

Sistemi Operativi

Laurea in Ingegneria Informatica

Università Roma Tre

Docente: Romolo Marotta

Processi e Threads

1. Processi
2. Rappresentazione di processi
3. Strutture dati e scheduling
4. Process e mode switch
5. Processi in sistemi UNIX
6. Thread e multi-threading
7. Thread in sistemi UNIX

Cos'è un processo?

- Un programma in esecuzione?
- Un'istanza di programma in esecuzione
- 1 programma \Rightarrow 0..N processi
- 1 processo \Rightarrow 1 programma

Elementi caratterizzanti di un processo

- Un processo è associato a:

- Un programma
- I dati su cui opera
- Almeno uno stack
- Dati di contesto (contenuti nei registri di processore)
- Le risorse hardware di cui ha richiesto l'accesso
- Un identificativo
- Statistiche
- Uno stato (e.g., running)

Process Control Block (PCB)

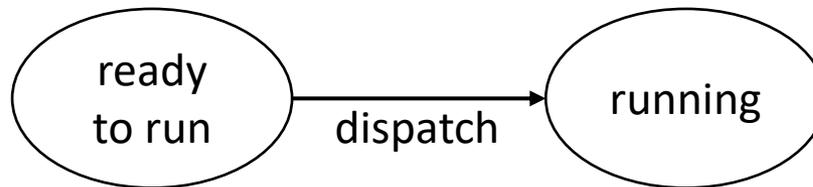
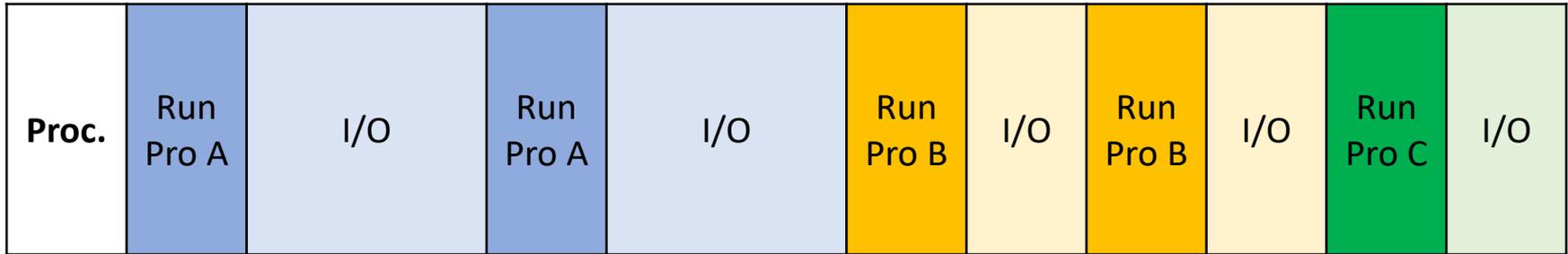
Immagine di processo

Modello di esecuzione di un processo

- Un modello è **un'astrazione** di un generico sistema il cui scopo è comprenderne il comportamento del sistema modellato
 - Tralasciare i dettagli non rilevanti per gli obiettivi del modello
- Dato un modello è possibile:
 - Tradurlo in codice
 - Utilizzarlo per prendere decisioni
- Il sistema operativo utilizza un modello di esecuzione per caratterizzare il comportamento di un processo
 - Una macchina a stati
 - Nodi
 - transizioni

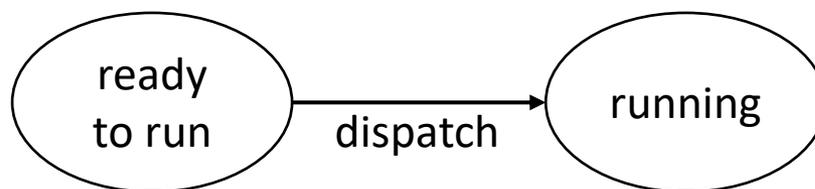
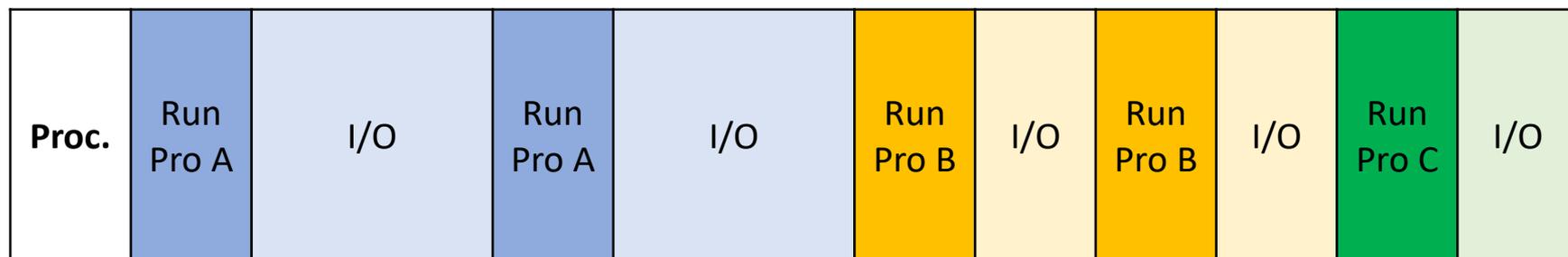
Modello di esecuzione di un processo

- Esempio di stati in un sistema con uniprogrammazione



Modello di esecuzione di un processo

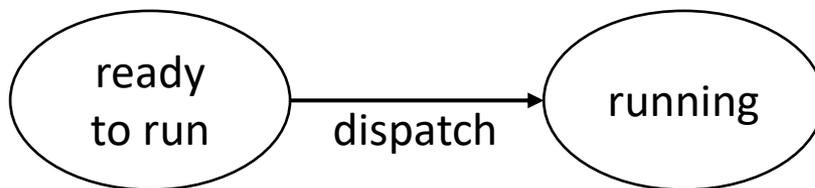
- Esempio di stati in un sistema con multiprogrammazione



Modello di esecuzione di un processo

- Esempio di stati in un sistema con multiprogrammazione

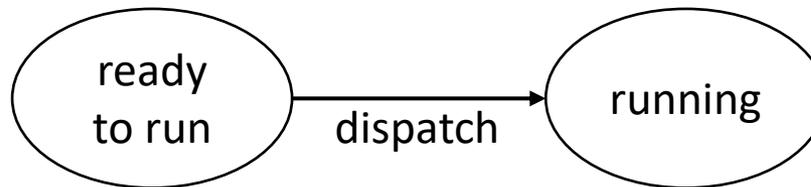
CPU	Run Pro A	Run Pro B	Run Pro C	Run Pro A	Run Pro B	
DISK		I/O	I/O	I/O	I/O	I/O



Modello di esecuzione di un processo

- Esempio di stati in un sistema con multiprogrammazione → Time-out

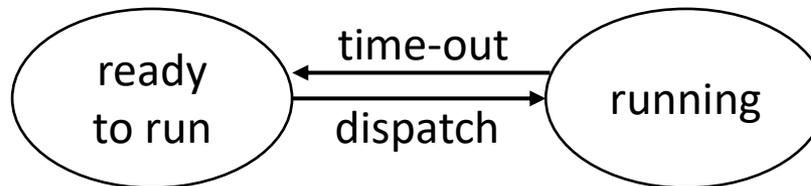
CPU	Run Pro A	Run Pro B	Run Pro C	Run Pro A	Run Pro B		
DISK		I/O	I/O	I/O	I/O	I/O	I/O



Modello di esecuzione di un processo

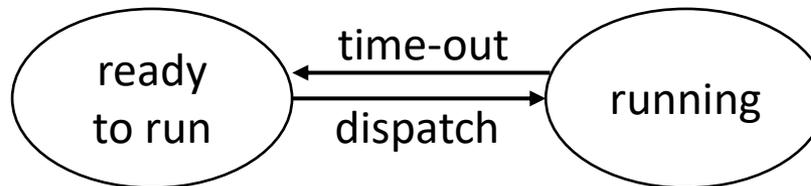
- Esempio di stati in un sistema con multiprogrammazione → Time-out

CPU	Run Pro A	Run Pro B	Run Pro C	Run Pro A	Run Pro B	
DISK		I/O	I/O	I/O	I/O	I/O

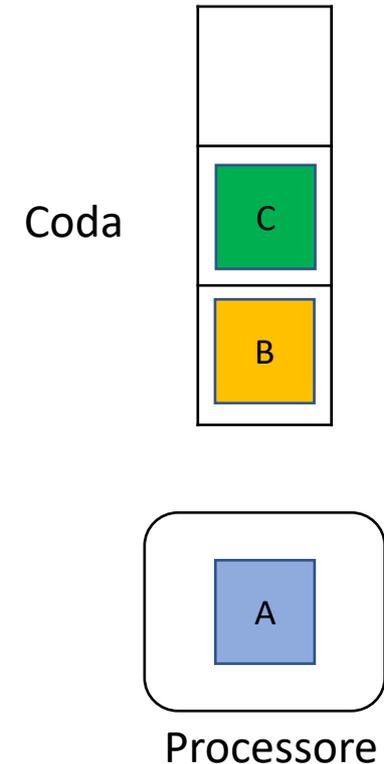
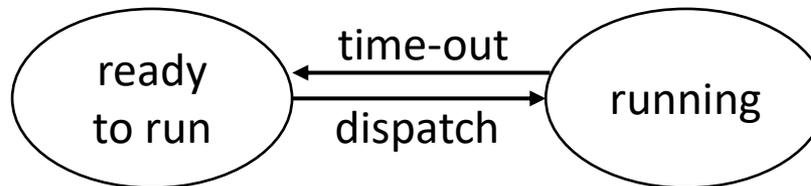


Modello di esecuzione di un processo

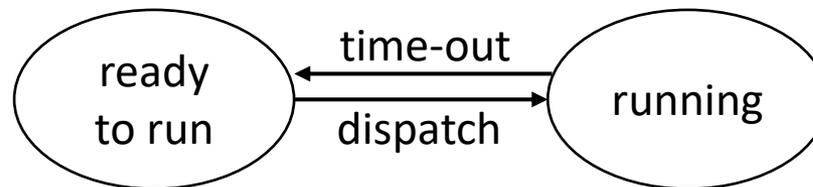
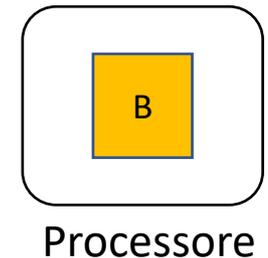
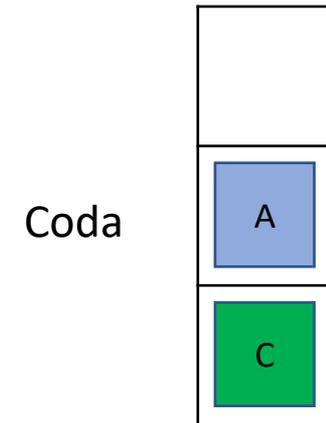
CPU	Run Pro A	Run Pro B	Run Pro C	Run Pro A	Run Pro B	
DISK		I/O	I/O	I/O	I/O	I/O



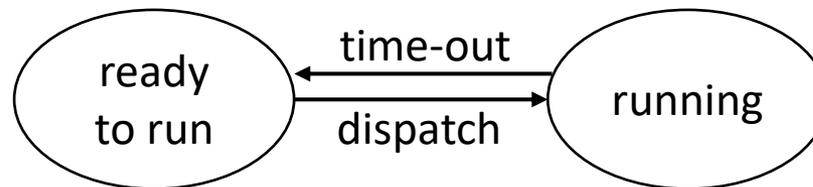
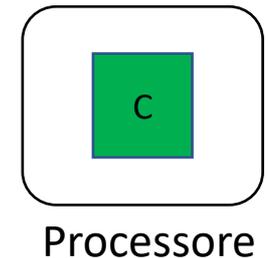
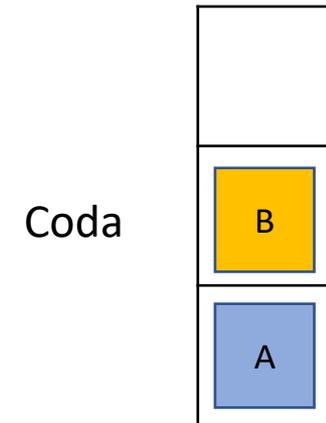
Modello di esecuzione di un processo



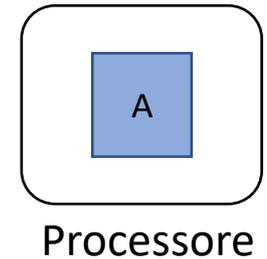
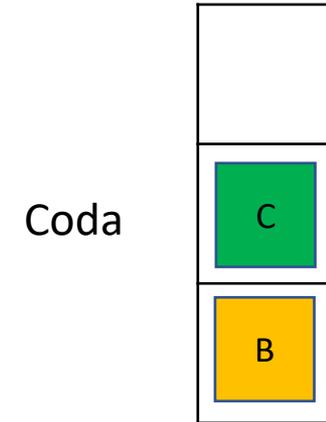
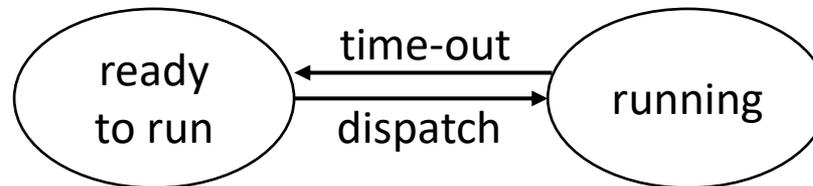
Modello di esecuzione di un processo



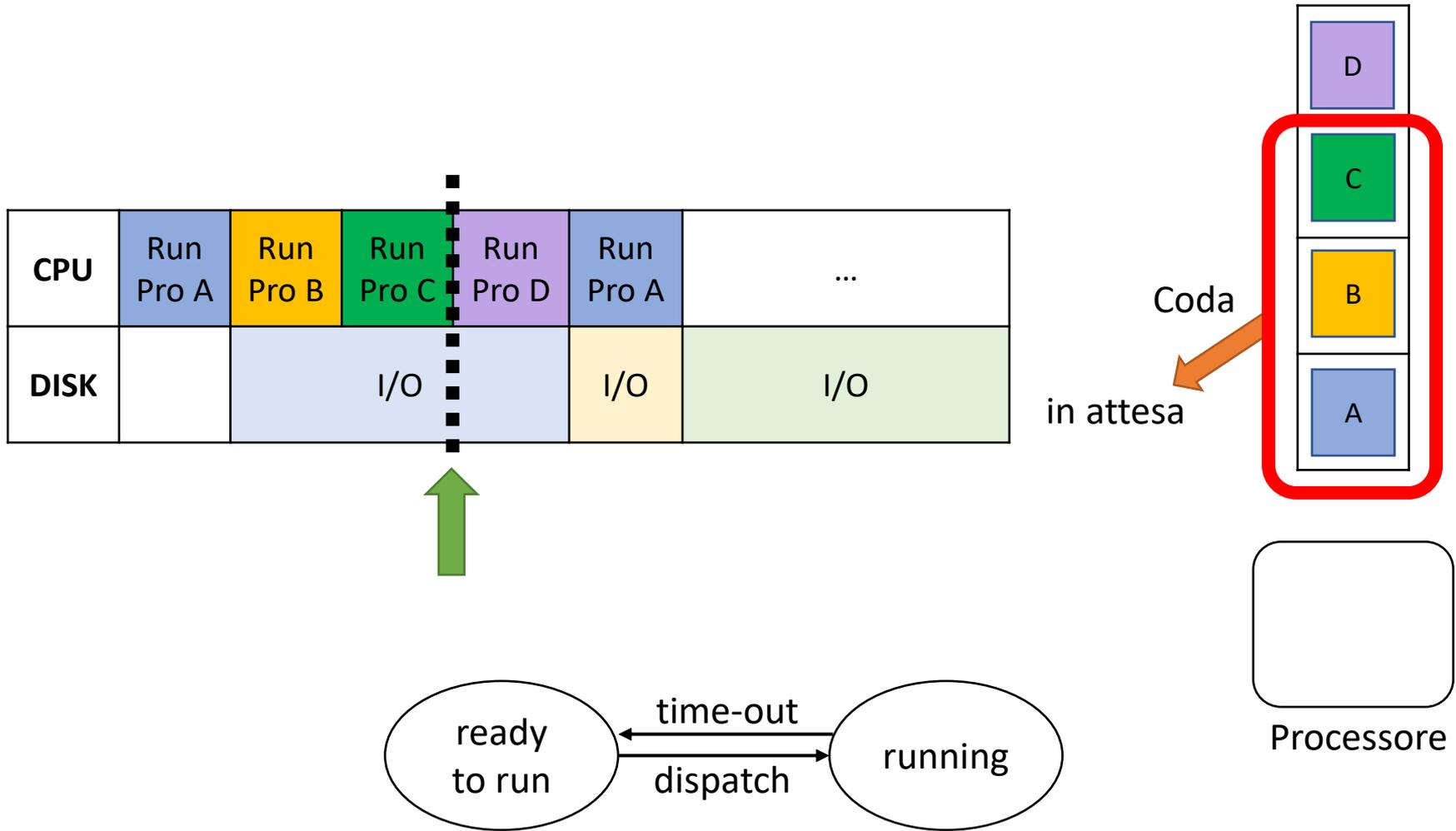
Modello di esecuzione di un processo



Modello di esecuzione di un processo

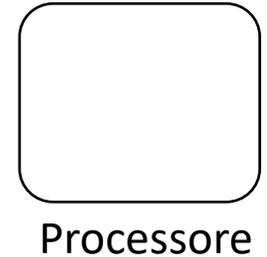
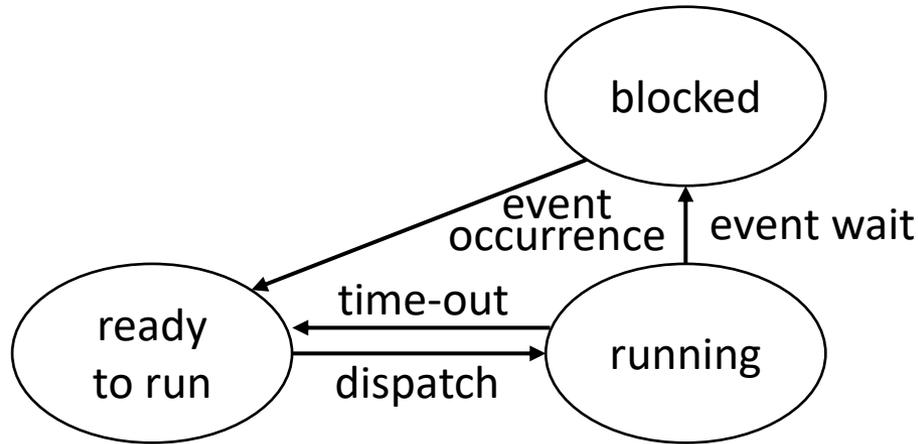
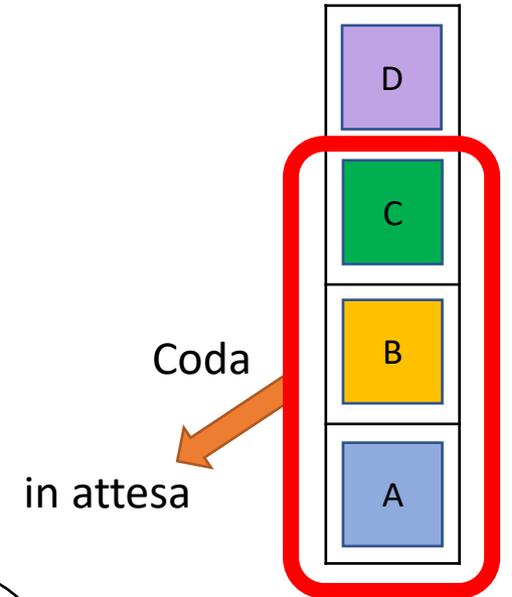


Modello di esecuzione di un processo

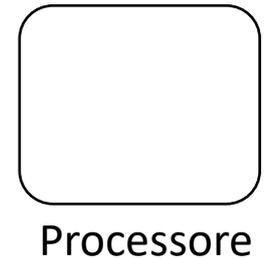
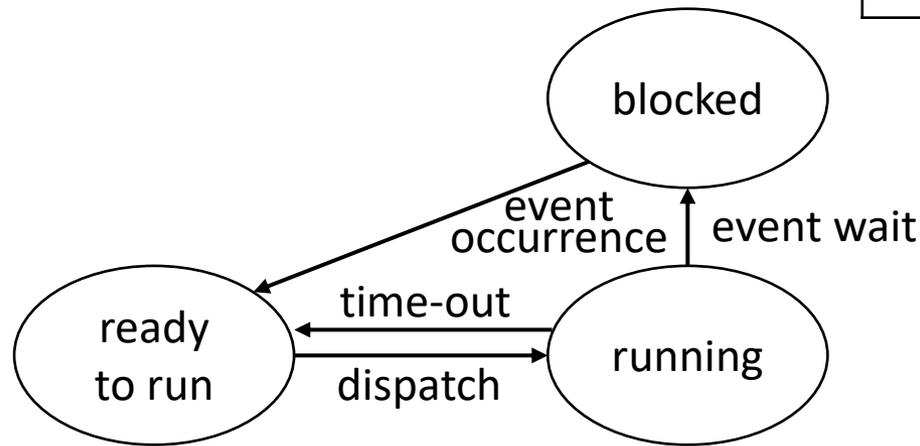
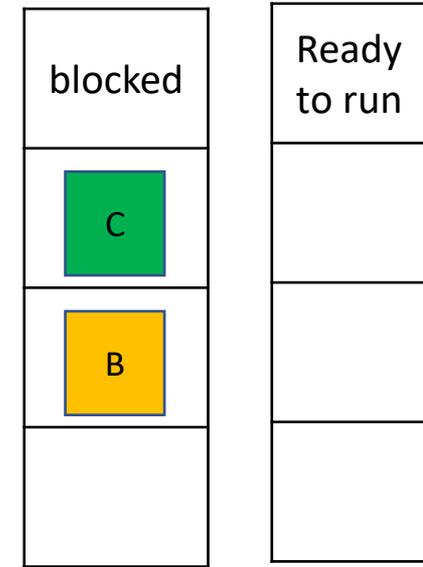


Modello di esecuzione di un processo

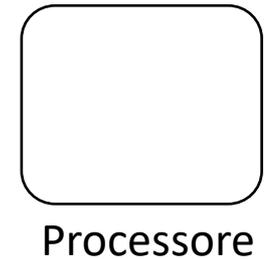
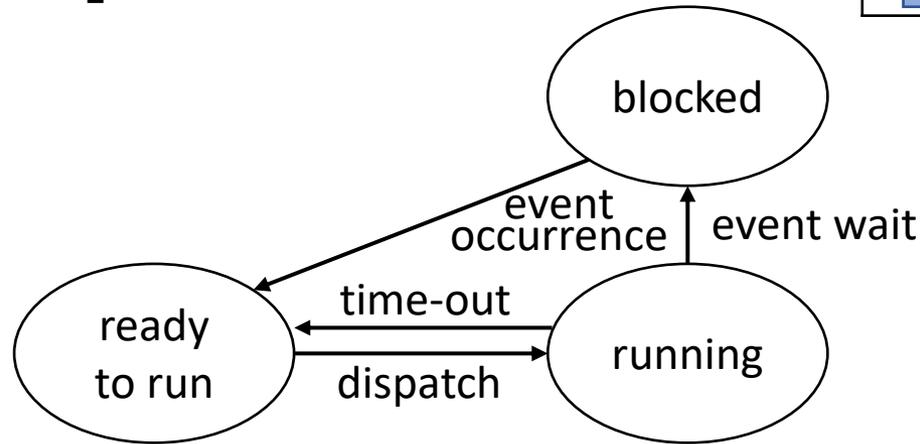
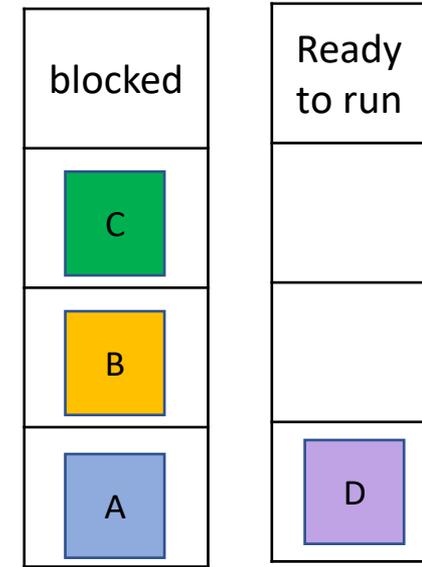
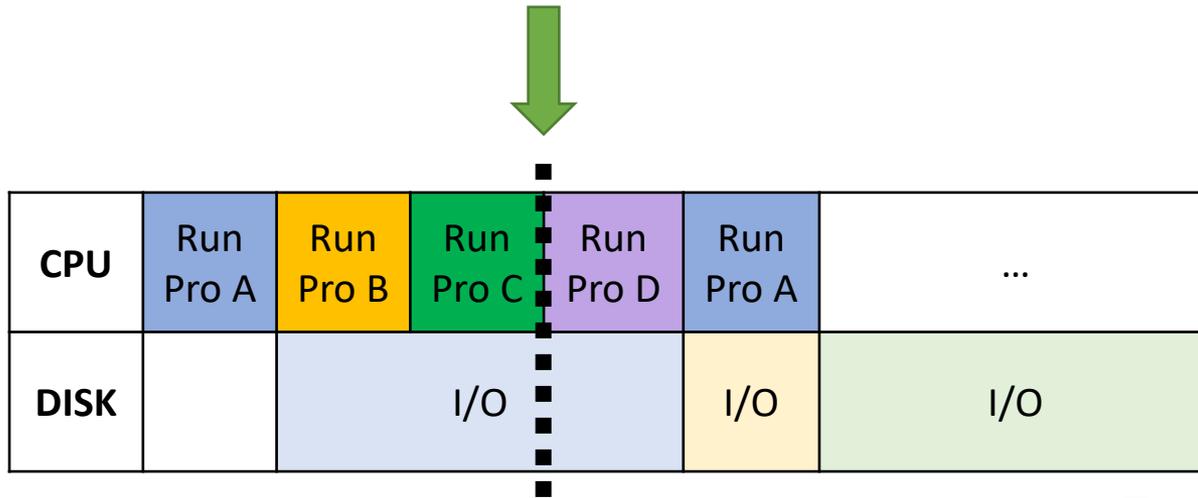
CPU	Run Pro A	Run Pro B	Run Pro C	Run Pro D	Run Pro A	...
DISK		I/O		I/O	I/O	



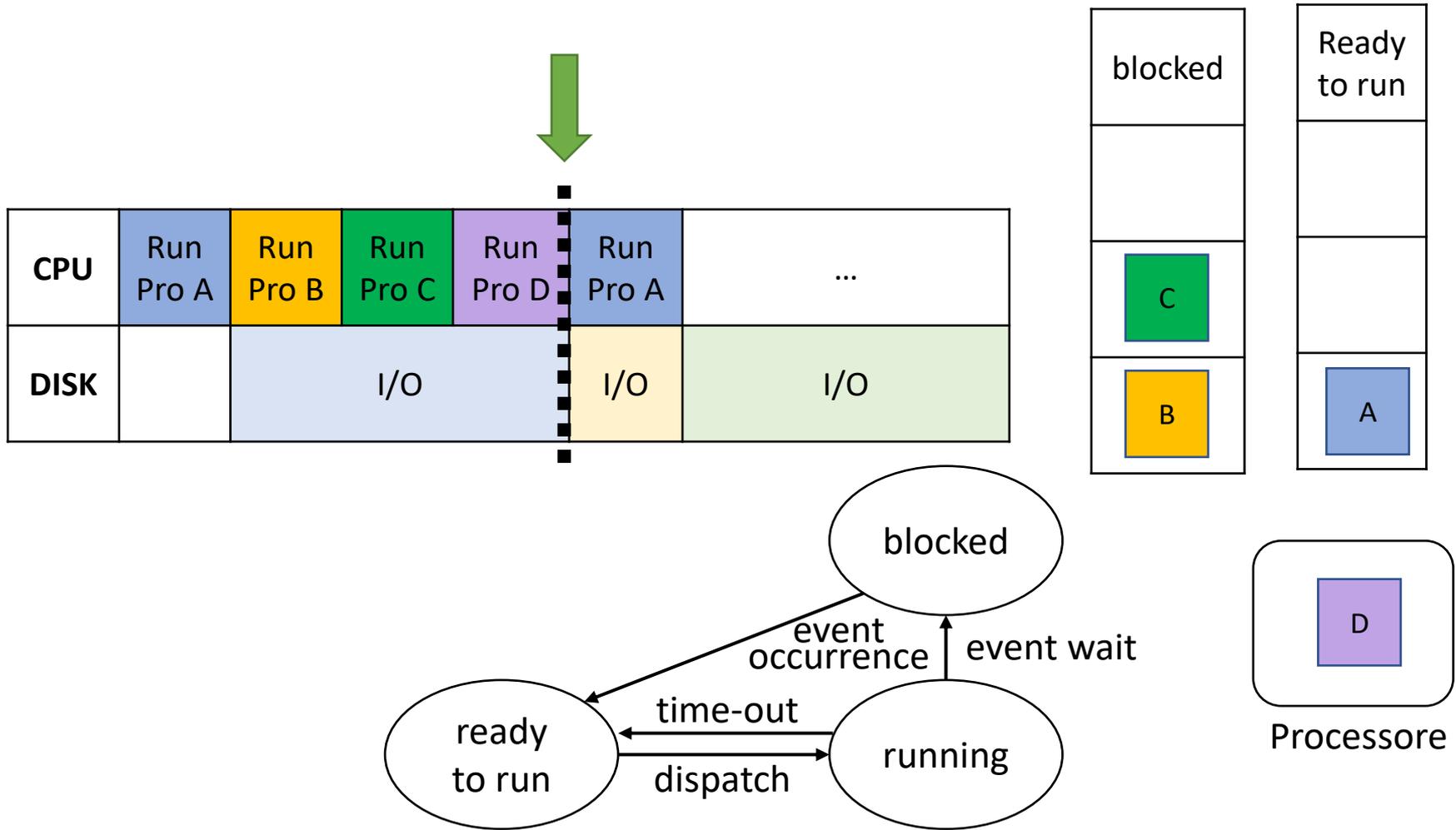
Modello di esecuzione di un processo



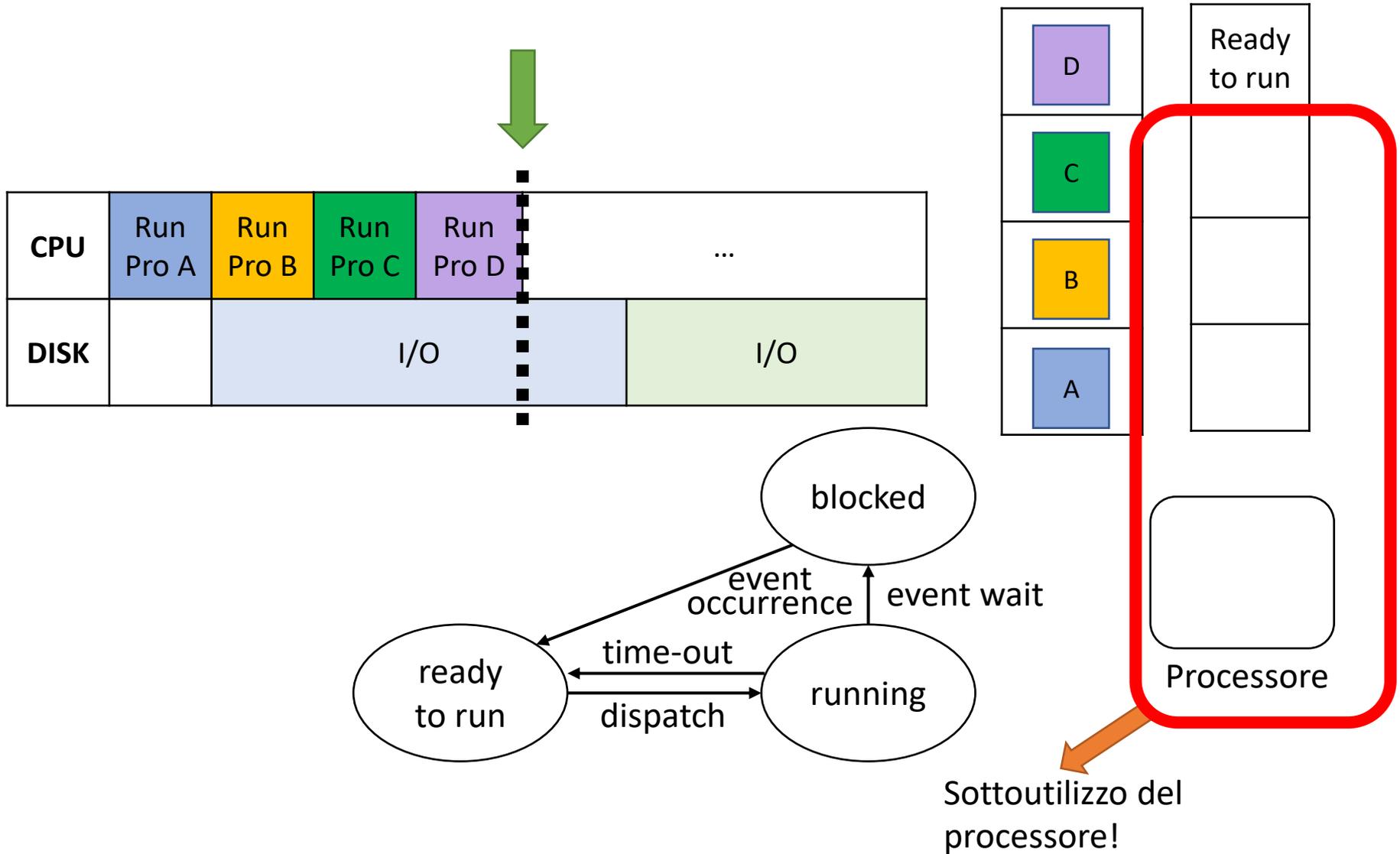
Modello di esecuzione di un processo



Modello di esecuzione di un processo

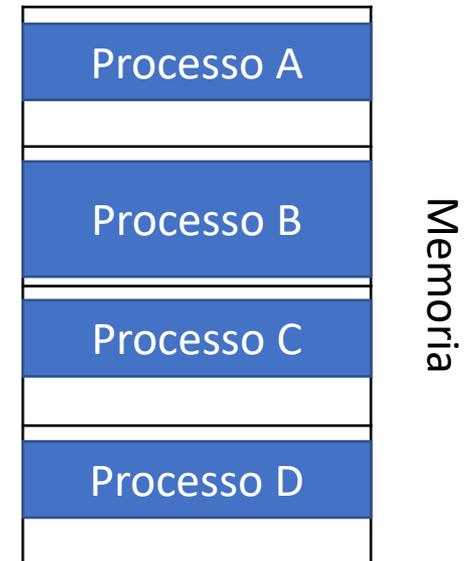


Modello di esecuzione di un processo



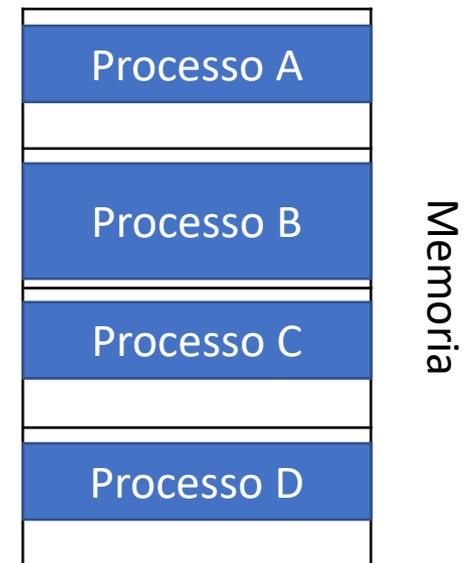
Osservazione

- Il processore è molto più veloce di dispositivi di I/O
- La multiprogrammazione aiuta ad evitare il sottoutilizzo del processore
- **È necessario avere il maggior numero possibile di processi ready-to-run**
- Qual è il livello massimo di multiprogrammazione raggiungibile?
 - Il numero di processi che la capacità di memoria riesce contenere



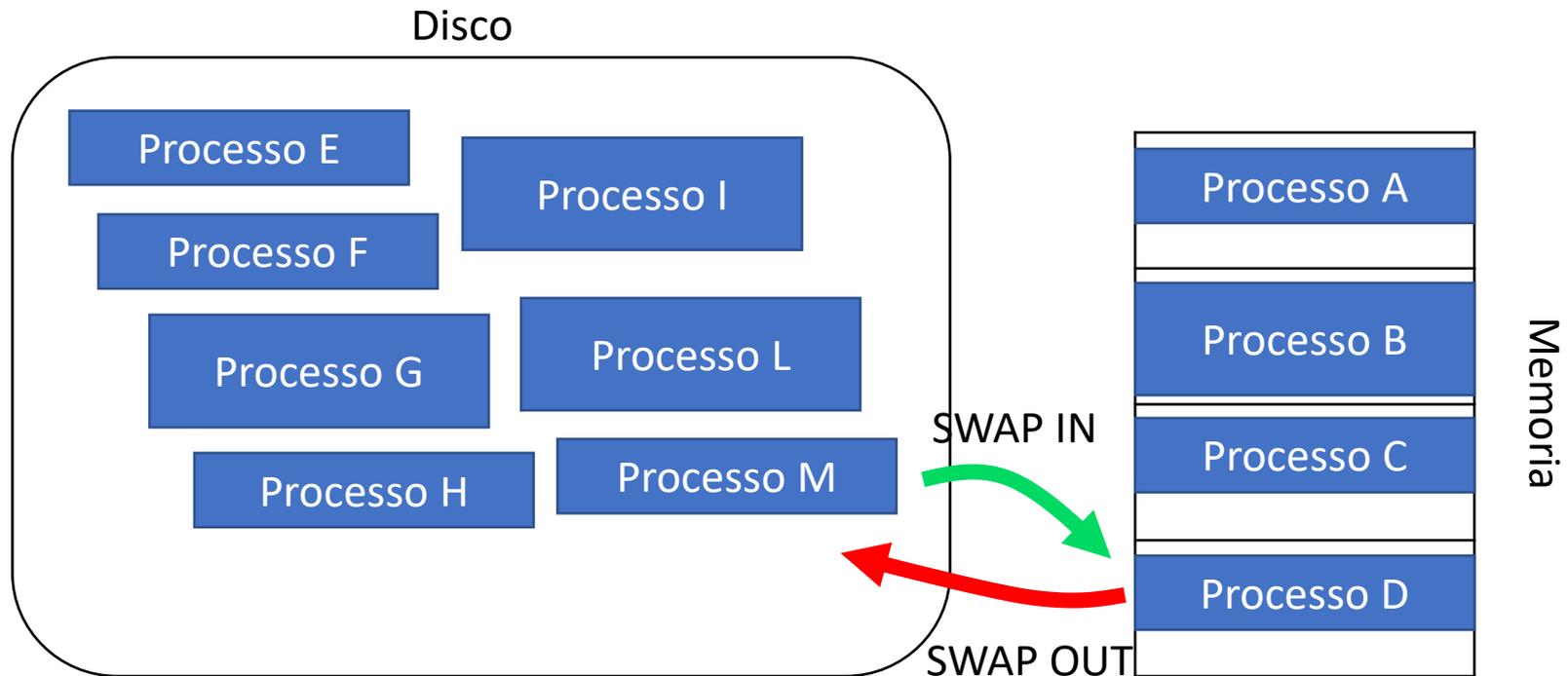
Osservazione

- Come aumentare il livello di multiprogrammazione?
 - Aumentare la capacità della memoria
- Problemi:
 - la memoria è costosa
 - fissata la quantità di memoria il sottoutilizzo del processore è ancora possibile

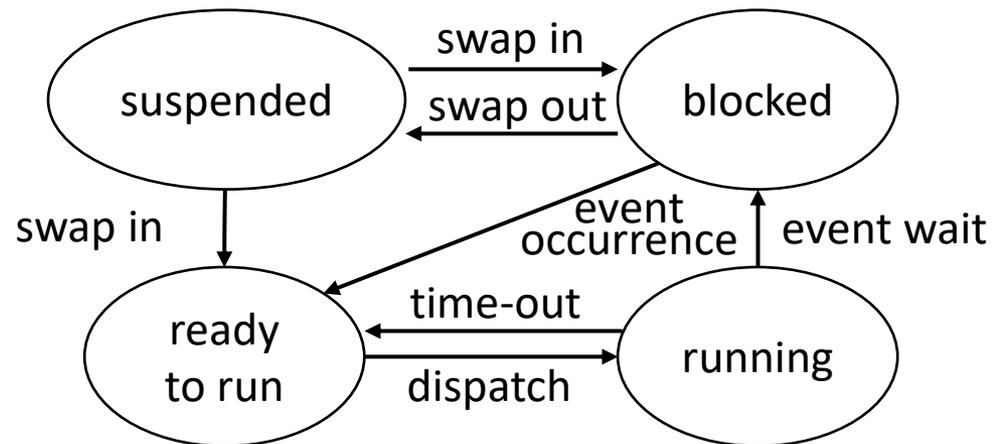


Osservazione

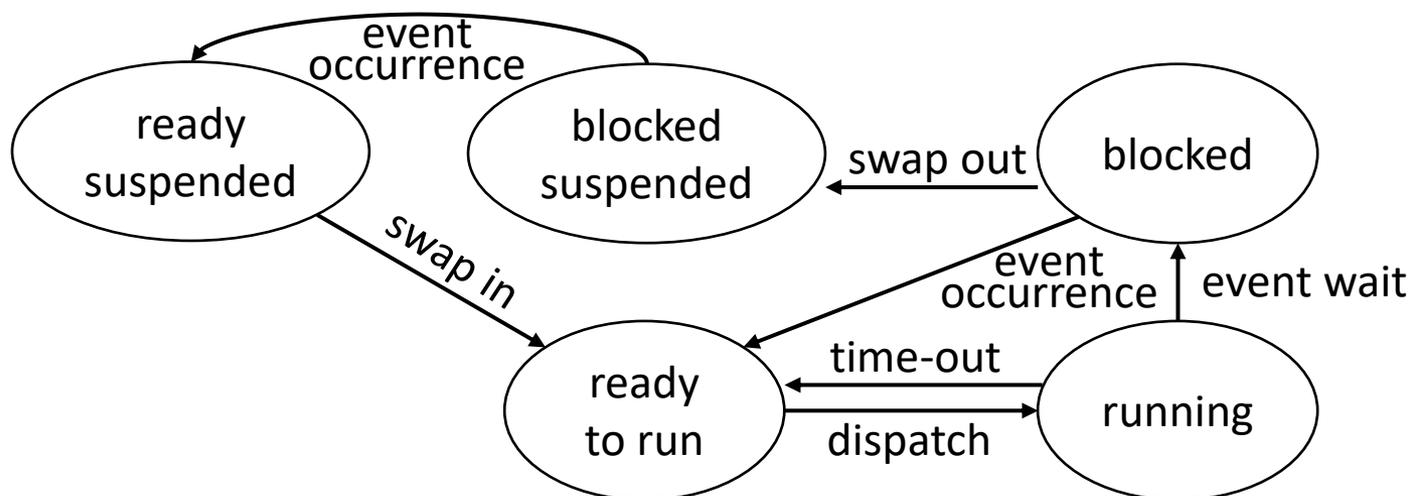
- Come aumentare il livello di multiprogrammazione?
 - Aumentare la capacità della memoria
 - Utilizzare dispositivi di storage per rimuovere processi dalla memoria
 - Il costo per bit è minore rispetto alle memorie (e.g. RAM)



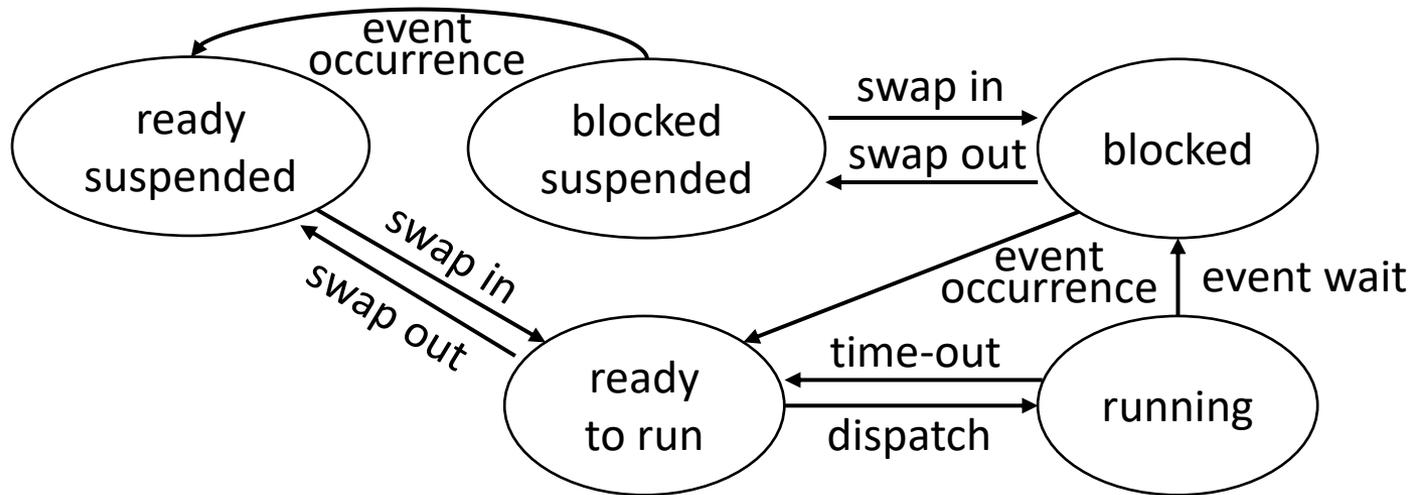
Modello di esecuzione di un processo



Modello di esecuzione di un processo

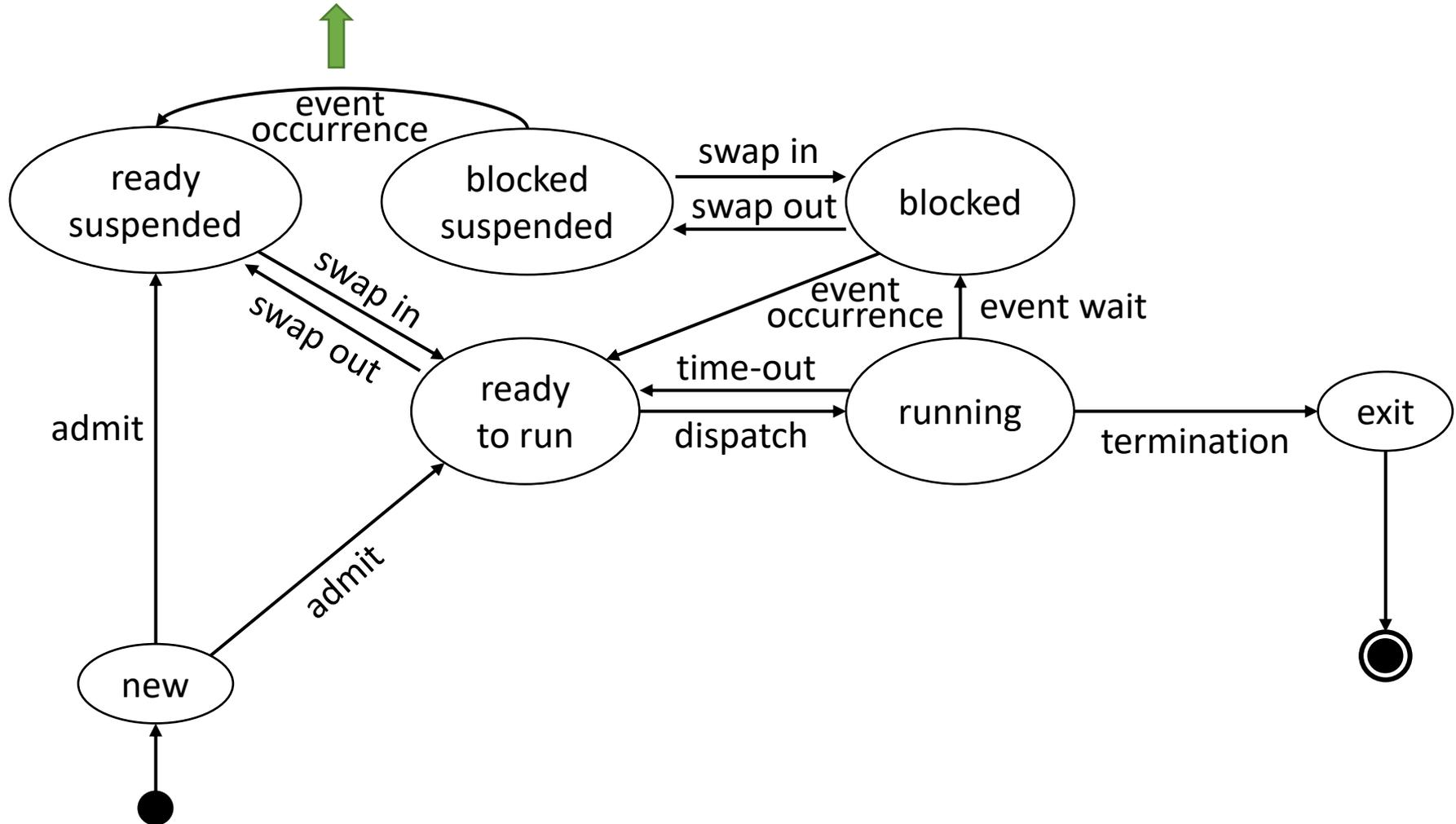


Modello di esecuzione di un processo

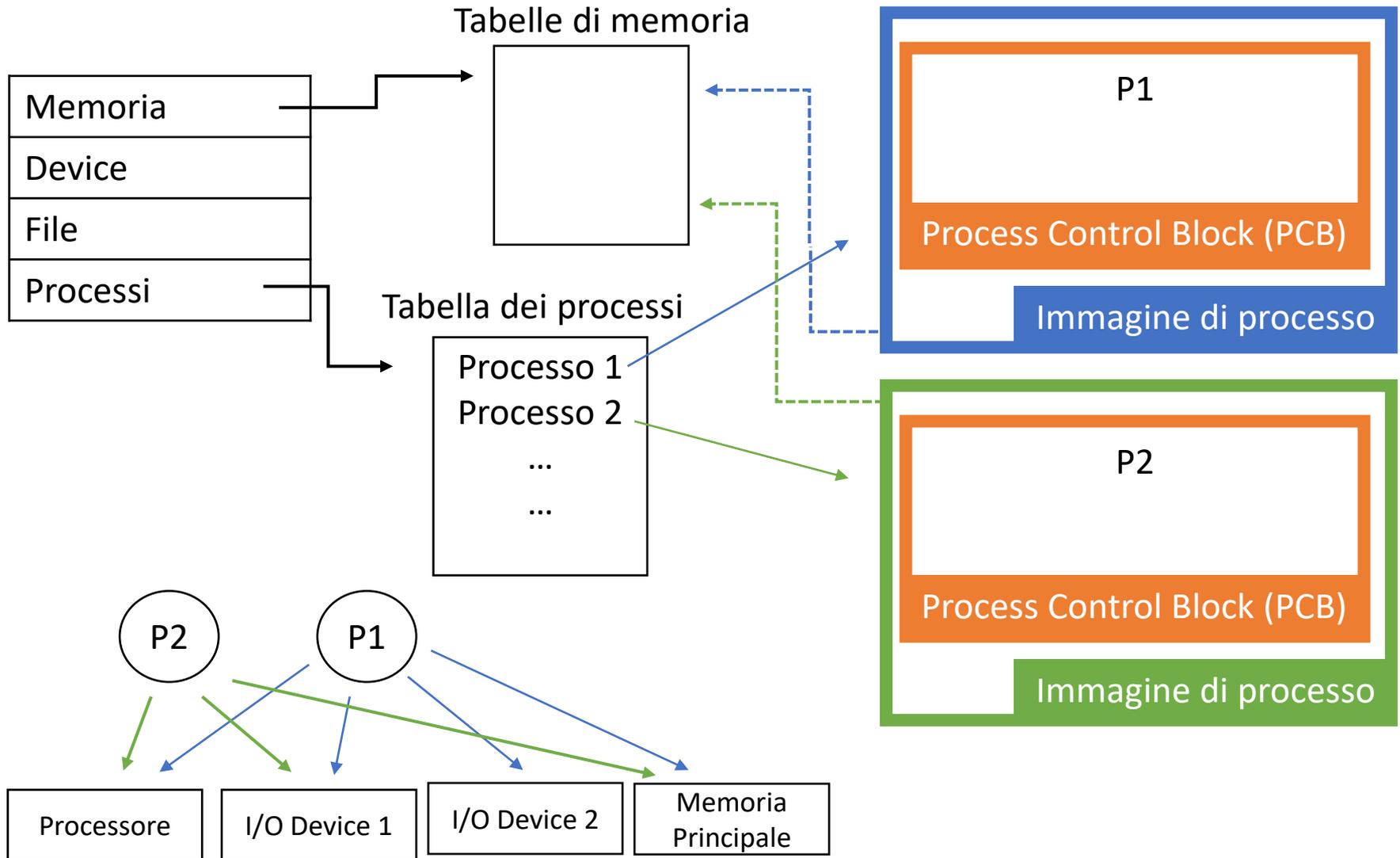


Modello di esecuzione di un processo

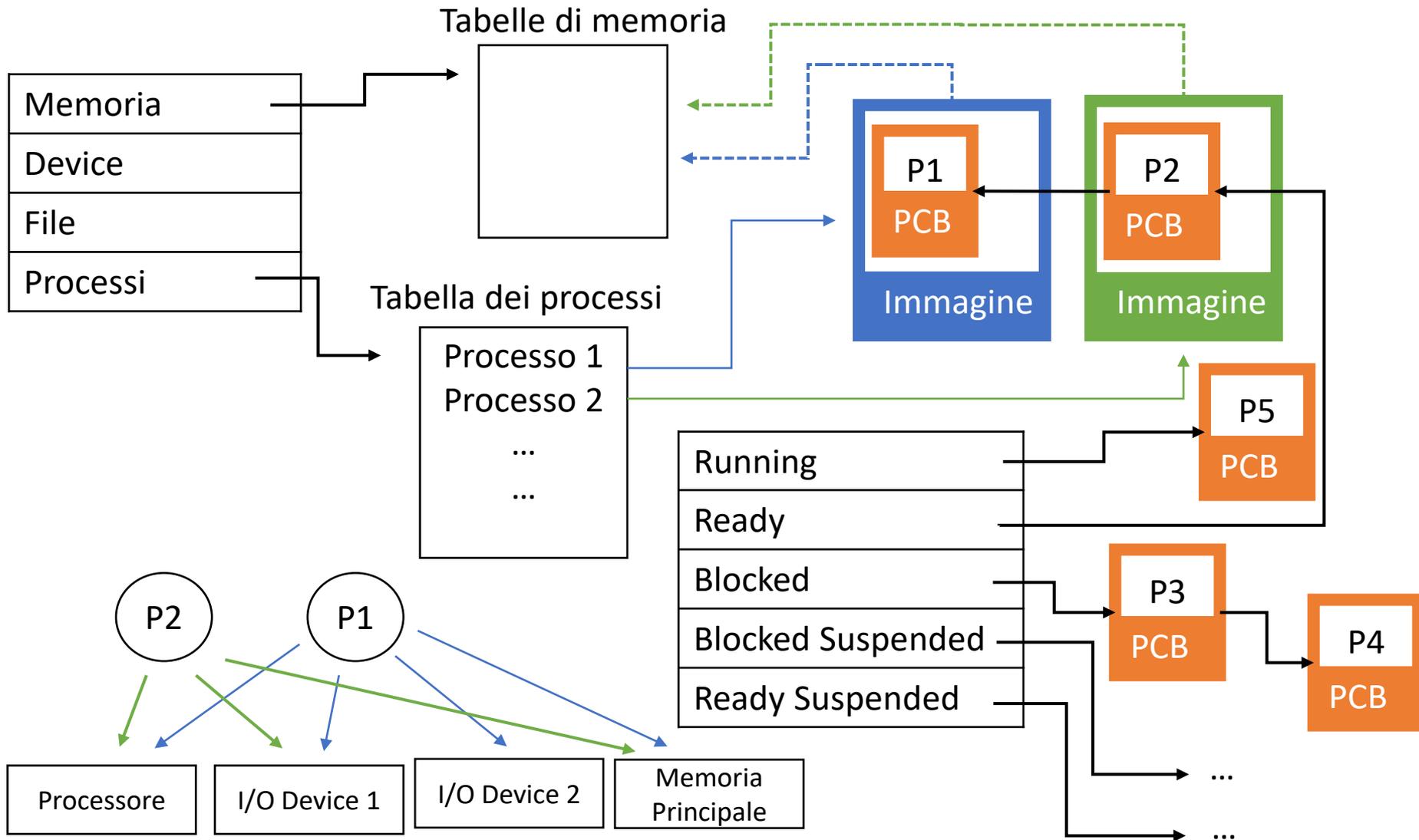
Il sistema operativo ha bisogno di metadati in memoria riguardo lo stato di un processo non in memoria



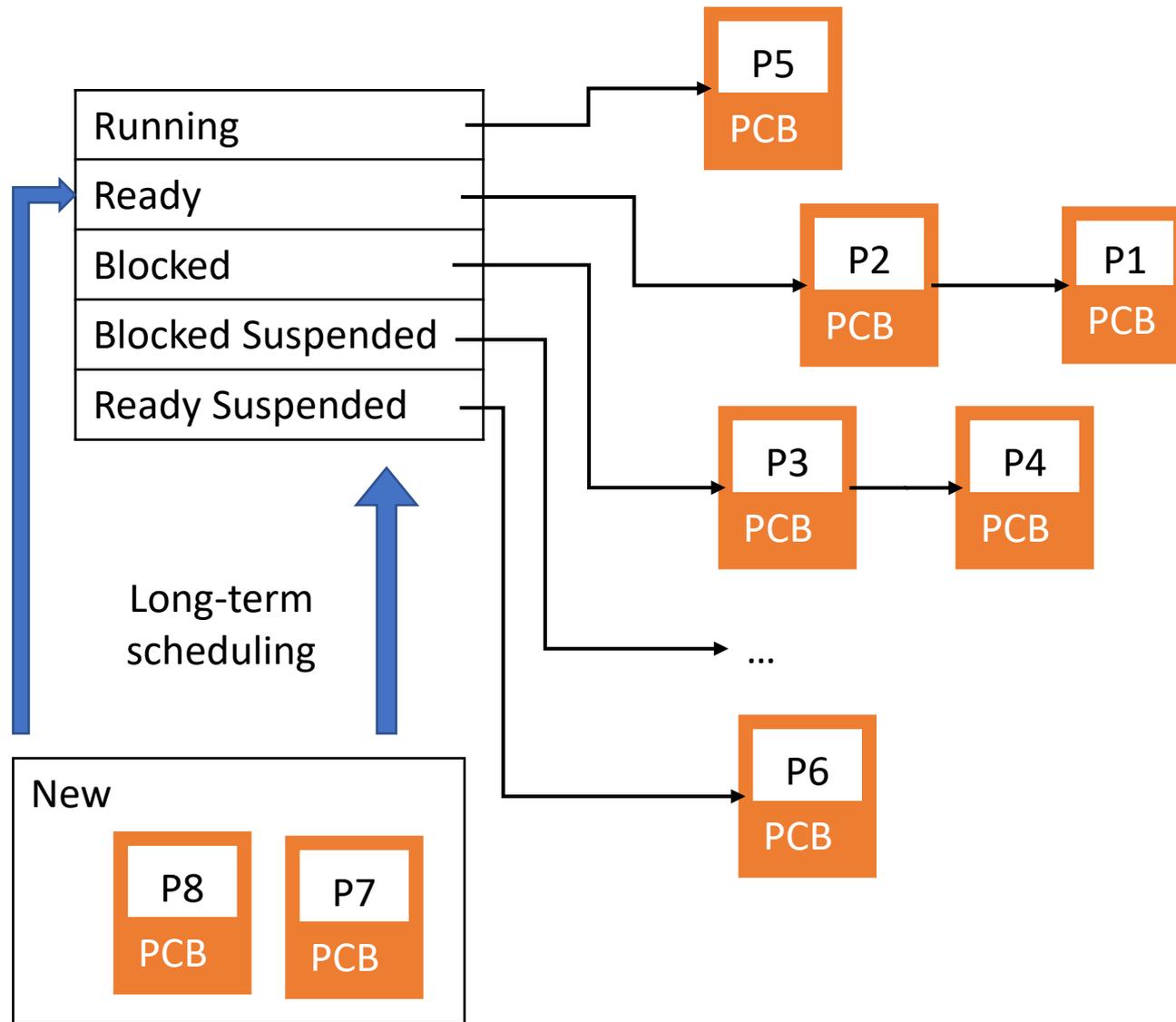
Processi e strutture dati



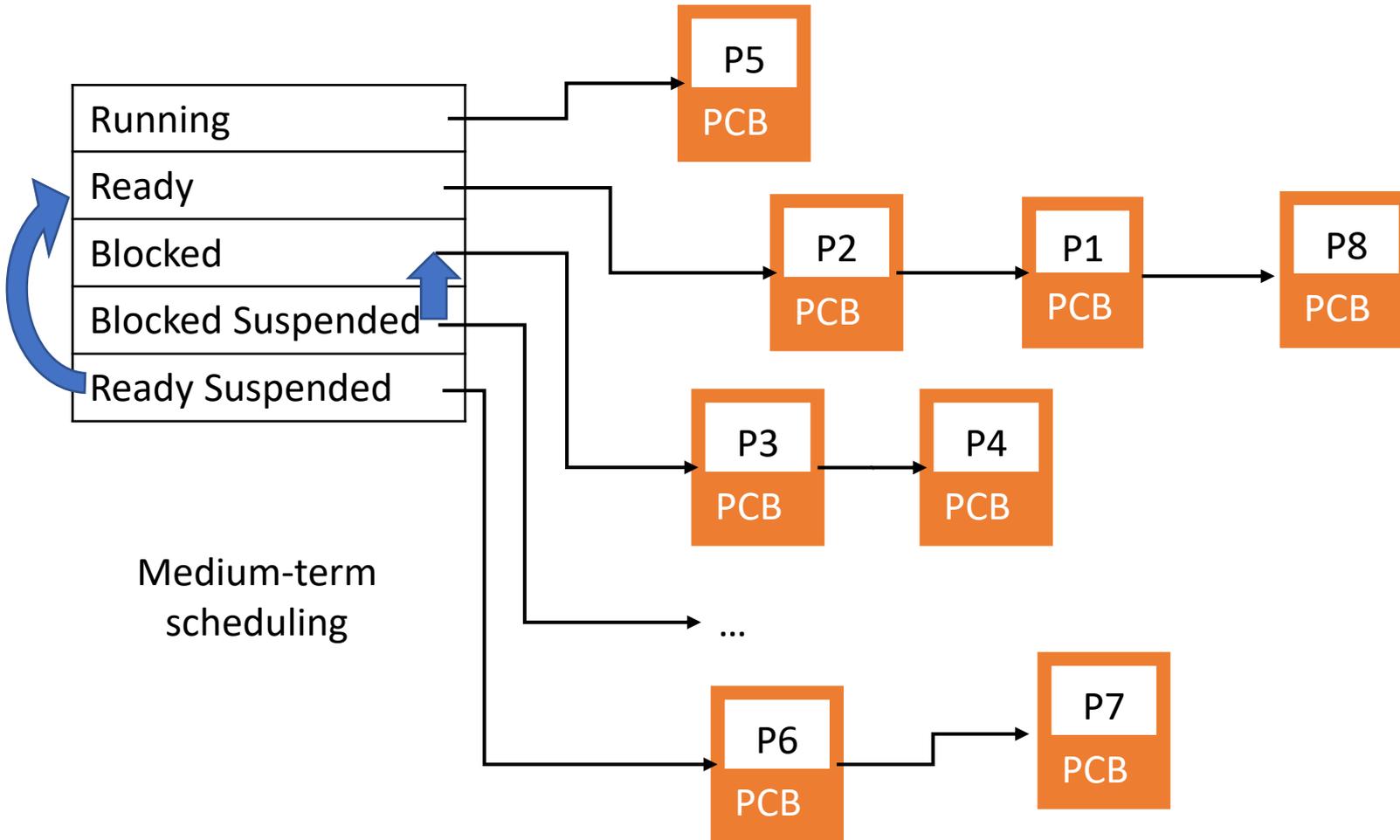
Processi e strutture dati



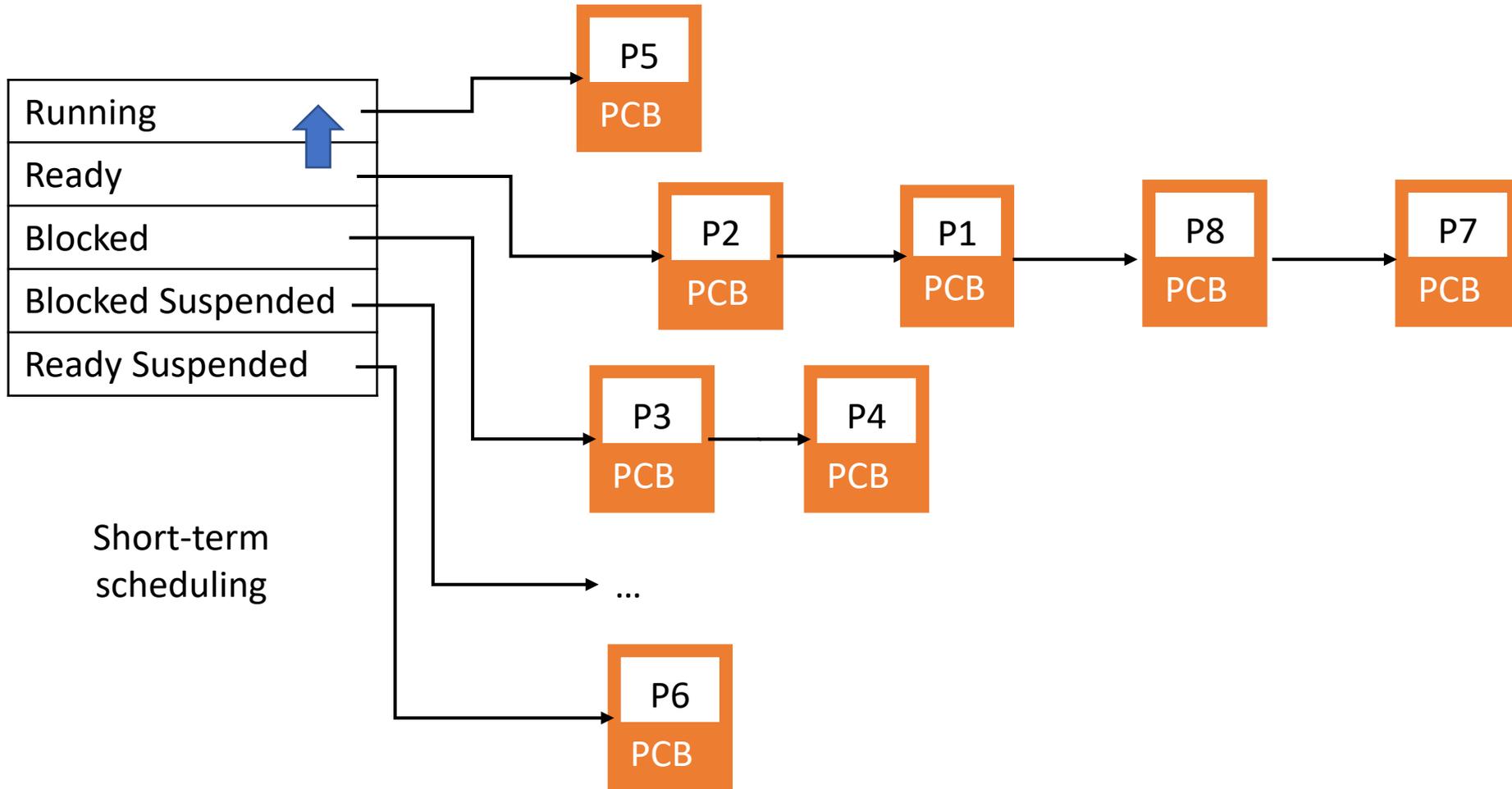
Processi e strutture dati



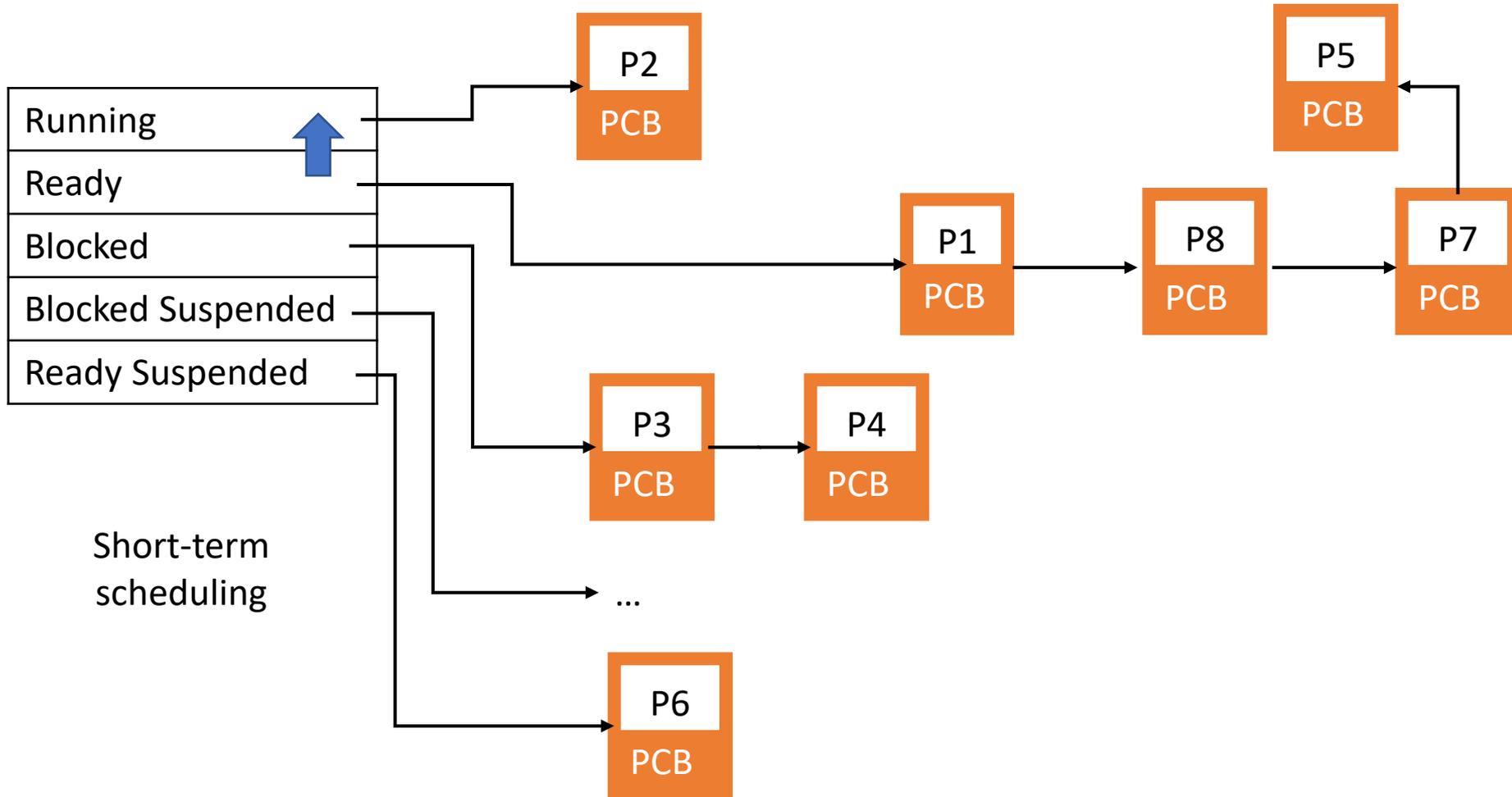
Processi e strutture dati



Processi e strutture dati

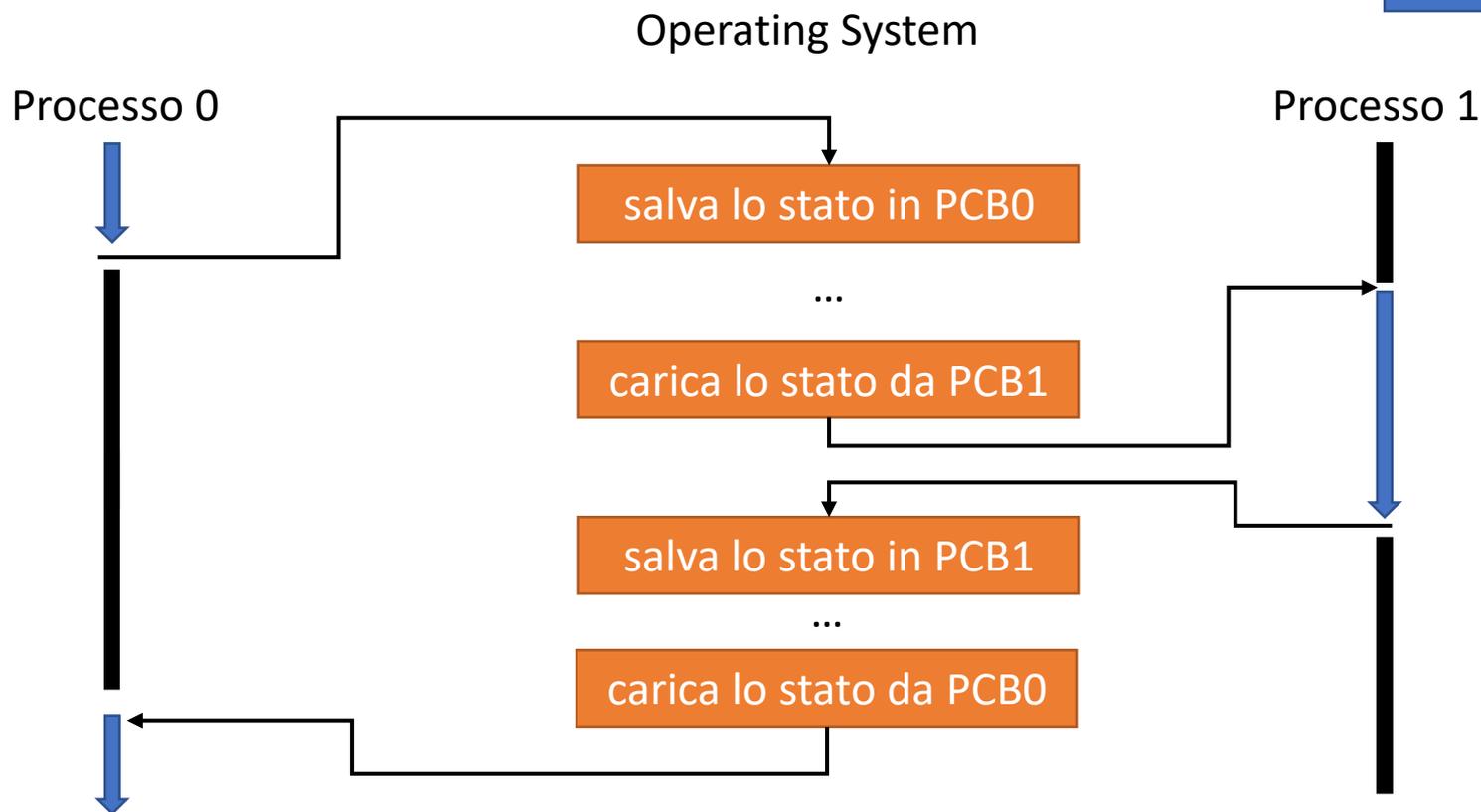


Processi e strutture dati

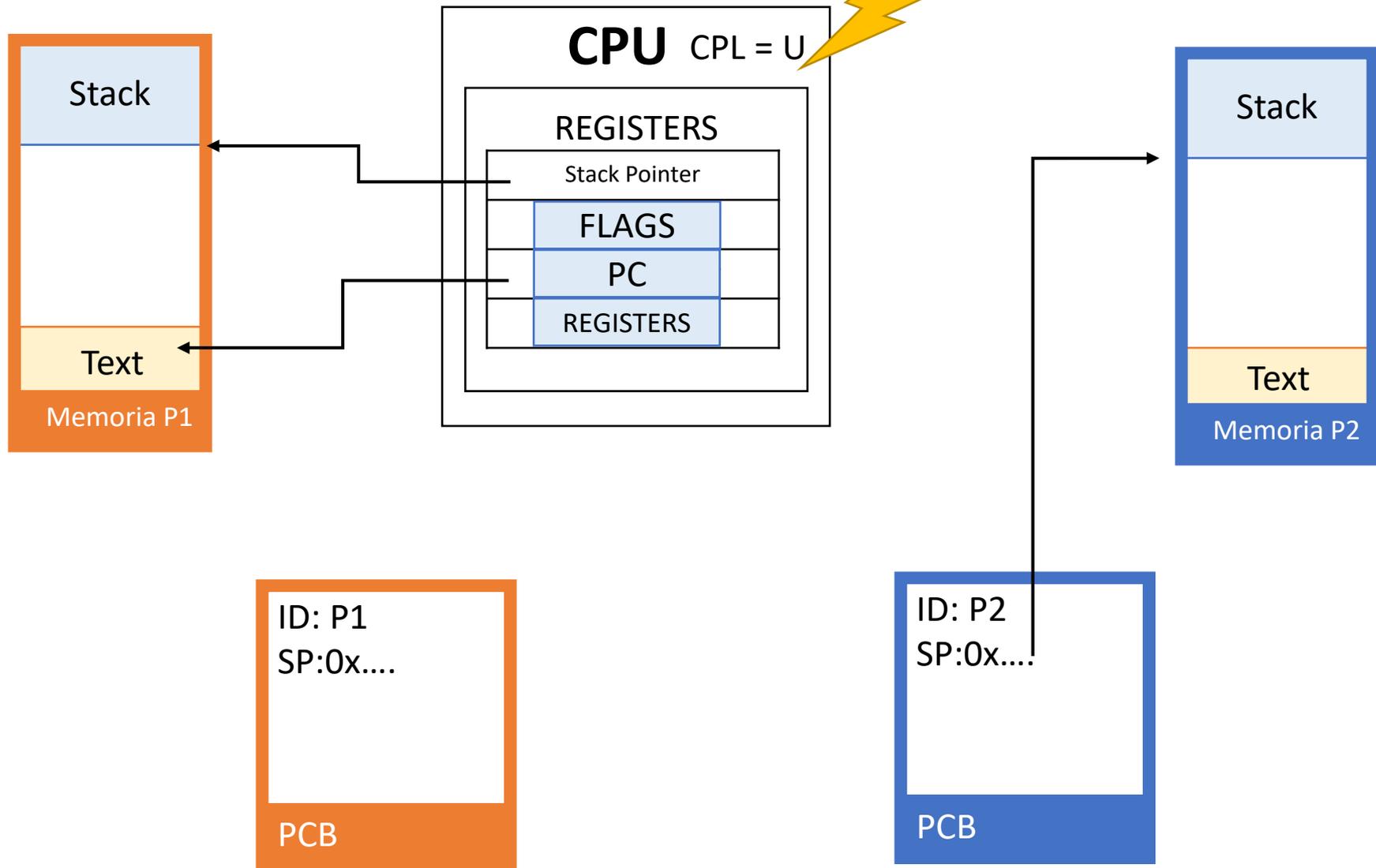


Process switch

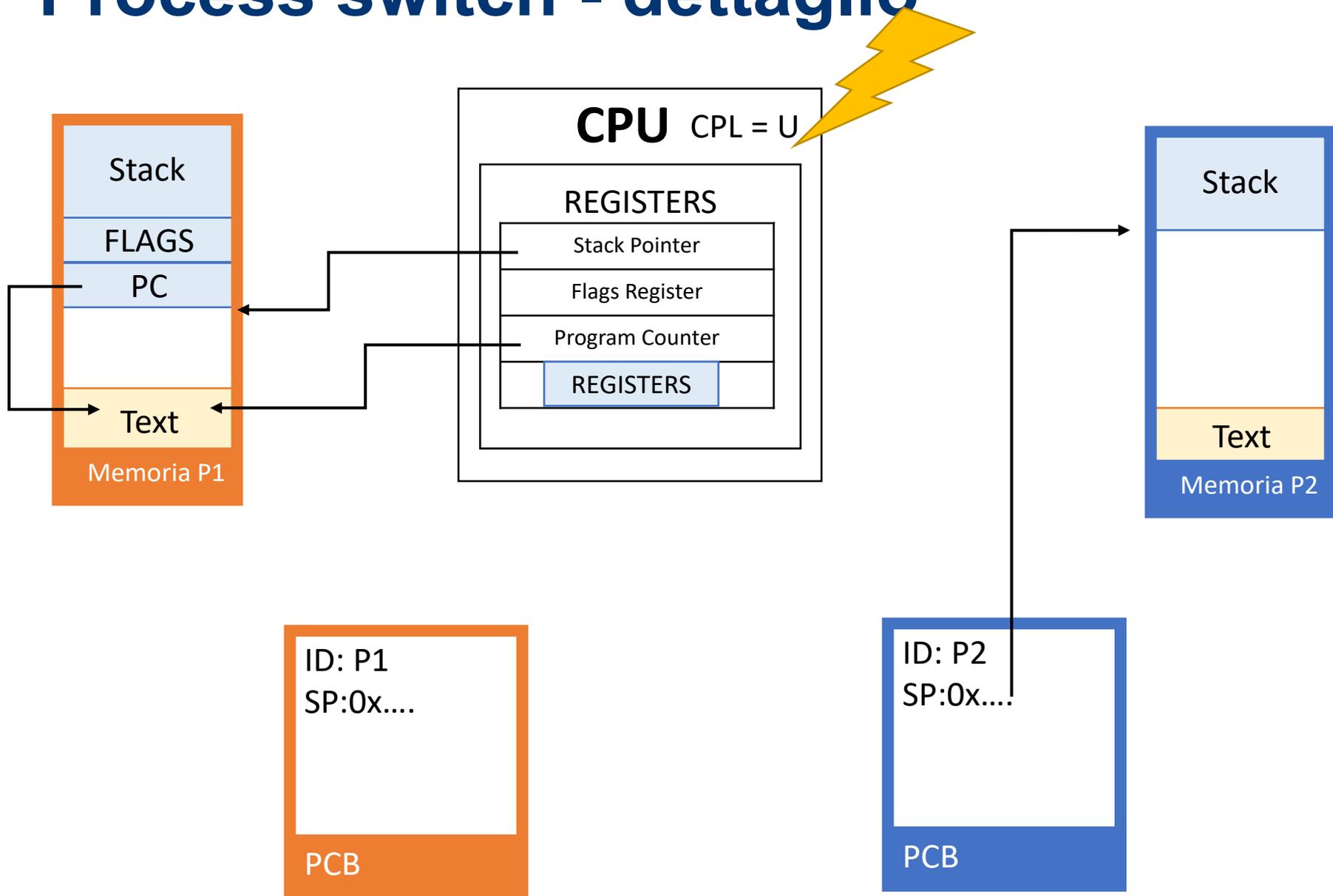
- Meccanismo per cambiare il processo in esecuzione sul processore => cambiare contesto
- Chiamato anche context switch



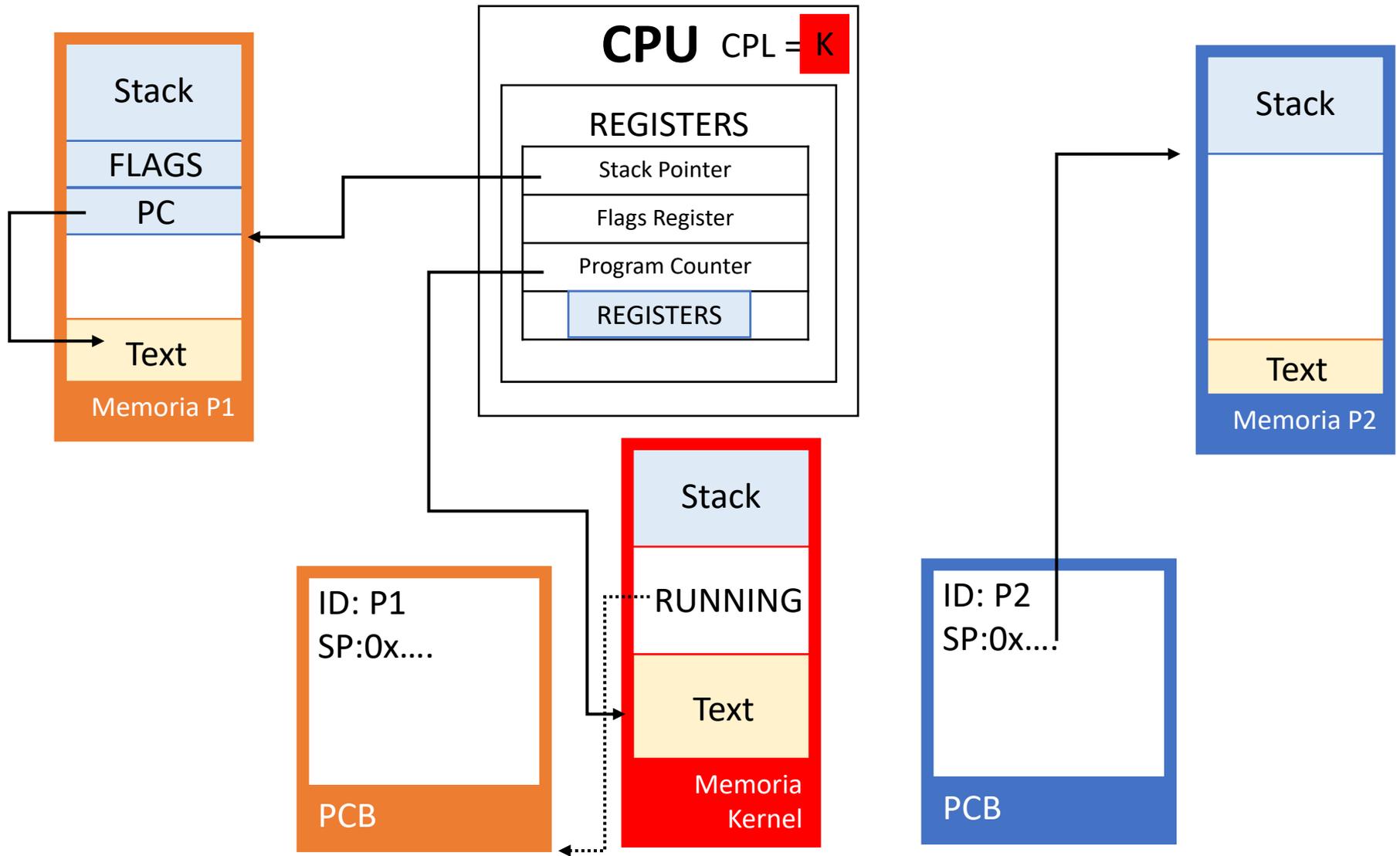
Process switch - dettaglio



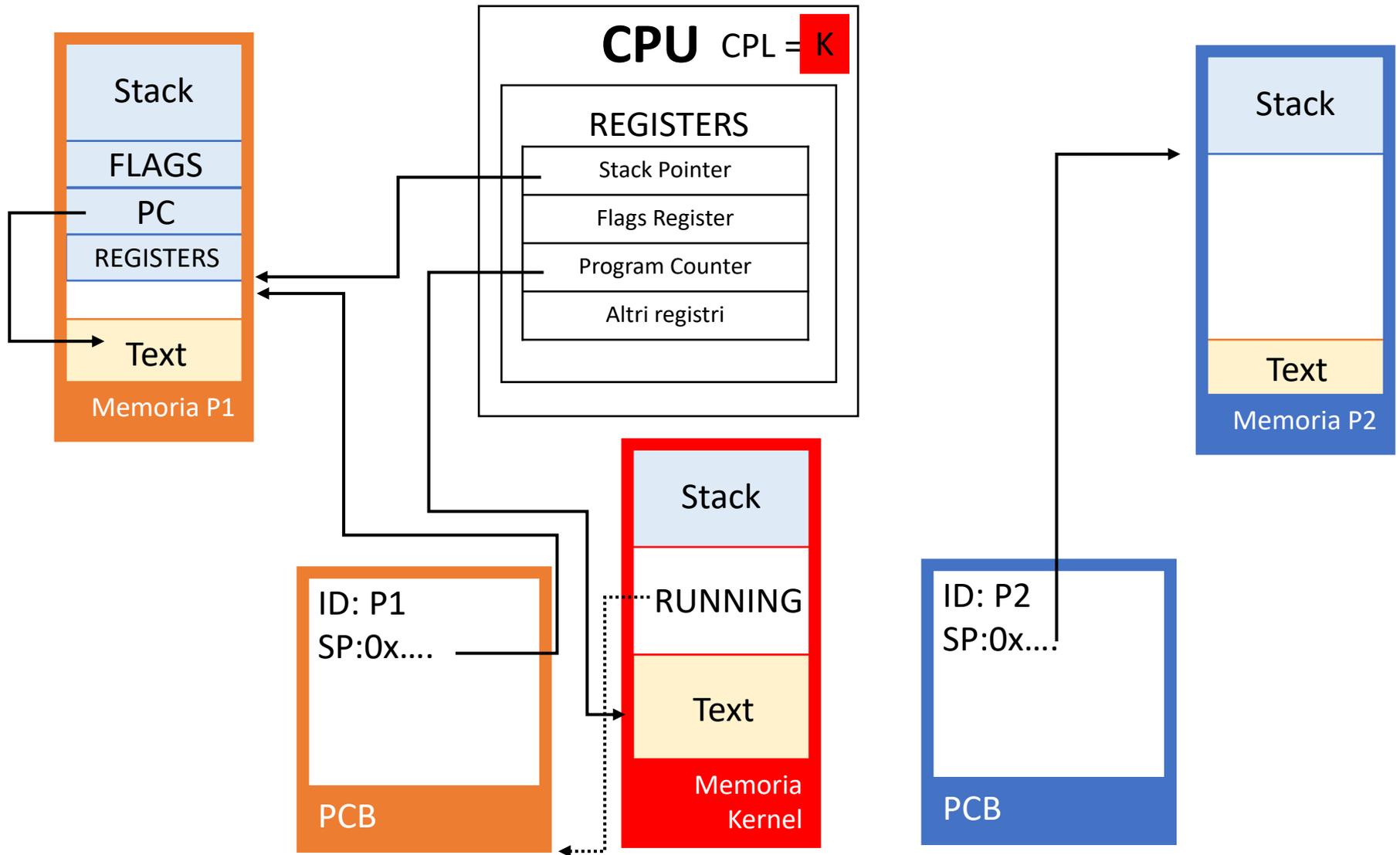
Process switch - dettaglio



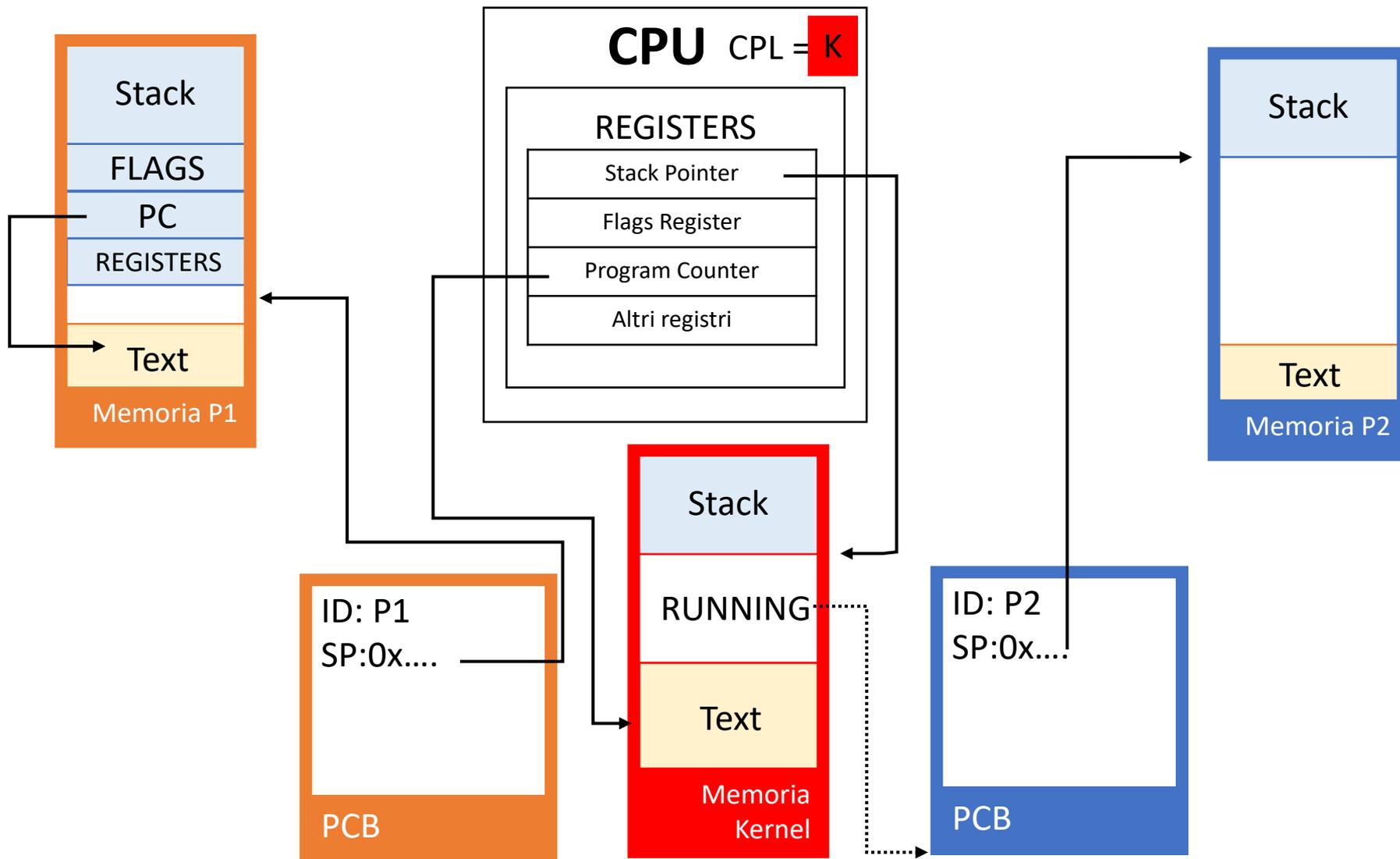
Process switch - dettaglio



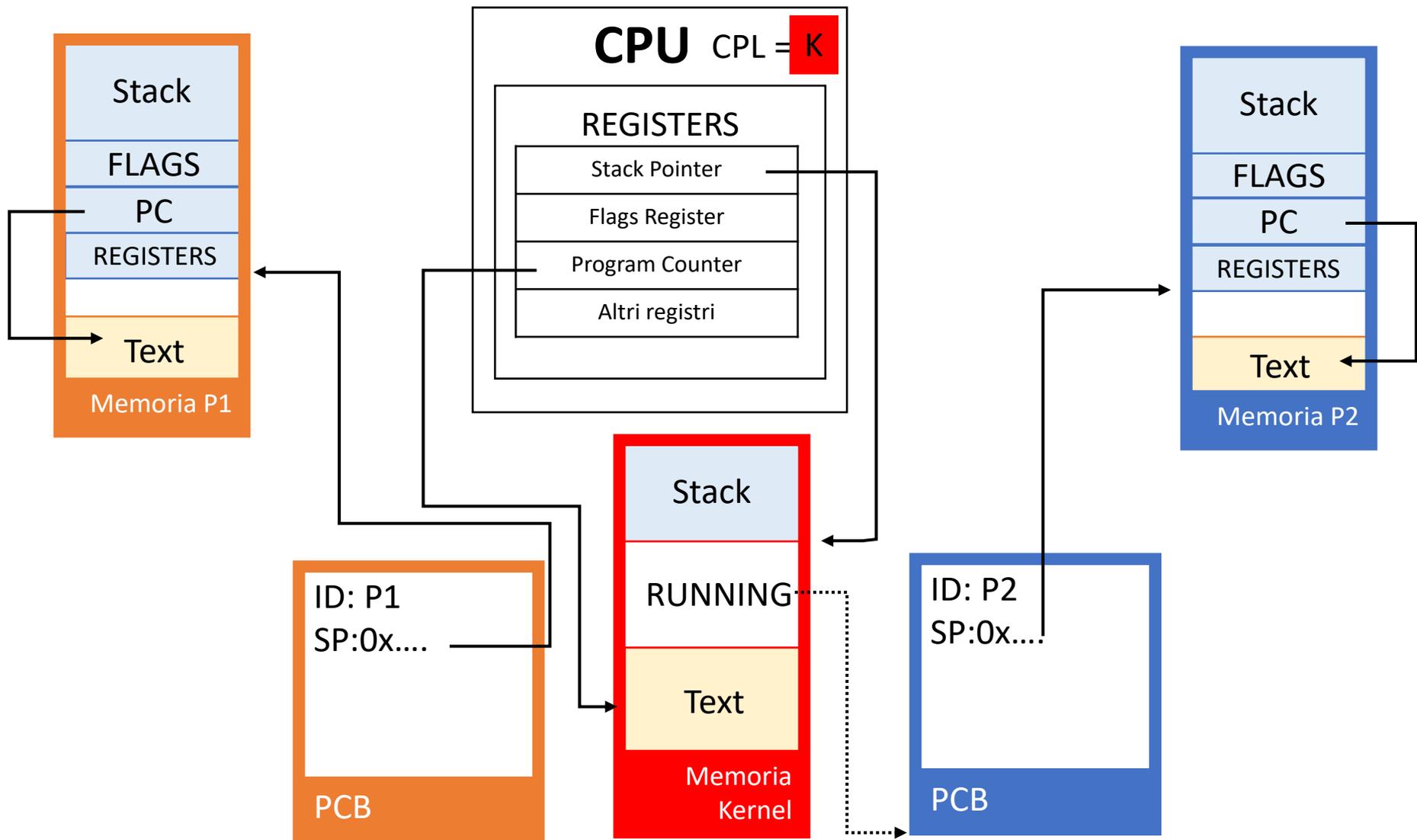
Process switch - dettaglio



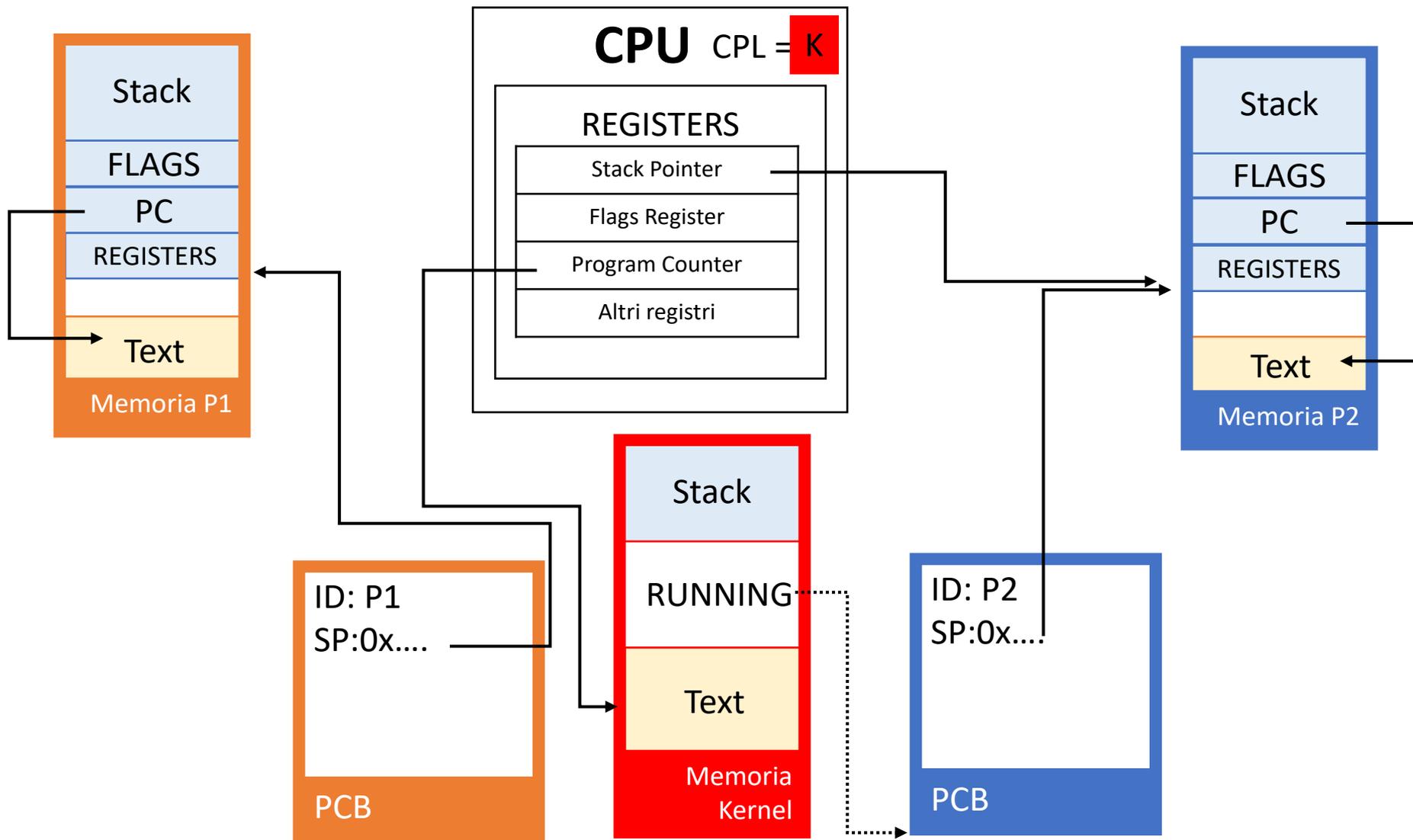
Process switch - dettaglio



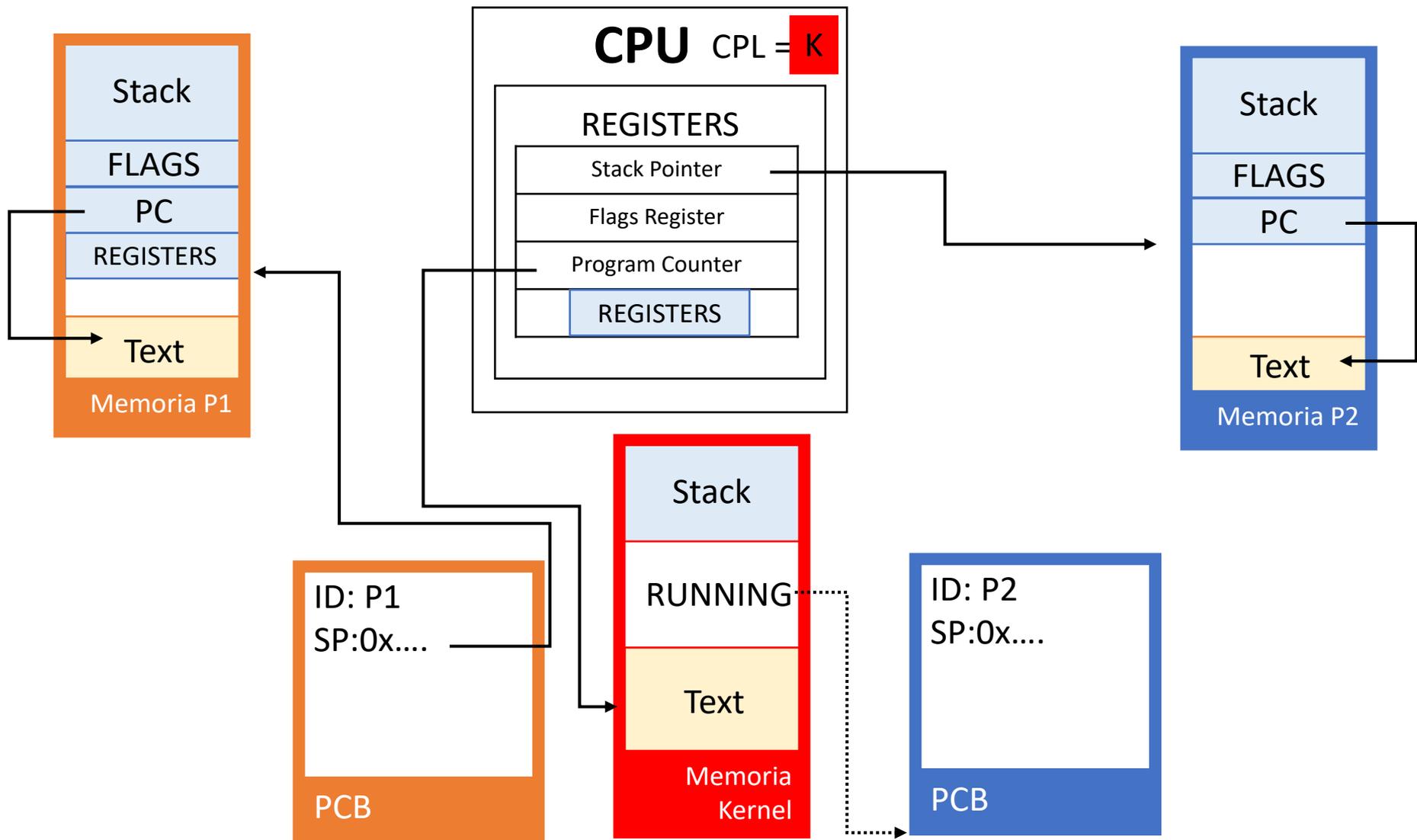
Process switch - dettaglio



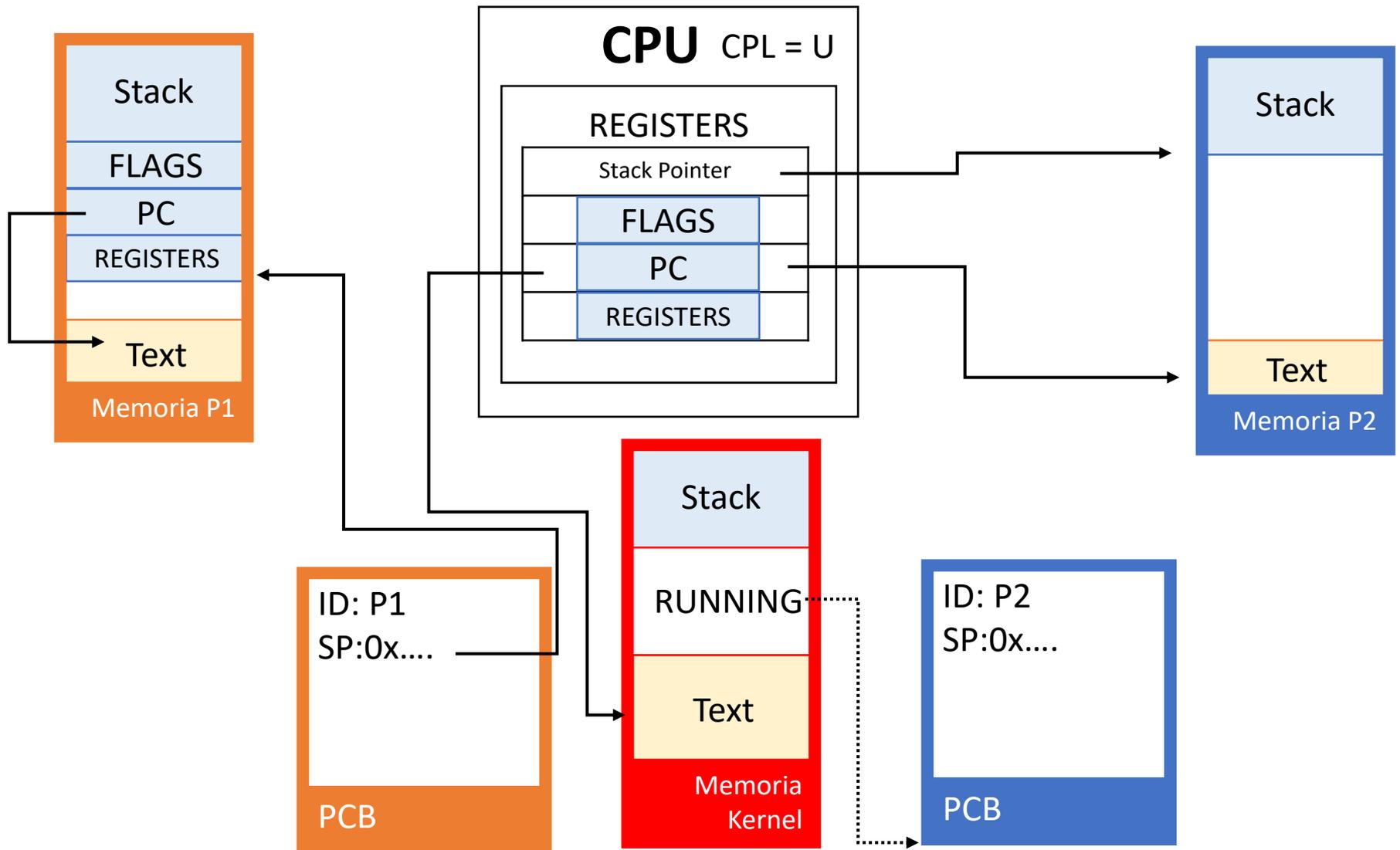
Process switch - dettaglio



Process switch - dettaglio



Process switch - dettaglio



Cambio di contesto vs Cambio di modo

Cause diverse

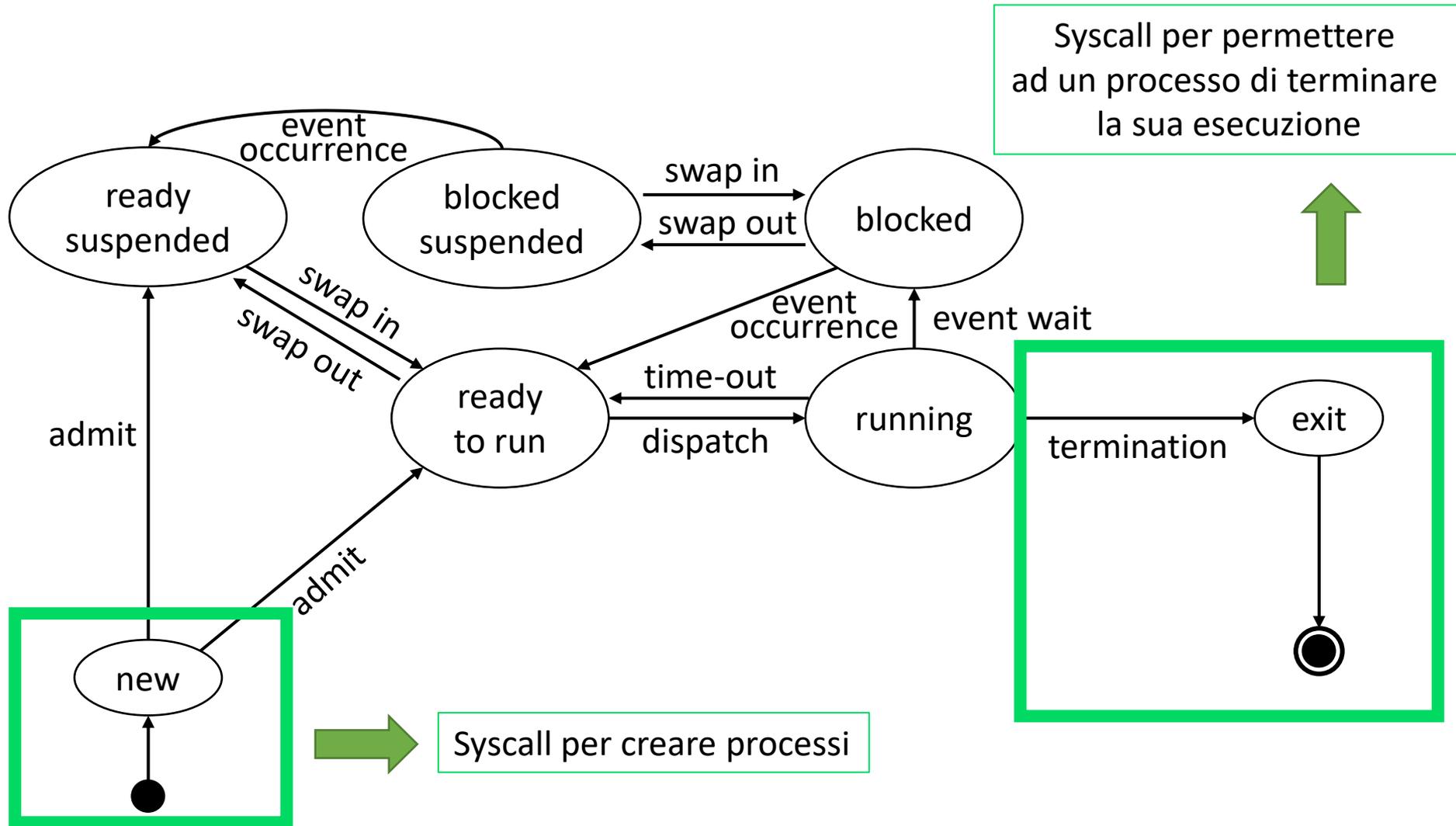
- Context switch
 - Interruzione da timer: viene attivato lo scheduler per cedere il controllo ad un altro processo
 - Interazione con I/O e conseguente attesa: viene attivato lo scheduler per cedere il controllo ad un altro processo
 - Errore non gestito: deattivazione del processo corrente : viene attivato lo scheduler per cedere il controllo ad un altro processo
- Mode switch
 - Invocazione di un system call
 - Gestione di una interruzione

Esigenze diverse

- Context switch: necessità di salvare/ripristinare **tutto** il contesto
- Mode switch: necessità di salvare/rispristinare una **porzione** di contesto

Cambio di modo **NON** implica Context/Process switch

Modello di esecuzione di un processo



(Alcuni) Servizi di sistema per gestire i processi

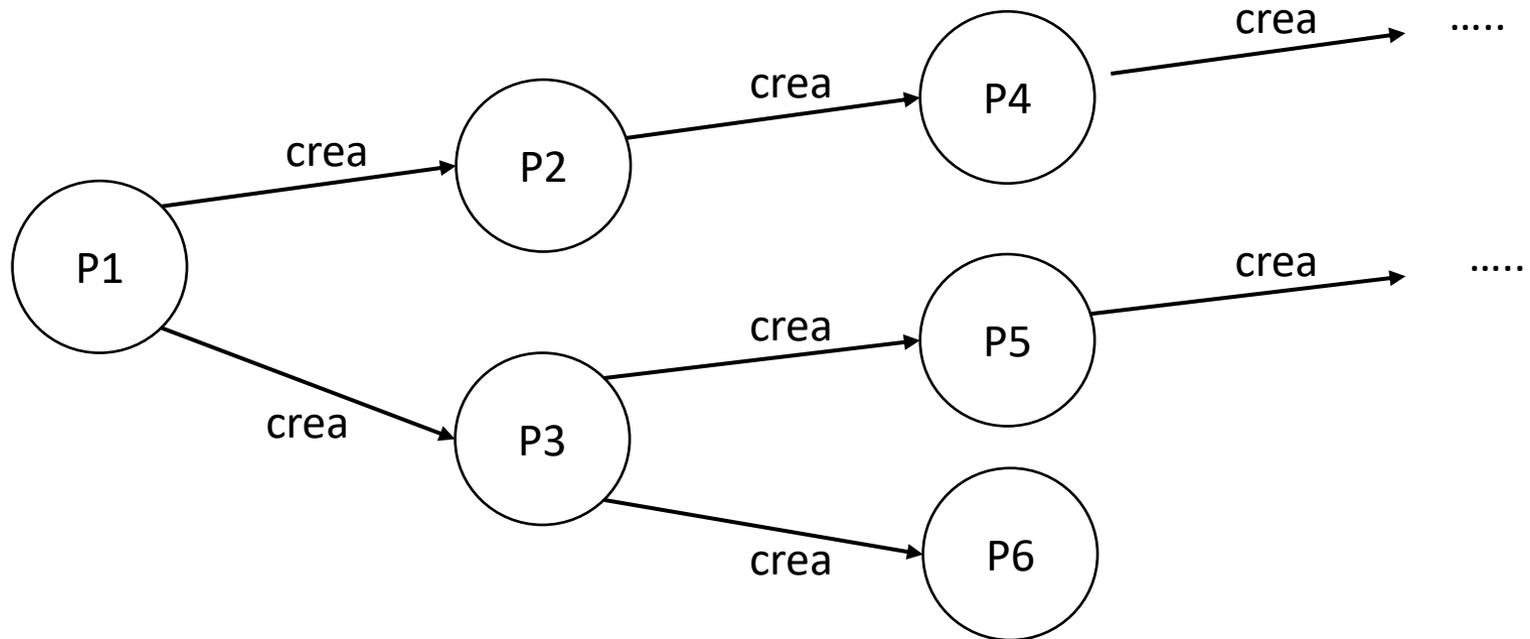
Creare un processo

Permettere ad un processo di terminare la propria esecuzione

Gerarchie di processi

Esiste una system call per creare un processo

- Un processo può creare uno o più processi
- A loro volta tali processi possono creare altri processi...



Elementi caratterizzanti di un processo

- Un processo è associato a:

- Un programma
- I dati su cui opera
- Almeno uno stack
- Dati di contesto (contenuti nei registri di processore)
- Le risorse hardware di cui ha richiesto l'accesso
- Un identificativo **del processo, del processo genitore, dei processi figli**
- Statistiche
- Uno stato (e.g., running)

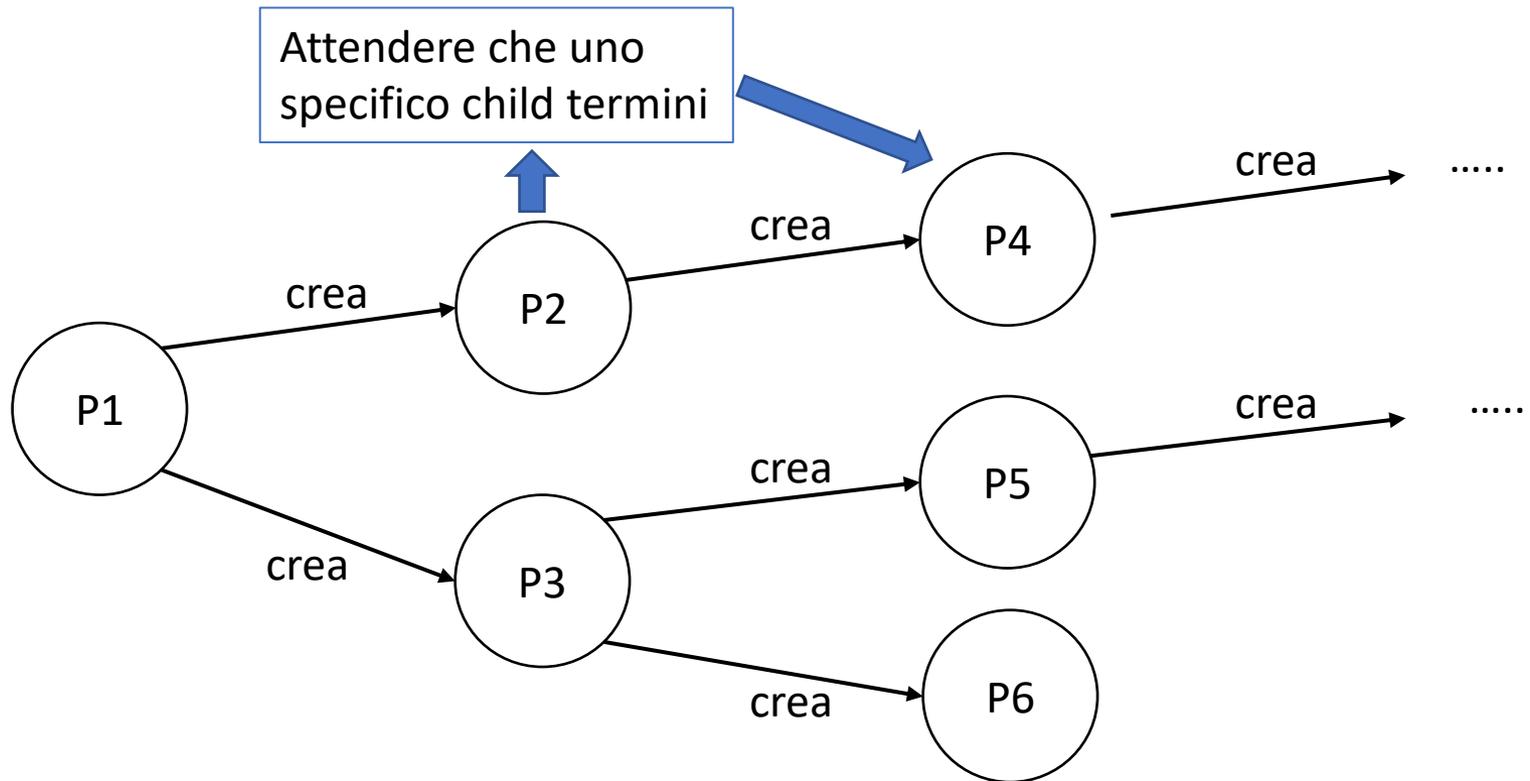
Process Control Block (PCB)

Immagine di processo

Gerarchie di processi

Esiste una system call per creare un processo

- Un processo può creare uno o più processi
- A loro volta tali processi possono creare altri processi...



(Alcuni) Servizi di sistema per gestire i processi

DESCRIZIONE	UNIX/LINUX
Creare un processo	fork
Permettere ad un processo di terminare la propria esecuzione	exit
Attendere la terminazione di processo figlio	wait

(Alcuni) Servizi di sistema per gestire i processi

DESCRIZIONE	UNIX/LINUX
Creare un processo	fork
Permettere ad un processo di terminare la propria esecuzione	exit
Attendere la terminazione di processo figlio	wait

Standard POSIX:

<https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799/functions/fork.html>

NAME

fork - create a new process

SYNOPSIS

```
#include <unistd.h>  
pid_t fork(void);
```

DESCRIPTION

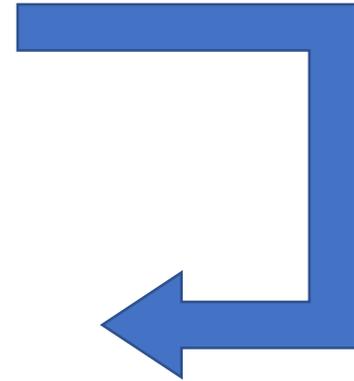
The fork() function shall create a new process.

*The new process (child process) shall be an **exact copy** of the calling process (parent process) except as detailed below:*

- *The child process shall have a unique process ID.*
- ...

(Alcuni) Servizi di sistema per gestire i processi

DESCRIZIONE	UNIX/LINUX
Creare un processo	fork
Permettere ad un processo di terminare la propria esecuzione	exit
Attendere la terminazione di processo figlio	wait



Standard POSIX:

<https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799/functions/exit.html>

NAME

fork - create a new process

SYNOPSIS

```
#include <stdlib.h>  
void exit(int status);
```

DESCRIPTION

The value of status may be 0, EXIT_SUCCESS, EXIT_FAILURE, or any other value, though only the least significant 8 bits (that is, status & 0377) shall be available from [wait\(\)](#).

.....

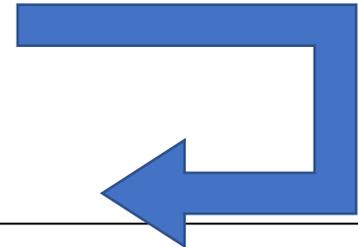
Finally, the process shall be terminated

(Alcuni) Servizi di sistema per gestire i processi

DESCRIZIONE	UNIX/LINUX
Creare un processo	fork
Permettere ad un processo di terminare la propria esecuzione	exit
Attendere la terminazione di processo figlio	wait

Standard POSIX:

<https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799/functions/wait.html>



NAME

fork - create a new process

SYNOPSIS

```
#include <sys/wait.h>
pid_t
wait(int *status_location);
```

DESCRIPTION

The wait() ... functions shall obtain status information ... pertaining to one of the caller's child processes. The wait() function obtains status information for process termination from any child process.

.....

The wait() function shall cause the calling thread to become blocked until status information generated by child process termination is made available....

(Alcuni) Servizi di sistema per gestire i processi

```
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/wait.h>

void main() {
    int res, status;
    printf("I'm a process and I'm going to create a child\n");
    res = fork();
    if(res < 0) printf("I cannot create a child");
    else if(res == 0) {
        printf("I'm the child!\n");
        exit(0);
    }
    else {
        printf("I'm now a parent and I'll wait for my child to die...\n");
        wait(&status);
        printf("My child has invoked exit? %d\n", WIFEXITED(status));
        printf("My child has invoked exit(%d)\n", WEXITSTATUS(status));
    }
    printf("My child is dead, so it's my time to die\n");
    exit(0);
}
```

Fork

- Un programma
- I dati su cui opera
- Almeno uno stack

- Dati di contesto
- Rif. risorse hardware
- Identificativi
- Statistiche
- Uno stato

PCB1

Immagine di processo P1



- Un programma
- I dati su cui opera
- Almeno uno stack

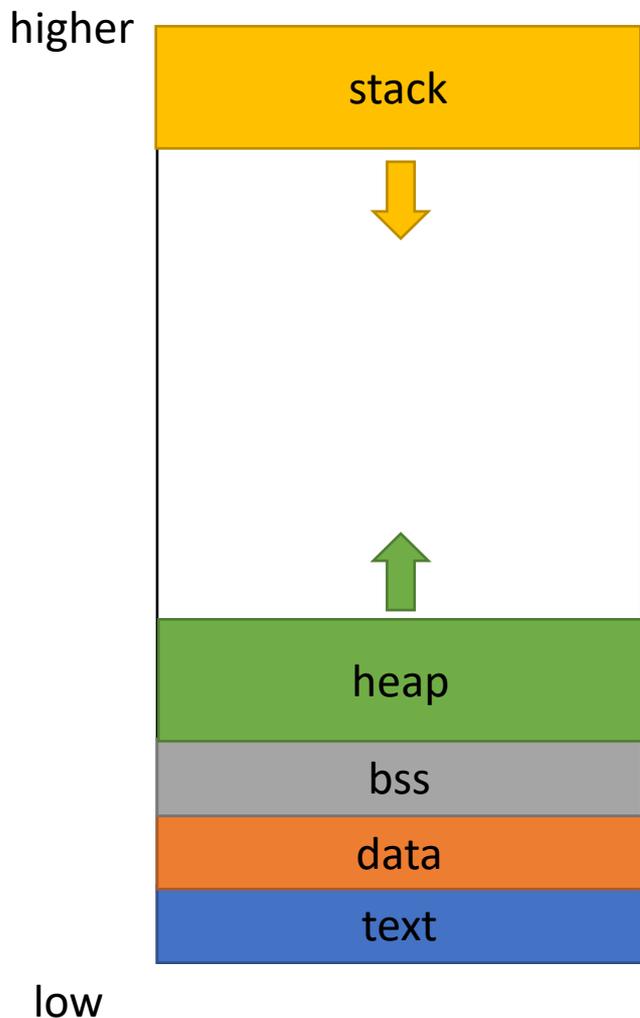
- Dati di contesto
- Rif. risorse hardware
- Identificativi
- Statistiche
- Uno stato

PCB2

Immagine di processo P2

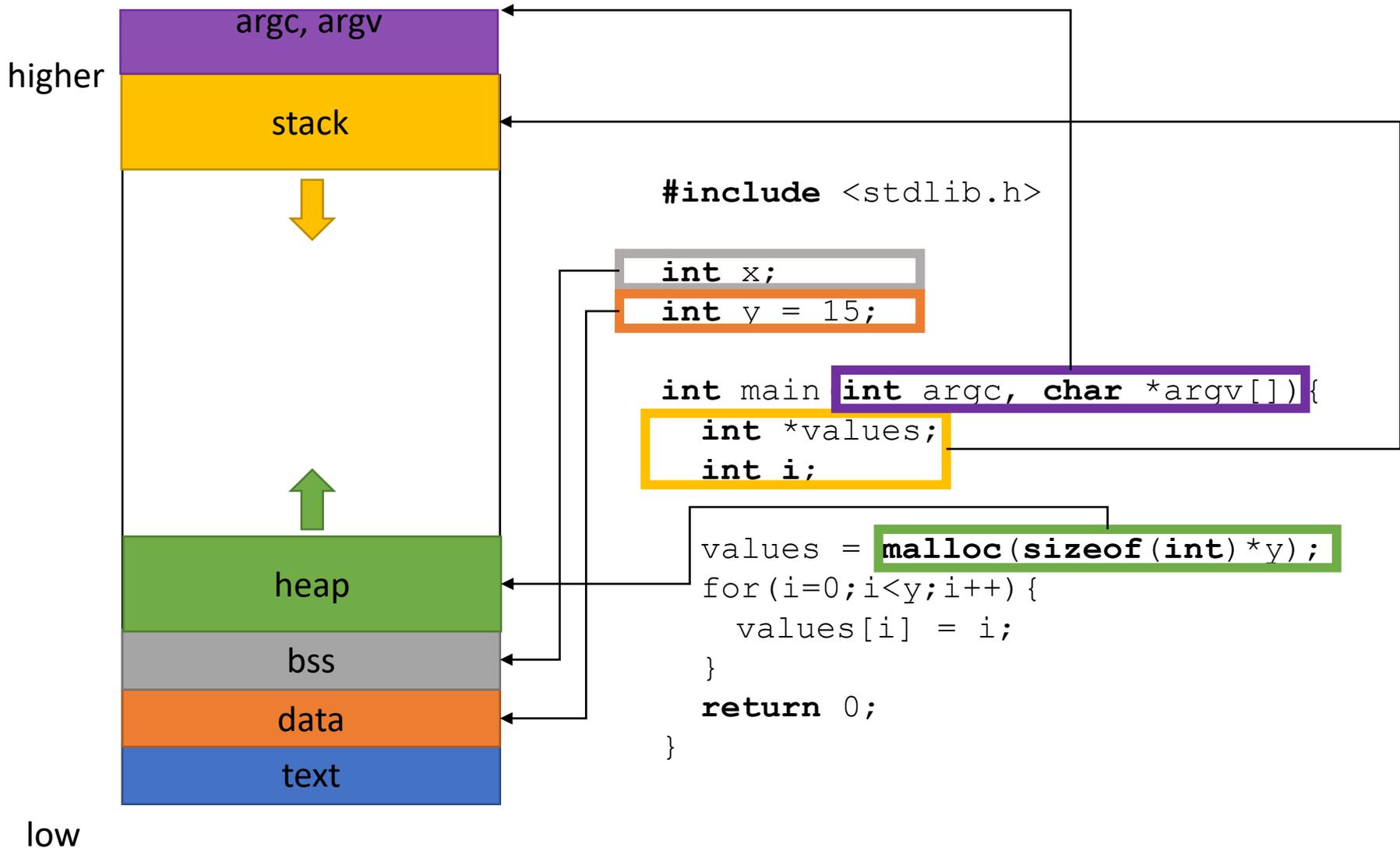
fork()
→

Layout di un programma C



- **Text**: istruzioni eseguibili
- **Data**: dati inizializzati
- **Block started by symbol (BSS)**: dati non inizializzati o inizializzati al valore zero
- **Heap**: sezione di dati allocati dinamicamente
- **Stack**: per chiamate a procedura, passaggio parametri, indirizzo di ritorno, variabili locali

Layout di un programma C



Sostituzione di programma

- Meccanismo per sostituire il programma associato al corrente processo di esecuzione
- Famiglia di funzioni **exec** permettono di definire:
 - il programma che sostituirà il codice del processo corrente
 - dove cercare il programma corrente (p)
 - i parametri da passare al programma come parametri multipli (l) o come array (v)
 - l'ambiente del nuovo processo (e)

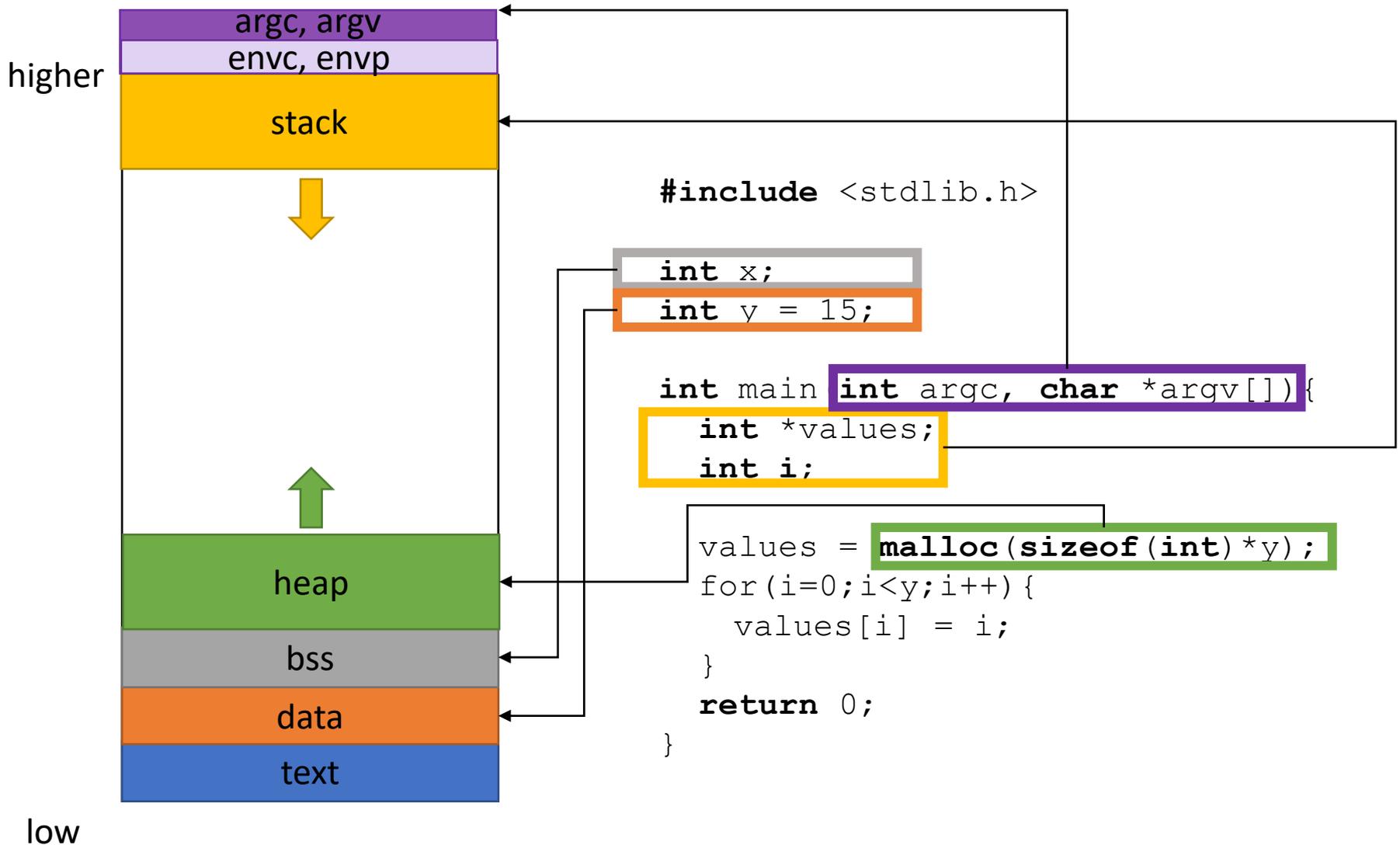
SYNOPSIS

```
#include <unistd.h>
int execl(const char *pathname, const char *arg, ...);
int execlp(const char *file, const char *arg, ...);
int execl_e(const char *pathname, const char *arg, ..., char *const envp[] *);
int execv(const char *pathname, char *const argv[]);
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
int execvpe(const char *file, char *const argv[], char *const envp[]);
```

Ambiente

- Environment list: un array di stringhe (environment variables) nella forma **nome=valore**
- Permettono di configurare il comportamento di programma in relazione ad altro software (l'ambiente)
 - Dove cercare altri eseguibili/librerie
- Ad esempio in sistemi UNIX, al lancio di un eseguibile non prende il controllo la funzione **main**
- **_start** esegue task preliminari (funzioni di ambiente) che permettono al **main** di eseguire correttamente
 - Passare parametri e variabili di ambiente al main

Layout di un programma C



Variabili d'ambiente

- PWD directory corrente
- HOME directory principale dell'utente
- PATH specifica per la ricerca di eseguibili
- Funzione di gestione:
 - getenv
 - putenv
 - setenv
 - unsetenv
- E la fork?
 - Le variabili di ambiente vengono ereditate dal processo figlio

(Alcuni) Servizi di sistema per gestire i processi

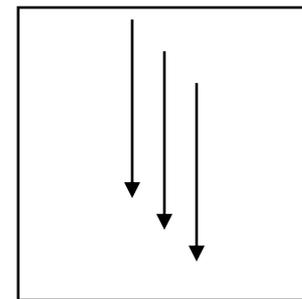
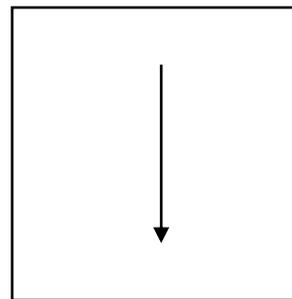
```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>

void main() {
    char comando[256];
    pid_t pid; int status;

    while(1) {
        printf("Digitare un comando: ");
        scanf("%s",comando);
        pid = fork();
        if ( pid == -1 ) {
            printf("Errore nella fork.\n");
            exit(1);
        }
        if ( pid == 0 )
            execlp(comando, comando, NULL);
        else wait(&status);
    }
}
```

Processi e threads

- Il processo ingloba
 - Risorse assegnate
 - Traccia di istruzioni
- I due concetti possono essere disaccoppiati
 - Medesime risorse assegnate
 - Più tracce di istruzioni
- L'unità di base per il dispatching è il thread
- L'unità proprietaria delle risorse è il processo
- Più thread possono appartenere al medesimo processo
- **ATTENZIONE!** i thread condividono le risorse
 - **Memoria inclusa**



Processi e threads

- Un programma
 - I dati su cui opera
 - Almeno uno stack
 - Dati di contesto
 - Rif. risorse hardware
 - Identificativi
 - Statistiche
 - Uno stato
- PCB1

Immagine di processo P1

- Un programma
- I dati su cui opera

- Almeno uno stack
 - Dati di contesto
 - Identificativi
 - Statistiche
 - Stato
- TCB

Thread A

- Almeno uno stack
 - Dati di contesto
 - Identificativi
 - Statistiche
 - Stato
- TCB

Thread B

- Rif. risorse hardware
 - Identificativi
 - Statistiche
 - Uno stato
- PCB1

Immagine di processo P1

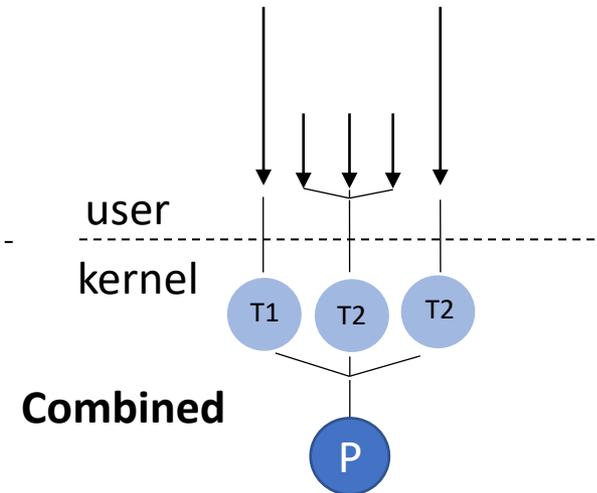
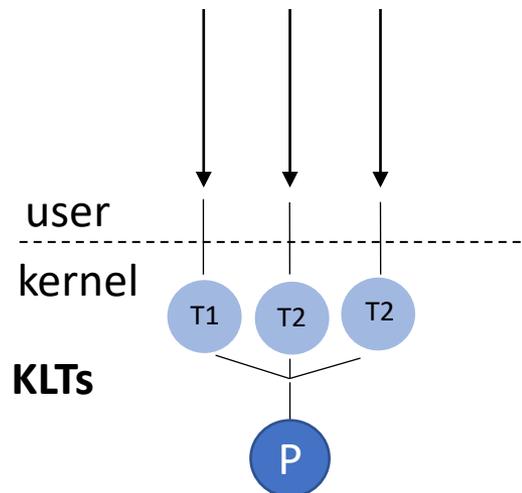
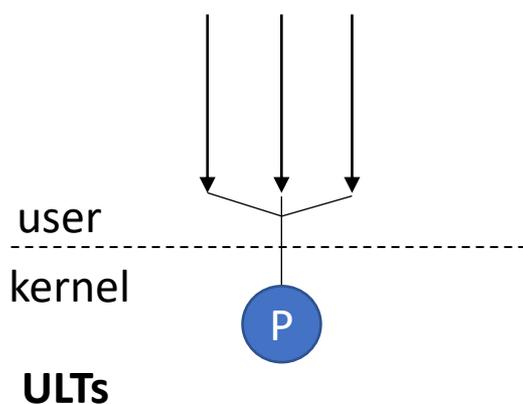
Processi e threads – un'altra prospettiva

- **User-Level Threads (ULTs) :**

- La gestione di più flussi di controllo è fatta interamente in modo user
- Il sistema operativo non è a conoscenza dell'esistenza dei thread
 - L'unità per il dispatch è ancora il processo

- **Kernel-Level Threads (KLT):**

- Il sistema operativo ha tutti i supporti necessari alla gestione dei threads
 - Mantiene informazioni per il processo e per i suoi thread
 - L'unità per il dispatch è il thread



Gestione di thread

- La libreria ULT o il sistema operativo offrono dei servizi per:
 - Creare thread
 - Terminare l'esecuzione del thread corrente
 - Aspettare che uno specifico thread termini la sua esecuzione
- Standard POSIX:
 - `pthread_create`
 - `pthread_exit`
 - `pthread_join`
- E la `exit` in ambienti multi-threaded?
 - è tipicamente mappata su un'altra system call (e.g., `exit_group`)
 - La system call `exit` termina solo il thread corrente

Variabili per thread

- Attraverso appositi costrutti è possibile definire variabili **globali** associate ad ogni **thread**
 - Esiste un'istanza della variabile per ciascun thread
- Variabili thread local definite a tempo di compilazione
 - **__thread** nella toolchain di compilazione GNU (gcc)
- Variabile definite a runtime (POSIX)
 - pthread_key_create
 - pthread_key_delete
 - pthread_get_specific
 - pthread_set_specific
- Ogni thread può accedere la variabile con l'apposito simbolo o puntatore

Multithreading e librerie

- Una libreria viene definita **thread safe** se le sue funzioni supportano invocazioni concorrenti da più thread
 - la gestione interna dello stato supporta l'esecuzione concorrente di funzioni di libreria da parte di più thread
- Diverse librerie (o funzioni) sono thread safe per default
 - printf
 - malloc
- VERIFICARE **SEMPRE** LA THREAD SAFETY CONSULTANDO LA DOCUMENTAZIONE

E il kernel?

- I kernel hanno utilizzato tecnologie multi-thread ancor prima di renderle disponibili a sviluppatori applicativi
- Esistevano/esistono «thread» concorrenti privi di immagine (e quindi programma) user-level (chiamati anche kernel threads – da non confondere con il concetto di lightweight process o KLT)
- I kernel threads condividono la stessa immagine (quindi dati e risorse) dello stesso programma (kernel di sistema operativo)

(Alcuni) Servizi di per gestire i thread

```
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/wait.h>
#include <pthread.h>

void main() {
    pthread_t ctid;
    int res, *status_ptr, status_val;
    status_ptr = &status_val;
    printf("I'm a thread in a process. "
           "I'm going to create a thread\n");
    res = pthread_create(&ctid, NULL, child_func, status_ptr);
    if(res != 0) printf("I cannot create a child");
    else{
        printf("I'm now a parent thread. "
               "I'll wait for my child to die...\n");
        pthread_join(ctid, (void*)&status_ptr);
        printf("My child has completed...%d\n", *status_ptr);
    }
    printf("My child is dead, so it's my time to die\n");
    exit(0);
}
```

```
void* child_func(void *par){
    *((int*)par) = 1;
    sleep(10);
    printf("I'm the child!\n");
    pthread_exit(par);
}
```

Processi – UNIX

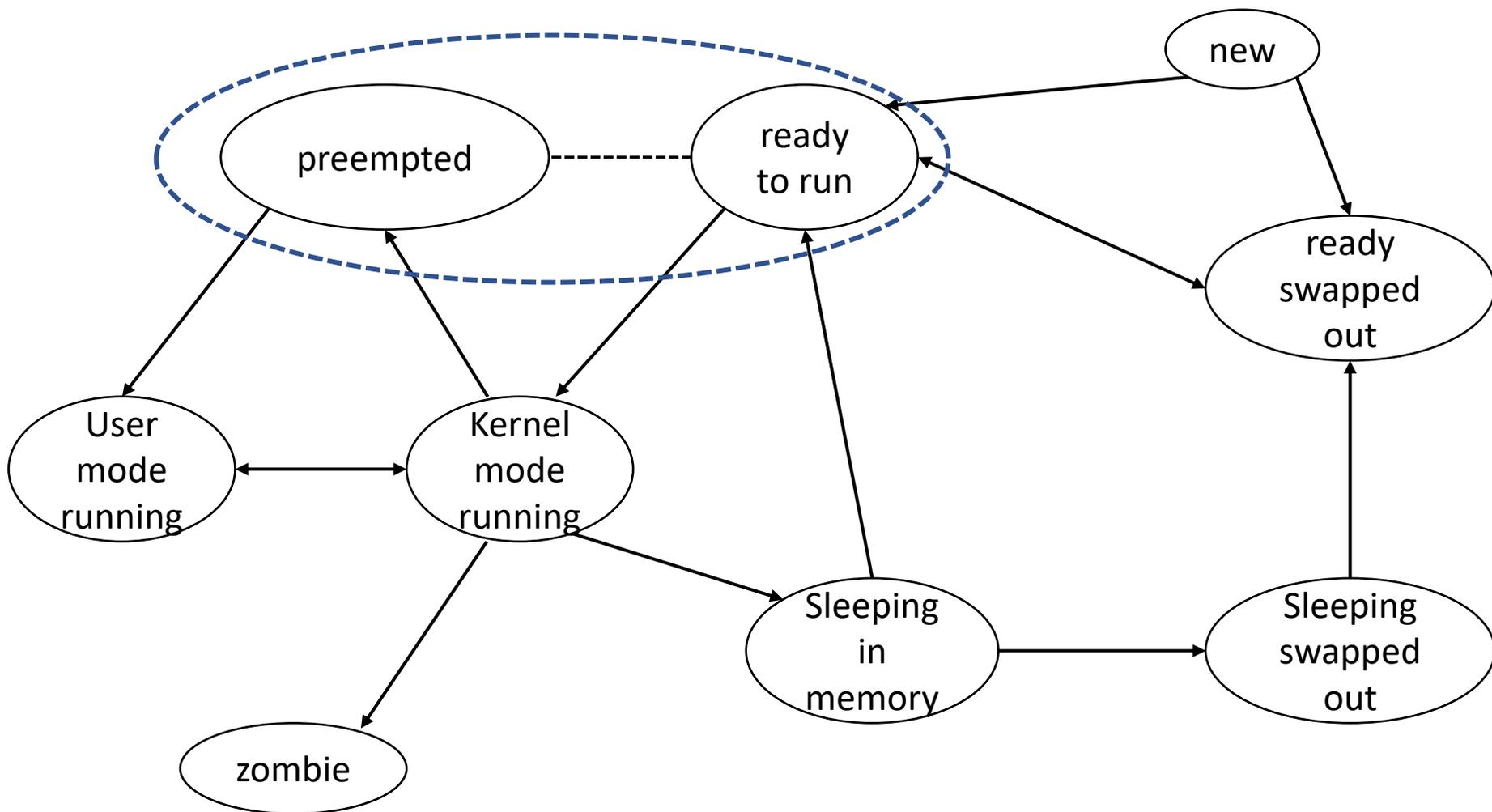


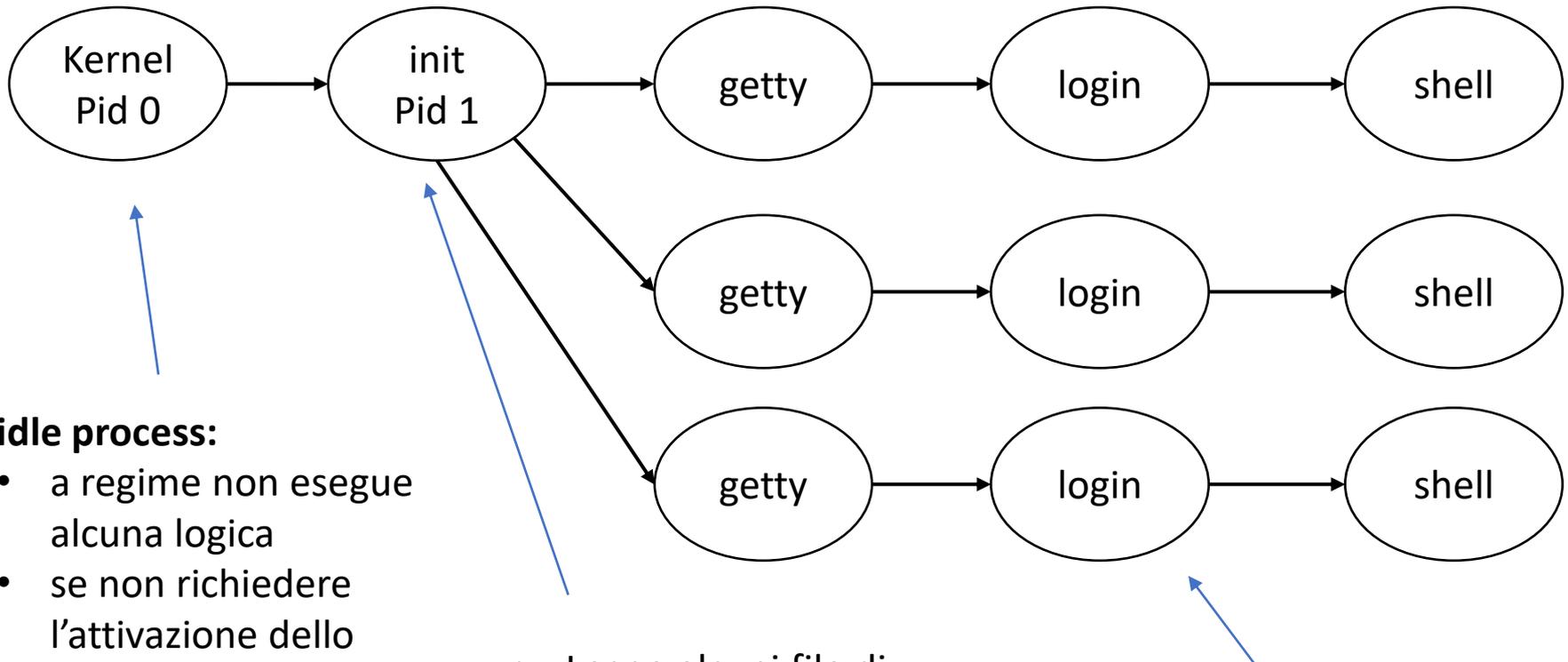
Immagine di processo - UNIX

- Contesto utente
 - Testo
 - Dati
 - Stack user
 - Memoria condivisa
- Contesto registri
 - Program counter
 - Registri di stato del processore
 - Stack pointer
 - Registri general purpose
- Contesto sistema
 - Entry nella tabella dei processi
 - Stack kernel
 - U area
 - Tabelle di indirizzamento

Immagine di processo - UNIX

- PCB
 - Stato del processo
 - Identificatori di processo
 - Affinità di processore
 - Priorità
 - Timer
 - Stato della memoria
 - Segnali
- U area
 - Identificatori d'utente
 - Gestori di segnali
 - Terminale
 - Tabella dei descrittori di file
 - Valori di ritorno di system call

Gerarchie di processi – UNIX



idle process:

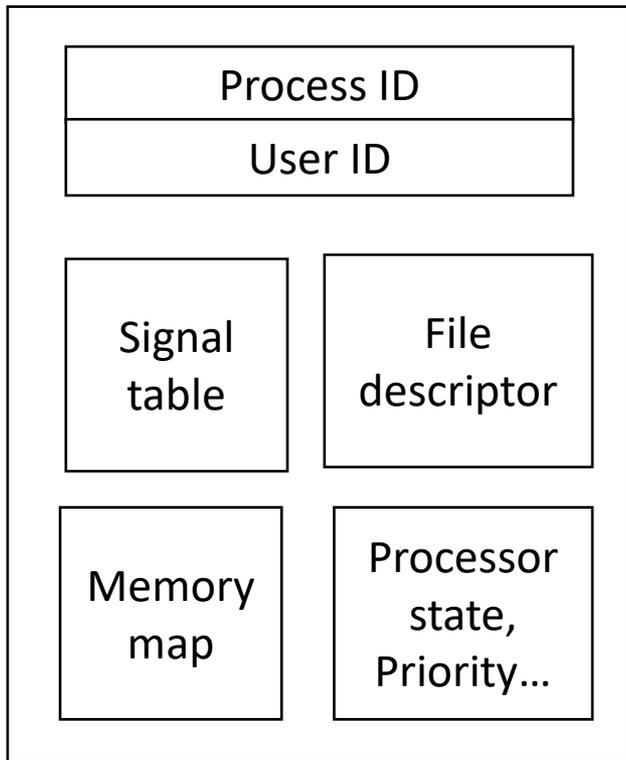
- a regime non esegue alcuna logica
- se non richiedere l'attivazione dello scheduler.
- esegue istruzioni per ridurre il consumo energetico (e.g., MONITOR, MWAIT su x86)

- Legge alcuni file di configurazione ed avvia servizi (ad esempio per accettare login remoti e/o locali)
- Anche chiamato **systemd**

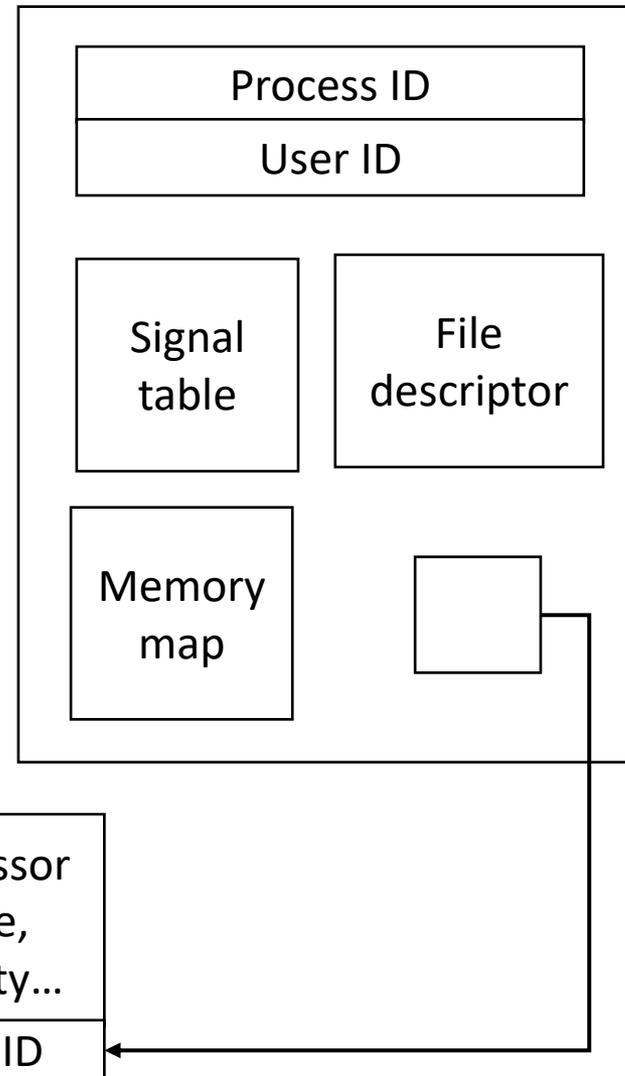
- Legge il file relativo alle password /etc/passwd

Processi e thread – UNIX (Solaris)

Traditional UNIX process structure

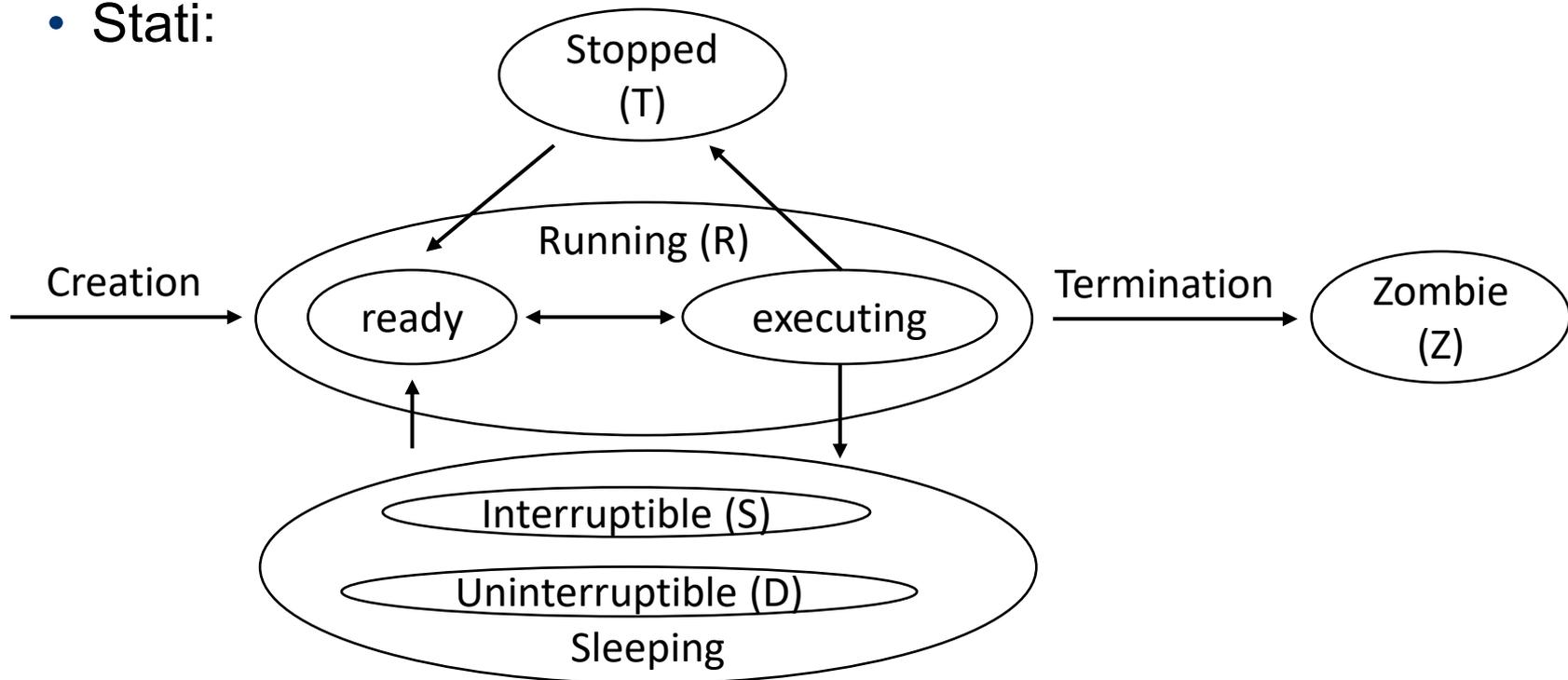


Solaris process structure



Processi e thread – UNIX (Linux)

- Non esiste una reale distinzione tra thread e processi
- Esistono i task
- Il PCB è chiamato task struct
 - <https://elixir.bootlin.com/linux/v5.14.7/source/include/linux/sched.h#L661>
- Stati:



Processi e thread – UNIX (Linux)

- Come mappano i concetti di processo e thread sui task?
 - Thread = task che **condividono** lo spazio di indirizzamento
 - Processi = task che **non condividono** lo spazio di indirizzamento
- Linux espone un servizio di sistema per creare un nuovo task e configurare gli elementi condivisi con il parent task
 - Syscall clone
- Attraverso alcuni flag è possibile definire cosa condividono i due task:
 - `CLONE_VM`: condividere lo spazio di indirizzamento
 - `CLONE_FILES`: condividere la tabella relativa alla gestione dei file
- In Linux, la libreria pthread utilizza la clone per creare un nuovo thread