SCHEDULING

Danilo Croce

Novembre 2023

LO SCHEDULING DEI PROCESSI/THREAD

- In un computer multiprogrammato, molteplici processi/thread possono competere per la CPU contemporaneamente.
- Lo scheduler decide quale processo/thread eseguire successivamente seguendo un algoritmo di scheduling.
  - Molti problemi di scheduling per processi valgono anche per i thread.
- Lo scheduling al livello del kernel avviene per thread, indipendentemente dal processo di appartenenza.
- Sfide specifiche emergono nello scheduling dei thread.

UN PO' DI STORIA

- Nei sistemi **batch storici**, lo **scheduling** era **lineare**
  - Si eseguiva il lavoro successivo sul nastro.
- Con la **multiprogrammazione**, lo **scheduling** è diventato **complesso** a causa della concorrenza tra utenti.
- Gli algoritmi di scheduling erano cruciali per la prestazione e la soddisfazione dell'utente nei mainframe.
- Nei personal computer:
  - Spesso un solo processo è attivo.
  - La CPU raramente è una risorsa scarsa: la maggior parte dei programmi è limitata dalla velocità dell'input dell'utente.

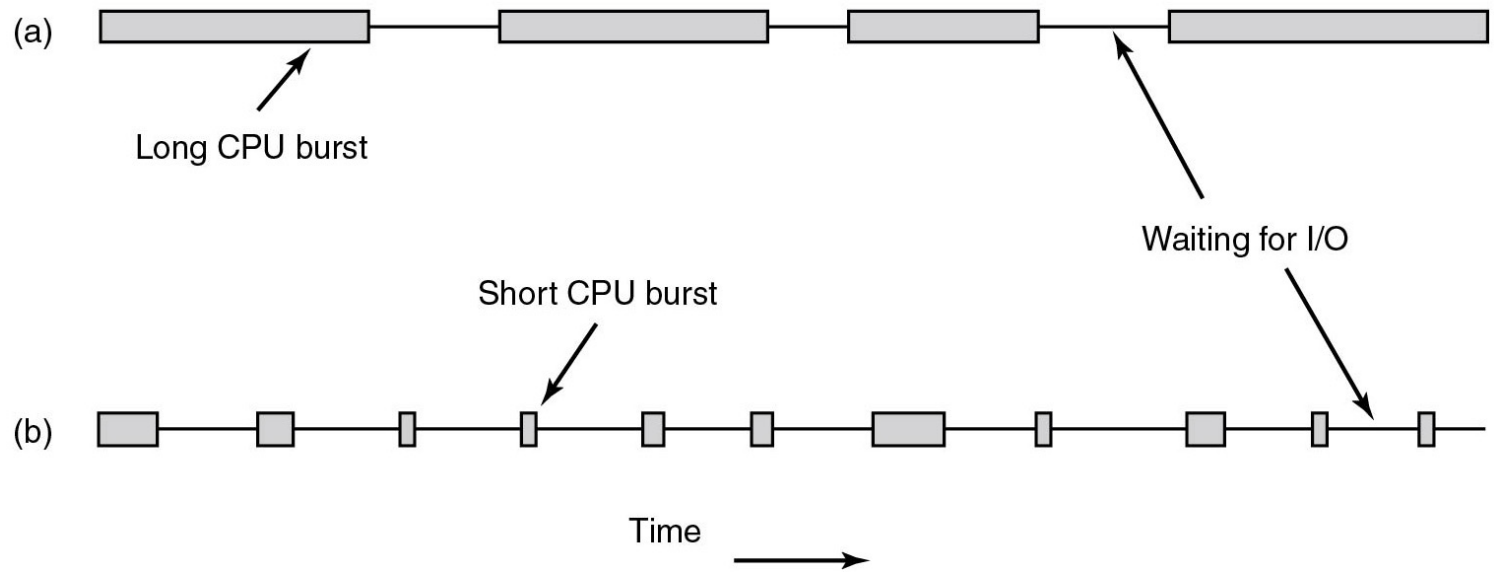
QUANTO COSTA IN TERMINI DI TEMPO?

- Nei server in rete, la CPU spesso è contesa: lo scheduling torna ad essere vitale.
- Per i dispositivi IoT, gli smartphone e i nodi di sensori, la durata della batteria è un vincolo cruciale.
  - Lo scheduling può cercare di ottimizzare il consumo energetico.
- Lo scambio di processi (o "**context switch**") è oneroso:
  - Cambio da modalità utente a modalità kernel.
  - Salvataggio dello stato del processo.
  - Esecuzione dell'algoritmo di scheduling.
  - Cambio della mappa della memoria.
  - Invalidazione potenziale della memoria cache.
- Troppe commutazioni possono consumare tempo di CPU:
  - la prudenza è essenziale.

INTRODUZIONE AL PROBLEMA DI SCHEDULING DEI PROCESSI

I processi alternano fasi di elaborazione CPU-intense con richieste di I/O.

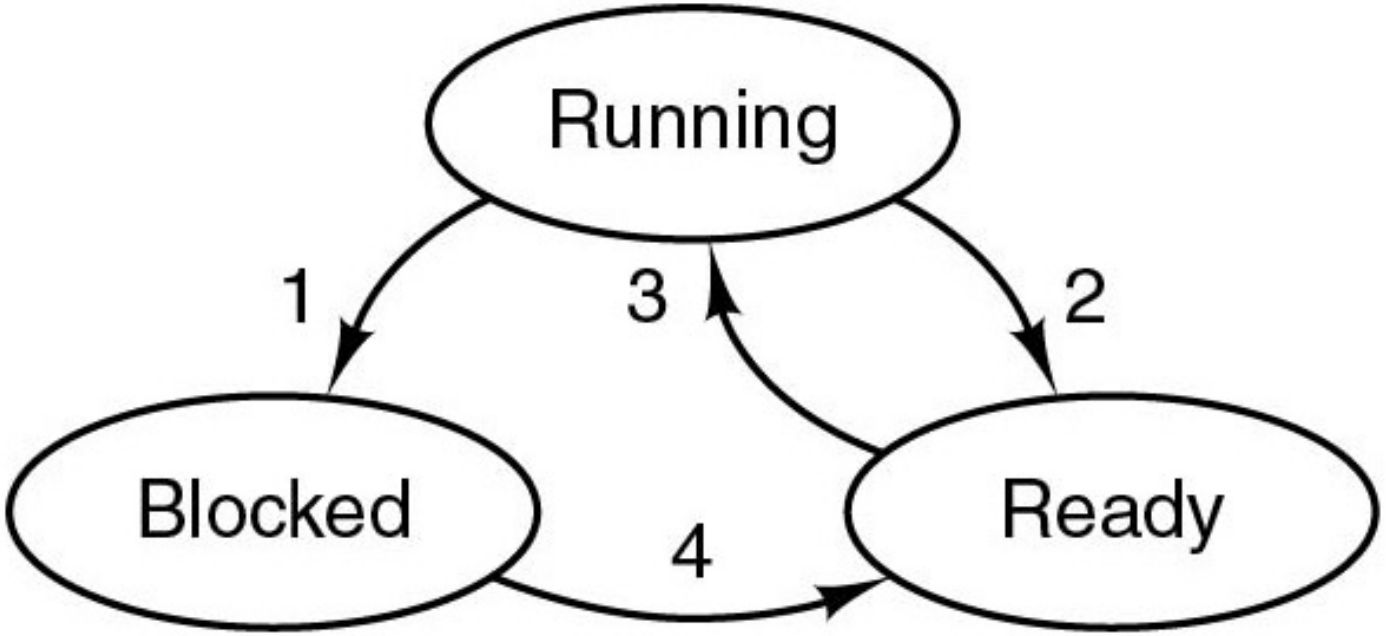
a) **Compute-bound (CPU-bound):** Burst di CPU lunghi, attese di I/O infrequenti.
b) **I/O-bound:** Burst di CPU brevi, attese di I/O frequenti. Sono tali a causa della bassa necessità di calcoli, non della durata delle richieste di I/O.



INTRODUZIONE AL PROBLEMA DI SCHEDULING DEI PROCESSI (2)

- Con **CPU più veloci**, i processi tendono a essere più **I/O-bound**.
  - CPU e dischi magnetici non stanno avanzando rapidamente in velocità.
- **SSD sostituiscono gli hard disk nei PC**, ma i data center utilizzano ancora HDD per il costo per bit.
- Lo scheduling **varia in base al contesto**.
  - Ciò che funziona per un dispositivo potrebbe non essere efficace per un altro.
  - Il panorama tecnologico è in continua evoluzione.

PROCESS STATE REVISITED



- Se ci sono più processi pronti che CPU disponibili:
  - Lo scheduler decide quale processo eseguire successivamente.
  - L'algoritmo utilizzato dallo scheduler è chiamato **algoritmo di scheduling**.

SITUAZIONI IN CUI È NECESSARIO LO SCHEDULING

- **Creazione Nuovo Processo**
  - Decisione tra l'esecuzione del processo genitore o figlio.
  - Entrambi pronti: può essere scelto chiunque.
- **Uscita di un Processo**
  - Se un processo esce, occorre scegliere un altro dai processi pronti.
  - Se nessuno è pronto, occorre eseguire un processo inattivo del sistema.
- **Blocco del Processo**
  - Se un processo si blocca (I/O, semaforo, etc.), occorre selezionarne un altro.
  - A volte la causa del blocco può influire sulla decisione.
- **Interrupt di I/O**
  - Alla conclusione di un I/O, un processo potrebbe diventare pronto.
  - Decidere se eseguire il processo appena pronto, il precedente o un altro.

TIPOLOGIE DI SCHEDULING E PRELAZIONE

- **Non Preemptive (Senza Prelazione):**
  - Seleziona un processo e lo **lascia eseguire fino al blocco o alla rilascio volontario**.
  - **Nessuna decisione** durante gli interrupt del clock.
  - Ripristina il processo precedente dopo l'interrupt, a meno che non ci sia una priorità superiore.
- **Preemptive (Con Prelazione):**
  - Sceglie un processo e lo **lascia eseguire per un tempo massimo** definito.
  - Se ancora in esecuzione **dopo il tempo, è sospeso** e viene scelto un altro.
  - Richiede un interrupt del clock per restituire controllo allo scheduler.
- **Importanza della Prelazione:**
  - Rilevante per le applicazioni e i kernel dei sistemi operativi.
  - Necessaria per **prevenire** che un driver o una chiamata di sistema lenti **blocchino** la CPU.
  - In un kernel con prelazione, lo scheduler può forzare un cambio di contesto.

DIVERSITÀ NEGLI AMBIENTI DI SCHEDULING

- **Batch:**
  - Ideale per attività aziendali periodiche.
  - Accetta algoritmi senza prelazione.
  - Priorità a prestazioni efficienti.
- **Interattivo:**
  - **Prelazione fondamentale**.
  - Previeni monopolizzazione della CPU.
  - Adatto per server e utenti multipli.
- **Sistemi Real-time:**
  - Processi spesso si bloccano velocemente sapendo di non poter eseguire a lungo.
  - **Prelazione non sempre necessaria.**
  - Eseguono programmi per specifiche applicazioni, a differenza dei sistemi interattivi che possono eseguire programmi arbitrari.

OBIETTIVI GENERALI DEGLI ALGORITMI DI SCHEDULING

- **Sistemi Batch**:
  - **Throughput**: Numero di job completati in un tempo fissato.
  - **Tempo di Turnaround**: Minimizzare il tempo dallo start all'end di un job.
  - **Utilizzo della CPU**: Mantenere la CPU costantemente attiva.
- **Sistemi Interattivi:**
  - **Tempo di risposta:** Risposta rapida alle richieste degli utenti.
  - **Adeguatezza:** Soddisfare le aspettative dell'utente in termini di tempi di risposta.
- **Sistemi Real-time:**
  - **Rispetto delle scadenze:** Assicurarsi che i dati vengano elaborati nei tempi previsti.
  - **Prevedibilità:** Assicurarsi che il funzionamento sia costante, specialmente in sistemi multimediali per evitare degradi della qualità.

OBIETTIVI GENERALI DEGLI ALGORITMI DI SCHEDULING (CONT)

- **Tutti i sistemi**:
  - **Equità**: Garantire un'equa condivisione della CPU a tutti i processi.
  - **Imposizione della policy**: Garantire l'attuazione delle policy dichiarate.
  - **Bilanciamento**: Mantenere tutti i componenti del sistema attivi.

- L'equità è fondamentale in ogni scenario.
- In un sistema batch, è ideale combinare processi CPU-bound e I/O-bound.
- Nei sistemi real-time è cruciale rispettare le scadenze e garantire la prevedibilità

SCHEDULING IN SISTEMI BATCH

SCHEDULING IN BATCH SYSTEMS

- First-Come First-Served
- Shortest Job First
- Shortest Remaining Time Next

FIRST-COME, FIRST-SERVED (FCFS)

- **Descrizione:**
  - Algoritmo di scheduling **senza prelazione**.
  - Processi **assegnati alla CPU nell'ordine in cui arrivano**.
  - Una singola coda di processi in stato pronto. Il primo job esegue immediatamente senza interruzioni.
  - Processi bloccati ritornano in fondo alla coda.
- **Vantaggi**:
  - Facile da capire e programmare.
    - Gestione semplice con una linked lista.
  - Equo in base all'ordine di arrivo.
- **Svantaggi:**
  - Prestazioni non ottimali in scenari misti (es. processi CPU-bound e I/O-bound).
  - Può risultare in tempi di attesa molto lunghi per processi I/O-bound in presenza di un processo CPU-bound.

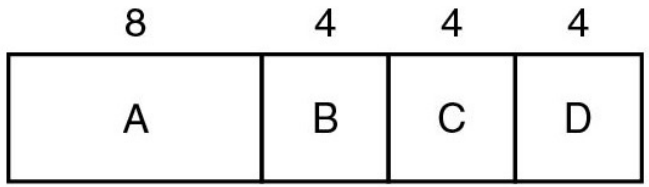
UN ESEMPIO DI FCFS

- Un processo CPU-bound esegue per 1 secondo e successivamente molti processi I/O-bound leggono dal disco.
- Usando FCFS, i processi I/O-bound potrebbero impiegare 1000 secondi per terminare, invece che 10 secondi con un algoritmo di scheduling con prelazione.

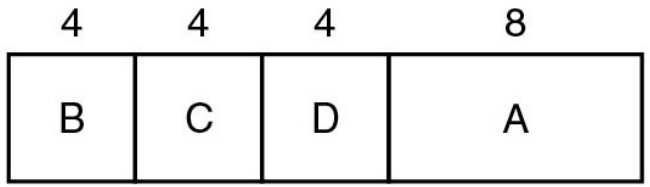
SHORTEST JOB FIRST (SJF)

- **Descrizione**:
  - Algoritmo batch senza prelazione.
  - Richiede che i tempi di esecuzione siano noti in anticipo.
  - Il job più breve viene eseguito per primo.

- **Esempio**
  - 4 job (A, B, C, D) con tempi di 8, 4, 4 e 4 min.
  - Esecuzione in ordine:
    - 8 min per A, 12 min per B, 16 min per C, 20 min per D (media 14 min).
  - Esecuzione con SJF:
    - 4 min, 8 min, 12 min e 20 min (media 11 min).



(a)



(b)

OTTIMALITÀ DI SJF E CONSIDERAZIONI

- **Ottimalità:**
  - Shortest Job First è ottimale nel minimizzare il tempo di turnaround medio (il tempo dallo start all'end di un job) quando tutti i job sono disponibili contemporaneamente.
- **Limitazione:**
  - Se i job arrivano in momenti diversi, SJF potrebbe non essere ottimale.
  - Es. Job A-E con tempi 2, 4, 1, 1, 1 e arrivi a 0, 0, 3, 3, 3. Due sequenze diverse producono medie di 4,6 e 4,4.

SHORTEST REMAINING TIME NEXT (SRTN)

- **Descrizione:**
  - Versione con **prelazione** di SJF.
  - Seleziona sempre il processo con il tempo rimanente più breve per completare.
  - Il tempo di esecuzione deve essere noto in anticipo.
- **Funzionamento:**
  - Confronta il tempo totale del nuovo job con il tempo rimanente dei processi in esecuzione.
  - Se il nuovo job è più breve del processo corrente, sospende il processo corrente ed esegue il nuovo job.
  - Assicura che i nuovi job brevi ricevano un servizio rapido.

SCHEDULING IN SISTEMI INTERATTIVI

SISTEMI INTERATTIVI

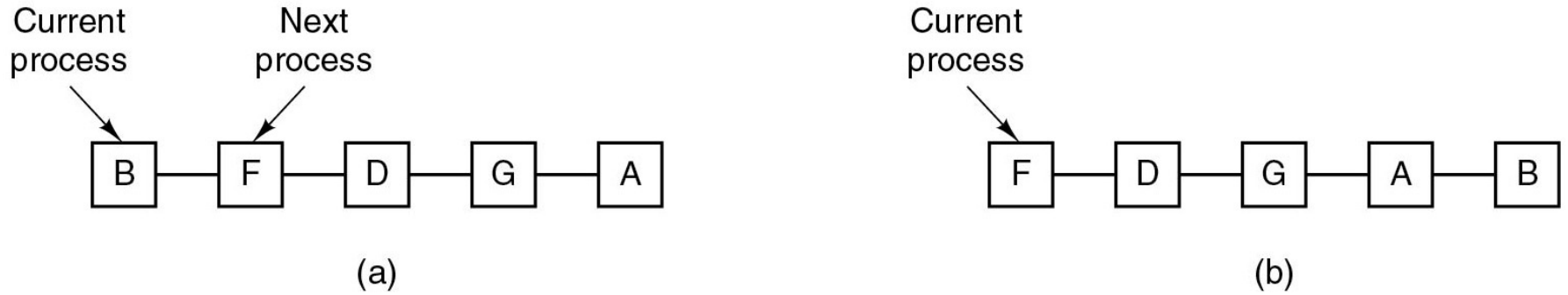
- **Tempo di risposta è fondamentale** rispondendo rapidamente alle richieste
- **Proporzionalità**: occorre soddisfare le aspettative degli utenti
- **Metodi**:
  - Round-Robin Scheduling
  - Priority Scheduling
  - Shortest Process Next
  - Guaranteed Scheduling
  - Lottery Scheduling
  - Fair-Share Scheduling

McClatchy-Tribune/Tribune Content Agency LLC/Alamy Stock Photo

Apple MacIntosh (1984)

ROUND-ROBIN SCHEDULING

- **Concetto**:
  - Uno degli algoritmi di scheduling più **vecchi, semplici, equi e ampiamente utilizzati**.
  - **Ogni processo riceve** un intervallo di tempo o "**quanto**" per l'esecuzione.
  - Se il processo **non ha terminato** al termine del quanto, **la CPU viene prelazionata** per un altro processo.
  - Se un processo termina o si blocca prima del quanto, il passaggio avviene automaticamente
- **Implementazione**:
  - Mantenere una lista dei processi eseguibili.
  - Una volta esaurito il quanto, il processo viene spostato alla fine della lista.

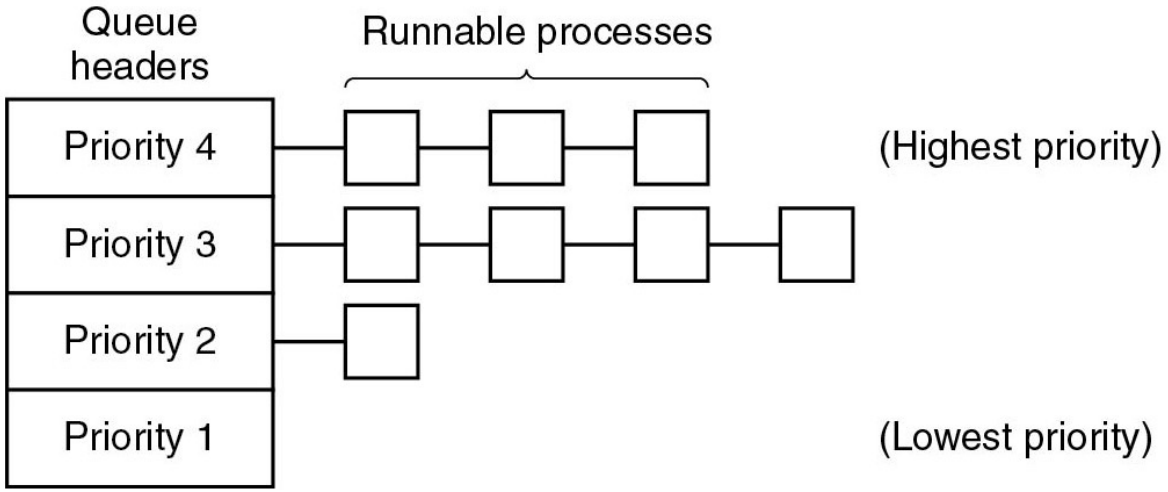


SFIDE DEL ROUND-ROBIN E DURATA DEL QUANTO

- **Durata del Quanto**:
  - La scelta del quanto influisce sull'efficienza.
  - Supponendo 1 ms per il cambio di contesto e 4 ms per il quanto: il 20% del tempo CPU sprecato in overhead.
- **Trade-off**:
  - **Quanto lungo**: riduce l'overhead, ma peggiora la reattività (es. 5 secondi di attesa per un breve comando in un server affollato).
  - **Quanto breve**: maggiore overhead e riduzione dell'efficienza della CPU.
- **Ottimizzazione**:
  - Se il quanto è maggiore del tempo medio di burst di CPU, la prelazione potrebbe non avvenire spesso. Molti processi potrebbero bloccarsi prima.
  - **Compromesso**: un quanto tra 20 e 50 ms è spesso ragionevole per bilanciare efficienza e reattività.

INTRODUZIONE ALLO SCHEDULING A PRIORITÀ

- **Premessa**:
  - Round-robin considera tutti i processi ugualmente importanti.
  - Alcuni contesti richiedono una gerarchia (es. università con differenti ruoli).



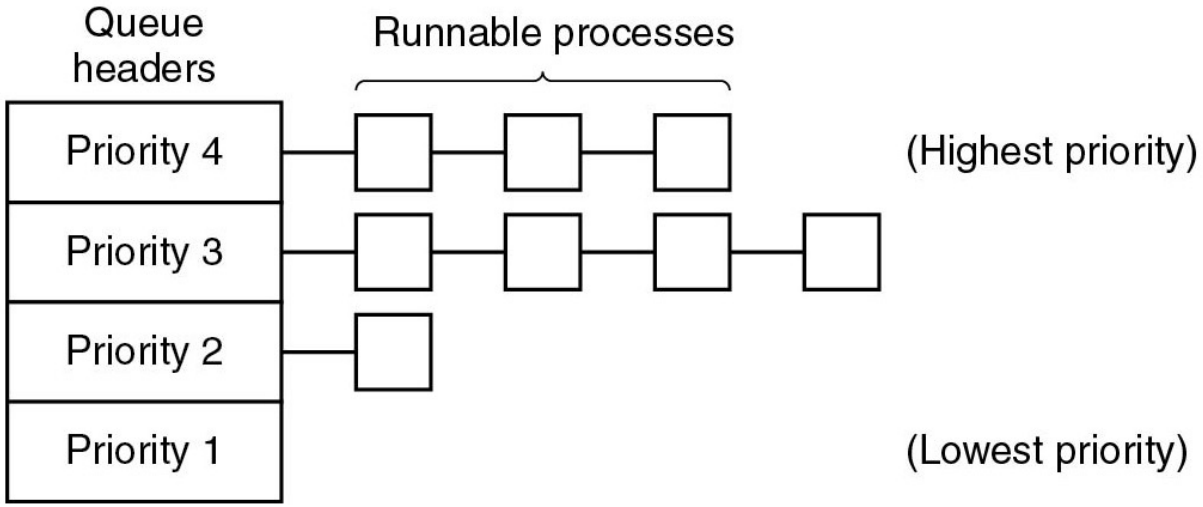
- **Scheduling a Priorità**:
  - Ogni processo ha una priorità assegnata.
  - La CPU esegue il processo con la priorità più alta tra quelli pronti.
  - Applicabile anche su singoli PC:
    - ad es. un *daemon* di posta elettronica avrebbe meno priorità di un video in tempo reale.

FUNZIONAMENTO DELLO SCHEDULING A PRIORITÀ

- **Gestione delle Priorità**:
  - **Priorità** del processo attualmente in esecuzione **può diminuire con il tempo**.
  - **Se scende** sotto quella del processo successivo, **avviene uno cambio**.
  - Possibilità di assegnare un quanto di tempo: al suo esaurirsi, si passa al processo con priorità appena inferiore.
  - Evitare che processi rimangano inibiti indefinitamente, altrimenti potrebbero finire a priorità 0.

- **Priorità Statica vs Dinamica**:
  - **Statica**: es. gerarchie militari o basate sui costi nel data center.
  - **Dinamica**: es. basata sull'utilizzo della CPU o sul comportamento I/O bound.

STRATEGIE COMBINATE E CLASSI DI PRIORITÀ



- **Raggruppamento in Classi**:
  - Processi divisi in classi di priorità.
  - Scheduling a priorità tra le classi, ma round-robin all'interno della stessa classe.
- **Esempio**:
  - Sistema con 4 classi di priorità.
  - Fintanto ci sono processi in priorità 4, si usano in round-robin. Se vuota, si passa alla 3, poi alla 2, e così via.
  - Importante rivedere periodicamente le priorità per evitare che processi a bassa priorità non vengano mai eseguiti ("morire d'inedia").

SHORTEST PROCESS NEXT CON AGING

- "Shortest Job First" ottimizza il tempo medio di risposta nei sistemi batch. L'obiettivo è applicarlo ai sistemi interattivi.
- **Sfida:**
  - Identificare quale tra i processi eseguibili sia effettivamente il più breve.
- **Soluzione - Aging:**
  - Fare stime basate sul comportamento passato.
  - Stima del tempo per un comando: T0.
  - Stima aggiornata dopo nuova esecuzione T1 diventa aT0 + (1 – a)T1.
  - Scelta di 'a' determina il peso delle esecuzioni precedenti nella nuova stima.
  - Esempio con a = 1/2:
    - T0, T0/2 + T1/2, T0/4 + T1/4 + T2/2, ...
  - Dopo 3 esecuzioni, peso di T0 nella stima è 1/8.
- **Utilizzo dell'Aging:**
  - Prevista in molte situazioni dove si basa la previsione su valori passati.
  - Facile da applicare, specialmente con a = 1/2

GUARANTEED SCHEDULING

- **Concetto Principale:**
  - Fare promesse concrete sugli standard di prestazione e rispettarle.
- **Promessa Base:**
  - Se ci sono *n* utenti o processi, ciascuno ottiene ~1/n della potenza della CPU.
- **Come Funziona:**
  - Il sistema tiene traccia di quanta CPU ha ricevuto ogni processo dal momento della sua creazione (esempio 100 secondi)
  - Calcola quanto tempo CPU ogni processo dovrebbe avere
    - tempo da creazione ÷ n (ad esempio 100/n=10 processo, dovrebbe avere 10 secondi).
  - Valuta il rapporto tra il tempo CPU consumato e quello dovuto.
    - Rapporto di 0,5: ha avuto metà di quanto dovuto.
    - Rapporto di 2,0: ha avuto doppio di quanto dovuto.
  - Esegue il processo con il rapporto più basso finché non supera il suo concorrente più vicino.

SCHEDULING A LOTTERIA (LOTTERY SCHEDULING)

- **Concetto di base:**
  - Assegnazione di biglietti della lotteria ai processi per le risorse del sistema, come il tempo della CPU.
  - Estrazione casuale di un biglietto per decidere quale processo ottiene la risorsa.
  - Esempio: Estrazione 50 volte al secondo => vincitore riceve 20ms di tempo della CPU.
- **Distribuzione delle probabilità:**
  - Biglietti extra per processi più importanti => maggiori probabilità di vincere.
  - Esempio: Se un processo ha il 20% dei biglietti, guadagnerà a lungo termine il 20% della CPU.

PROPRIETÀ E APPLICAZIONI DELLO SCHEDULING A LOTTERIA

- **Reattività:**
  - Risponde velocemente ai nuovi processi grazie alla distribuzione dei biglietti.
- **Cooperazione tra processi:**
  - Possibilità di scambiarsi biglietti tra processi cooperanti.
  - Esempio: Un processo client dona i suoi biglietti a un processo server per farlo eseguire più rapidamente.
- **Soluzione a problemi complessi:**
  - Adatto a situazioni dove altri metodi falliscono.
  - Esempio: Server video con diverse necessità di frequenze di fotogrammi.
    - Assegnazione di biglietti in base alla velocità necessaria => divisione automatica della CPU nelle proporzioni corrette.

SCHEDULING FAIR-SHARE

- **Premessa:**
  - Tradizionalmente, ogni processo è oggetto di scheduling individualmente.
  - Es. Se l'utente 1 ha 9 processi e l'utente 2 ne ha 1, con round-robin o priorità uguali, l'utente 1 avrà il 90% della CPU, l'utente 2 solo il 10%.
- **Approccio Fair-Share:**
  - Considera la proprietà di ogni processo prima di considerarlo.
  - Ogni utente riceve una frazione predefinita di CPU.
  - Lo scheduler si assicura che ogni utente riceva la sua frazione, indipendentemente dal numero di processi posseduti.

SCHEDULING FAIR-SHARE (2)

- **Esempio:**
  - Due utenti, ciascuno con il 50% della CPU. Utente 1 ha processi A, B, C, D; Utente 2 ha processo E.
  - Sequenza con round-robin: A E B E C E D E A E...
  - Se l'utente 1 ha il doppio del tempo di CPU rispetto all'utente 2: A B E C D E A B E...
- **Versatilità:**
  - Molti modi di implementare, basati sulla definizione di "equità".

SCHEDULING IN SISTEMI REALTIME

SCHEDULING NEI SISTEMI REAL-TIME

- Usato nei sistemi operativi in applicazioni in cui il tempo di risposta è fondamentale.
  - Lettori di compact disc, Monitoraggio in terapia intensiva, Piloti automatici, Controllo robotico in fabbriche
- Ritardi o mancati tempi di risposta possono avere gravi implicazioni.

Yauhen_D/Shutterstock

NASA

TIPI DI SISTEMI E CARATTERISTICHE REAL-TIME

- **Categorie:**
  - **Hard Real-Time:** Scadenze assolute da rispettare.
  - **Soft Real-Time:** Qualche scadenza mancata è tollerabile.
- **Comportamento:** Processi prevedibili, brevi e noti in anticipo.
- **Tipi di eventi:**
  - **Periodici:** Avvengono a intervalli regolari.
  - **Non Periodici:** Avvengono in modo imprevedibile.
- **Condizione di «Schedulabilità»:** La CPU deve essere in grado di gestire la somma totale del tempo richiesto dai processi.
- Per esempio, se ci sono m eventi periodici, l'evento i avviene con un periodo P_i e richiede C_i secondi di tempo della CPU per gestire ogni evento, allora il carico può essere gestito solo se

$$\sum_{i=1}^{m} \frac{C_i}{P_i} \leq 1$$

ESEMPI E TIPOLOGIE DI ALGORITMI REAL-TIME

- **Esempio:**
  - Eventi periodici: 100ms, 200ms, 500ms.
  - Tempi richiesti: 50ms, 30ms, 100ms.
  - Condizione: 0,5+0,15+0,2 < 1.
- **Algoritmi di Scheduling:**
  - **Statici:** Decisioni prese prima dell'esecuzione.
  - **Dinamici:** Decisioni prese durante l'esecuzione.
- **Limitazioni:** Lo scheduling statico richiede una perfetta conoscenza delle esigenze e delle scadenze.

-	Periodo	Tempi Richiesti
P1	100 ms	50 ms
P2	200 ms	30 ms
P3	500 ms	100 ms

PROCESSI E SCHEDULING

- **Premessa:** Abbiamo sempre considerato i processi come appartenenti a utenti differenti in competizione per la CPU.
- **Scenario reale:**
  - Un processo può avere molti processi figli sotto il suo controllo.
  - Esempio: Un sistema di gestione di una base di dati con molti figli, ognuno con funzioni specifiche.
- **Problematica:** Gli scheduler tradizionali non accettano input dai processi utente, spesso portando a decisioni sub-ottimali.

SEPARAZIONE TRA MECCANISMO E POLITICA DI SCHEDULING

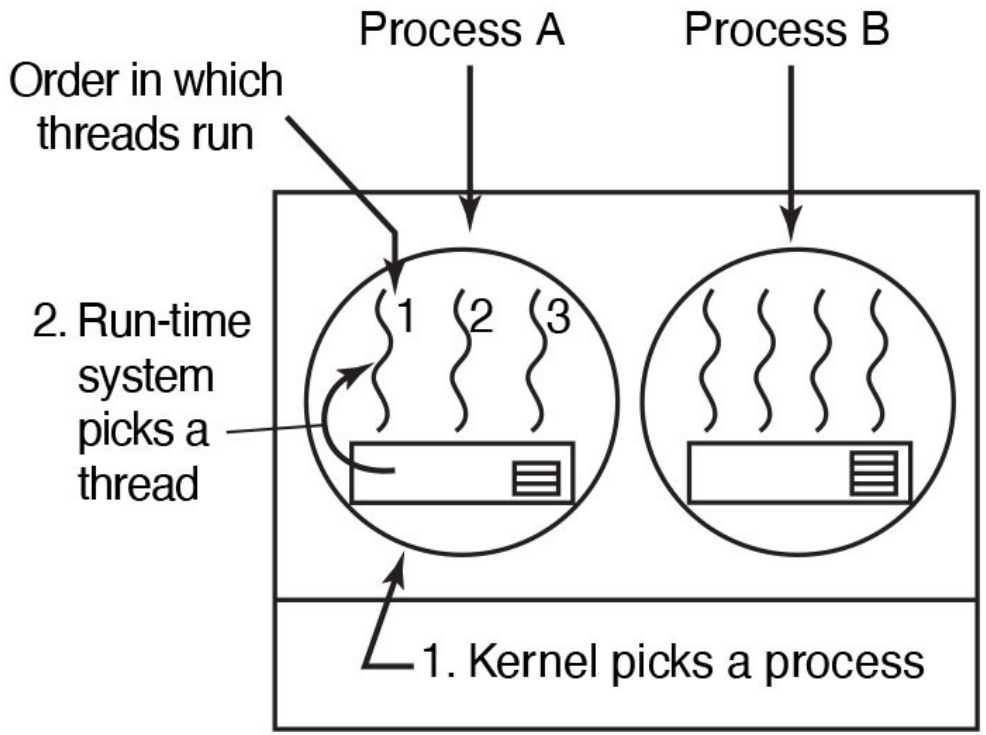
- **Principio:** Separare il meccanismo di scheduling dalla politica di scheduling (Levin et al., 1975).
- **Vantaggio:** L'algoritmo di scheduling può essere parametrizzato, ma i parametri sono forniti dai processi utente.
- **Esempio pratico:**
  - Kernel con algoritmo di scheduling a priorità.
  - Chiamata di sistema permette a un processo di impostare le priorità dei suoi figli.
  - Il genitore può influenzare lo scheduling dei suoi figli senza controllarlo direttamente.
- **Conclusione:** Il meccanismo sta nel kernel, la policy è determinata dal processo utente - un concetto fondamentale.

PARALLELISMO: PROCESSI E THREAD

- Due livelli di parallelismo: **processi** e **thread**.
- Lo scheduling differisce in base al tipo di thread:
  - **livello utente** vs. **livello kernel**
- **Thread a livello utente**:
  - Il kernel ignora l'esistenza dei thread; sceglie un processo per il suo quanto.
  - Il thread interno decide quale thread eseguire senza interruzione del clock.
  - **Risultato:** Un thread può consumare l'intero quanto del processo, influenzando solo il processo interno e non gli altri.

SCHEDULING DEI THREAD A LIVELLO UTENTE

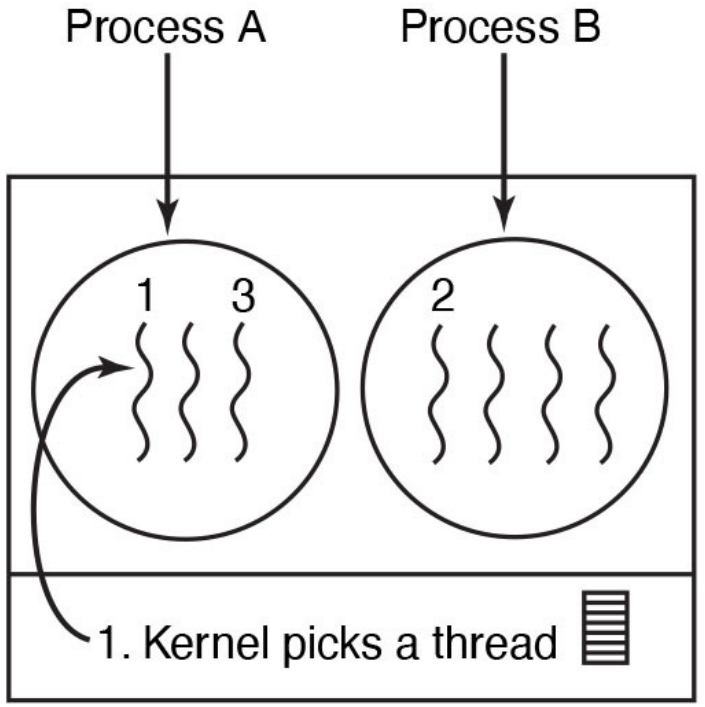
- Possibile ordine di esecuzione: A1, A2, A3, A1, A2...
  - Scheduling del sistema run-time può variare: spesso **round-robin** o **a priorità**.
  - Cooperazione tra thread; nessuna interruzione forzata.



Possibile scheduling di thread a livello utente con un quanto per un processo di 50 msec e thread che eseguono 5 msec per burst della CPU.

SCHEDULING DEI THREAD (2)

- **Thread del kernel**:Il kernel seleziona un thread specifico per l'esecuzione.
  - Ordine potenziale: A1, B1, A2, B2... (come in Figura 2.45(b)).
  - Se un thread eccede il quanto, viene sospeso.



Possible: A1, A2, A3, A1, A2, A3
Also possible: A1, B1, A2, B2, A3, B3

(b)

Possibile schedulazione di thread a livello kernel con le stesse caratteristiche della diapositiva precedente

DIFFERENZE PRESTAZIONALI E CONSIDERAZIONI

- **Thread a livello utente vs. Thread del kernel**:
  - Scambio thread utente: poche istruzioni. Scambio thread kernel: scambio completo di contesto - più lento.
  - Blocco su I/O: con thread utente, intero processo sospeso; con thread kernel, solo il thread specifico.
- **Decisioni del kernel**:
  - Considera i costi per passare da un thread a un altro.
  - Può dare preferenza ai thread dello stesso processo.
- **Scheduling specifico dell'applicazione**:
  - Permette maggiore controllo e ottimizzazione dell'applicazione rispetto allo scheduling del kernel.

BREVE RECAP

MODELLI DI ESECUZIONE E GESTIONE DEI PROCESSI

- **Concezione Base**: Processi sequenziali eseguiti in parallelo per nascondere gli effetti degli interrupt.
- **Caratteristiche dei Processi**:
  - Creati e terminati dinamicamente.
  - Spazio di indirizzi unico per ogni processo.
- **Thread**:
  - Multipli thread di controllo in un singolo processo.
  - «Schedulati» indipendentemente con stack propri.
  - Condivisione dello stesso spazio di indirizzi.
  - Possono essere implementati nello spazio utente o nel kernel.

SINCRONIZZAZIONE, STATI E SCHEDULING

- **Sincronizzazione e Comunicazione**:
  - Uso di semafori, monitor, messaggi.
  - Prevengono l'accesso simultaneo a regioni critiche per evitare caos.
  - Processi possono essere: in esecuzione, eseguibili o bloccati.
  - Cambiamenti di stato causati da primitive di comunicazione.
- **Algoritmi di Scheduling**:
  - Varietà studiata: shortest-job-first, round robin, scheduling a priorità, code multilivello, e molti altri.
  - Distinzione in alcuni sistemi tra meccanismo di scheduling e policy, permettendo agli utenti di influenzare l'algoritmo di scheduling.