Sistemi Operativi
Politiche di Ordinamento Processi

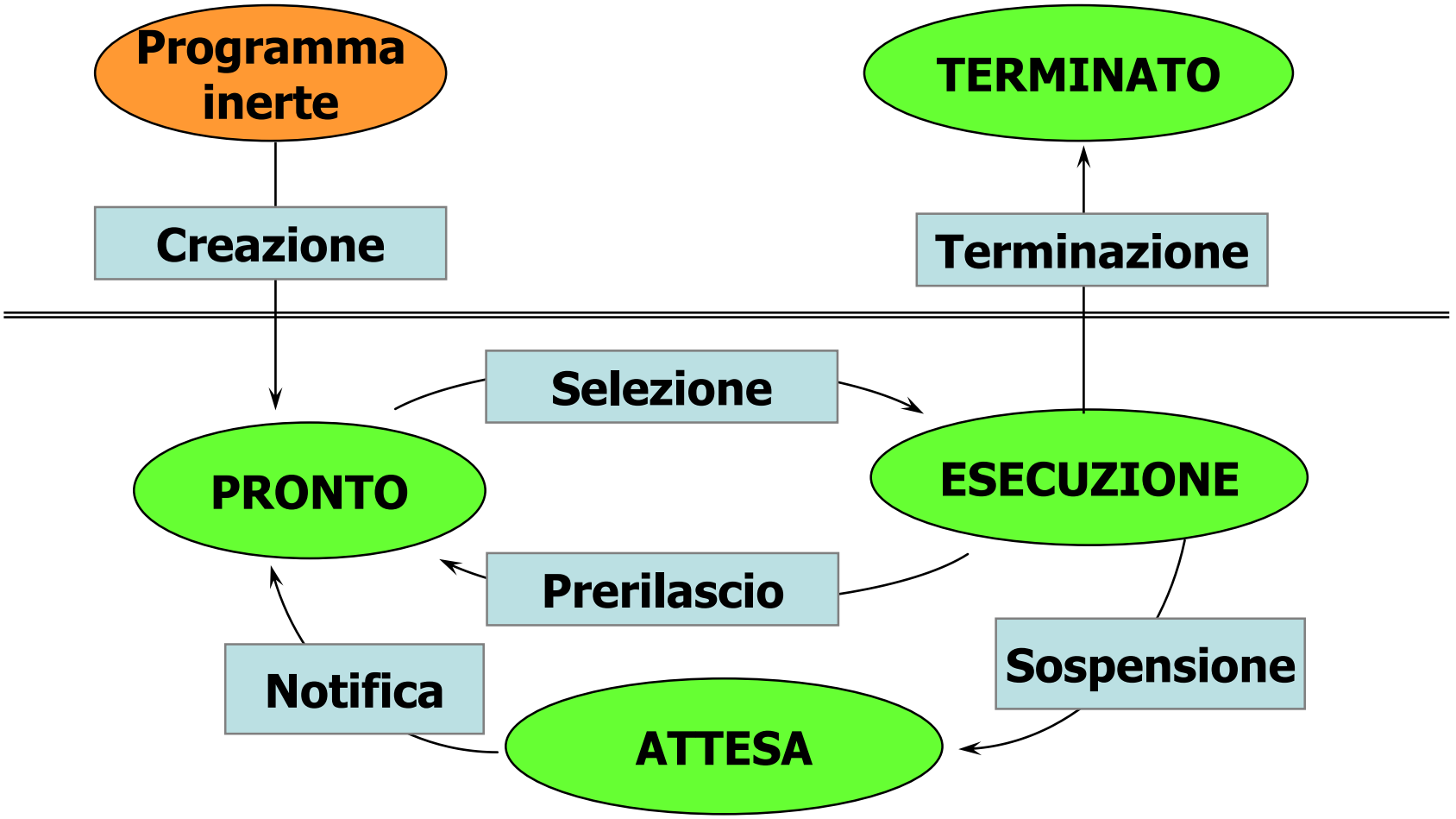
Docente: Claudio E. Palazzi

cpalazzi@math.unipd.it

Astrazione di processo

- Ogni processo è associato a un descrittore chiamato ***Process Control Block*** che ne specifica le caratteristiche distintive
  - Identificatore del processo
  - Contesto di esecuzione del processo
    - Tutte le informazioni necessarie a ripristinarne lo stato d'esecuzione dopo una sospensione o un prerilascio
  - Stato di avanzamento del processo
    - Puntatore (d)alla lista del processi in quello stato
  - Priorità
    - Iniziale, corrente
  - Diritti di accesso alle risorse e altri eventuali privilegi
  - Discendenza familiare
    - Puntatore al PCB del processo genitore e degli eventuali processi figli
  - Puntatore alla lista delle risorse assegnate al processo
- Il PCB relaziona il processo alla sua **macchina virtuale**

Stati di avanzamento di processo



Ordinamento di processi

- Una decisione di scheduling è necessaria:
  - alla creazione di un processo (processo genitore o figlio?)
  - alla terminazione di un processo (chi lo sostituisce?)
  - quando il processo si blocca (in attesa di I/O, o di semaforo,…)
    - Importante ad esempio per evitare inversion priority se un processo importante attende che uno meno importante rilasci sezione critica
    - Scheduler può non avere info necesssarie
  - all'occorrenza di un interrupt I/O
    - Ad ogni k-esima occorrenza dell'interrupt periodico (50 – 60 Hz)

Ordinamento di processi

- Diversi metodi per decidere come alternare i processi in esecuzione
  - **Scambio cooperativo** (*cooperative* / *non pre-emptive switch*)
    - Il processo in esecuzione decide da solo quando cedere il controllo
      - Windows 3.1 ☹
  - **Scambio a prerilascio** (inconsapevole)
    - Il processo in esecuzione viene rimpiazzato
      - Da un processo appena arrivato con maggiore importanza (*priority-based pre-emptive*)
        - » Sistemi a tempo reale
      - All'esaurimento del quanto di tempo (*time-sharing pre-emptive*)
        - » Sistemi interattivi (Unix → Linux, Windows NT)
    - Necessita di clock

Ordinamento di processi

- Il prerilascio si realizza tramite un meccanismo **esterno** all'esecuzione dei processi
  - Un dispositivo (p.es., orologio) solleva una interruzione
  - Un gestore *software* la identifica e, se necessario, la notifica allo *scheduler*

Politiche e meccanismi – 1

- Lo *scheduler* è il componente del nucleo che decide l'ordinamento dei processi
  - È progettato **prima** dei processi che è chiamato a governare
  - Sistemi diversi, metriche diverse
    - Batch: no preemption
    - Interattivi: preemption
    - Real time: no preemption ??

- Bisogna perciò rendere il suo operato **parametrico** rispetto a specifici attributi assegnati ai processi
  - Per non doverlo cambiare al variare delle applicazioni
    - Basta configurare opportunamente gli attributi dei processi

Politiche e meccanismi – 2

- Il *dispatcher* è il componente del nucleo che attua le scelte di ordinamento dei processi
  - Opera su mandato dello *scheduler*
  - Deve essere molto efficiente perché opera a ogni scambio di contesto (*context switch*)
    - Salva il contesto del processo in uscita, installa quello del processo in entrata e gli affida il controllo della CPU

Politiche e meccanismi – 3

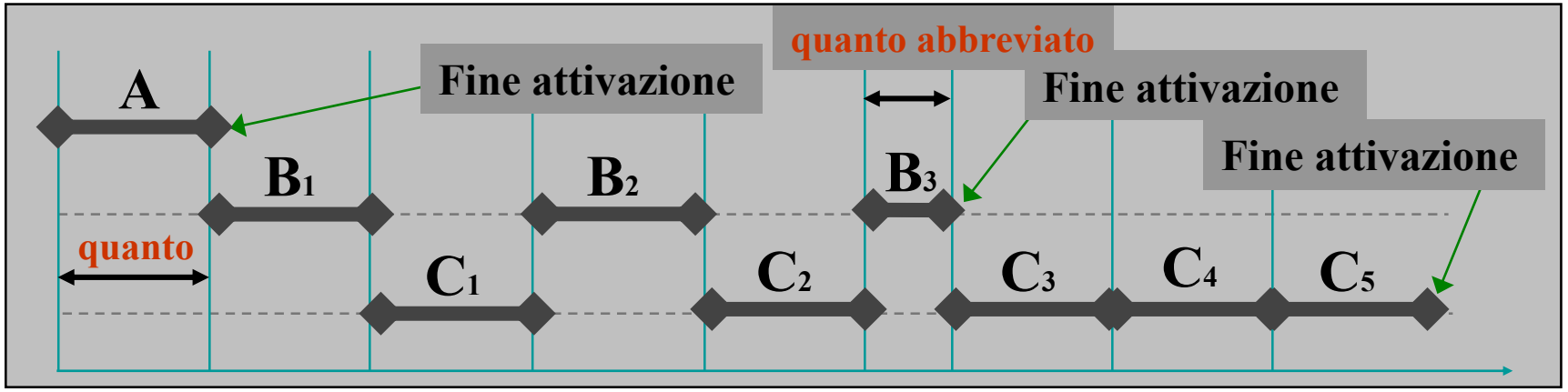
- L'applicazione influenza le **politiche** di ordinamento tramite il valore degli attributi considerati dai meccanismi del nucleo
  - Per determinare l'ordinamento dei processi
  - Per influenzare l'attribuzione delle risorse
- L'efficienza delle politiche scelte si misura in termini di
  - **Percentuale di impiego utile della CPU**
    - Più i processi che il nucleo!
      - Il tempo di esecuzione di *scheduler* e *dispatcher* è sottratto ai processi
  - **Numero di processi avviati all'esecuzione per unità di tempo**
    - Misura di produttività (*throughput*)
  - **Durata di permanenza di un processo in stato di pronto**
    - Tempo di attesa
  - **Tempo di completamento** (*turn-around*)
  - **Reattività rispetto alla richiesta di avvio di un processo**
    - Tempo di risposta

Politiche e meccanismi – 4

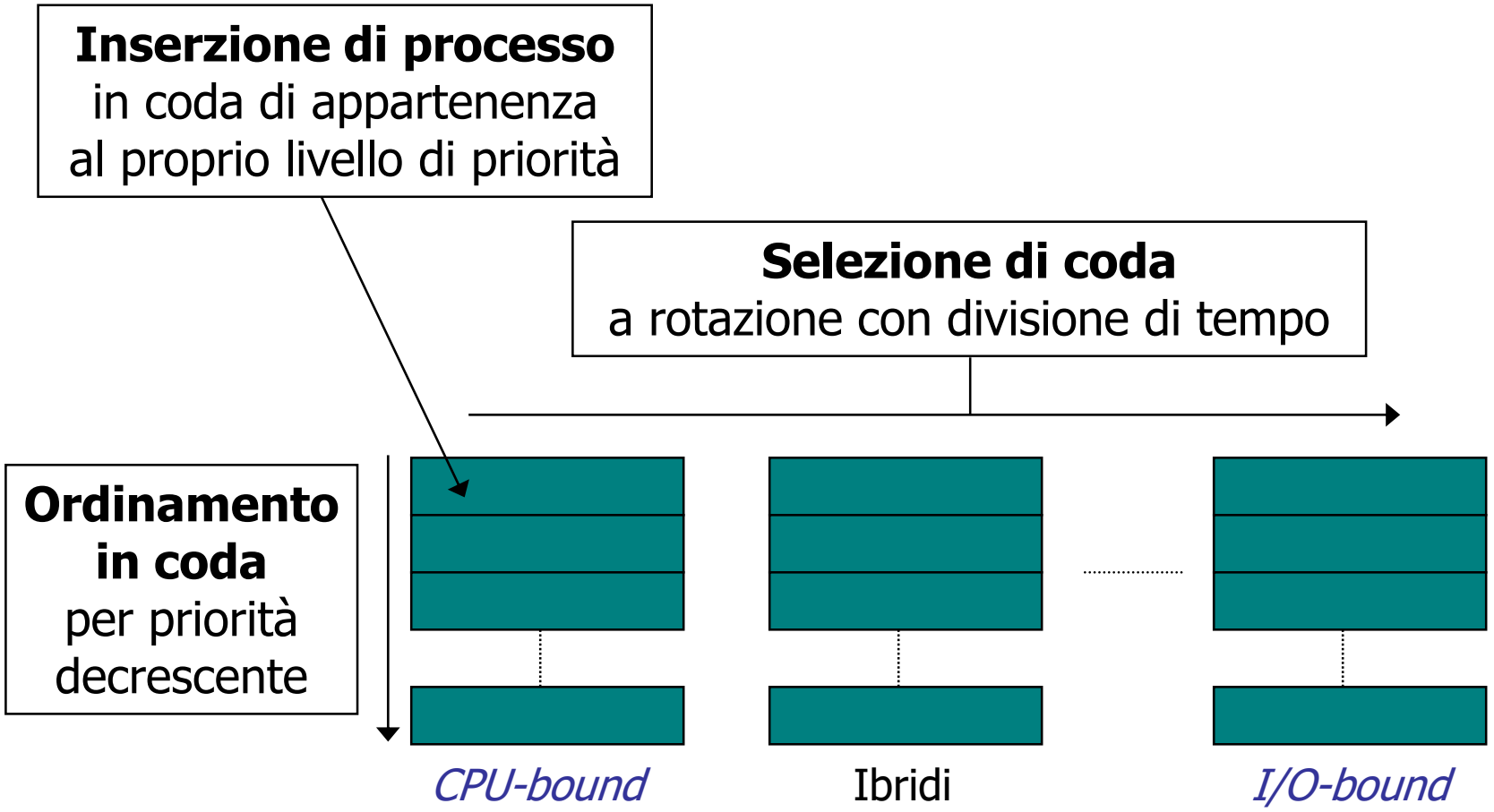
- La garanzia di esecuzione dei processi dipende criticamente dalla **politica** di scambio adottata
  - Es. Lo scambio cooperativo non offre alcuna garanzia
  - Gli utenti in genere richiedono equità di opportunità
    - *Fairness*
- I processi in stato di pronto sono registrati in una struttura detta **lista dei pronti** (*ready list*)
- La più semplice gestione della lista è con tecnica a coda (*First-Come-First-Served, **FCFS***)
  - Il primo processo a entrare in coda sarà anche il primo a essere avviato all'esecuzione
  - Molto facile da realizzare e da gestire

Politiche e meccanismi – 5

- Imponendo divisione di tempo (*time sharing*) sulla politica *FCFS* si ottiene una tecnica di rotazione detta ***round-robin***
- Vediamo l'applicazione di un quanto di tempo 2 su tre processi **A**, **B** e **C** con tempo di esecuzione 2, 5, 10 rispettivamente



Politica a rotazione con priorità



Politiche e meccanismi – 7

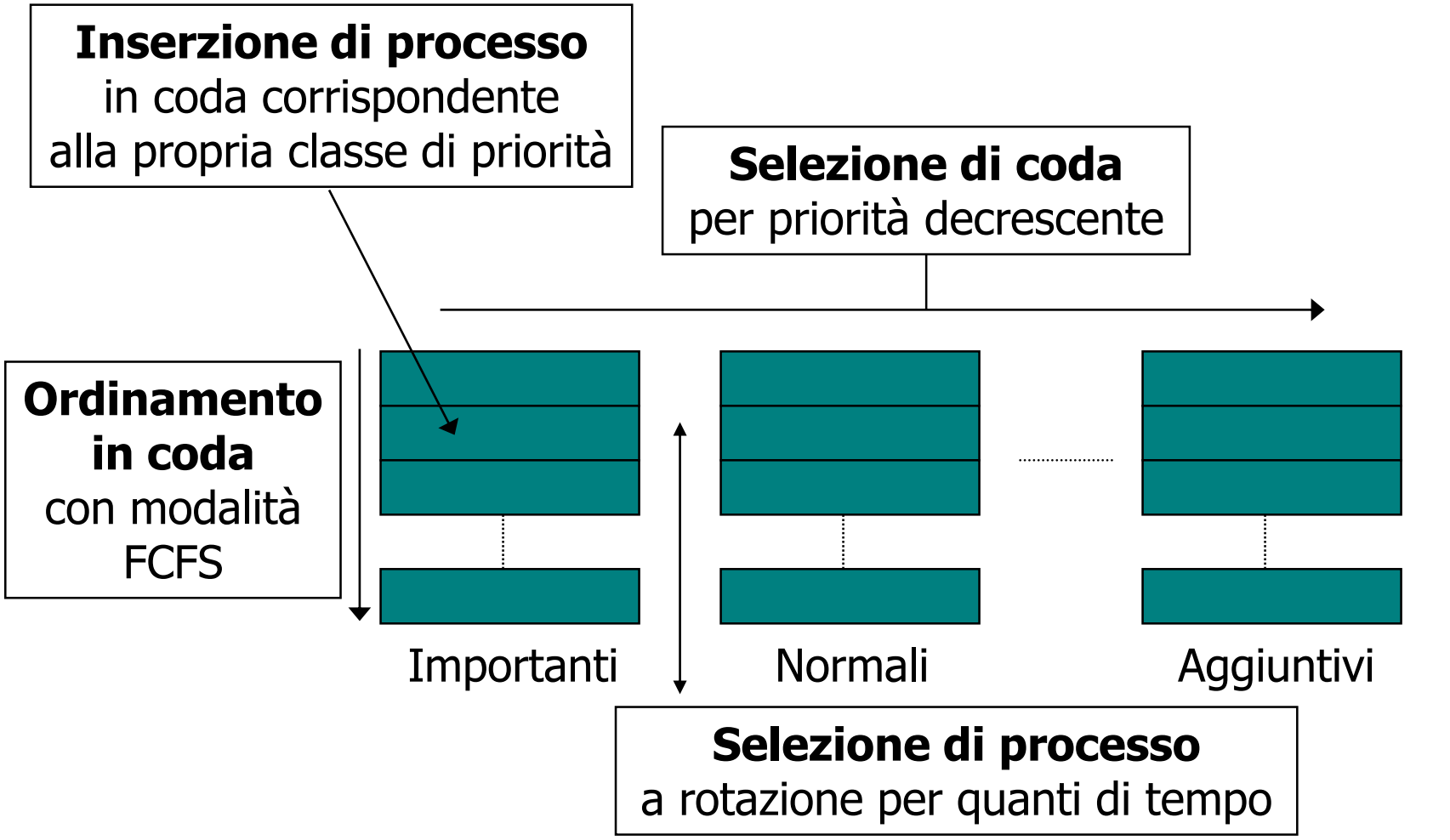
Esempio 1: politica di ordinamento a livelli - A rotazione con priorità

- Scelta di politica – 1
  - Assegnare un dato livello di privilegio a ogni singolo processo
- Meccanismo impiegato
  - Attributo rappresentato da una priorità statica o dinamica registrata nel PCB

- Scelta di politica – 2
  - Processi distinti sulla base di determinate caratteristiche
    - Note a priori, p.es.: *CPU-bound*, *I/O-bound*
    - Acquisite a tempo d'esecuzione, p.es.: tempo cumulato (di esecuzione o di attesa)
- Meccanismo impiegato
  - Rilevazione del valore di un dato campo del PCB

- Scelta di politica – 3
  - Coda ordinata a priorità per ciascuna classe di processi
  - Selezione di coda *round-robin*

Politica a priorità con rotazione



Politiche e meccanismi – 8

Esempio 2: politica di ordinamento a livelli - A priorità con rotazione

- Scelta di politica – 1
  - Assegnare un dato livello di privilegio a ogni singolo processo
- Meccanismo impiegato
  - Attributo rappresentato da una priorità statica o dinamica registrata nel PCB

- Scelta di politica – 2
  - Processi distinti sulla base di determinate caratteristiche
    - Statiche o dinamiche

- Scelta di politica – 3
  - Selezione di coda su base di priorità
  - Assegnazione di CPU con modalità *round-robin*

Politiche e meccanismi – 9

- I **meccanismi** per realizzare scelte di ordinamento e gestione dei processi risiedono nel nucleo
- Le **politiche** sono determinate fuori dal nucleo
  - Decise nello spazio delle applicazioni
  - Decidendo quali valori assegnare ai parametri di configurazione dei processi considerati dai meccanismi di gestione

Classificazione di sistemi – 1

- Diverse classi di sistemi concorrenti richiedono politiche di ordinamento di processi specifiche
- 3 classi generali
  - **Sistemi "a lotti"** (*batch*)
    - Ordinamento predeterminato; **lavori** di lunga durata e limitata urgenza; prerilascio non necessario
  - **Sistemi interattivi**
    - Grande varietà di attività; prerilascio essenziale
  - **Sistemi in tempo reale**
    - Lavori di durata ridotta ma con elevata urgenza; l'ordinamento deve riflettere l'importanza del processo; prerilascio possibile

Classificazione di sistemi – 2

- Caratteristiche desiderabili delle politiche di ordinamento
  - Per tutti i sistemi
    - **Equità** (*fairness*)
      - Nella distribuzione delle opportunità di esecuzione
    - **Coerenza** (*enforcement*)
      - Nell'applicazione della politica a tutti i processi
    - **Bilanciamento**
      - Nell'uso di tutte le risorse del sistema

Obiettivi specifici delle politiche

- Per i **sistemi a lotti**
  - Massimo prodotto per unità di tempo (*throughput*)
  - Massima rapidità di servizio per singolo lavoro (*turn-around*)
    - Media statistica
  - Massimo utilizzo delle risorse di elaborazione
- Per i **sistemi interattivi**
  - Rapidità di risposta per singolo lavoro
    - Rispetto alla percezione dell'utente
  - Soddisfazione delle aspettative generali dell'utente
- Per i **sistemi in tempo reale**
  - Rispetto delle scadenze temporali (*deadline*)
  - Predicibilità di comportamento (*predictability*)

Politiche di ordinamento – 1

- **Per sistemi a lotti**
  - **FCFS** (***First come first served***)
    - Senza prerilascio, senza priorità
    - Ordine di esecuzione = ordine di arrivo
    - Massima semplicità, basso utilizzo delle risorse
  - **SJF** (***Shortest job first***)
    - Senza prerilascio, richiede conoscenza dei tempi richiesti di esecuzione
    - Esegue prima il lavoro (*job*) più breve
    - Non è equo con i lavori non presenti all'inizio
  - **SRTN** (***Shortest remaining time next***)
    - Variante di SJF con prerilascio
    - Esegue prima il processo più veloce a completare
    - Tiene conto di nuovi processi quando essi arrivano
- In generale parliamo di lavori quando operiamo senza prerilascio e di processi quando operiamo con prerilascio

Politiche di ordinamento – 2.1

- **Per sistemi interattivi**
  - **OQ** : Ordinamento a quanti (***Round Robin*, RR**)
    - Con prerilascio, senza priorità
    - Ogni processo esegue al più per un quanto alla volta
    - Lista circolare di processi
  - **OQP** : Ordinamento a quanti con priorità
    - Quanti diversi per livello di priorità
      - Come attribuire priorità a processi e come farle eventualmente variare
  - **GP** : Con garanzia per processo
    - Con prerilascio e con promessa di una data quantità di tempo di esecuzione (p.es. **1/n** per **n** processi concorrenti)
      - Le necessità di ciascun processo devono essere note (stimate) a priori
    - Esegue prima il lavoro maggiormente penalizzato rispetto alla promessa
      - Verifica periodica o a evento (soddisfacimento della promessa)

Politiche di ordinamento – 2.2

- **Per sistemi interattivi**
  - **SG**: Senza garanzia
    - Con prerilascio e priorità, opera sul principio della lotteria
      - Ogni processo riceve numeri da giocare
      - A priorità più alta corrispondono più numeri da giocare
      - A ogni scelta per assegnazione di risorsa, essa va al processo possessore del numero estratto
      - Le estrazioni avvengono periodicamente (= quanti) e/o a eventi (p.es. attesa di risorse non disponibili)
    - Comportamento impredicibile sul breve periodo, ma tende a stabilizzarsi statisticamente nel tempo
  - **GU**: Con garanzia per utente
    - Come GP ma con garanzia riferita a ciascun utente (possessore di più processi)

Politiche di ordinamento – 3.1

- **Per sistemi in tempo reale**
  - I sistemi in tempo reale sono sistemi concorrenti nei quali il valore corretto **deve** essere prodotto entro un tempo fissato
    - Oltre tale limite il valore prodotto ha utilità decrescente, nulla o addirittura negativa
  - L'ordinamento (*scheduling*) di processi deve fornire garanzie di completamento adeguate ai processi
    - Deve essere analizzabile staticamente (predicibile)
  - Il caso peggiore è sempre quando tutti i processi sono pronti insieme per eseguire all'istante iniziale (*critical instant*)

Politiche di ordinamento – 3.2

- **Per sistemi in tempo reale**
  - Modello semplice (***cyclic executive***)
    - L'applicazione consiste di un insieme fissato di processi periodici (ripetitivi) ed indipendenti con caratteristiche note
    - Ciascun processo è suddiviso in una sequenza ordinata di procedure di durata massima nota
    - L'ordinamento è costruito a tavolino come una sequenza di chiamate a procedure di processi fino al loro completamento
    - Un ciclo detto maggiore (*major cycle*) racchiude l'invocazione di tutte le sequenze di tutti i processi
    - Il ciclo maggiore è suddiviso in N cicli minori (*minor cycle*) di durata fissa che racchiude l'invocazione di specifiche sottosequenze

Esempio 1

Modello semplice senza suddivisione

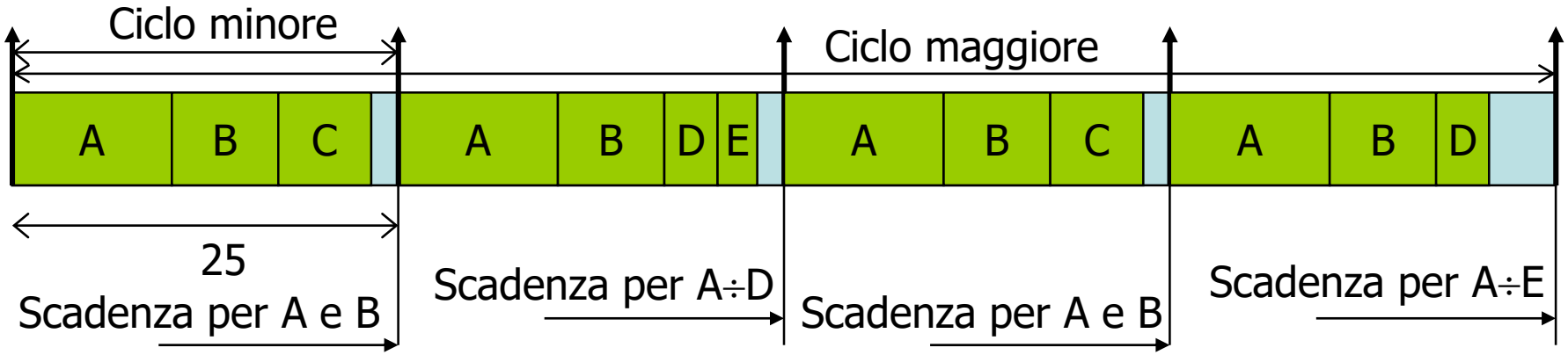
Processo	Periodo T	Durata C
A	25	10
B	25	8
C	50	5
D	50	4
E	100	2

Conviene che i periodi siano armonici!

$$U = \Sigma_i (C_i / T_i) = 46/50 = 0.92$$

Ciclo maggiore di durata 100 → MCM di tutti i periodi

Ciclo minore di durata 25 → periodo più breve



Politiche di ordinamento – 3.3

- **Per sistemi in tempo reale**
  - **Ordinamento a priorità fissa**
    - Preferibilmente *con* prerilascio (a priorità!)
      - Processi periodici, indipendenti e noti
    - Assegnazione di priorità secondo il periodo (*rate monotonic*)
      - Per scadenza uguale a periodo (D = T), priorità maggiore per periodo più breve
      - Test di ammissibilità sufficiente ma non necessario per *n* processi indipendenti (Liu & Layland, 1973)

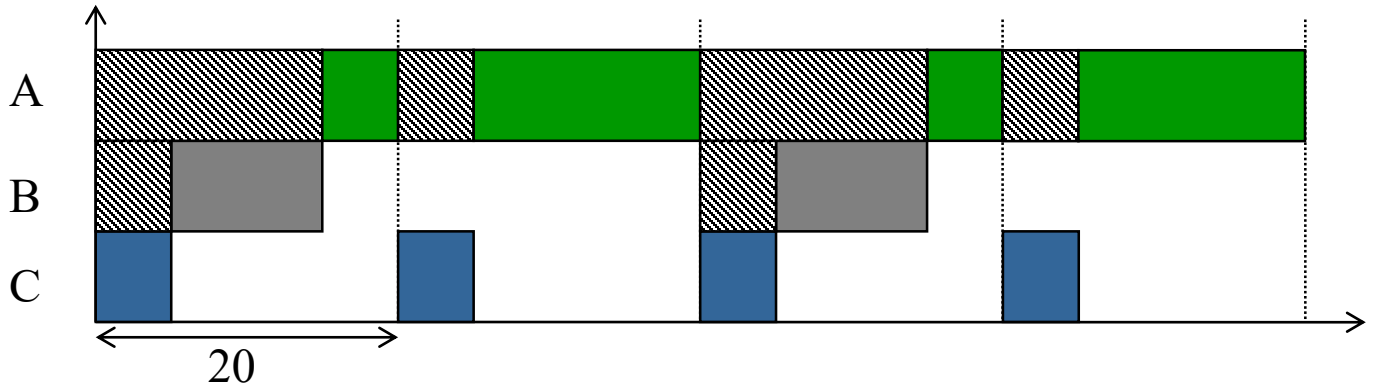
$$U = \sum_{i:=1}^{n} \left(\frac{C_i}{T_i} \right) \leq f(n) = n(2^{1/n} - 1)$$

Esempio 2

Caso semplice ordinamento a priorità

Processo	Periodo T	Durata C	Priorità
A	80	40	1 ← Bassa
B	40	10	2
C	20	5	3 ← Alta

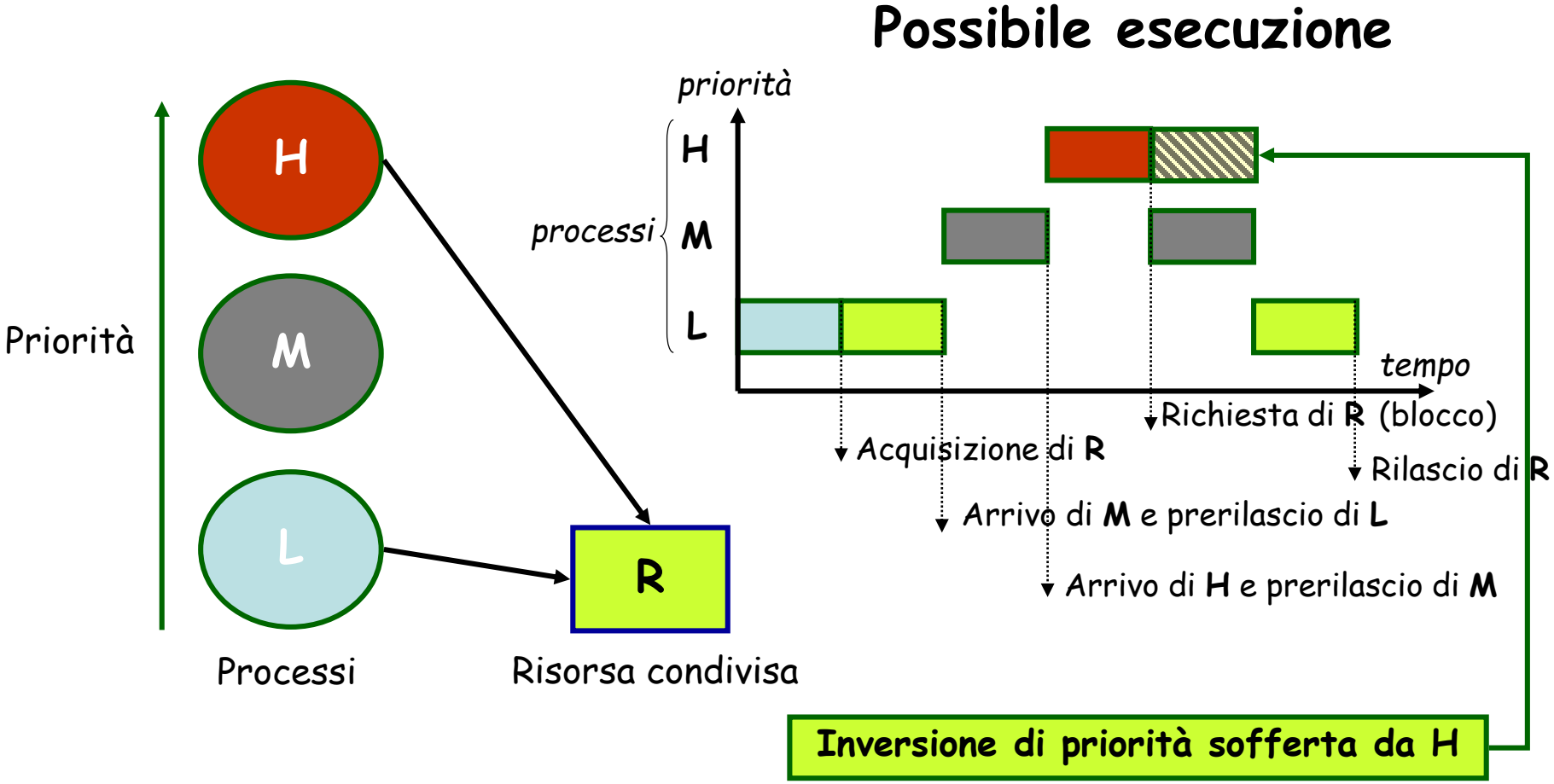
Il test di ammissibilità fallisce U = 1 > $f(3) = 0{,}78$
ma il sistema è ammissibile!



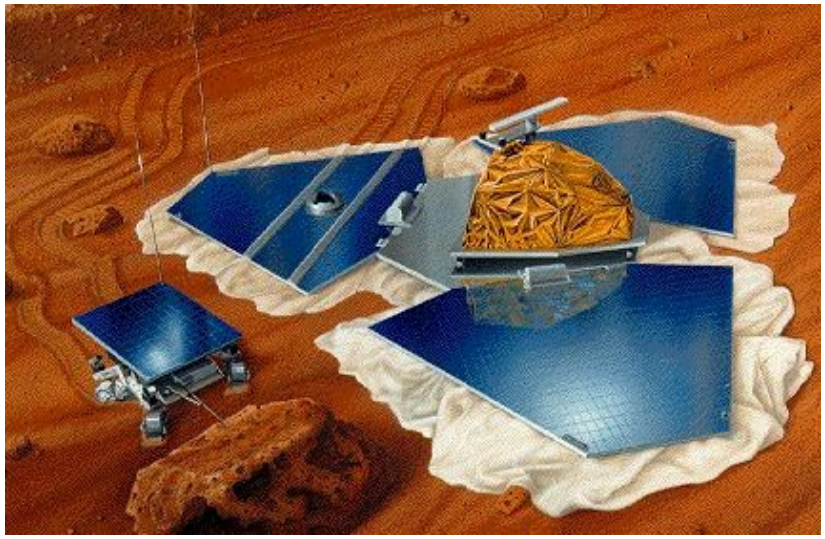
Politiche di ordinamento – 3.4

- **Per sistemi in tempo reale**
  - **Ordinamento a priorità fissa con prerilascio** e scadenza inferiore a periodo (D < T)
    - Assegnazione di priorità secondo la scadenza
    - Rischio di **inversione di priorità**
      - Processi a priorità maggiore *bloccati* dall'esecuzione di processi a priorità minore
      - Effetto causato dall'accesso esclusivo a risorse condivise
      - Può condurre a blocco circolare (*deadlock*)

Inversione di priorità



Un caso reale: Mars Pathfinder



- **Inversione di priorità**
  - Priorità media attiva mentre quella alta è bloccata dalla bassa
  - Risultato: frequenti reset di sistema

- **Sistema Operativo VxWorks**
  - Ordinamento con prerilascio
  - Bus informazioni condiviso
    - **Mutex**
  - Gestione Bus
    - Alta priorità
  - Raccolta dati meteo
    - Bassa priorità
  - Trasmissione
    - Media priorità

Inversione di priorità, a parole

- **Esempio IP1**
  - Consideriamo tre processi **L**, **M**, **H** in ordine di priorità crescente
  - Assumiamo che condividano la risorsa **R** (*Mutex*)
  - **Inversione di priorità**
    - **L** si aggiudica **R**
    - **H** diviene attivo e vuole **R**
    - **H** deve attendere che **L** rilasci **R**
      - Il tempo d'uso di R ha durata prevedibile
    - **M** diviene attivo e blocca **L** (diverse priorità)
    - **H** deve attendere che **M** finisca …
      - … oltre che L esca dalla sezione critica …
    - Cosa accade se nel frattempo si attivano altri processi a priorità intermedia tra **M** e **H**?

Politiche di ordinamento – 3.5

- **Soluzione: Innalzamento delle priorità**
  - Versione base (***Basic Priority Inheritance***)
  - La ***BPI*** non impedisce il *deadlock*
    1. L'innalzamento avviene solo quando un processo a priorità maggiore si blocca all'ingresso di una risorsa attualmente in possesso di un processo a priorità inferiore
    2. Il processo che possiede la risorsa (e che ha avuto l'innalzamento di priorità) può così terminare senza altre interruzioni
       - L'arrivo di un altro processo di priorità ancora superiore causa prerilascio e riporta la situazione al punto 1

- Studiare l'uso di **BPI** sull'**esempio IP1**

Politiche di ordinamento – 3.6

- **Soluzione: Innalzamento della priorità**
  - Versione avanzata (***Immediate ceiling priority***)
    - Ogni processo j ha una **priorità statica di base** PB_j
    - Ogni risorsa condivisa i ha una priorità (*ceiling*) PC_i pari alla massima priorità dei processi che possono richiedere di usarla
    - Ogni processo j ha una **priorità dinamica** $P_j = \max\{PB_j, PC_i\}$ $\forall$ risorsa condivisa i in suo possesso
    - Un processo può acquisire una risorsa solo se la sua priorità dinamica corrente è maggiore del *ceiling* di tutte le risorse attualmente in possesso di altri processi
      - Un processo a priorità maggiore può essere bloccato *una sola volta* durante l'intera sua esecuzione (solo per la durata della sezione critica del processo a priorità più bassa)

Politiche di ordinamento – 3.7

- La tecnica **IPC** evita il *deadlock*
- **Esempio IP2**
  - Consideriamo tre processi **L**, **M**, **H** con priorità crescente
  - Assumiamo che tutti condividano le risorse **R1** e **R2** (entrambe *Mutex*)
    - Il *priority ceiling* di **R1** e **R2** è superiore alla priorità di **H**
  - **L** acquisisce **R1** e ne assume il *ceiling* poi si accinge a richiedere **R2**
  - **H** diventa pronto a questo istante e vorrebbe prerilasciare **L**
    - Ma non può perché la priorità di **H** non è superiore al *ceiling* di **R1** e **R2**
  - Quindi **H** resta pronto ma non riesce a prerilasciare **L**
  - **L** acquisisce anche **R2** e poi prosegue fino a rilasciare **R1** e **R2**
    - La priorità di **L** ritorna al valore originale
  - **H** ha ora priorità maggiore di **L** e di ogni altro eventuale **M**
    - **H** può acquisire **R2** proseguire e completare
- La tecnica **IPC** impedisce il formarsi di catene di blocchi …
  - I processi $\{H\}_i$ subiscono al più 1 blocco da parte di 1 processo L in possesso di risorsa R condivisa con {H}
    - Blocco = ritardo nel primo prerilascio

Politiche di ordinamento – 3.8

- **Per sistemi in tempo reale**
  - Calcolo del **tempo di risposta R_i** del processo i
    - **Tempo di blocco** del processo i
      - $B_i = \max_k\{C_k\}\ \forall$ risorsa k usata da processi a priorità più bassa di i
    - **Interferenza** subita dal processo i da parte di tutti i processi j a priorità maggiore
      - $I_i = \Sigma_j \lceil R_i/T_j \rceil C_j$
    - $R_i = C_i + B_i + I_i$

$$R_i = C_i + B_i + \sum_{j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil C_j$$

$$\omega_i^{k+1} := C_i + B_i + \sum_{j \in hp(i)} \left\lceil \frac{\omega_i^k}{T_j} \right\rceil C_j$$

$$\omega_i^0 = C_i$$

Tempo di risposta **R**