I Processi nel SO UNIX

Processi UNIX

UNIX è un sistema operativo *multiprogrammato* a *divisione di tempo*:

unità di computazione è il processo

Caratteristiche del processo UNIX:

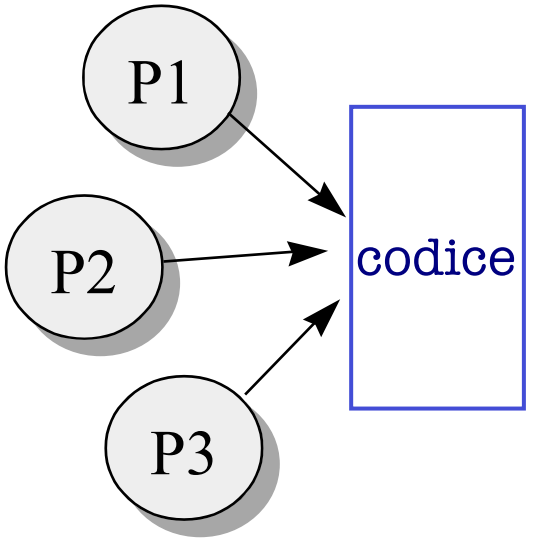
- **processo pesante** con codice ***rientrante***
  - ***dati non condivisi***
  - ***codice condivisibile*** con altri processi

Modello di processo in UNIX

Ogni processo ha un proprio spazio di indirizzamento ***completamente locale e non condiviso:***

Modello ad Ambiente Locale

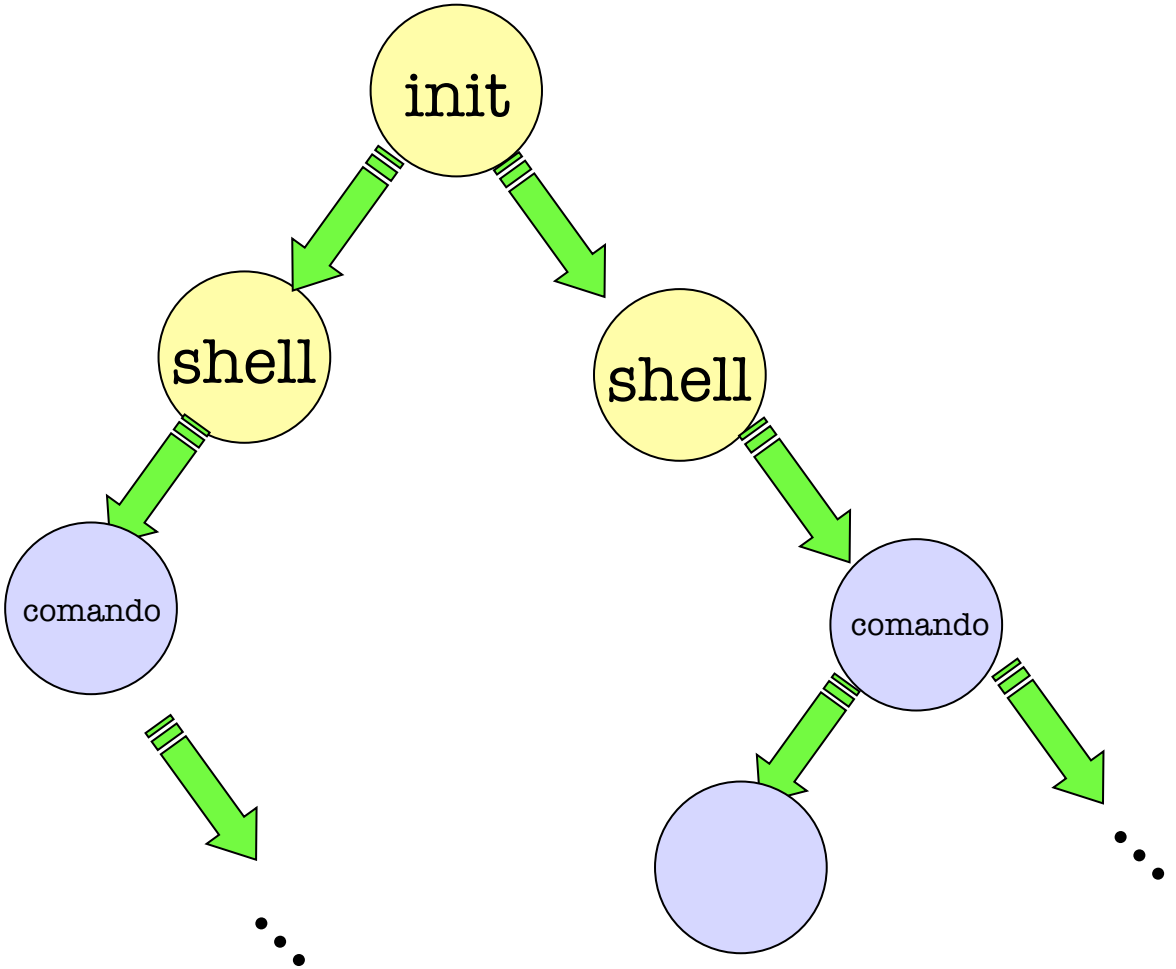
(o a scambio di messaggi)



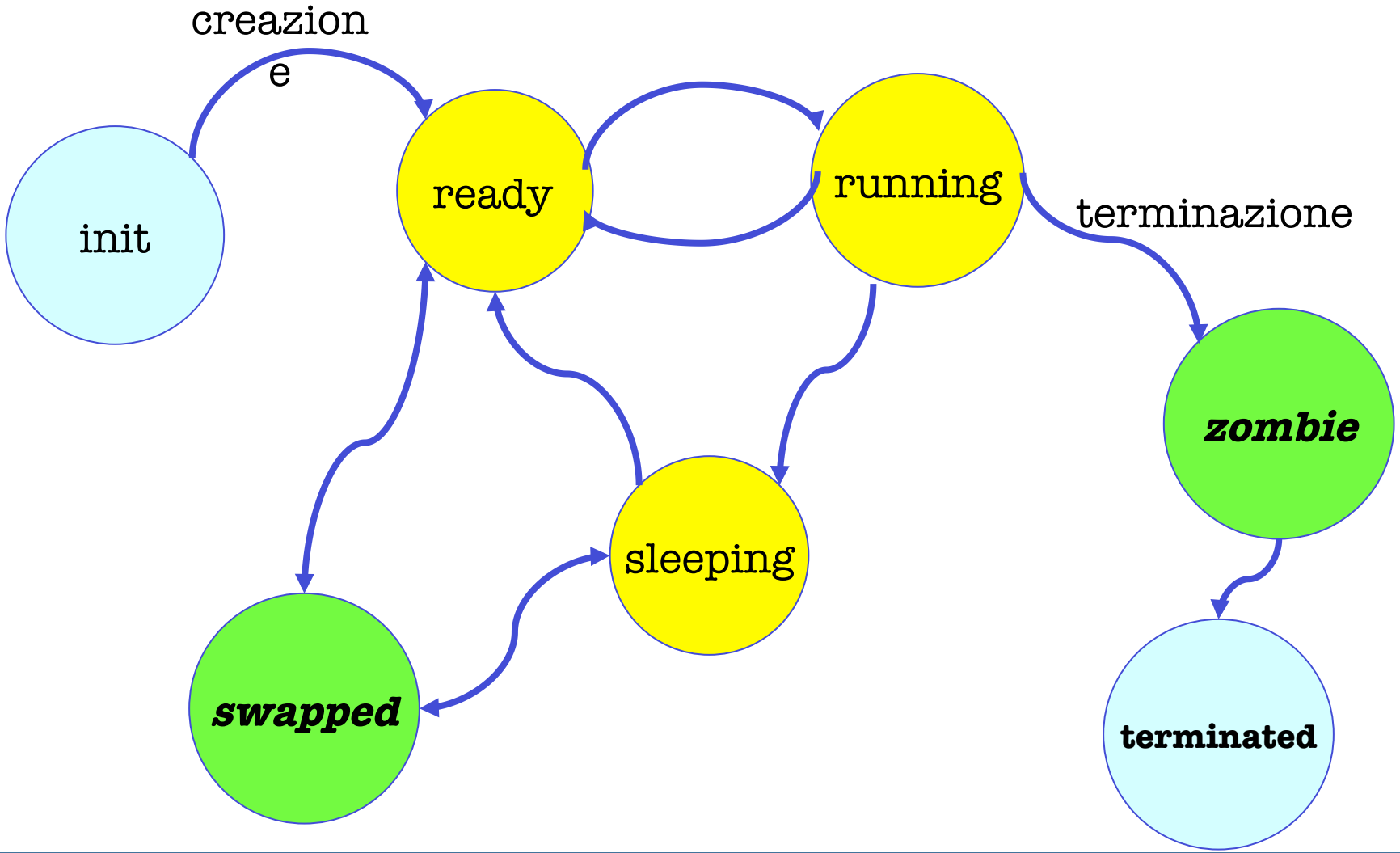
Eccezioni:

- il codice può essere condiviso (codice *rientrante*)

Gerarchie di processi UNIX



Stati di un processo UNIX



Stati di un processo UNIX

Come nel caso generale

- Init: ***caricamento in memoria*** del processo e inizializzazione delle strutture dati del SO
- Ready: processo ***pronto***
- Running: processo ***usa la CPU***
- *Sleeping*: processo è ***sospeso in attesa di un evento***
- Terminated: ***deallocazione*** del processo dalla memoria

In aggiunta

- ***Zombie***: processo è terminato, ma è ***in attesa che il padre ne rilevi lo stato di terminazione***
- ***Swapped***: processo (o parte di esso) è ***temporaneamente trasferito in memoria secondaria***

Processi swapped

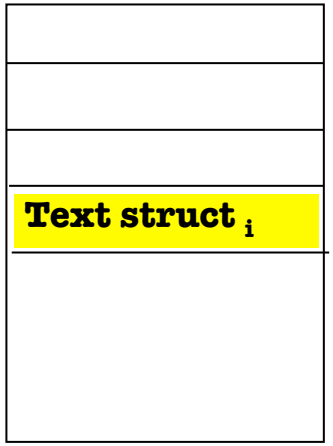
Lo scheduler a medio termine (swapper) gestisce i trasferimenti dei processi

- **da memoria centrale a secondaria (dispositivo di swap): *swap out***
  - ✓ si applica preferibilmente ai ***processi bloccati (sleeping)***, prendendo in considerazione tempo di attesa, di permanenza in memoria e dimensione del processo (preferibilmente i ***processi più lunghi***)
- **da memoria secondaria a centrale: *swap in***
  - ✓ si applica preferibilmente ai ***processi più corti***

Rappresentazione dei processi UNIX

Il codice dei processi è rientrante: più processi possono condividere lo stesso codice (*text*)

- ✓ **codice e dati sono separati (modello a *codice puro*)**
- ✓ SO gestisce una ***struttura dati globale*** in cui sono contenuti i ***puntatori ai codici utilizzati***, eventualmente condivisi) dai processi: ***text table***
- ✓ L'elemento della text table si chiama ***text structure*** e contiene:
  - » **puntatore al codice** (se il processo è swapped, riferimento a memoria secondaria)
  - » numero dei processi che lo condividono



Text table:

1 elemento ∀ segmento
di codice utilizzato

Rappresentazione dei processi UNIX

Process control block: il descrittore del processo in UNIX è rappresentato da 2 strutture dati:

- ***Process structure:*** informazioni necessarie ***al sistema per la gestione del processo*** (a prescindere dallo stato del processo)
- ***User structure:*** informazioni necessarie solo se il processo è ***residente in memoria centrale***

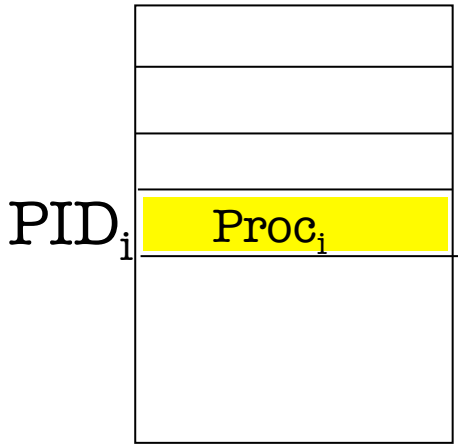
Process structure

Process structure contiene, tra le altre, le seguenti info:

- Un valore intero che rappresenta l'identificatore unico del processo (**Process IDentifier, PID**)
- Lo **stato *del processo***
- puntatori alle varie **aree dati e stack** associati al processo
- riferimento indiretto al **codice**: la process structure contiene il riferimento all'elemento della text table (text structure) associato al codice del processo
- informazioni di **scheduling** (es: priorità, tempo di CPU, ...)
- riferimento al **processo padre** (PID del padre)
- info relative alla **gestione di segnali** (es. segnali inviati ma non ancora gestiti)
- Puntatore al processo successivo nella **coda** di processi (ad esempio, ready queue)
- puntatore alla ***user structure***

Rappresentazione dei processi UNIX

- Tutte le Process structure sono organizzate in un vettore: ***Process table***



Process table: 1 elemento per ogni processo

User structure

Contiene le informazioni necessarie al SO per la gestione del processo, **quando è residente**:

- copia dei **registri** di CPU
- informazioni sulle risorse allocate (ad es. **file aperti**)
- informazioni sulla gestione di **segnali** (puntatori a *handler*, ...)
- **ambiente** del processo: *direttorio corrente, utente, gruppo, argc/argv, path, ...*

Immagine di un processo UNIX

Immagine di un processo è l'insieme di aree di memoria e strutture dati associate al processo

- Non tutta l'immagine è accessibile in modo user:
  - parte di **kernel**
  - parte di **utente**

- Ogni processo può essere soggetto a swapping: non tutta l'immagine può essere trasferita in memoria
  - parte ***swappable***
  - parte residente o ***non swappable***

Immagine di un processo UNIX

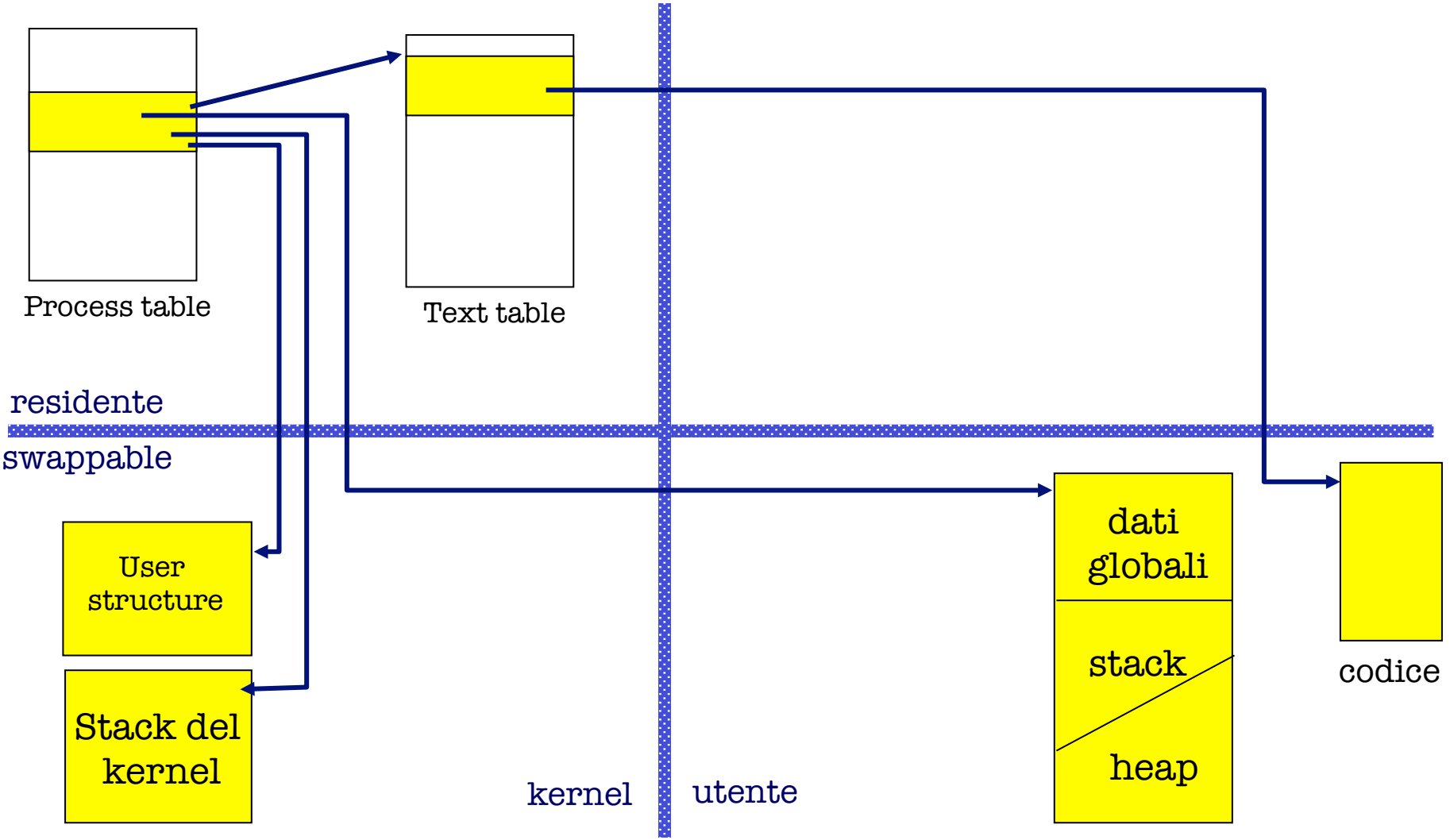


Immagine di un processo UNIX

Componenti

- **process structure**: è ***l'elemento della process table associato al processo*** (kernel, residente)
- **user structure**: struttura dati contenente i dati necessari al ***kernel per la gestione del processo quando è residente*** (kernel, swappable)
- **text**: ***elemento della text table associato al codice*** del processo (kernel, residente)
- area **dati globali di utente**: contiene le ***variabili globali*** del programma eseguito dal processo (user, swappable)
- **stack, heap** di utente: ***aree dinamiche*** associate al programma eseguito (user, swappable)
- **stack del kernel**: ***stack di sistema*** associato al processo per le chiamate a ***system call*** (kernel, swappable)

PCB = process structure + user structure

- **Process structure (residente)**: mantiene le informazioni necessarie per la gestione del processo, anche se questo è ***swapped*** in memoria secondaria
- **User structure**: il suo contenuto è necessario **solo in caso di esecuzione** del processo (***stato running***); se il processo è soggetto a swapping, anche ***la user structure può essere trasferita in memoria secondaria***

➡ **Process structure:** contiene il riferimento a **user structure** (in memoria centrale o secondaria se swapped)

System call per la gestione di processi

Chiamate di sistema per

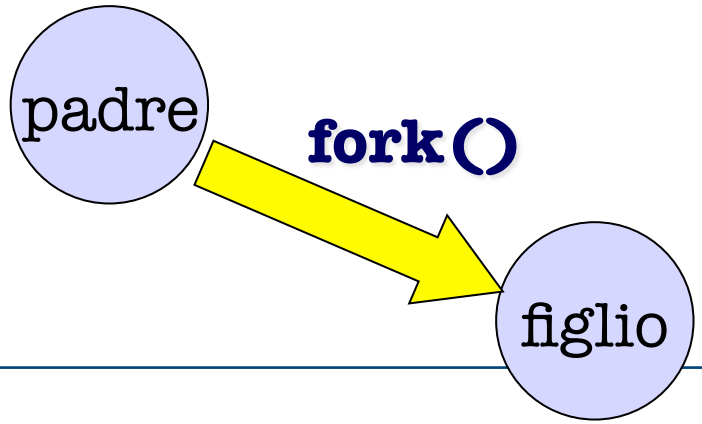
- ***creazione di processi***: **fork()**
- ***sostituzione di codice e dati***: **exec...()**
- ***terminazione***: **exit()**
- ***sospensione*** in attesa della ***terminazione di figli***: **wait()**

N.B. System call di UNIX sono attivabili attraverso chiamate a funzioni di librerie C standard: **fork()**, **exec()**, ... sono quindi funzioni di libreria che chiamano le system call corrispondenti

Creazione di processi: fork()

La funzione **fork()** consente a un processo di ***generare un processo figlio***:

- padre e figlio ***condividono lo STESSO codice***
- il figlio ***EREDITA una copia dei dati*** (***di utente e di kernel***) del padre



fork()

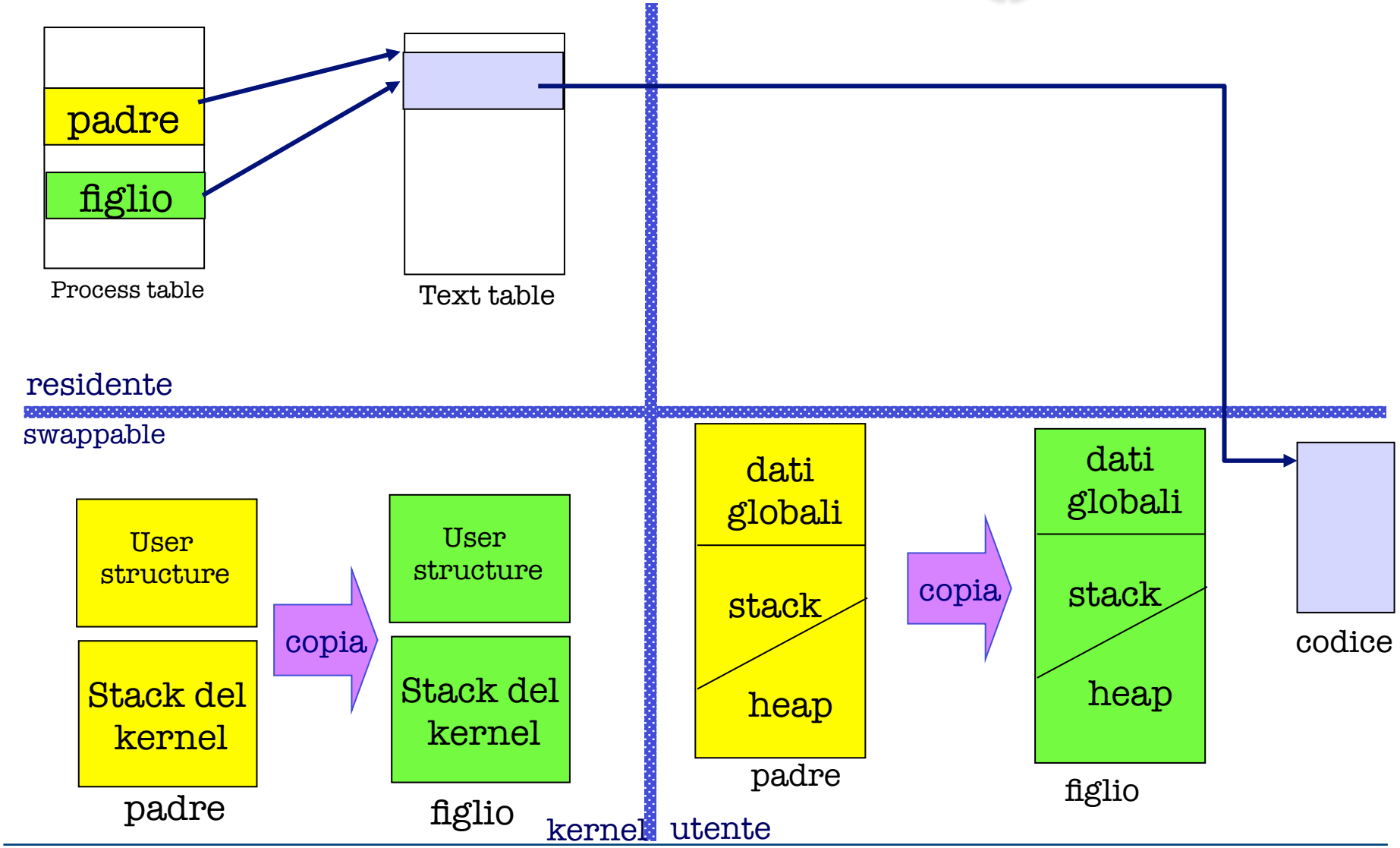
```
int fork(void);
```

- **fork()** non richiede parametri
- restituisce un intero che:
  - ***per il processo creato vale 0***
  - ***per il processo padre è un valore positivo che rappresenta il PID del processo figlio***
  - è un valore **negativo** in caso di errore (la creazione non è andata a buon fine)

Effetti della fork()

- Allocazione di una ***nuova process structure*** nella process table associata al processo figlio e sua inizializzazione
- Allocazione di una ***nuova user structure*** nella quale viene ***copiata la user structure del padre***
- Allocazione dei ***segmenti di dati e stack*** del figlio nei quali vengono ***copiati dati e stack del padre***
- Aggiornamento del riferimento ***text*** al codice eseguito (condiviso col padre): incremento del contatore dei processi, ...

Effetti della fork()



Esecuzioni differenziate del padre e del figlio

```
...
if (fork()==0) {
   ...   /* codice eseguito dal figlio */
   ...
} else {
   ...   /* codice eseguito dal padre */
   ...
}
```

Dopo la generazione del figlio ***il padre può decidere***

se operare ***contemporaneamente*** ad esso

oppure

se ***attendere la sua terminazione*** (system call **wait()**)

fork(): esempio

```
#include <stdio.h>
main()
{ int pid;
    pid=fork();
    if (pid==0)
    { /* codice figlio */
   printf("Sono il figlio ! (pid: %d)\n", getpid());
   }
    else if (pid>0)
      { /* codice padre */
     printf("Sono il padre: pid di mio figlio: %d\n", pid);
    ....
      }
   else printf("Creazione fallita!");
 }
```

NB: system call **getpid()** ritorna il pid del processo che la chiama

Relazione padre-figlio in UNIX

Dopo una fork():

- **concorrenza**
  - ***padre e figlio procedono in parallelo***
- **lo spazio degli indirizzi è duplicato**
  - ogni ***variabile del figlio è inizializzata con il valore assegnatole dal padre*** prima della **fork()**
- la **user structure** è duplicata
  - le ***risorse allocate al padre*** (ad esempio, i file aperti) prima della generazione sono ***condivise con i figli***
  - le informazioni per **la gestione dei segnali** sono le stesse per padre e figlio (associazioni segnali-handler)
  - il figlio nasce con lo ***stesso program counter del padre***: la prima istruzione eseguita dal figlio è quella che segue immediatamente **fork()**

Terminazione di processi

Un processo può terminare:

- ***involontariamente***
  - » tentativi di azioni illegali
  - » interruzione mediante segnale

  ☞ salvataggio dell'immagine nel file **core**

- ***volontariamente***
  - » chiamata alla funzione **exit()**
  - » esecuzione dell'ultima istruzione

exit( )

```
void exit(int status);
```

- la funzione **exit()** prevede un parametro (**status**) mediante il quale il processo che termina può comunicare al padre ***informazioni sul suo stato di terminazione*** (ad esempio esito dell'esecuzione)
- è ***sempre una chiamata senza ritorno***

exit()

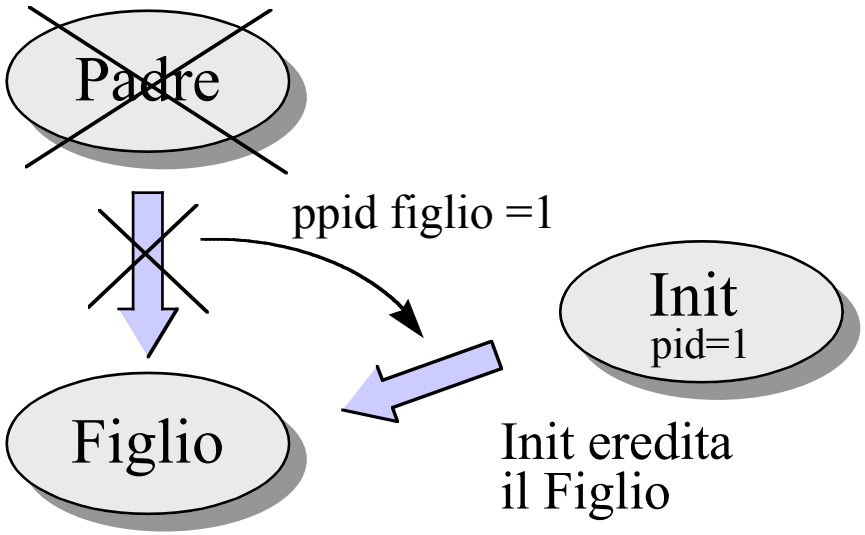
Effetti di una exit():

- ***chiusura dei file aperti non condivisi***
- terminazione del processo
  - » se il processo che termina ha ***figli in esecuzione***, il processo ***init adotta i figli dopo la terminazione del padre*** (nella process structure di ogni figlio al pid del processo padre viene assegnato il valore 1)
  - » se il processo ***termina prima che il padre ne rilevi lo stato di terminazione*** con la system call **wait()**, il processo passa nello stato ***zombie***

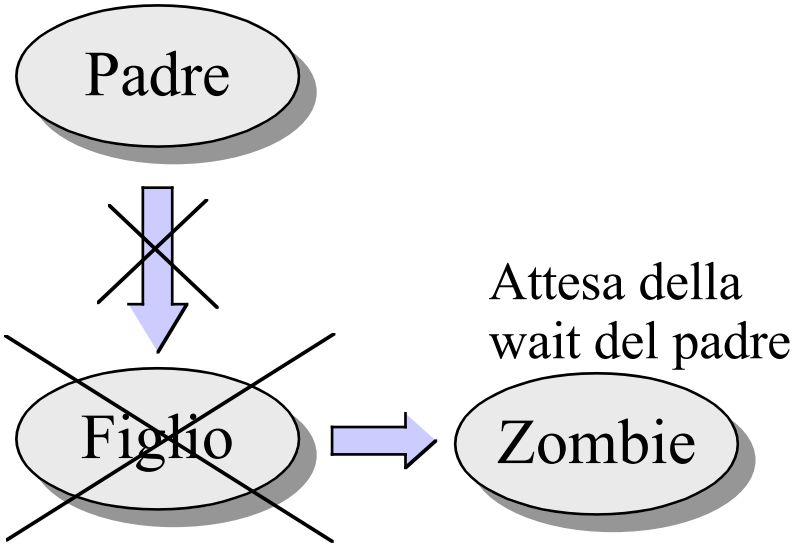
NB: Quando termina un processo adottato dal processo **init**, **init** rileva automaticamente il suo stato di terminazione -> i processi figli di **init** non permangono nello stato di zombie

Parentela processi e terminazione

Terminazione del padre



Terminazione del figlio: processi zombie



wait()

Lo stato di terminazione può essere rilevato dal processo padre, mediante la system call **wait()**

```
int wait(int *status);
```

- parametro **status** è ***l'indirizzo*** della variabile in cui viene memorizzato lo ***stato di terminazione del figlio***
- risultato prodotto dalla **wait()** è ***pid del processo terminato***, oppure un codice di errore (<0)

wait()

Effetti della system call wait(&status):

- processo che la chiama può avere figli in esecuzione:
  - ✓ se tutti i figli non sono ancora terminati, il processo si ***sospende in attesa della terminazione del primo*** di essi
  - ✓ se almeno un figlio F è già terminato ed il suo stato non è stato ancora rilevato (cioè F è in stato ***zombie***), **wait()** ***ritorna immediatamente con il suo stato di terminazione*** (nella variabile **status**)
  - ✓ se non esiste neanche un figlio, **wait()** ***NON è sospensiva*** e ritorna un codice di errore (valore ritornato < 0)

wait()

Rilevazione dello stato: in caso di terminazione di un figlio, la variabile status raccoglie stato di terminazione; nell'ipotesi che lo stato sia un intero a 16 bit:

- se il byte meno significativo di status è zero, il più significativo rappresenta lo ***stato di terminazione*** (***terminazione volontaria***, ad esempio con **exit**)
- in caso contrario, il byte meno significativo di status descrive il ***segnale che ha terminato il figlio*** (***terminazione involontaria***)

wait() & exit(): esempio

```
main()
{int pid, status;
pid=fork();
if (pid==0)
   {printf("figlio");
   exit(0);
}
else{ pid = wait(&status);
       printf("terminato processo figlio n.%d", pid);
       if ((char)status==0)
       printf("term. volontaria con stato %d", status>>8);
       else printf("terminazione involontaria  per segnale
                    %d\n", (char)status);
   }
}
```

wait()

Rilevazione dello stato: è necessario conoscere la rappresentazione di **status**

- lo standard POSIX.1 prevede delle macro (definite nell'header file **<sys/wait.h>** per l'analisi dello stato di terminazione. In particolare
  - ✓ **WIFEXITED(status):** restituisce ***vero*** se il processo figlio è terminato volontariamente. In questo caso la macro **WEXITSTATUS(status)** restituisce lo stato di terminazione
  - ✓ **WIFSIGNALED(status):** restituisce ***vero*** se il processo figlio è ***terminato involontariamente***. In questo caso la macro **WTERMSIG(status)** restituisce il numero del segnale che ha causato la terminazione

wait() & exit(): esempio

```
#include <sys/wait.h>
main()
{int pid, status;
pid=fork();
if (pid==0)
   {printf("sono il figlio\n");
   exit(0);
}
else { pid=wait(&status);
       if (WIFEXITED(status))
              printf("Terminazione volontaria di %d con
                     stato %d\n", pid, WEXITSTATUS(status));
       else if (WIFSIGNALED(status))
              printf("terminazione involontaria  per segnale
                     %d\n", WTERMSIG(status));  }}
```

Esempio con più figli

```
#include <sys/wait.h>
#define N 100
int main()
{  int pid[N], status, i, k;
   for (i=0; i<N; i++)
   {   pid[i]=fork();
       if (pid[i]==0)
       {     printf("figlio: il mio pid è: %d", getpid());
             ....
             exit(0);
       }
   }
```

```
/* continua (codice padre).. */

for (i=0; i<N; i++) /* attesa di tutti i figli */
{ k=wait(&status);
      if (WIFEXITED(status))
            printf("Term. volontaria di %d con
                  stato %d\n", k,
                  WEXITSTATUS(status));
      else if (WIFSIGNALED(status))
            printf("term. Involontaria di %d  per
                  segnale %d\n",k, WTERMSIG(status));
  }
```

System call exec()

Mediante **fork()** i processi ***padre e figlio condividono il codice e lavorano su aree dati duplicate***. In UNIX è possibile ***differenziare il codice dei due processi*** mediante una system call della famiglia **exec**

execl(), execle(), execlp(), execv(), execve(), execvp()...

Effetto principale di system call famiglia exec:

- ✓ vengono ***sostituiti codice ed eventuali argomenti di invocazione*** del processo che chiama la system call, ***con codice e argomenti di un programma specificato come parametro*** della system call

NO generazione di nuovi processi

execl()

```
int execl(char *pathname, char *arg0, ..
          char *argN, (char*)0);
```

- ✓ **pathname** è il nome (assoluto o relativo) dell'eseguibile da caricare
- ✓ **arg0** è il nome del programma (argv[0])
- ✓ **arg1, ..., argN** sono gli argomenti da passare al programma
- ✓ **(char *)0** è il puntatore nullo che termina la lista

Utilizzo system call exec()

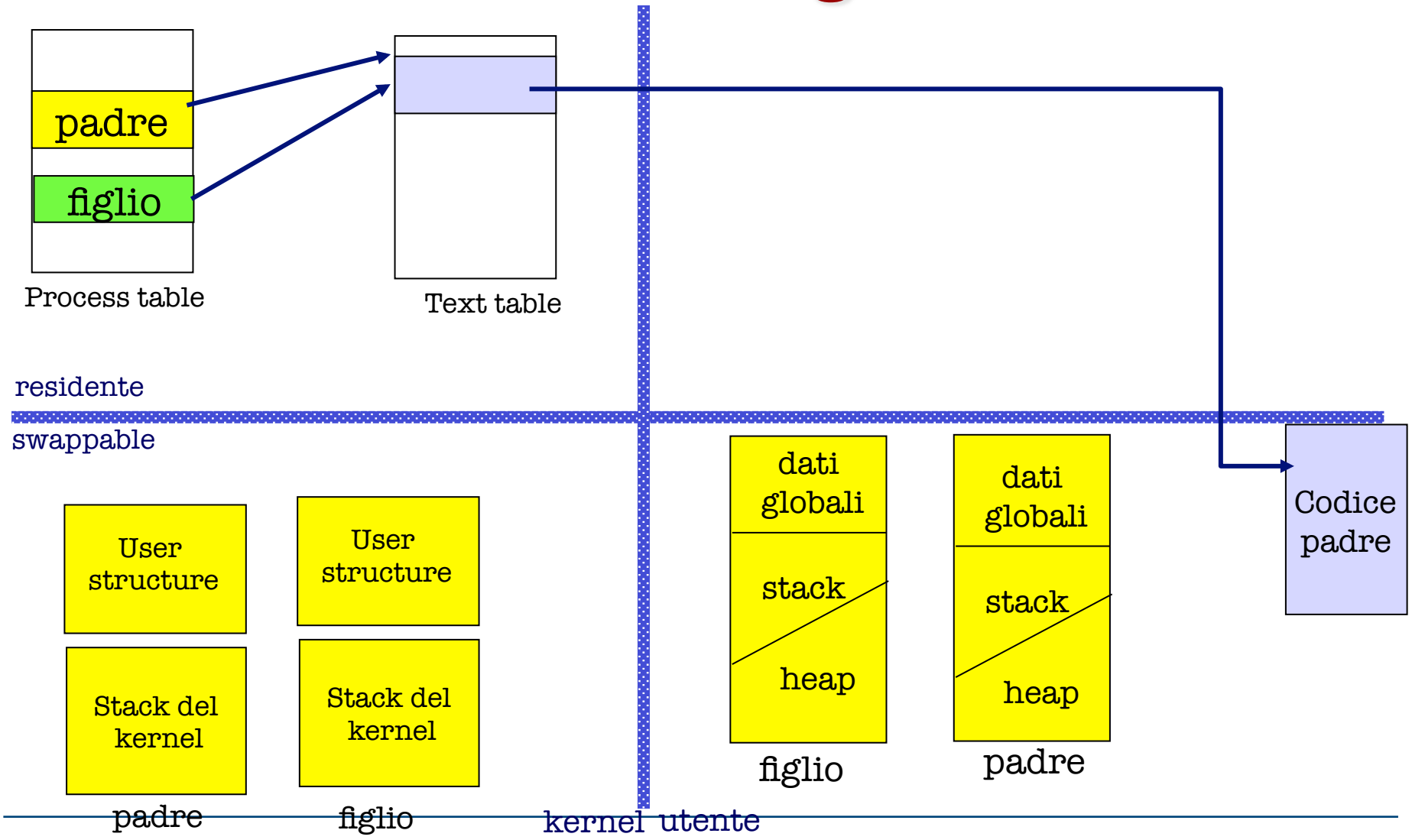
(differenziare comportamento del padre da quello del figlio)

```
pid = fork();
if (pid == 0){ /* figlio */
      printf("Figlio: esecuzione di ls\n");
      execl("/bin/ls", "ls", "-l", (char *)0);
      perror("Errore in execl\n");
      exit(1); }
if (pid > 0){ /* padre */
            ...
            printf("Padre ....\n");
            exit(0); }
if (pid < 0){ /* fork fallita */
            perror("Errore in fork\n");
            exit(1); }
```

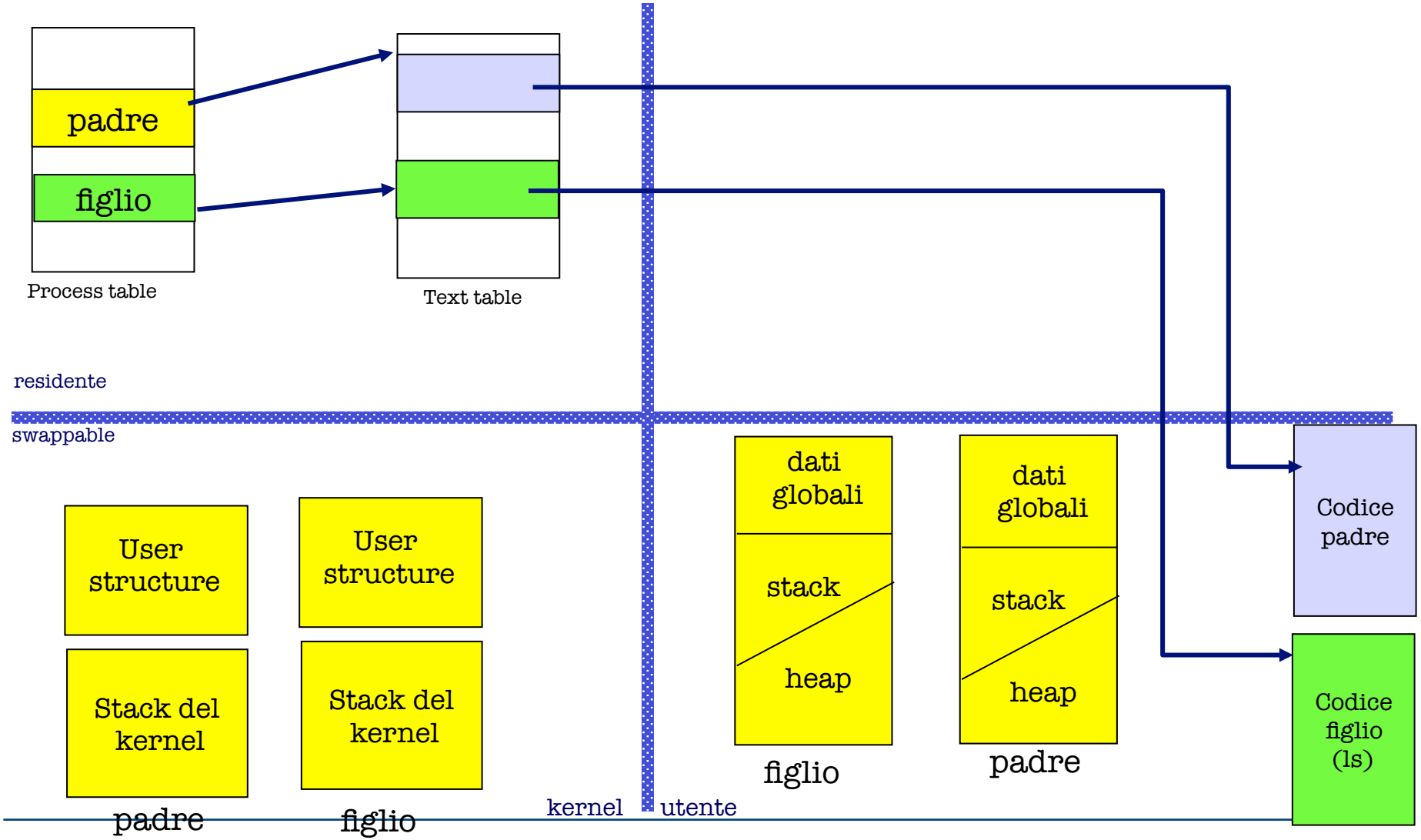
Figlio passa a **eseguire** un altro programma: *si caricano il nuovo codice e gli argomenti per il nuovo programma*

Si noti che exec è operazione senza ritorno

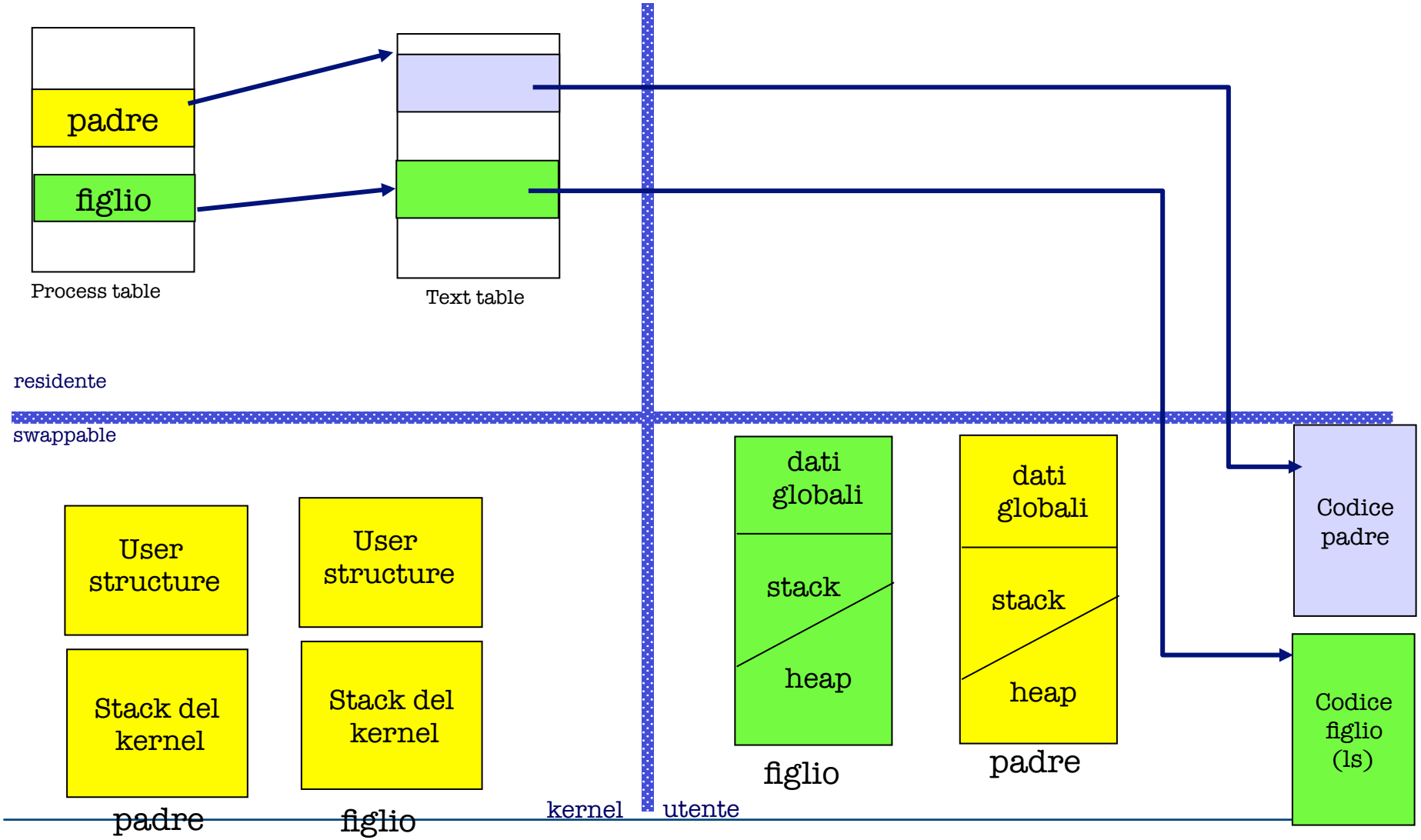
Esempio: effetti della exec() sull'immagine



Esempio: effetti della execl() sull'immagine



Esempio: effetti della execl() sull'immagine



Effetti dell'exec()

Il processo dopo exec()

- mantiene la ***stessa process structure*** (salvo le informazioni relative al codice):
  - » stesso pid
  - » stesso pid del padre
  - » ...
- ha ***codice, dati globali, stack e heap*** nuovi
- riferisce un ***nuovo text***
- mantiene ***user area (a parte PC e informazioni legate al codice) e stack del kernel***:
  - » mantiene le stesse risorse (es: file aperti)
  - » mantiene lo stesso *environment* (a meno che non sia **execle** o **execve**)

System call exec()

Varianti di exec, a seconda del suffisso

- **l** gli argomenti da passare al programma da caricare vengono specificati mediante una ***LISTA di parametri (terminata da NULL)*** – es. **execl()**
- **p** il nome del file eseguibile specificato come argomento della system call viene ricercato nel ***PATH contenuto nell'ambiente*** del processo – es. **execlp()**
- **v** gli argomenti da passare al programma da caricare vengono specificati mediante un ***VETTORE di parametri*** – es. **execv()**
- **e** la system call riceve anche un ***vettore (envp[]) che rimpiazza l'environment*** (path, direttorio corrente, ...) del processo chiamante – es. **execle()**

Esempio: execve()

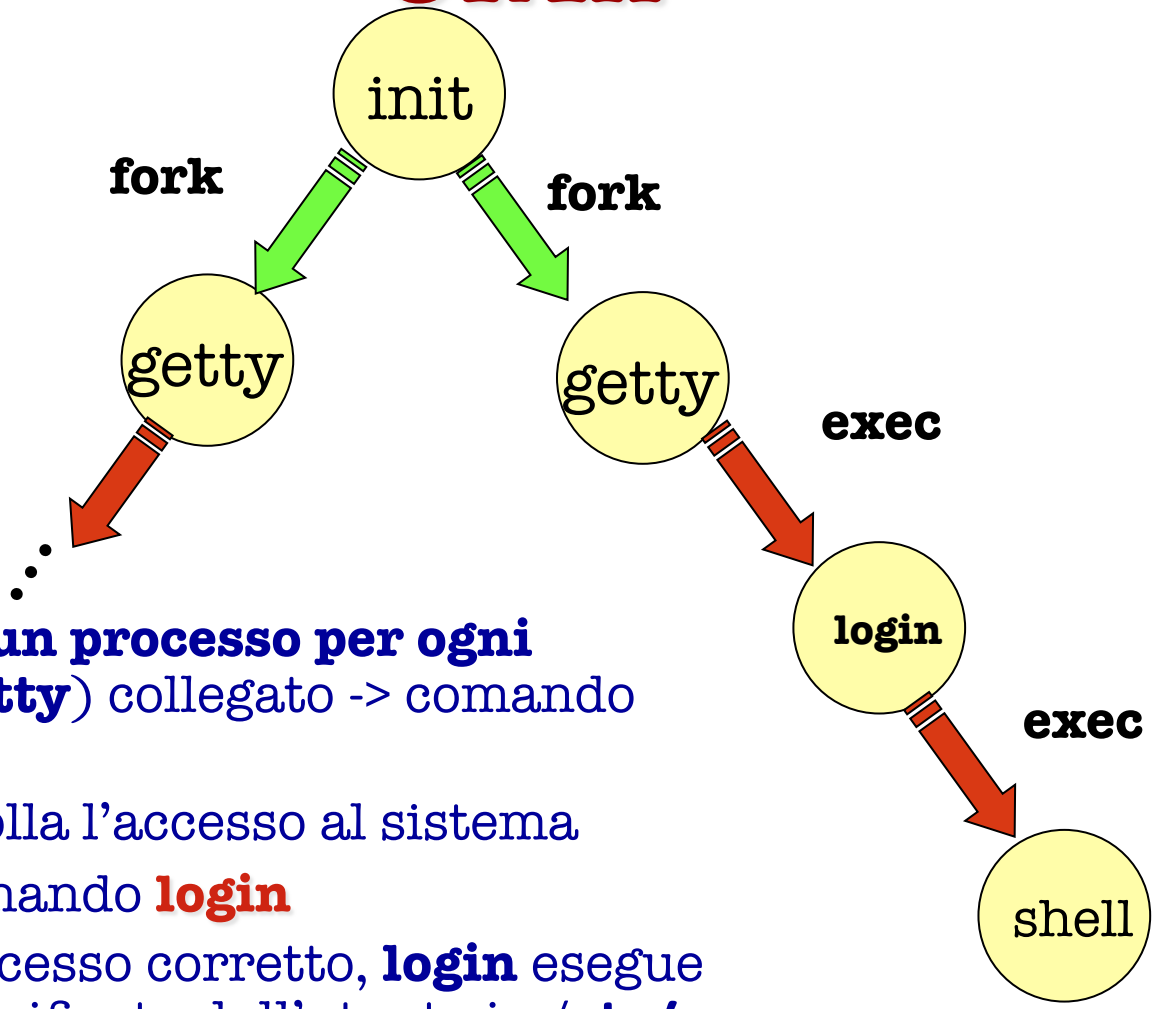
```
int execve(char *pathname, char *argV[], , char * env[]);
```

- ✓ **pathname** è il ***nome*** (assoluto o relativo) ***dell'eseguibile*** da caricare
- ✓ **argV** è il ***vettore degli argomenti*** del programma da eseguire
- ✓ **env** è il ***vettore delle variabili di ambiente*** da sostituire all'ambiente del processo (contiene stringhe del tipo "VARIABILE=valore")

Esempio: execve()

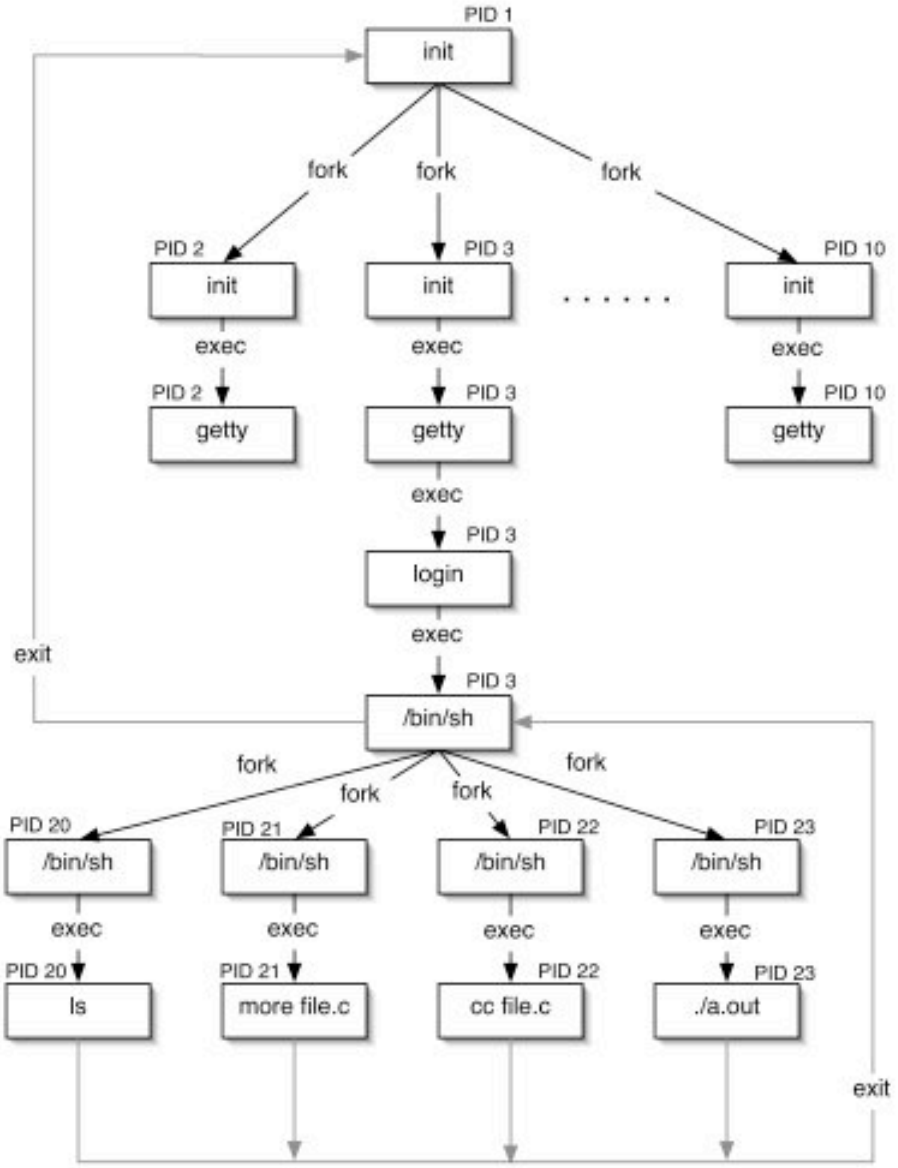
```
char *env[]={"USER=paolo", "PATH=/home/paolo/d1", (char *)0};
char *argv[]={"ls","-l", "pippo", (char *)0};
int main()
{  int pid, status;
   pid=fork();
   if (pid==0)
   {    execve("/bin/ls", argv, env);
        printf("exec fallita!\n");
        exit(1);
   }
   else if (pid >0)
   {    pid=wait(&status);  /* gestione dello stato.. */
   }
   else printf("fork fallita!\n");
}
```

Inizializzazione dei processi UNIX



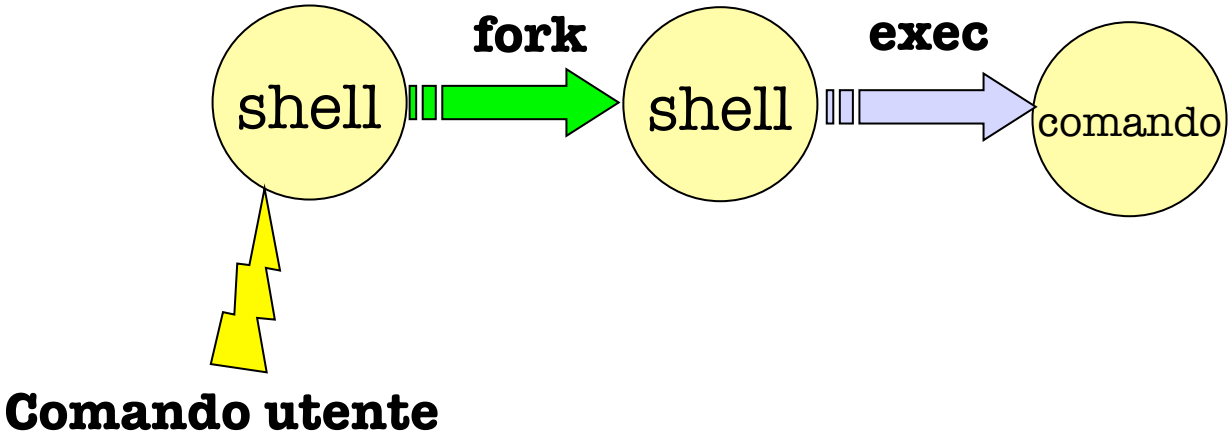
- **init** genera **un processo per ogni terminale** (**tty**) collegato -> comando **getty**
- **getty** controlla l'accesso al sistema
  exec del comando **login**
- in caso di accesso corretto, **login** esegue lo **shell** (specificato dall'utente in /**etc/passwd**)

Tipico albero di generazione di processi



Interazione con l'utente tramite shell

- Ogni utente può interagire con lo ***shell*** mediante la ***specifica di comandi***
- Ogni ***comando*** è presente nel file system come ***file eseguibile*** (direttorio **/bin**)
- Per ogni comando, ***shell genera un processo figlio*** dedicato all'esecuzione del comando:



Relazione shell padre-shell figlio

Per ogni comando, shell genera un figlio; possibilità di **due diversi comportamenti**:

- il padre si pone in attesa della terminazione del figlio (esecuzione in ***foreground***); es:

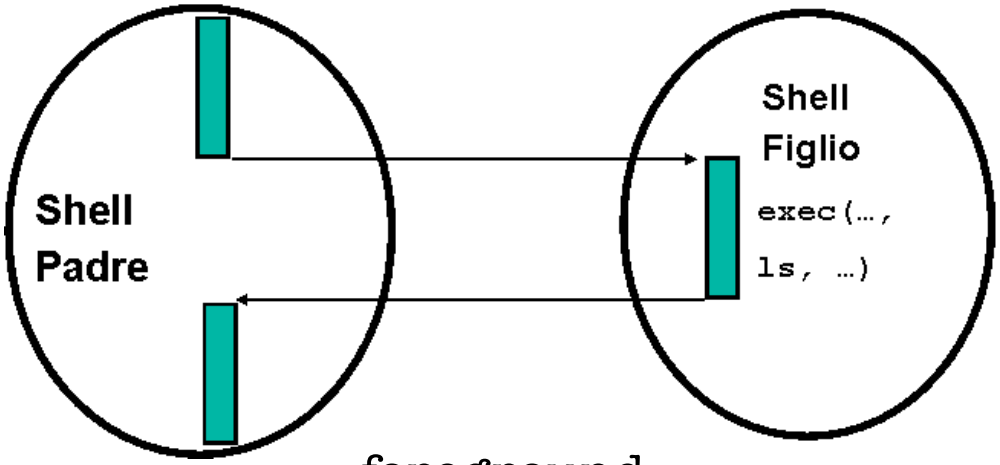
  ls -l pippo

- il padre continua l'esecuzione concorrentemente con il figlio (esecuzione in ***background***):

  ls -l pippo &

foreground vs background

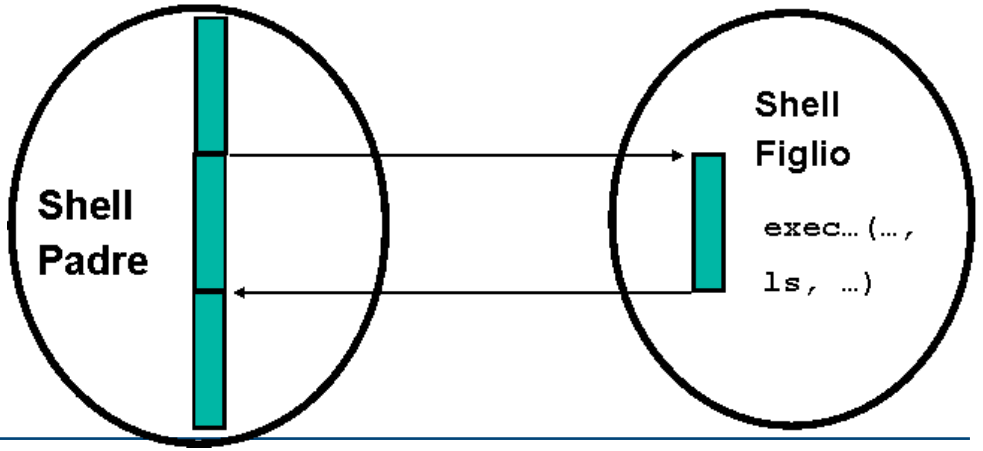
```
$ ls
```



foreground

```
$ ls&
```

background



ESERCIZIO (esecuzione di comandi “in foreground”)

```
#include <stdio.h>
int main  (argc, argv) {
   int stato, atteso,  pid; char st[80];
   for (;;) {
       if ((pid = fork()) < 0)   {perror("fork");
       exit(1);}
       if (pid == 0) {  /*  FIGLIO: esegue i comandi */
          printf("inserire il comando da eseguire:\n");
          scanf ("%s", st);
          execlp(st, st, (char *)0);
          perror("errore");
          exit (0);
       } else {     /* PADRE */
          atteso=wait (&stato);
          /*attesa figlio: sincronizzazione */
          printf ("eseguire altro comando? (si/no) \n");
          scanf ("%s", st);
          if (strcmp(st, "si") exit(0); } } }
```

Gestione degli errori: perror()

Convenzione:

- in caso di fallimento, ogni ***system call ritorna un valore negativo*** (tipicamente, -1)
- in aggiunta, UNIX prevede la variabile globale di sistema **errno**, alla quale il kernel assegna il codice di errore generato dall'ultima system call eseguita. Per interpretarne il valore è possibile usare la funzione **perror**():
  - **perror("stringa")** stampa "stringa" seguita dalla descrizione del codice di errore contenuto in **errno**
  - la corrispondenza tra codici e descrizioni è contenuta in **<sys/errno.h>**

perror()

```
int main()
{int pid, status;
pid=fork();
if (pid==0)
   {execl("/home/paolo/prova", "prova",(char *)0);
    perror("exec fallita a causa dell'errore:");
    exit(1);
}
```

...

Esempio di output:

exec() fallita a causa dell'errore: No such file or directory