II e III parte: Gestione dei Processi

- processi (cap. 3)
- Thread (cap. 4)
- Scheduling della CPU (cap. 5)
- Sincronizzazione fra processi (cap. 6 e 7)
- Deadlock (stallo dei processi) (cap. 8)

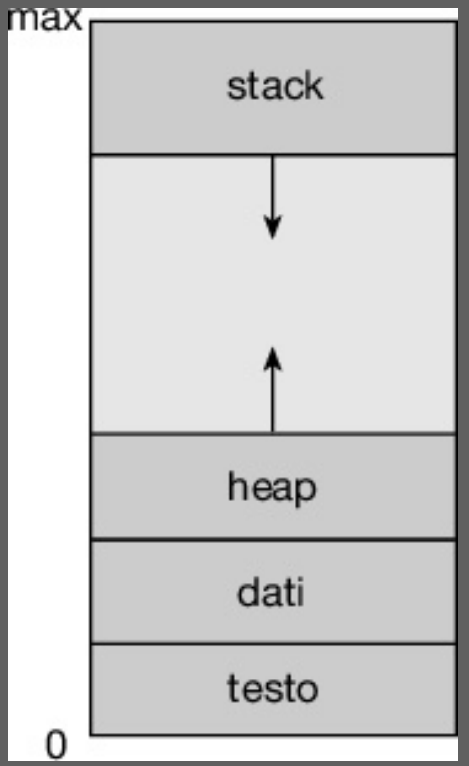
3. Processi

- Il **processo** è l'unità di lavoro del sistema operativo, perché ciò che fa un qualsiasi SO è innanzi tutto amministrare la vita dei processi che girano sul computer gestito da quel SO.

- Il sistema operativo è responsabile della **creazione** e **cancellazione** dei processi degli utenti, gestisce lo **scheduling dei processi**, fornisce dei **meccanismi di sincronizzazione e comunicazione** fra i processi

3.1.1 Concetto di Processo

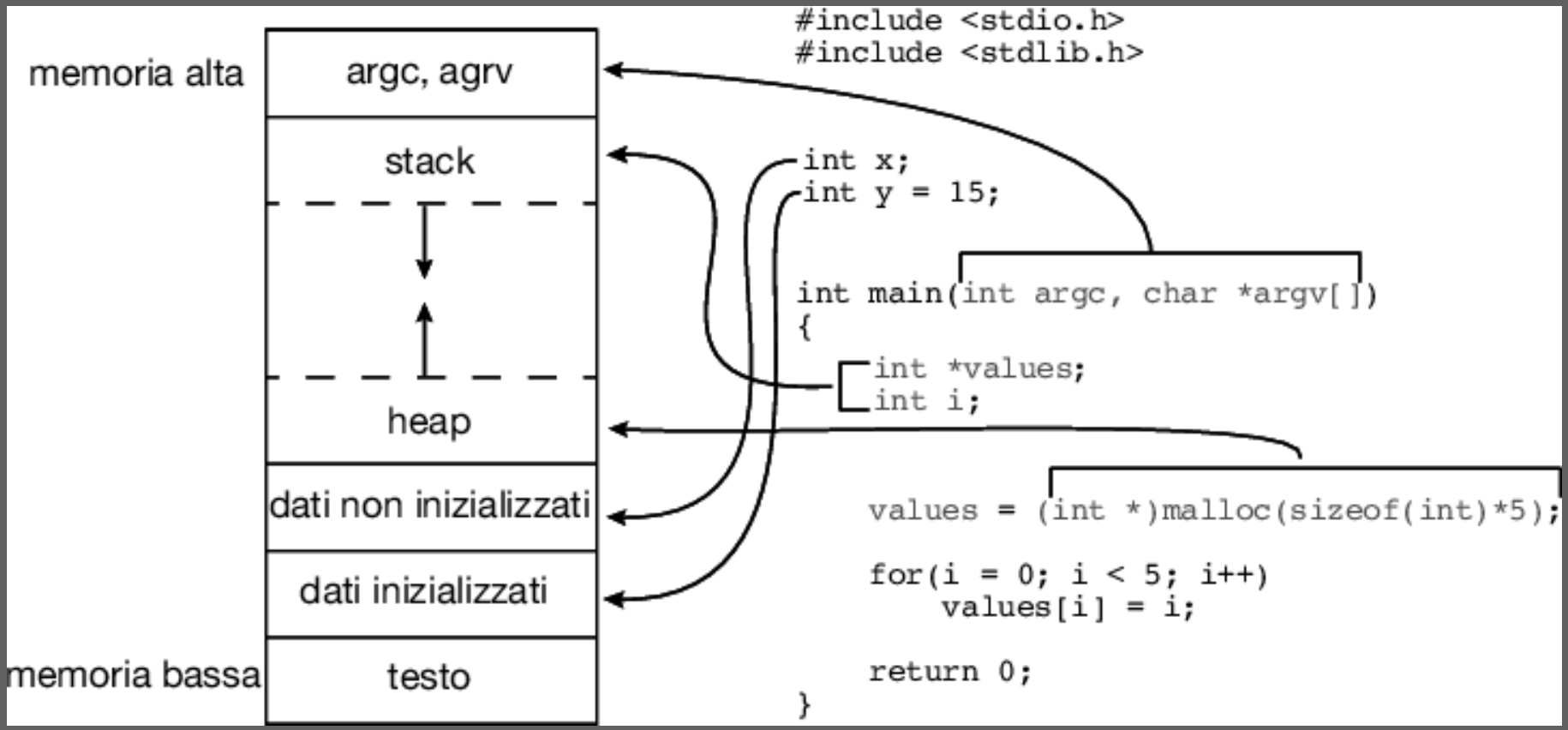
- **Processo** ≅ programma in esecuzione, tuttavia:
- Un processo è più di un semplice programma, infatti ha una struttura in memoria primaria (in un'area assegnatagli dal SO) suddivisa in più parti (fig. 3.1):
  - **Codice da eseguire** (il "testo") +
  - **dati** +
  - **stack** (per le chiamate alle procedure / metodi e il passaggio dei parametri) +
  - **heap** (la memoria dinamica)



- codice + dati + stack + heap = **immagine** del processo

3.1.1 Concetto di Processo

- Ecco ad esempio più in dettaglio la struttura in memoria primaria di un processo che esegue del codice scritto in C. (figura 3.1a)



3.1.1 Concetto di Processo

- E’ anche corretto osservare che attraverso un programma si possono definire più processi, infatti:
  - Lo stesso programma può contenere codice per generare più processi
  - Più processi possono condividere lo stesso codice
- Tuttavia, la distinzione fondamentale tra processo e programma è che **un processo è un entità attiva**, **un programma è un’entità statica**.
- Lo stesso programma lanciato due volte, può dare origine a due processi diversi (perché?)
- Attenzione: **processo, task, job** sono sinonimi

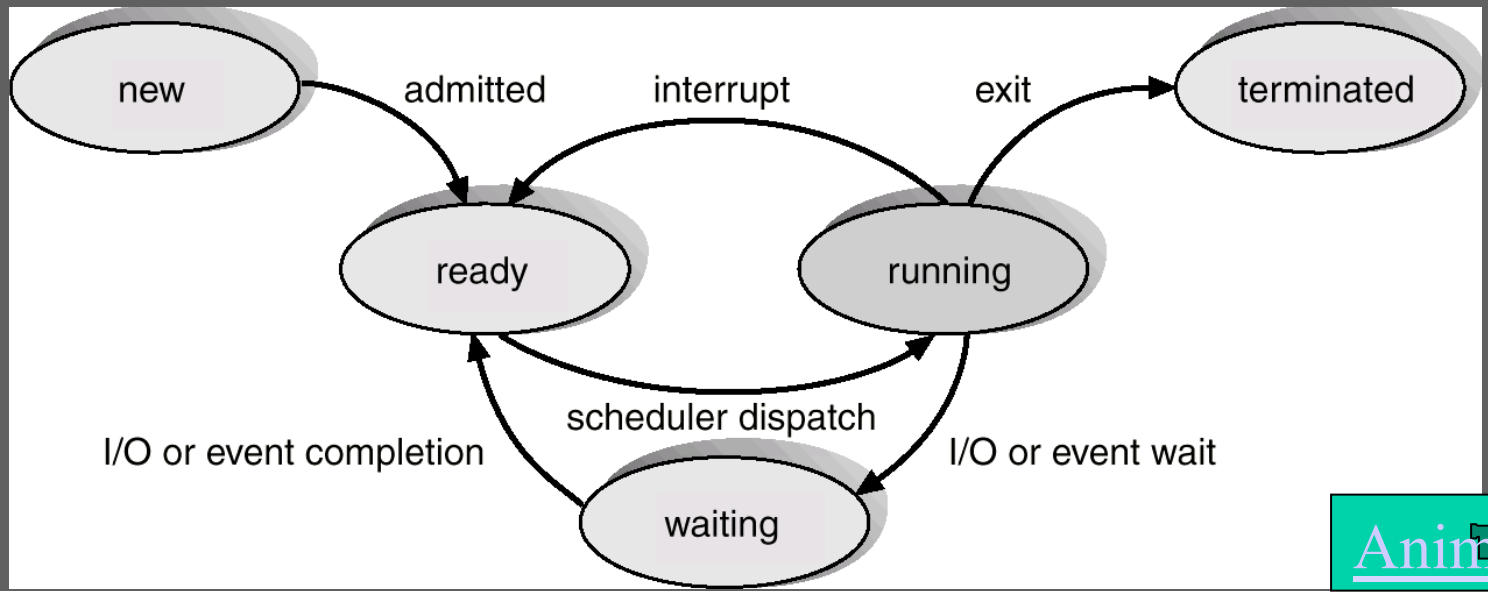
3.1.1 Concetto di Processo

- Un programma si trasforma in un processo quando viene lanciato, con il doppio click o da riga di comando.
- Un processo può anche nascere a partire da un altro processo, quando quest'ultimo esegue una opportuna system call
- In realtà, non sono due meccanismi distinti: **un processo nasce sempre a partire da un altro processo, e sempre sotto il controllo e con l'intervento del SO** (con un'unica eccezione, all'accensione del sistema).

3.1.2 Stato del processo

- Da quanto nasce a quando termina, un processo *passa la sua esistenza* muovendosi tra un insieme di stati, e in ogni istante ogni processo si trova in un ben determinato **stato**.

- Lo stato di un processo evolve a causa del codice eseguito e dell'azione del SO sui processi presenti nel sistema in un dato istante, secondo quanto illustrato dal **diagramma di transizione degli stati di un processo** (fig. 3.2).



Animazione

3.1.2 Stato del processo

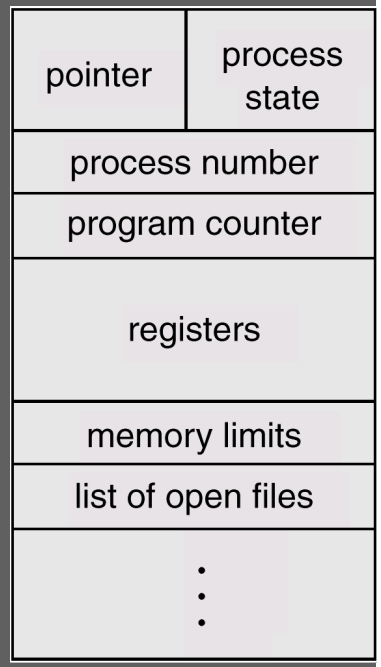
- Gli stati in cui può trovarsi un processo sono:
- **New**: il processo è appena nato nel sistema, e il SO sta allestendo le stutture dati necessari per amministrarlo
- **Ready (to Run)**: il processo è pronto per entrare in esecuzione, quando sarà il suo turno
- **Running**: la CPU sta eseguendo codice del processo
- **Waiting**: il processo ha lasciato la CPU e attende il completamento di un evento
- **Terminated**: il processo è terminato, il SO sta recuperando le strutture dati e le aree di memoria liberate.

3.1.2 Stato del processo

- Il diagramma di transizione degli stati di un processo sintetizza una serie di possibili varianti del modo i cui un SO può amministrare la vita dei processi di un computer.
- Infatti, nel caso reale lo sviluppatore del SO dovrà decidere quali scelte implementative fare quando (ad esempio):
  - Mentre Px è running, **un processo** entra nello stato Ready to Run
  - Mentre Px e running, **un processo più importante** di Px entra nello stato Ready to Run.
  - Mentre Px è in stato Ready to Run, un processo più importante di Px entra nello stato Ready to Run
- Domanda: che significato ha eliminare l'arco "interrupt"?

3.1.3 Process Control Block (PCB)

- Per ogni processo il SO mantiene una struttura dati, il **Process Control Block**, che contiene le informazioni necessarie ad amministrare la vita di quel processo, tra cui: (fig. 3.3):
  - il numero del processo (o “Process ID”)
  - lo stato del processo (ready, waiting,...)
  - il contenuto dei registri della CPU salvati nel momento in cui il processo è stato sospeso (valori significativi solo quando il processo non è running)
  - gli indirizzi in RAM delle aree dati e codice del processo
  - i file e gli altri dispositivi di I/O correntemente in uso dal processo
  - Le informazioni per lo scheduling della CPU (ad esempio, quanta CPU ha usato fino a quel momento il processo).



3.2 Scheduling dei Processi

- Conosciamo già i seguenti due concetti:
  - **Multiprogrammazione:** avere sempre un processo running ⇒ massima utilizzazione della CPU
  - **Time Sharing:** distribuire l'uso della CPU fra i processi a intervalli prefissati. Così più utenti possono usare "allo stesso tempo" la macchina, e i loro processi procedono in "parallelo" (notate sempre le virgolette)

- per implementare questi due concetti, il SO deve decidere periodicamente quale sarà il prossimo processo a cui assegnare la CPU. Questa operazione è detta **Scheduling**

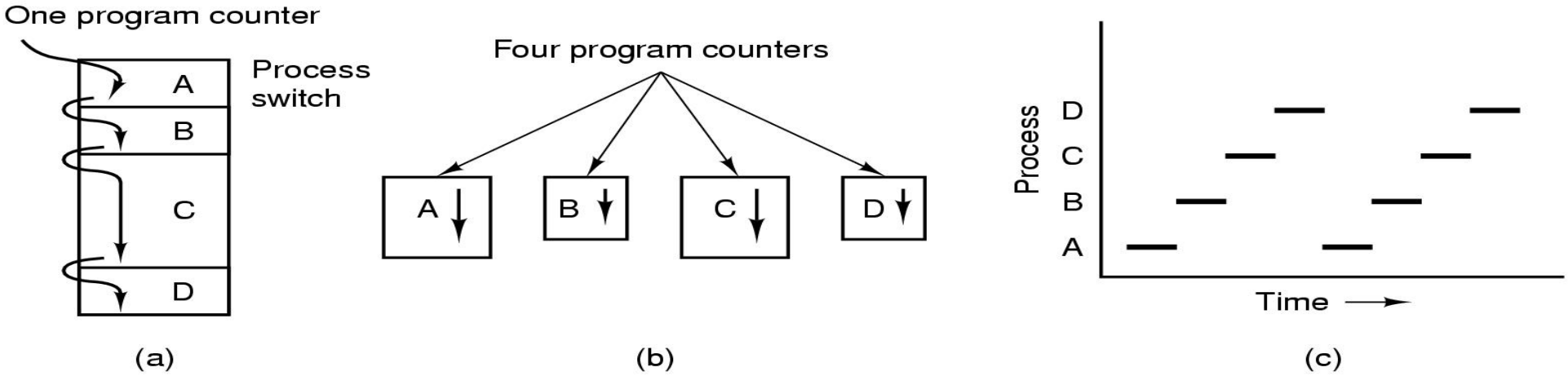
3.2 Scheduling dei Processi

- In un sistema time sharing single-core, attraverso lo scheduling, ogni processo “crede” di avere a disposizione una macchina “tutta per se”...
- Ci pensa il SO a farglielo credere, commutando la CPU fra i processi (ma succede la stessa cosa in un sistema ad n-core se ci sono più di n processi attivi contemporaneamente)

ciò che succede in realtà

ciò che vede ogni singolo processo

il risultato finale



3.2.3 il cambio di contesto (context switch)

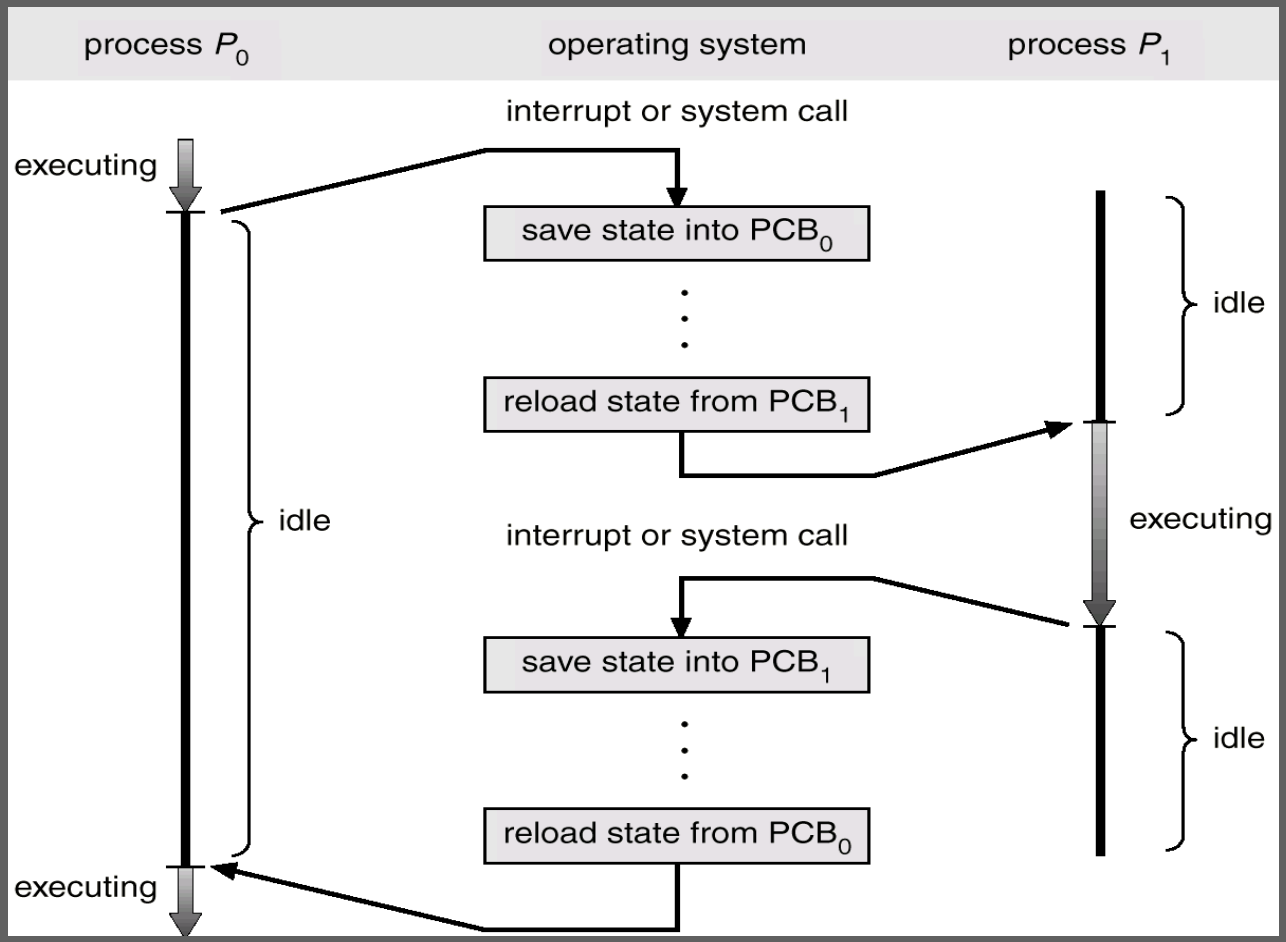
- Per commutare la CPU tra due processi il SO deve:
  1. Riprendere il controllo della CPU (ad esempio attraverso il meccanismo del Timer visto nel capitolo 1)
  2. Con l'aiuto dell'hardware della CPU, salvare lo stato corrente della computazione del processo che lascia la CPU, ossia, copiare il valore del PC e degli altri registri nel suo PCB
  3. Scrivere nel PC e nei registri della CPU i valori relativi contenuti nel PCB del processo utente scelto per entrare in esecuzione
- Questa operazione prende il nome di: "**cambio di contesto**", o "**context switch**"
- notate che, tecnicamente, anche il punto 1 è già di per se un context switch

3.2.3 il cambio di contesto (context switch)

- Il context switch richiede tempo, perché il **contesto di un processo** è fatto di molte informazioni (alcune le vedremo quando parleremo della gestione della memoria): in questa frazione di tempo la macchina non è usata da nessun processo utente
- In generale **il context switch costa da qualche centinaio di nanosecondi a qualche microsecondo**
- questo tempo "sprecato" è un **overhead** (sovraccarico) per il sistema, e ne influenza le prestazioni.
- (nei prossimi capitoli scopriremo molte altre forme di overhead introdotte dal SO)

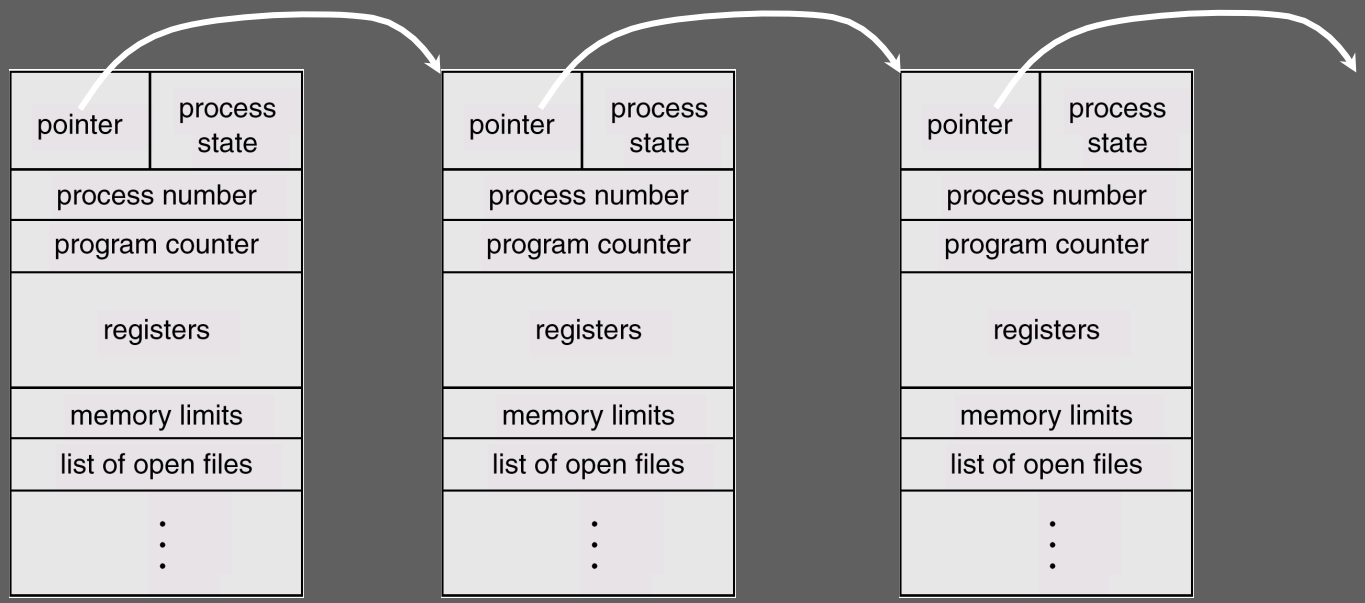
3.2.3 il cambio di contesto (context switch)

- Fasi dello scheduling tra un processo e un altro (fig. 3.6):



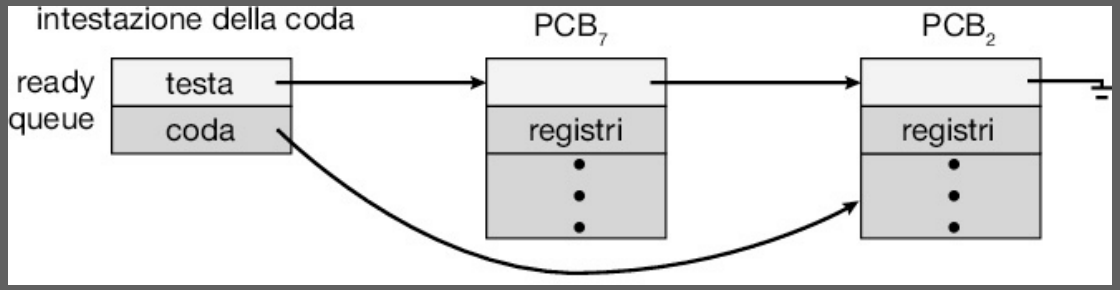
3.2.1 Code di scheduling

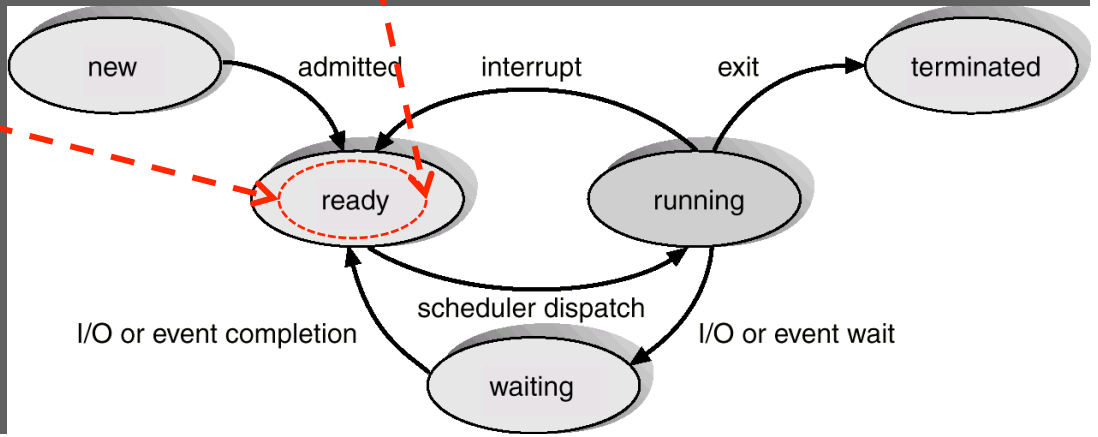
- Per amministrare la vita di ciascun processo, il SO gestisce varie **code di processi**. Ogni processo "si trova" in una di queste code, a seconda di cosa sta facendo.
- Una coda di processi non è altro che una lista di PCB, mantenuta in una delle aree di memoria primaria che il SO riserva a se stesso



3.2.1 Code di scheduling: coda di ready

- La coda dei processi più importante è la **coda di ready**, o **ready queue (RQ):** l'insieme dei processi **ready to run**.
- Dunque, la RQ coincide con lo stato **ready** nel diagramma di transizione degli stati di un processo (fig. 3.4a)



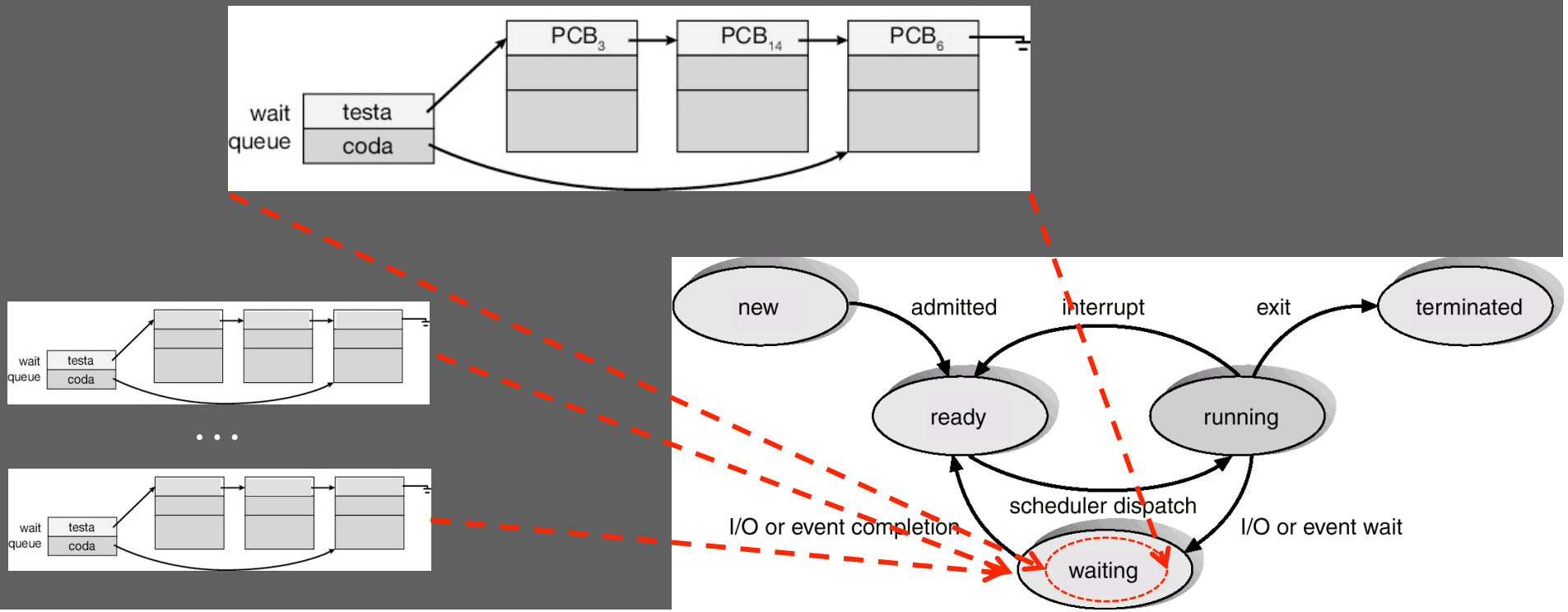


3.2.1 Code di scheduling

- Quando un processo rilascia la CPU, ma non termina e non torna in ready queue, vuol dire che si è messo in attesa di "qualcosa", e il SO lo "parcheggia" in una tra *n* possibili code, che possiamo dividere in due grandi categorie:
- **device queues:** Code dei processi in attesa per l'uso di un dispositivo di I/O. Una coda per ciascun dispositivo.
- **Code di waiting**: code di processi in attesa che si verifichi un certo evento. Una coda per ciascun evento (ci torneremo nella sezione 6.6)
- Dunque, durante la loro vita, i processi si spostano (meglio: il SO sposta i corrispondenti PCB) tra le varie code

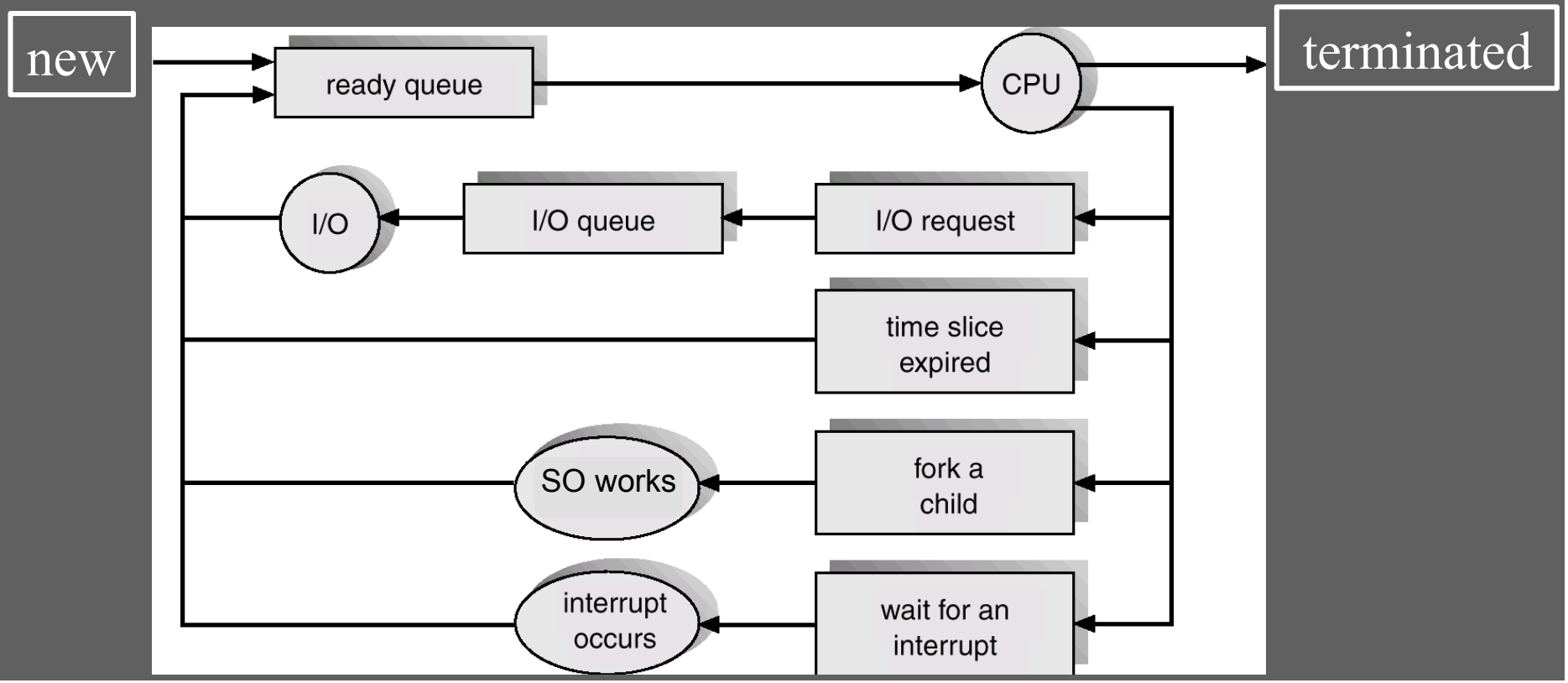
3.2.1 Code di scheduling

- Quindi, lo stato **waiting** nel diagramma di transizione degli stati di un processo **corrisponde a più di code di attesa**:
  - del completamento di una operazione di I/O (device queues)
  - del verificarsi di un evento atteso (waiting queues) (fig. 3.4b)



3.2.1 Code di scheduling

- Possiamo riformulare il diagramma di transizione degli stati di un processo come un **diagramma di accodamento** in cui i processi si muovono fra le varie code (fig. 3.4 modificata: il caso *wait for an interrupt* lo vediamo nel capitolo 6)



3.2.2 CPU Scheduler

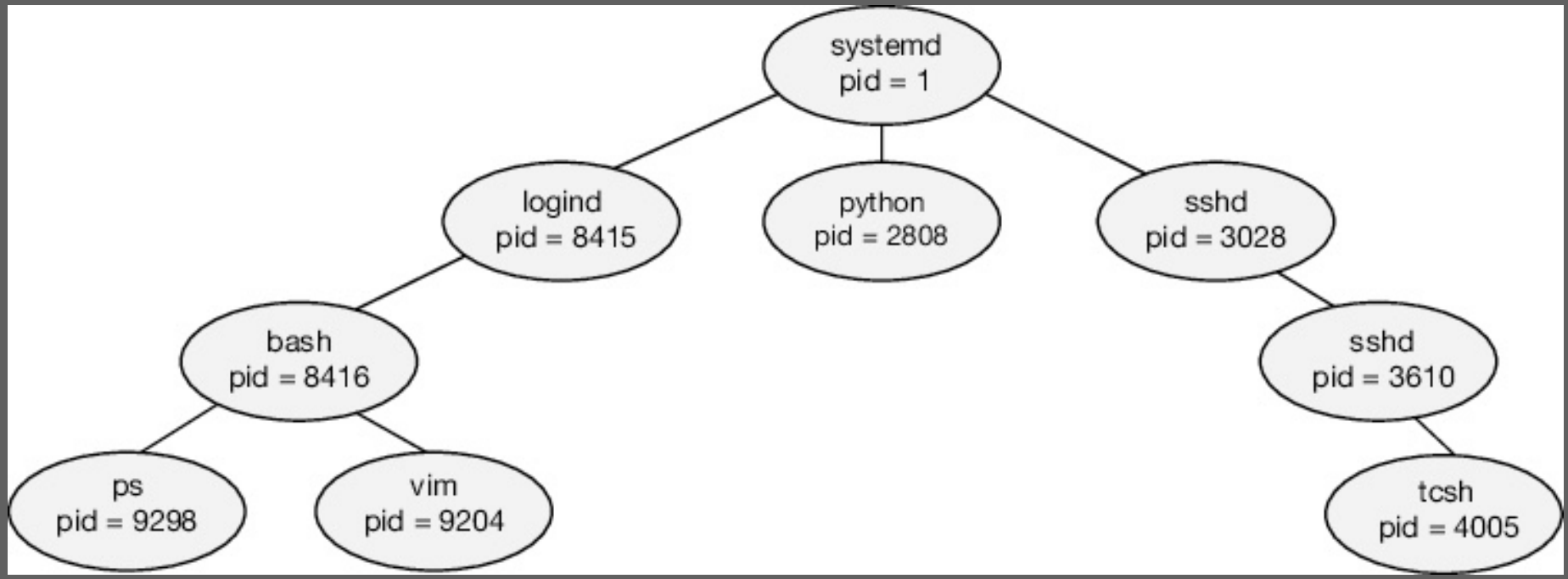
- Un componente del Sistema Operativo detto **(CPU) Scheduler** sceglie uno dei processi in coda di ready e lo manda in esecuzione
- Il CPU scheduler si attiva ogni 50/100 millisec, ed è quello che produce l'effetto *time sharing*
- Per limitare l'overhead, deve essere molto veloce.
- Il CPU scheduler è anche chiamato **Short Term Scheduler.**
- Quali criteri di scelta usa, e quando interviene? Lo vedremo nel capitolo 5.

3.3 Operazioni sui processi

- la creazione di un processo è di gran lunga l'operazione più importante all'interno di qualsiasi sistema operativo
- Ogni SO possiede almeno una System Call di creazione processi, e ogni processo è creato a partire da un altro processo usando la system call relativa
  (eccetto il processo che nasce all'accensione del sistema)
- Il processo "creatore" è detto **processo padre (o parent)**
- Il processo creato è detto **processo figlio (o child)**
- Poichè ogni processo può a sua volta creare altri processi, nel sistema va formandosi un "**albero di processi**"

3.3.1 Creazione di un processo

- Un esempio di albero di processi in Linux (fig. 3.7):



3.3.1 Creazione di un processo

- Quando nasce un nuovo processo, il SO:
  - gli assegna un **identificatore del processo** unico, un numero intero detto **pid** (**process-id**). E' il modo con cui il SO conosce e si riferisce a quel processo.
  - recupera dall'hard disk il codice da eseguire e lo porta in RAM (a meno che il codice non sia già in RAM)
  - alloca un nuovo PCB e lo inizializza con le informazioni relative al nuovo processo
  - inserice il PCB in coda di ready.

3.3.1 Creazione di un processo

- Nello scrivere il codice della system call che genera un nuovo processo, il progettista del SO che userà quella system call deve fare alcune scelte implementative:

1. **Che cosa fa il processo padre quando ha generato un processo figlio?**
   - prosegue la sua esecuzione in modo concorrente all'esecuzione del processo figlio, oppure:
   - si ferma, in attesa del completamento dell'esecuzione del processo figlio.

3.3.1 Creazione di un processo

2. Quale codice esegue il processo figlio?

- al processo figlio viene data una copia del codice e dei dati in uso al processo padre, oppure:
- al processo figlio viene dato un nuovo programma, con eventualmente nuovi dati.

- In realtà, di solito, le system call dei moderni SO permettono di implementare una qualsiasi combinazione delle quattro modalità elencate.

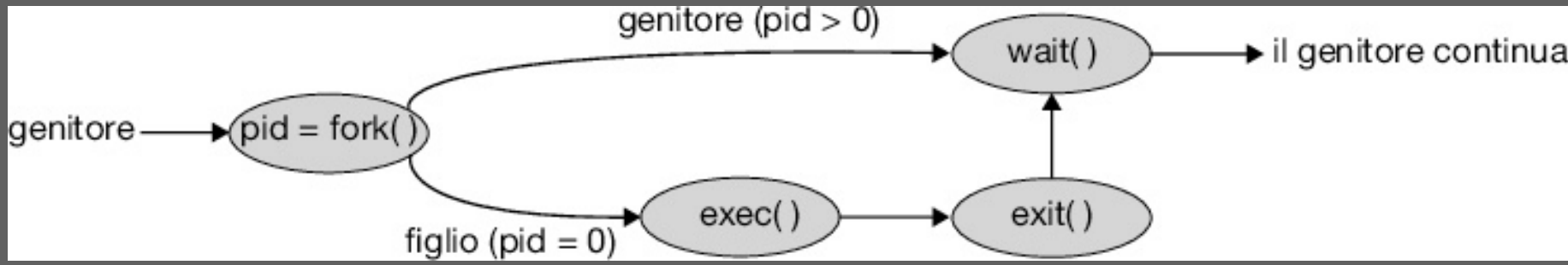
- (prossimo lucido: fig. 3.8 modificata)

3.3.1 creazione di un processo in Unix

```
int main(){     /* fig. 3.8 modificata */
pid_t pid, childpid;
pid = fork(); /* genera un nuovo processo */
printf("questa la stampano padre e figlio");
    if (pid == 0)
    { /* processo figlio */
    printf("processo figlio");
    execlp("/bin/ls", "ls",NULL);}
else {/* processo padre */
printf("sono il padre, aspetto il figlio");
childpid = wait(NULL);
printf("il processo figlio è terminato");
exit(0);}}
```

3.3.1 Creazione di un processo

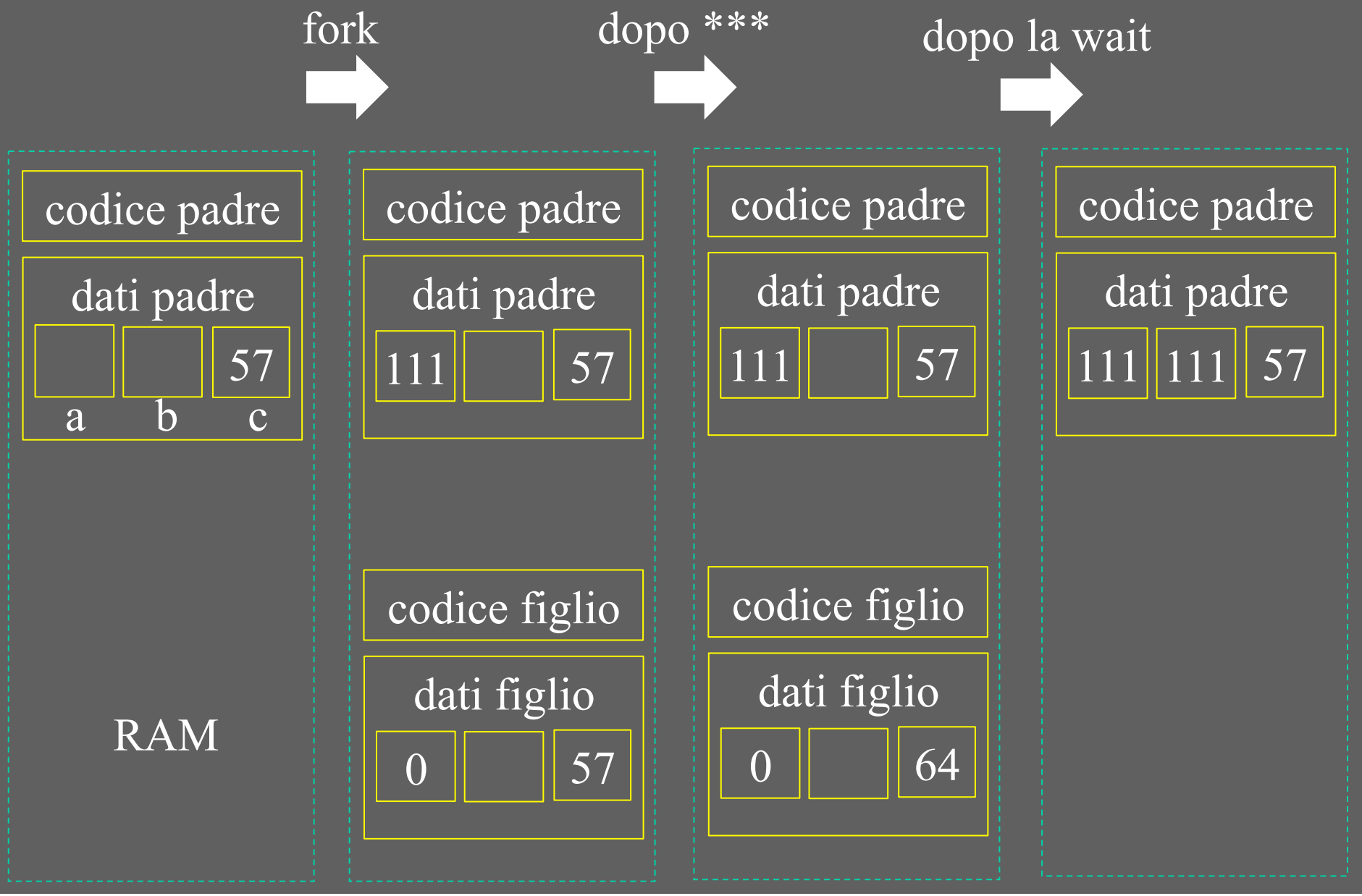
- Uno schema del funzionamento del codice del lucido precedente (fig. 3.9).
- Come cambia lo schema se il processo padre non esegue la wait?



3.3.1 creazione di un processo in Unix

```
int main(){     /* un altro esempio */
int a, b, c = 57;
a = fork();  // genera un nuovo processo
printf("questa la stampano padre e figlio");
if (a == 0)
     { /* processo figlio */
     c = 64;     // ***
     printf(“c = %d”,c);}
else {/* processo padre */
      printf(“c = %d”,c);
      b = wait(NULL);
      printf(”b = %d”,b);}
}
```

3.3.1 creazione di un processo in Unix



3.3.1 Osservazioni

- In realtà solo lo spazio dei dati del processo padre viene duplicato per il figlio. Il codice viene condiviso (vedremo come il SO faccia funzionare tutto ciò nel capitolo 9)
- La ragione fondamentale è che è inutile duplicare la stessa informazione due (o più) volte, si spreca spazio in RAM.
- Il fatto che lo spazio dei dati del padre sia invece davvero duplicato per il figlio implica che:

1. La modifica di una variabile da parte di uno dei due processi non è vista dall'altro processo
2. Se uno dei due processi dichiara una nuova variabile dopo la fork l'altro processo non la vede nemmeno

3.3.1 Osservazioni

- Un padre può chiamare la fork più volte: il valore restituito da ogni chiamata di fork al padre (il PID del figlio appena creato) può essere usato per tenere traccia di quali sono i suoi processi figli.

- La fork restituisce invece il valore 0 ad un figlio appena creato proprio per poterlo distinguere dal padre.

- Se la fork restituisse al processo appena creato un valore maggiore di 0 (ad esempio il suo PID) come potremmo implementare il meccanismo che abbiamo visto nella figura 3.8 per far fare qualcosa di diverso a padre e figlio?

3.3.2 Terminazione di un Processo

- Un processo termina dopo l'esecuzione dell'ultima istruzione del suo codice
- Spesso è anche disponibile una opportuna system call, di solito chiamata **exit()**
- Dati di output del processo terminato (in particolare il suo pid) possono essere inviati al padre, se questo è in attesa per la terminazione del figlio
- Il SO provvede a rimuovere le risorse che erano state allocate al processo terminato, in particolare recupera la porzione di RAM usata dal processo e chiude eventuali file aperti

3.3.2 Terminazione di un Processo

- Di solito, un processo può anche **uccidere** esplicitamente un altro processo appartenente allo stesso utente con una opportuna system call **kill** (in unix) o **TerminateProcess** (in Win32)
- In alcuni casi, il sistema operativo stesso può decidere di uccidere un processo utente se:
  - il processo sta usando troppe risorse
  - il suo processo padre è morto. In questo caso si verifica una terminazione a cascata (*attenzione, questo non è il caso dello Unix o di Windows*).

3.4 Comunicazione tra processi

- I processi attivi in un sistema concorrono all'uso delle sue risorse. Due o più processi sono poi fra loro:
- **indipendenti**: se non si influenzano esplicitamente l'un l'altro durante la loro esecuzione.
- **cooperanti:** se si influenzano l'un l'altro, allo scopo di:
  - scambiarsi informazioni
  - portare avanti una elaborazione che è stata suddivisa tra i vari processi per ragioni di efficienza e/o di modularità nella progettazione dell'applicazione.

- La presenza di processi cooperanti richiede che il SO metta a disposizione meccanismi di **comunicazione** e **sincronizzazione** (ne riparleremo nel cap. 6)

3.5. Esempio: il problema del Produttore - Consumatore

- Un classico problema di processi cooperanti:
- un processo ***produttore*** produce informazioni che sono consumate da un processo ***consumatore***; le informazioni sono poste in un ***buffer*** di dimensione limitata.
- Un esempio reale di questo tipo di situazione è quella in cui un processo compilatore (il *produttore*) compila dei moduli producendo del codice assembler.
- I moduli in assembler devono essere tradotti in linguaggio macchina dall'assemblatore (il *consumatore*)
- L'assemblatore potrebbe poi fare da *produttore* per un eventuale modulo che carica in RAM il codice.

3.5. Produttore - Consumatore

- #define SIZE 10
- typedef struct {...} item;
- item buffer [SIZE]; (shared array)
- int in = 0, out = 0; (shared variables [0..SIZE-1])

- Buffer circolare di SIZE **item** con due puntatori **in** e **out**
  - **valore corrente di in**: prossimo item libero;
  - **valore corrente di out**: primo item pieno;
  - **condizione di buffer vuoto**: in=out;
  - **condizione di buffer pieno**: in+1 mod SIZE = out

- Notate: la soluzione usa solo SIZE-1 elementi...

3.5. Produttore - Consumatore

PRODUTTORE:

```
item nextp;
repeat
        <produci un nuovo item in nextp>
      while (in+1 mod SIZE== out) do no_op; /* buffer full */
       buffer[in] = nextp;
       in = in+1 mod SIZE;
until false;
```

3.5. Produttore - Consumatore

CONSUMATORE:

```
item nextc;
repeat
        while (in == out) do no_op;  /*buffer empty */
        nextc = buffer[out];
        out = out+1 mod SIZE;
        <consuma l'item in nextc>
until false;
```

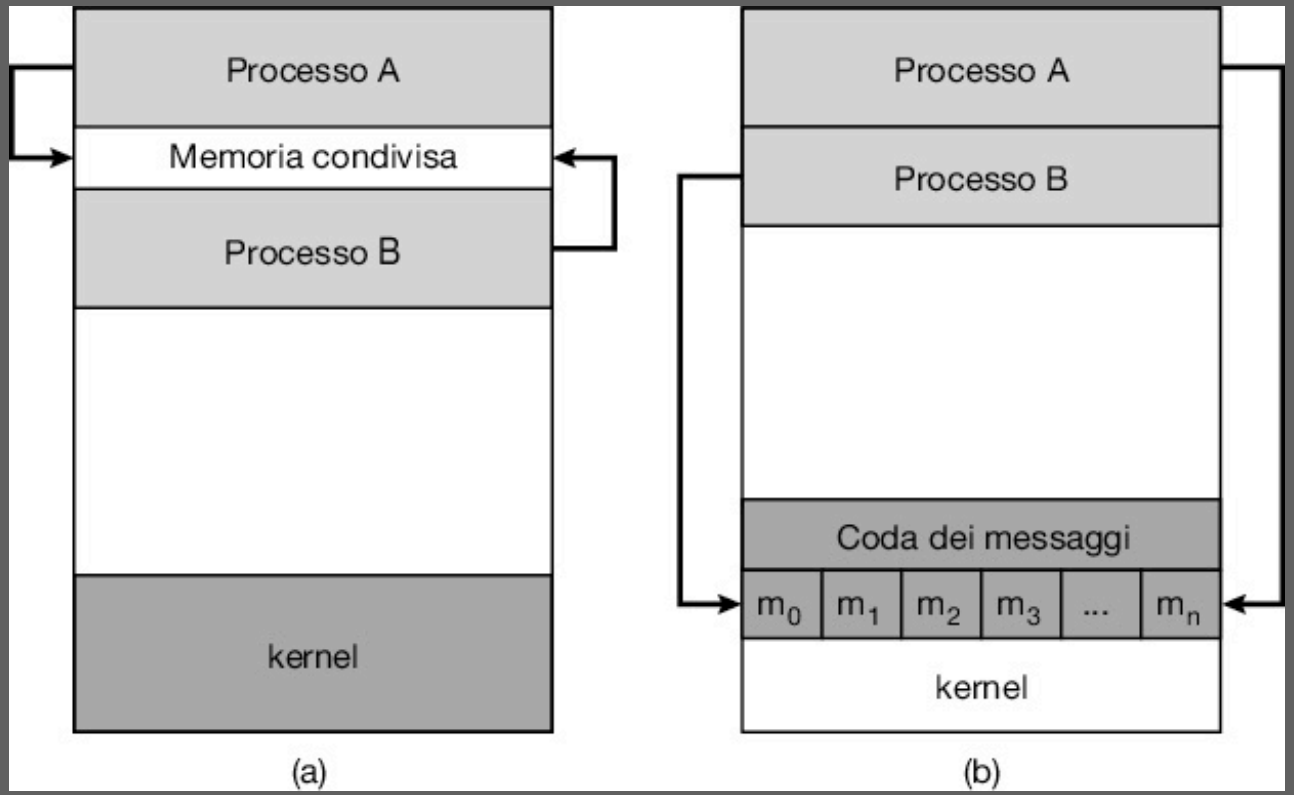
3.5 Inter-Process Communication (IPC)

- Ma come fanno due processi a scambiarsi le informazioni necessarie alla cooperazione?
- Il SO mette a disposizione dei meccanismi di **Inter-Process Communication (IPC)**
- opportune system call che permettono a due (o più) processi di:
  - scambiarsi dei **messaggi** o di
  - usare la stessa area di memoria primaria in cui scrivono e leggono: la **memoria condivisa**

3.5 Inter-Process Communication (IPC)

- I due meccanismi fondamentali dell'IPC sono quindi la memoria condivisa e lo scambio di messaggi (fig. 3.11)

memoria condivisa scambio di messaggi



3.5 Inter-Process Communication (IPC)

- In entrambi i casi il SO mette a disposizione delle opportune system call. Ad esempio, per lo scambio di messaggi, saranno disponibili delle system call del tipo:

  – *line* = msgget*();*
  – send(*message,line,process-id*)
  – receive(*message,line,process-id*)

- (ATT: i parametri sono solo indicativi, ogni specifica implementazione avrà il proprio insieme di argomenti)

3.5 Inter-Process Communication (IPC)

- E saranno necessarie alcune scelte implementative. Nel caso dei **messaggi** (si parla di solito di *code di messaggi*):
  - Una coda può essere usata da più di due processi?
  - Quanti messaggi può ospitare al massimo una coda?
  - Cosa deve fare un processo ricevente se non ci sono messaggi, o un processo trasmittente se la linea è piena?
  - Si possono trasmettere messaggi di lunghezza variabile?

- Nel caso della **memoria condivisa**:
  - può avere dimensione variabile?
  - quali processi hanno diritto di usarla?
  - che succede se la memoria condivisa viene rimossa?

Per chi vuole approfondire

- Sezione 3.7.4: Pipe
- Sezione 3.8: Comunicazione nei sistemi client-server: socket ed RPC (Remote Procedure Call)