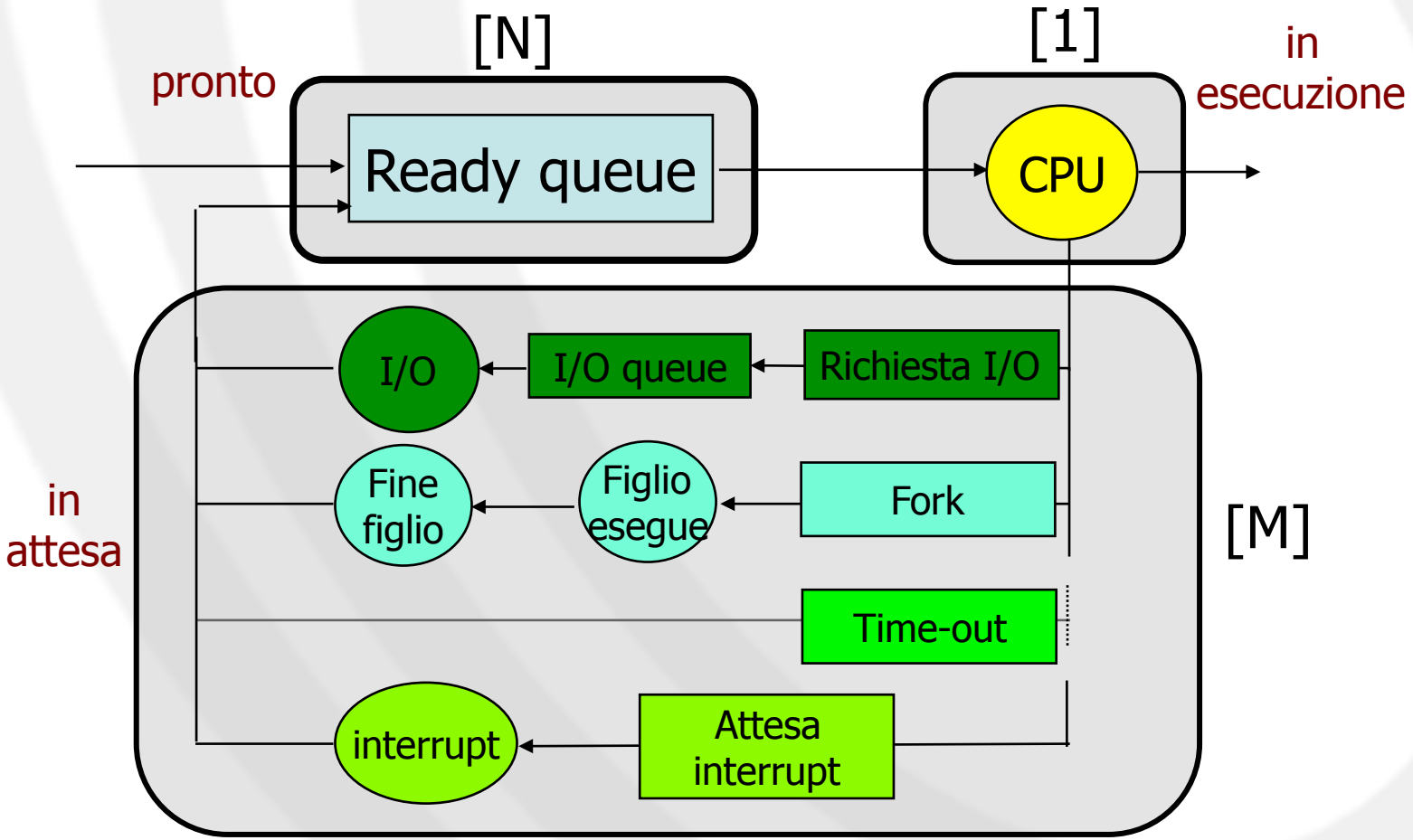
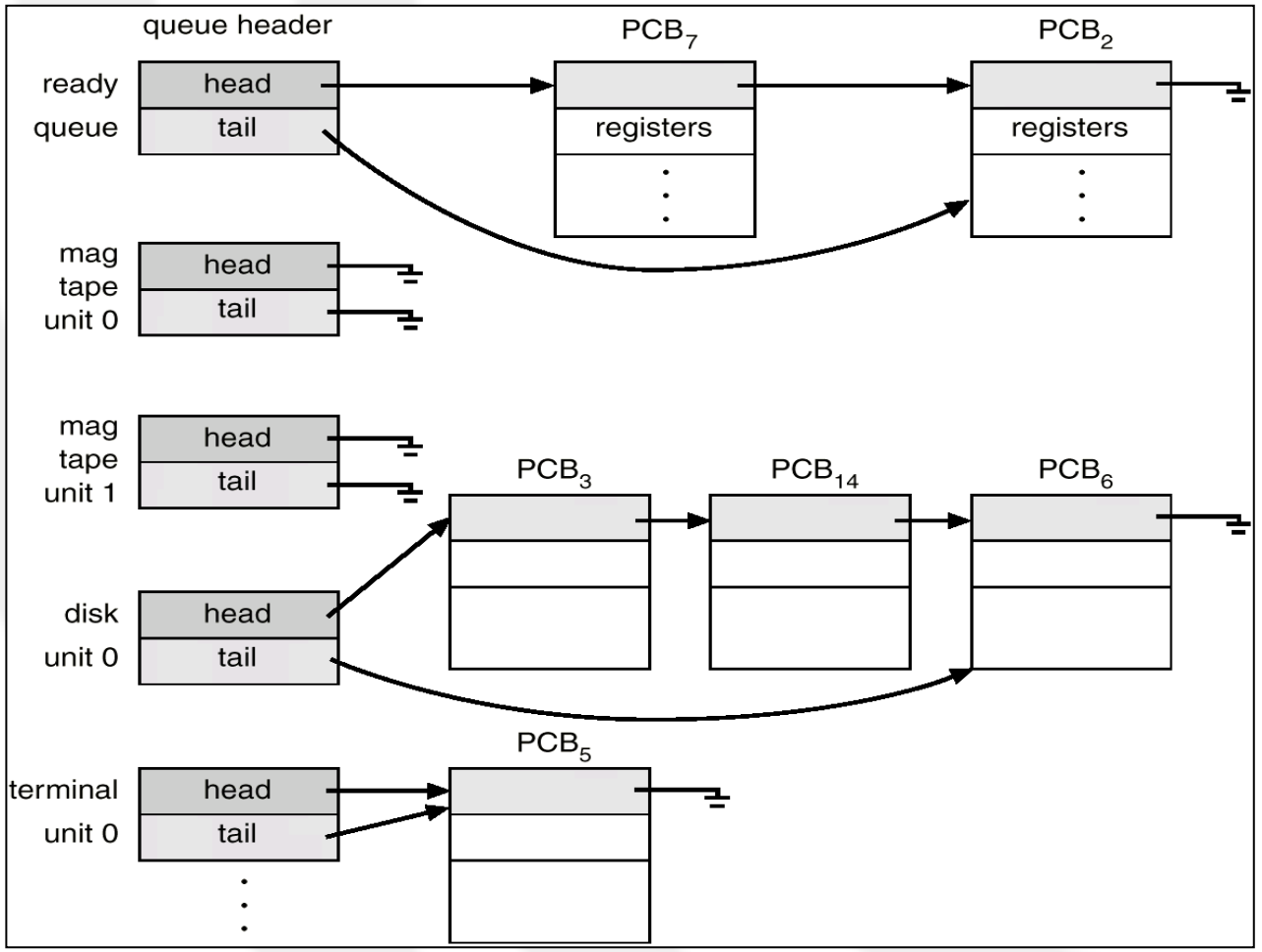


Diagramma di accodamento



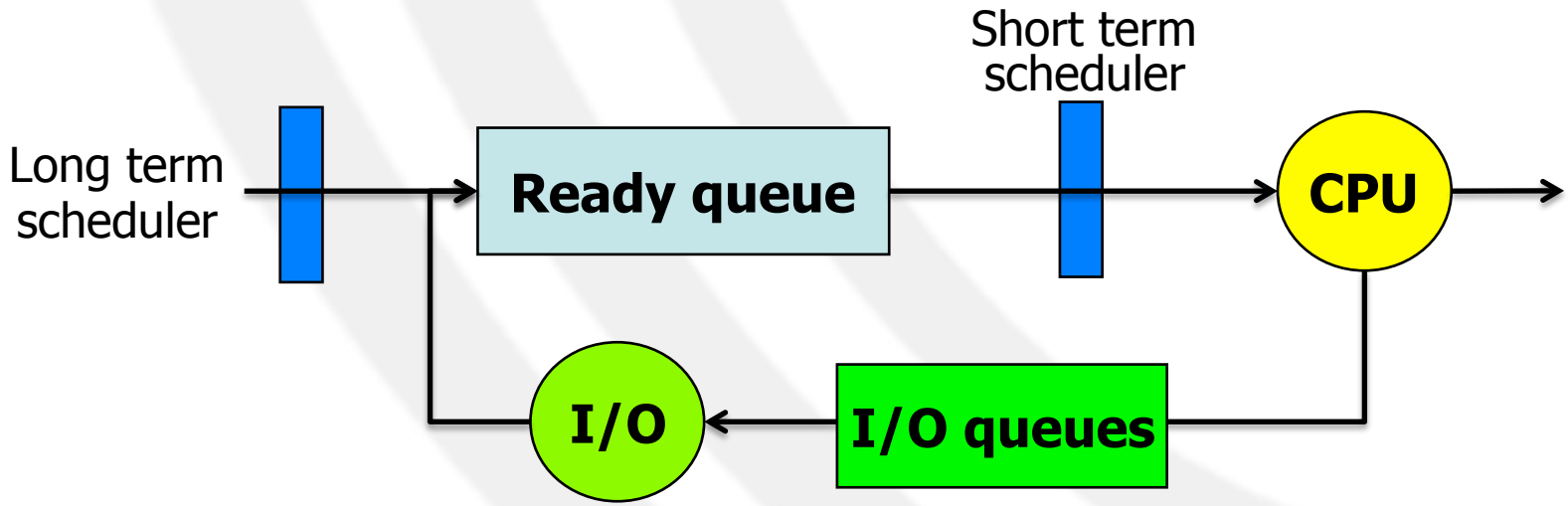
Implementazione delle code



TIPI DI SCHEDULING

Tipi di scheduler

- Scheduler a lungo termine (o job scheduler)
  - Seleziona quali processi devono essere portati dalla memoria alla ready queue
- Scheduler a breve termine (o CPU scheduler)
  - Seleziona quale processo deve essere eseguito dalla CPU



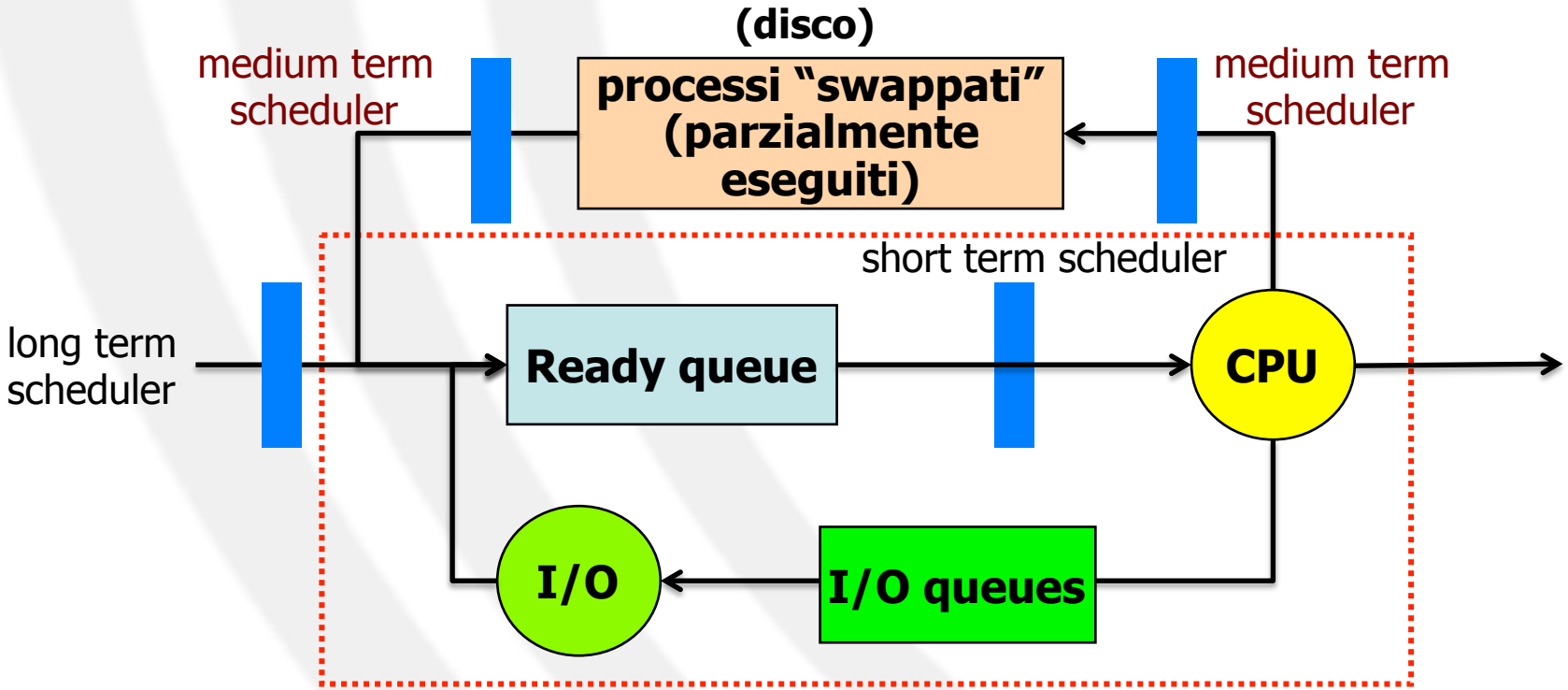
Caratteristiche degli scheduler

- Scheduler a breve termine è invocato spesso
  - O(μs) ⇒ deve essere veloce
    - Es.: 100 ms per processo, 10 ms per scheduling
    - 10/(110) = 9% del tempo di CPU sprecato per scheduling
- Scheduler a lungo termine è invocato più raramente
  - O(ms) ⇒ può essere lento
  - Controlla il grado di multiprogrammazione e il mix di processi
    - I/O-bound
      - molto I/O, molti brevi burst di CPU
    - CPU-bound
      - molti calcoli, pochi lunghi burst di CPU
  - Può essere assente
    - usato principalmente in sistemi con risorse limitate

Scheduling a medio termine

- S.O. con memoria virtuale prevedono un livello intermedio di scheduling (a medio termine)
  - Per la momentanea rimozione forzata (*swapping*) di un processo dalla CPU
    - Serve per ridurre grado multiprogrammazione

Scheduling a medio termine



SCHEDULING DELLA CPU

CPU Scheduler

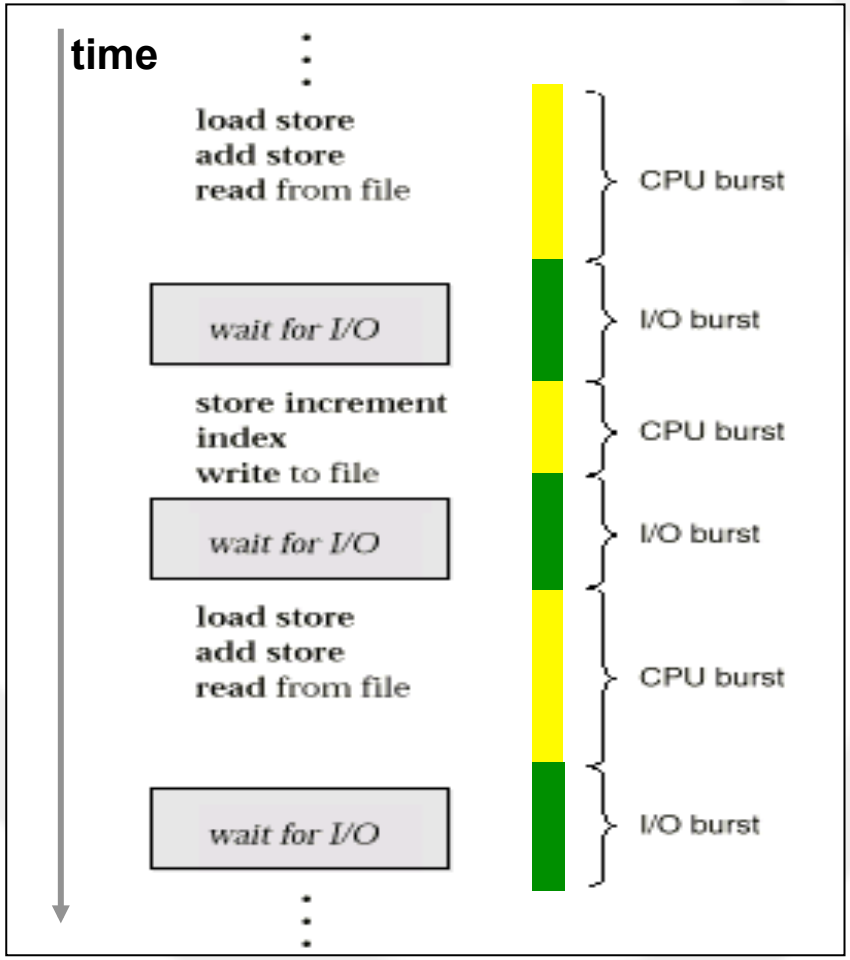
- Modulo del S.O. che seleziona un processo tra quelli in memoria pronti per l'esecuzione, e gli alloca la CPU
- Data la frequenza di invocazione, è una parte critica del S.O.
  - Necessità di algoritmi di scheduling

Dispatcher

- Modulo del S.O. che passa il controllo della CPU al processo scelto dallo scheduler
  - Switch del contesto
  - Passaggio alla modalità user
  - Salto alla opportuna locazione nel programma per farlo ripartire
- Latenza di dispatch
  - Tempo necessario al dispatcher per fermare un processo e farne ripartire un altro
  - Deve essere la più bassa possibile

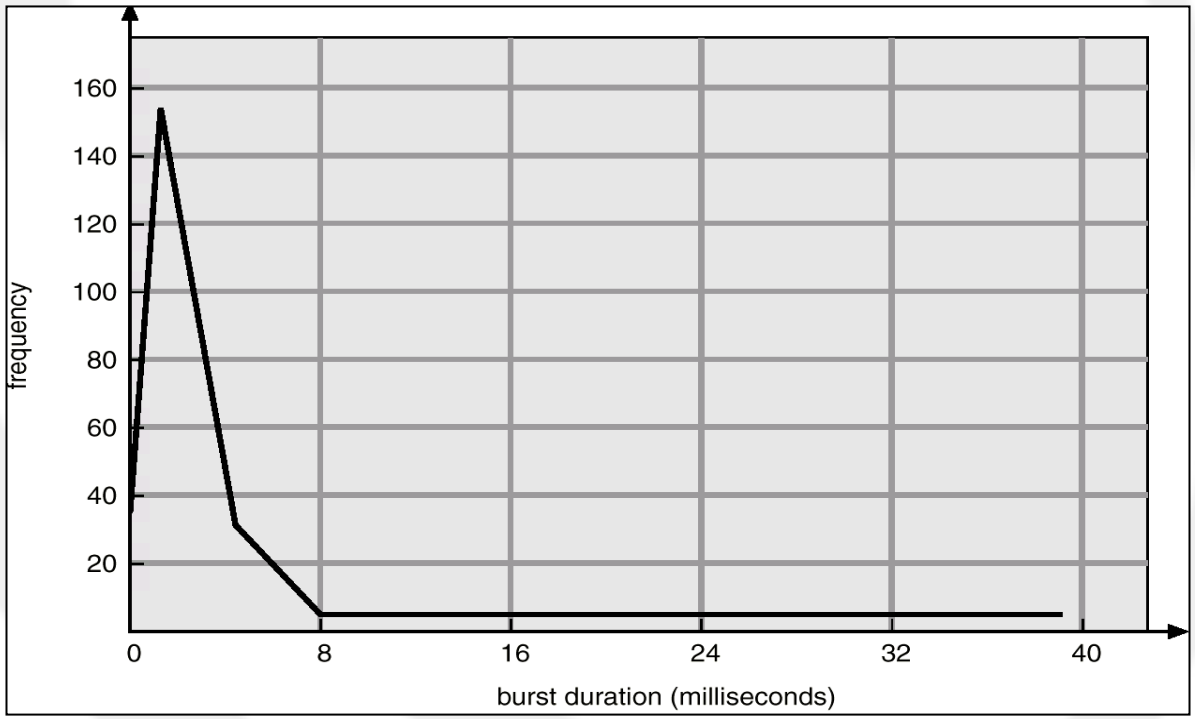
Modello astratto del sistema

- Alternanza di burst di CPU e di I/O
  - Burst = sequenza
- Modello a cicli di burst CPU- I/O
  - L'esecuzione di un processo consiste dell'alternanza ciclica di un burst di CPU e di uno di I/O



Distribuzione dei CPU burst

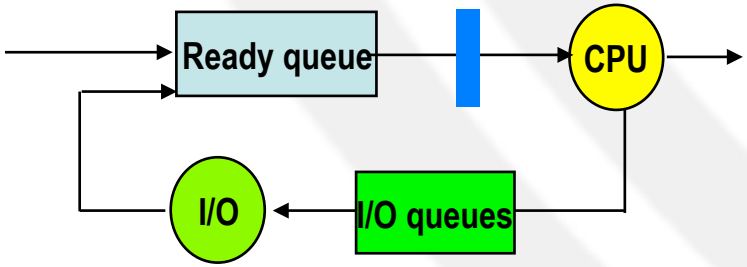
- Distribuzione esponenziale
  - Numerosi burst brevi
  - Pochi burst lunghi



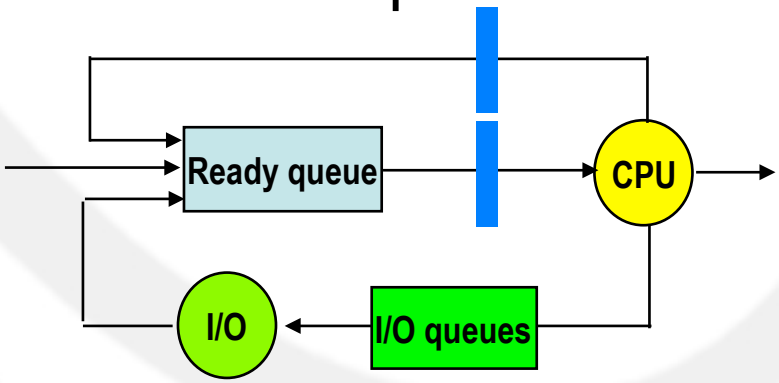
Prelazione (Preemption)

- Prelazione = rilascio forzato della CPU
  - Scheduling senza prelazione (non-preemptive)
    - Processo che detiene la CPU non la rilascia fino al termine del burst
  - Scheduling con prelazione (preemptive)
    - Processo che detiene la CPU può essere forzato a rilasciarla prima del termine del burst

Non-preemptive

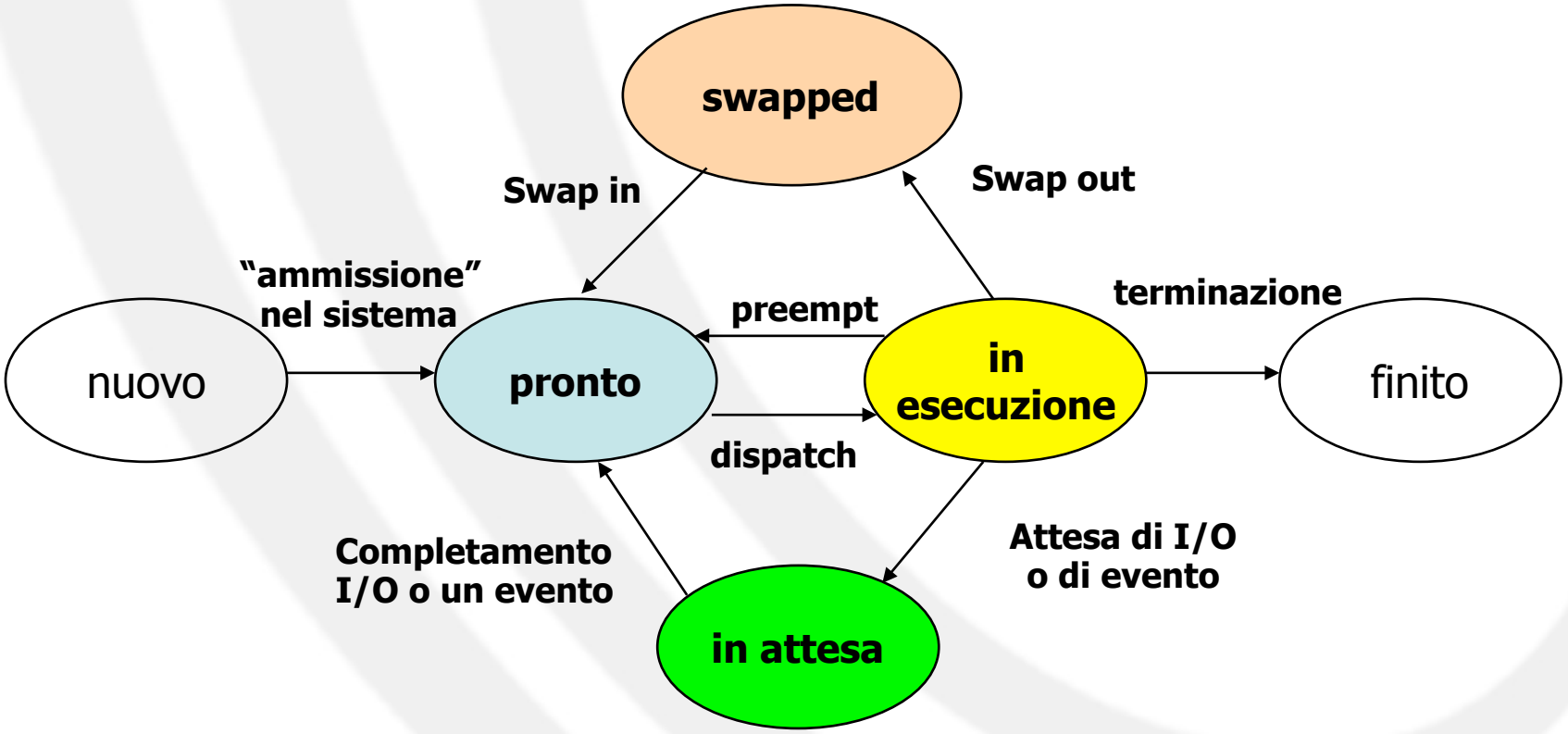


Preemptive



Stati di un processo

- Schema complessivo



Metriche di Scheduling

- Utilizzo della CPU
  - L'obiettivo è tenere CPU occupata più possibile
- Throughput
  - Numero di processi completati per unità di tempo
- Tempo di attesa (*waiting time,* t_w)
  - Quantità totale di tempo spesa da un processo nella coda di attesa
  - E' influenzato dall'algoritmo di scheduling

Metriche di Scheduling

- Tempo di completamento (*turnaround*, t_t)
  - Tempo necessario ad eseguire un particolare processo dal momento della sottomissione al momento del completamento
- Tempo di risposta (*response time*, t_r)
  - Tempo trascorso da quando una richiesta è stata sottoposta al sistema fino alla prima risposta del sistema stesso

Criteri di ottimizzazione

- Massimizzare
  - utilizzo della CPU
  - throughput
- Minimizzare
  - tempo di turnaround
  - tempo di attesa
  - tempo di risposta

ALGORITMI DI SCHEDULING

First-Come, First-Served (FCFS)

- Concetto
  - Coda dei processi = coda FIFO
  - Primo processo arrivato è il primo ad essere servito
- Motivazione
  - implementazione semplice

FCFS (Esempio)

Processo	Tempo di arrivo	CPU burst
P1	0	24
P2	2	3
P3	4	3

Processo	T_r	T_w	T_t
P1	0	0	24
P2	22	22	25
P3	23	23	26

Tempo	0	24	27 30
P1			
P2			
P3			

- Tempo di attesa medio
  - Tw_medio = (0+22+23)/3 = 15

FCFS (Esempio)

Processo	Tempo di arrivo	CPU burst
P1	4	24
P2	0	3
P3	2	3

Processo	T_r	T_w	T_t
P1	2	2	26
P2	0	0	3
P3	1	1	4

Tempo	0	3	6	30
P1				
P2				
P3				

- Tempo di attesa medio
  - Tw_medio = (2+0+1)/3 = 1 (molto meglio!)

FCFS

- Svantaggio
  - Effetto convoglio
    - Processi brevi si accodano ai processi lunghi precedentemente arrivati

Shortest-Job-First (SJF)

- Associa ad ogni processo la lunghezza del prossimo burst di CPU
- Il processo con il burst di CPU più breve viene selezionato per l'esecuzione

Shortest-Job-First (SJF)

- Due schemi:
  - Non preemptive
  - Preemptive
    - Se arriva un nuovo processo con un burst di CPU più breve del tempo che rimane da eseguire al processo in esecuzione, quest'ultimo viene rimosso dalla CPU per fare spazio a quello appena arrivato
      - In questo caso l'algoritmo si chiama Shortest-Remaining-Time-First (SRTF)
- SJF è ottimo: minimo tempo medio di attesa

SJF non preemptive (Esempio)

Processo	Tempo di arrivo	CPU burst
P1	0	7
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	4

Processo	T_r	T_w	T_t
P1	0	0	7
P2	6	6	10
P3	3	3	4
P4	7	7	11

Tempo	0	7	8	12 16
P1				
P2				
P3				
P4				

SJF preemptive (Esempio)

Processo	Tempo di arrivo	CPU burst
P1	0	7
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	4

Processo	T_r	T_w	T_t
P1	0	9	16
P2	0	1	5
P3	0	0	1
P4	2	2	6

Tempo	0	2	4	5	7	11 16
P1						
P2						
P3						
P4						

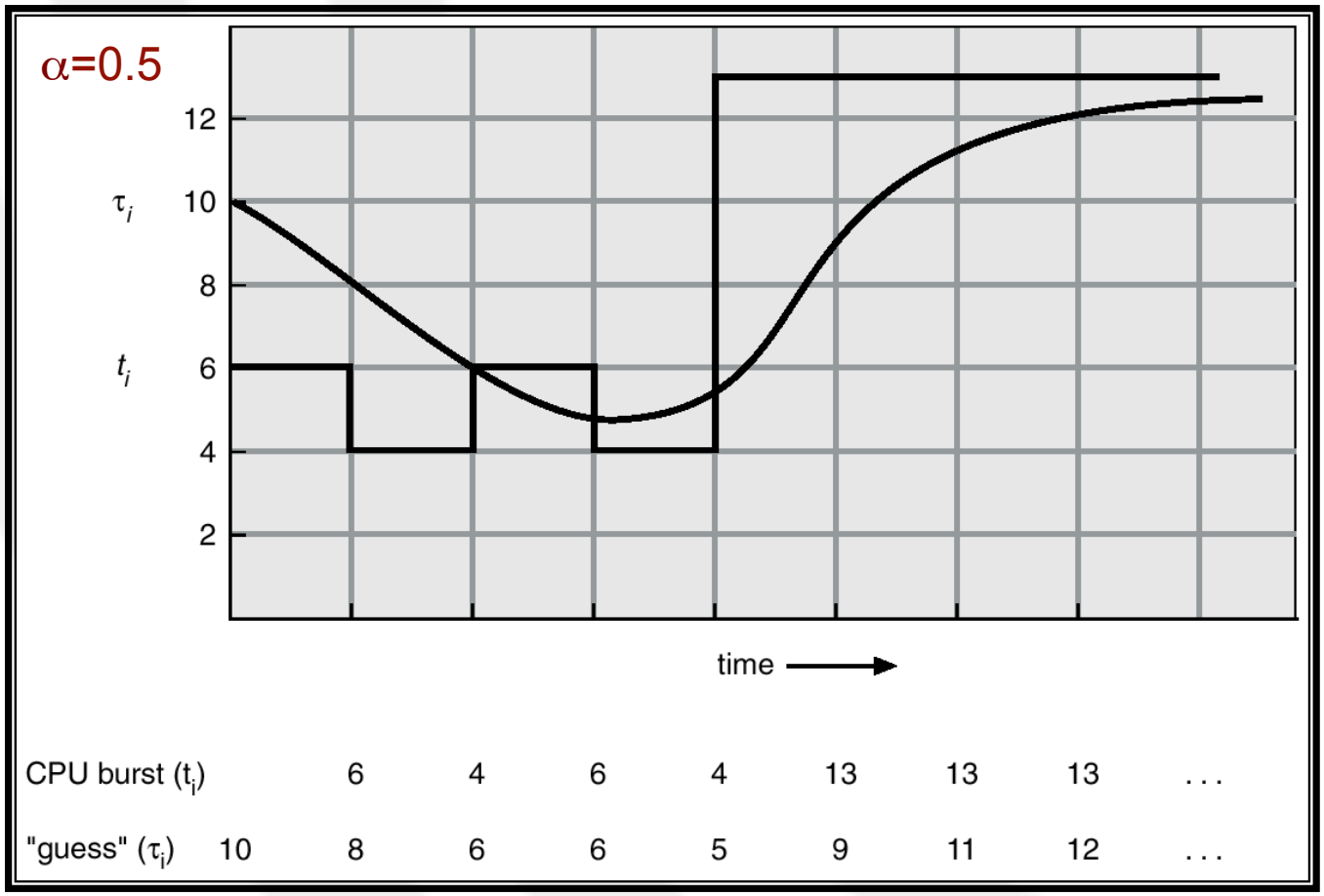
Calcolo del prossimo burst di CPU

- E' possibile solo una stima
  - Si utilizzano le lunghezze dei burst precedenti come proiezione di quelli futuri
  - Utilizzo della media esponenziale
    - t_n = lunghezza reale n-esimo burst
    - τ_{n+1} = valore stimato per il prossimo burst
    - α = coefficiente ($0 < \alpha < 1$)
    - $\tau_{n+1} = \alpha * t_n + (1 - \alpha) * \tau_n$

Media Esponenziale: Esempio

- $\alpha = 0$
  - $\tau_{n+1} = \tau_n$
  - Storia recente non viene usata
- $\alpha = 1$
  - $\tau_{n+1} = t_n$
  - Conta solo l'ultimo burst reale
- Espandendo la formula
    - $\tau_{n+1} = \alpha t_n+(1-\alpha)\,[\alpha t_{n-1}+(1-\alpha)\tau_{n-1}] = \alpha t_n+(1-\alpha)\alpha t_{n-1}+(1-\alpha)^2\,\tau_{n-1} =$
      $= \alpha t_n+(1-\alpha)\alpha t_{n-1}+(1-\alpha)^2\,\tau_{n-2}+\ldots+(1-\alpha)^j\,\alpha t_{n-j}+\ldots+(1-\alpha)^n\,\tau_0$
  - Dato che sia α che $(1 - \alpha)$ sono <= 1, ogni termine successivo pesa meno del predecessore

Stima del prossimo burst di CPU



Scheduling a priorità

- Viene associata una priorità a ogni processo
- CPU allocata al processo con priorità più alta
- Opzioni:
  - Preemptive
  - Non-preemptive
- Linux: comando *nice* per cambiare la priorità
- Esempio:
  - SJF è uno scheduling a priorità (priorità = 1/lunghezza del burst successivo)

Scheduling a priorità

- Politiche di assegnamento della priorità:
  - Interne al S.O.
    - Limiti di tempo
    - Requisiti di memoria
    - N° file aperti
    - …
  - Esterne al S.O.
    - Importanza del processo
    - Soldi pagati per l'utilizzo del computer
    - Motivi politici
    - …

Scheduling a priorità (Esempio)

Proc.	T. di arrivo	Pr.	CPU burst
P1	1	3	10
P2	0	1	1
P3	2	3	2
P4	0	4	1
P5	1	2	5

Processo	T_r	T_w	T_t
P1	5	5	15
P2	0	0	1
P3	14	14	16
P4	18	18	19
P5	0	0	5

Tempo	0	1	6	16	18 19
P1					
P2					
P3					
P4					
P5					

Scheduling a priorità

- Problema: *starvation*
  - Processi a bassa priorità possono non essere mai eseguiti
    - Caso storico: chiusura IBM 7090 al MIT nel 1973
      - Un processo era in attesa dal 1967!
- Soluzione: invecchiamento (*aging*)
  - Aumento della priorità col passare del tempo

Highest Response Ratio Next (HRRN)

- Algoritmo a priorità non-preemptive
  - Priorità (R)
    - R = (t_attesa + t_burst) / t_burst = 1 + t_attesa / t_burst
    - è maggiore per valori di R più alti
    - dipende anche dal tempo di attesa (dinamica)
    - va ricalcolata:
      - al termine di un processo se nel frattempo ne sono arrivati altri
      - oppure, al termine di un processo
  - Sono favoriti i processi che:
    - completano in poco tempo (come SJF)
    - hanno atteso molto
  - Supera il "favoritismo" di SJF verso job corti

HRRN (Esempio)

Proc.	T. di arrivo	CPU burst
P1	1	10
P2	0	2
P3	2	2
P4	2	1
P5	1	5

Calcolo priorità R (termine processo)				
Proc.	**t=0**	**t=2**	**t=7**	**t=8**
P1	-	1+1/10	1+6/10	1+7/10
P2	1	-	-	-
P3	-	1+0/2	1+5/2	1+6/2
P4	-	1+0/1	1+5/1	-
P5	-	1+1/5	-	-

Processo	T_r	T_w	T_t
P1	9	9	19
P2	0	0	2
P3	6	6	8
P4	5	5	6
P5	1	1	6

Tempo	0	2	7	8	10	19
P1						
P2						
P3						
P4						
P5						

Round Robin (RR)

- Scheduling basato su time-out
  - A ogni processo viene assegnata una piccola parte (*quanto*) del tempo di CPU
    - Valori tipici: 10-100 millisecondi
  - Al termine del quanto, il processo è prelazionato e messo nella ready queue
    - La ready queue è coda circolare
- Se ci sono *n* processi nella coda e il quanto è *q*:
  - ogni processo ottiene 1/*n* del tempo di CPU in blocchi di *q* unità di tempo alla volta
  - nessun processo attende più di (*n*-1)*q* unità di tempo

Round Robin (RR)

- Intrinsecamente preemptive
  - In pratica è un FCFS con prelazione
- Scelta del quanto
  - *q* grande ⇒ FCFS
  - *q* piccolo ⇒ Attenzione al context switch
    - *q* troppo piccolo ⇒ troppo overhead per context switch
    - Meglio avere *q* >> tempo di context switch
  - Valore ragionevole di *q*?
    - Fare in modo che 80% dei burst di CPU siano < *q*
- Prestazioni
  - Tempo di turnaround maggiore/uguale di SJF
  - Tempo di risposta minore/uguale di SJF

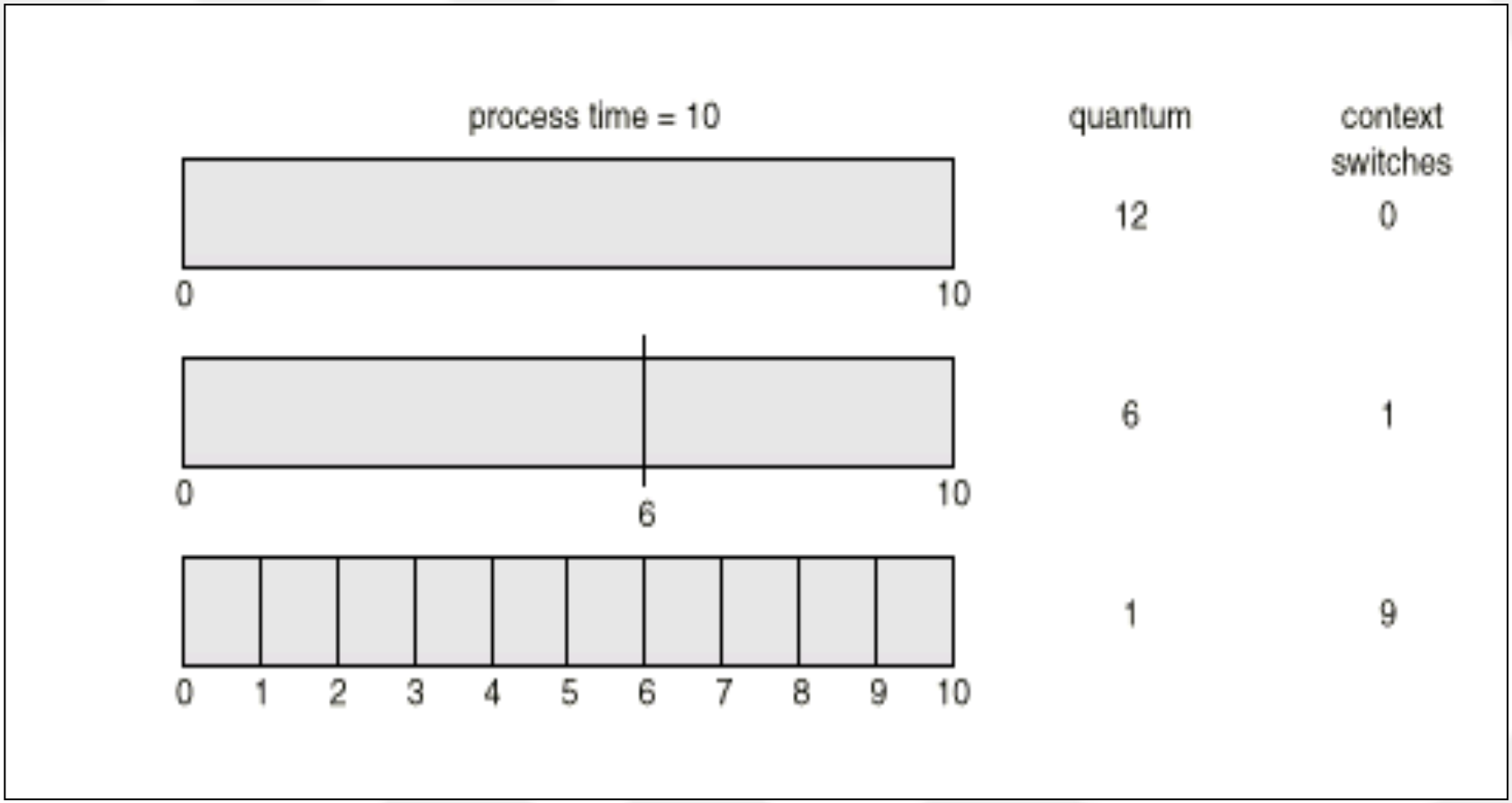
RR (Esempio)

Proc. (q=2)	T. di arrivo	CPU burst
P1	0	5
P2	0	1
P3	0	7
P4	0	2

Processo	T_r	T_w	T_t
P1	0	7	12
P2	2	2	3
P3	3	8	16
P4	5	5	7

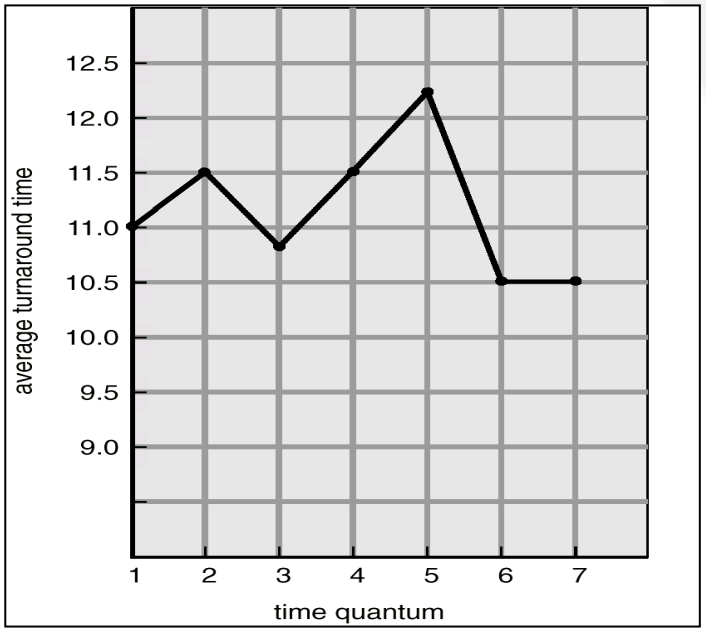
Tempo (q=2)	0	2	3	5	7	9	11	12	14 15
In esecuzione	P1	P2	P3	P4	P1	P3	P1	P3	P3
Nella ready queue	P2	P3	P4	P1	P3	P1	P3		
	P3	P4	P1	P3					
	P4	P1							

Relazione tra “quanto” e “context switch”



Relazione tra “quanto” e “turnaround”

Pr.	T. di arrivo	CPU burst	T_t (q=1)
P1	0	6	15
P2	0	3	9
P3	0	1	3
P4	0	7	17



- T_{t_medio} (q=1) = 11
- Turnaround non decresce sempre all’aumentare del quanto

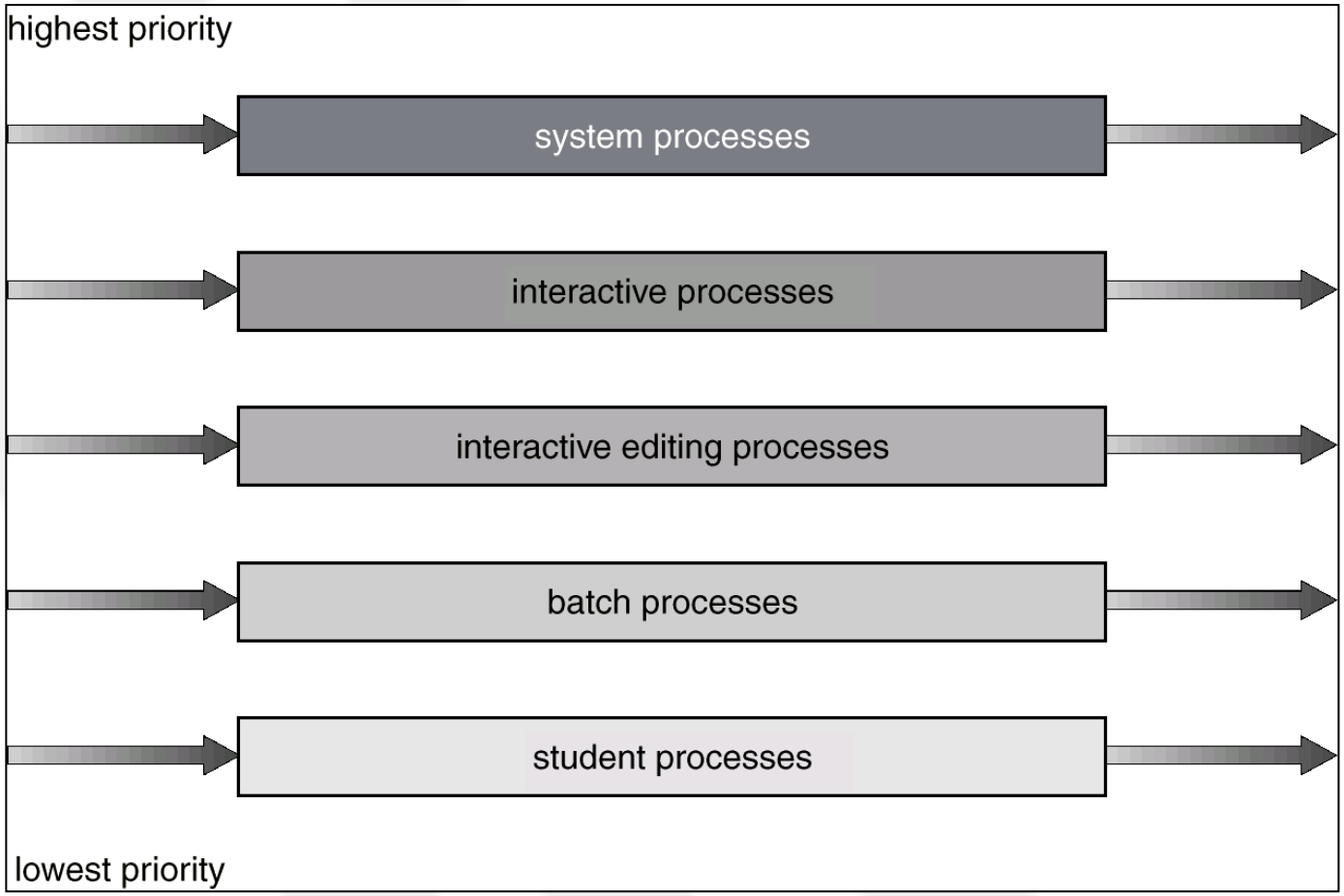
Code multilivello

- Classe di algoritmi in cui la ready queue è partizionata in più code
  - Esempio
    - Una coda per job in foreground (interattivi)
    - Una coda per job in background (batch)
    - …
- Ogni coda ha il suo algoritmo di scheduling
  - Esempio
    - Job in foreground gestiti con RR
    - Job in background gestiti con FCFS
- E' un meccanismo più generale, ma anche più complesso

Code multilivello

- Necessario “scheduling tra le code”
  - Scheduling a priorità fissa
    - Es.: servire prima tutti i job di sistema, poi quelli in foreground, poi quelli in background
    - Possibilità di starvation per code a priorità bassa
  - Scheduling basato su time slice
    - Ogni coda ottiene un quanto del tempo di CPU che può usare per schedulare i suoi processi
    - Esempio
      - 80% per job di foreground con RR
      - 20% per job di background con FCFS

Code multilivello



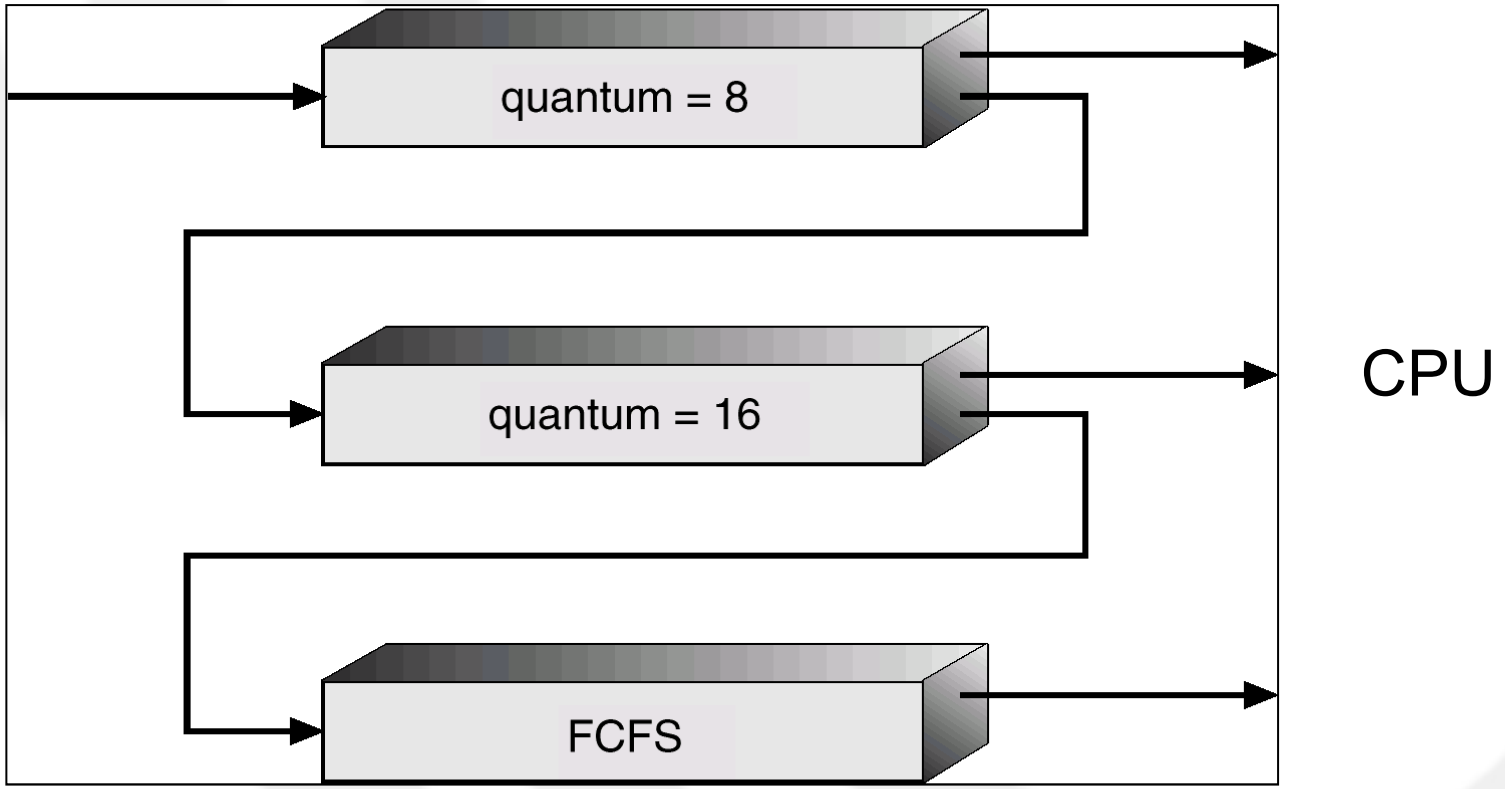
Code multilivello con feedback

- Code multilivello classiche
  - Un processo viene allocato definitivamente ad una coda
- Code multilivello con feedback (adattative)
  - Un processo può spostarsi da una coda all'altra a seconda delle sue caratteristiche
  - Usato anche per implementare l'*aging*
- Parametri dello scheduler:
  - numero delle code
  - algoritmi per ogni coda
  - criteri per la promozione/degradazione di un processo
  - criteri per definire la coda di ingresso di un processo

Code multilivello con feedback (Esempio)

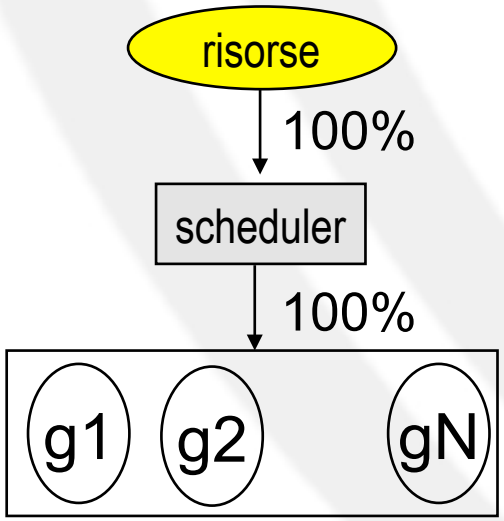
- 3 code:
  - Coda Q_0: RR con quanto 8 ms
  - Coda Q_1: RR con quanto 16 ms
  - Coda Q_2: FCFS
- CPU serve nell'ordine Q0, Q1, Q2
  - Processi in Q_j serviti sse Q_i vuota $\forall$ i < j
- Funzionamento:
  - Un job "nuovo" entra in Q_0. Quando ottiene la CPU, riceve 8 ms di quanto. Se non finisce entro il quanto, viene prelazionato e degradato alla coda Q_1
  - Se Q_0 è vuota, si seleziona un job di Q_1 che riceve 16 ms di quanto. Se non finisce viene prelazionato e messo in Q_2
  - Se Q_0 e Q_1 sono vuote, viene selezionato un job in Q_2 con FCFS

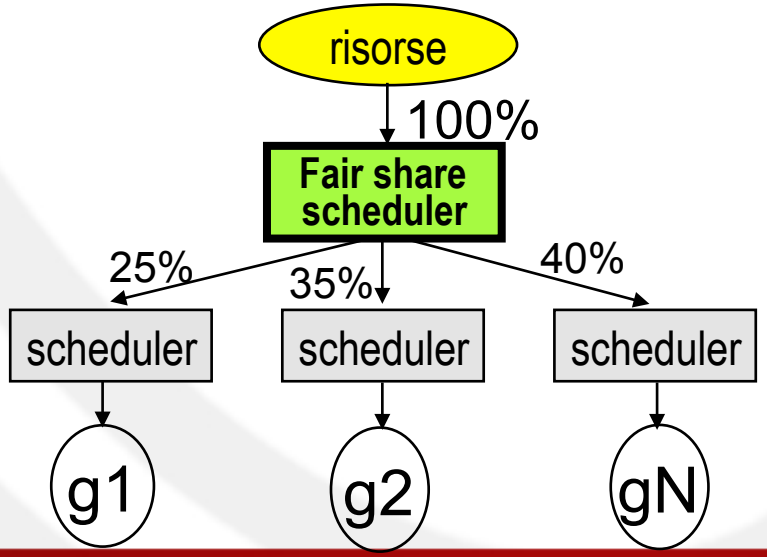
Code multilivello con feedback (Esempio)



Scheduling fair share

- Le politiche di scheduling precedenti sono orientate al processo, ma un'applicazione può essere composta da più processi
- Fair share cerca di fornire equità alle applicazioni (e quindi agli utenti) e non ai singoli processi
  - Le risorse vengono suddivise NON tra la totalità dei processi ma tra gruppi di processi





Contesto reale

- Obiettivo: minimizzare la complessità
- Gli algoritmi reali usano la prelazione e sono spesso basati su RR
- Esempio: CPU scheduling in Solaris (Unix di Sun)
  - Basato su priorità con *aging*
  - Priorità = priorità base + priorità corrente
    - Priorità base = [-20 … + 20] (-20=max, +20=min)
    - Priorità corrente = 0.1 * CPU(5*n)
      - CPU(t) = utilizzo della CPU negli ultimi t secondi
      - n = numero medio di processi pronti all'esecuzione nell'ultimo secondo
    - Concetto: scheduler "dimentica" il 90% dell'utilizzo di CPU degli ultimi 5n secondi
  - Idea: favorire processi che hanno usato "poco" la CPU

Valutazione degli algoritmi

- Modello deterministico
- Modello a reti di code
- Simulazione
- Implementazione

Modello deterministico (analitico)

- Basata sull'algoritmo e su un preciso carico di lavoro
  - Ciò che abbiamo fatto negli esempi precedenti!
- Definisce le prestazioni di ogni algoritmo per "quello" specifico carico
  - Risposte applicabili solo al caso considerato
- Di solito usato per illustrate gli algoritmi
- Richiede conoscenze troppo specifiche sulla natura dei processi

Modello a reti di code

- Non esiste un preciso gruppo di processi sempre uguali per utilizzare il modello deterministico
- Però è possibile determinare le distribuzioni di CPU burst e I/O burst
- Il sistema di calcolo è descritto come una rete di server ognuno con la propria coda
- Si usano formule matematiche che indicano:
  - la probabilità che si verifichi un determinato CPU burst
  - la distribuzione dei tempi di arrivo nel sistema dei processi

  da cui è possibile ricavare utilizzo, throughput medio, tempi di attesa, …

Simulazione

- Necessario programmare un modello del sistema
- Si utilizzano dati statistici o reali
- Abbastanza precisa ma costosa

Implementazione

- Unico modo assolutamente sicuro per valutare un algoritmo di scheduling:
  - Codificarlo
  - Inserirlo nel S.O.
  - Vedere come funziona!

Esercitazione

- Schedulare i processi indicati in tabella con le politiche:
  - FCFS
  - SJF senza prelazione
  - SJF con prelazione
  - RR con quanto = 4
  - RR con quanto = 1
  - HRRN

Proc.	T. di arrivo	CPU burst
A	0	3
B	2	6
C	4	4
D	6	5
E	8	2

Esercitazione

FCFS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A																				
B																				
C																				
D																				
E																				

SJF

senza prel.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A																				
B																				
C																				
D																				
E																				

Esercitazione

SJF con prel.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A																				
B																				
C																				
D																				
E																				

RR q=4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A																				
B																				
C																				
D																				
E																				

Esercitazione

Al tempo t=2 arriva B, A è appena uscito dalla CPU

Al tempo t=8 arriva E che si mette in coda prima di D che è appena uscito dalla CPU, ma dopo B che già si trovava in coda

RR

q=1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A																				
B																				
C																				
D																				
E																				
Ready queue			A	B	C	B	D	C	B	E	D	C	B	E	D	C	B	D		
							C	B	E	D	C	B	E	D	C	B	D			
									D	C	B	E	D	C	B					

Coda vuota. C'è solo il processo A che si trova nella CPU

Al tempo t=4 arriva C che si mette in coda mentre B è nella CPU

Al tempo t=6 arriva D che si mette in coda prima di C che è appena uscito dalla CPU

Esercitazione

HRRN

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A																				
B																				
C																				
D																				
E																				

Calcolo priorità R				
Proc.	**t=0**	**T=3**	**T=9**	**T=13**
A	1	-	-	-
B	-	1+1/6	-	-
C	-	-	1+5/4	-
D	-	-	1+3/5	1+7/5
E	-	-	1+1/2	1+5/2

Esercitazione

	A	B	C	D	E	Media
FCFS						
t attesa	0	1	5	7	10	4.6
t risposta	0	1	5	7	10	4.6
tournaround	3	7	9	12	12	8.6
SJF (senza prelazione)						
t attesa	0	1	7	9	1	3.6
t risposta	0	1	7	9	1	3.6
tournaround	3	7	11	14	3	7.6
SJF (con prelazione)						
t attesa	0	7	0	9	0	3.2
t risposta	0	1	0	9	0	2.0
tournaround	3	13	4	14	2	7.2

Esercitazione

		A	B	C	D	E	Media
RR (q=1)							
	t attesa	1	10	9	9	5	6.8
	t risposta	0	0	1	1	2	0.8
	tournaround	4	16	13	14	7	10.8
RR (q=4)							
	t attesa	0	9	3	9	9	7.5
	t risposta	0	1	3	5	9	3.6
	tournaround	3	15	7	14	11	10.0
HRRN							
	t attesa	0	1	5	9	5	4.0
	t risposta	0	1	5	9	5	4.0
	tournaround	3	7	9	14	7	8.0