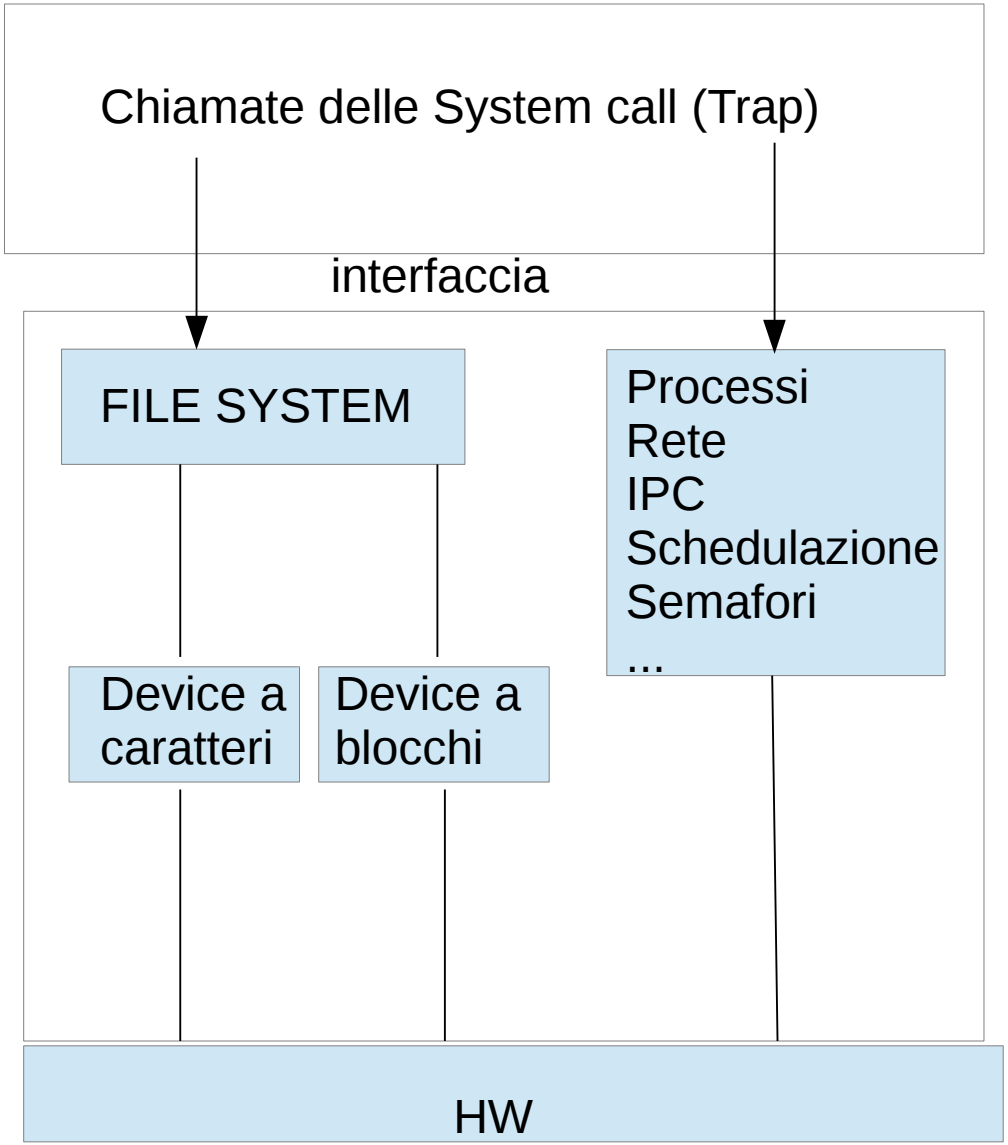
Programmazione di sistema in Linux: System Call per il controllo processi

E. Mumolo, DIA

Struttura generica di Linux



Utente
Shell comandi di linea
Compilatori
Editor, debugger,..

Codice
delle
System call

System
(kernel)

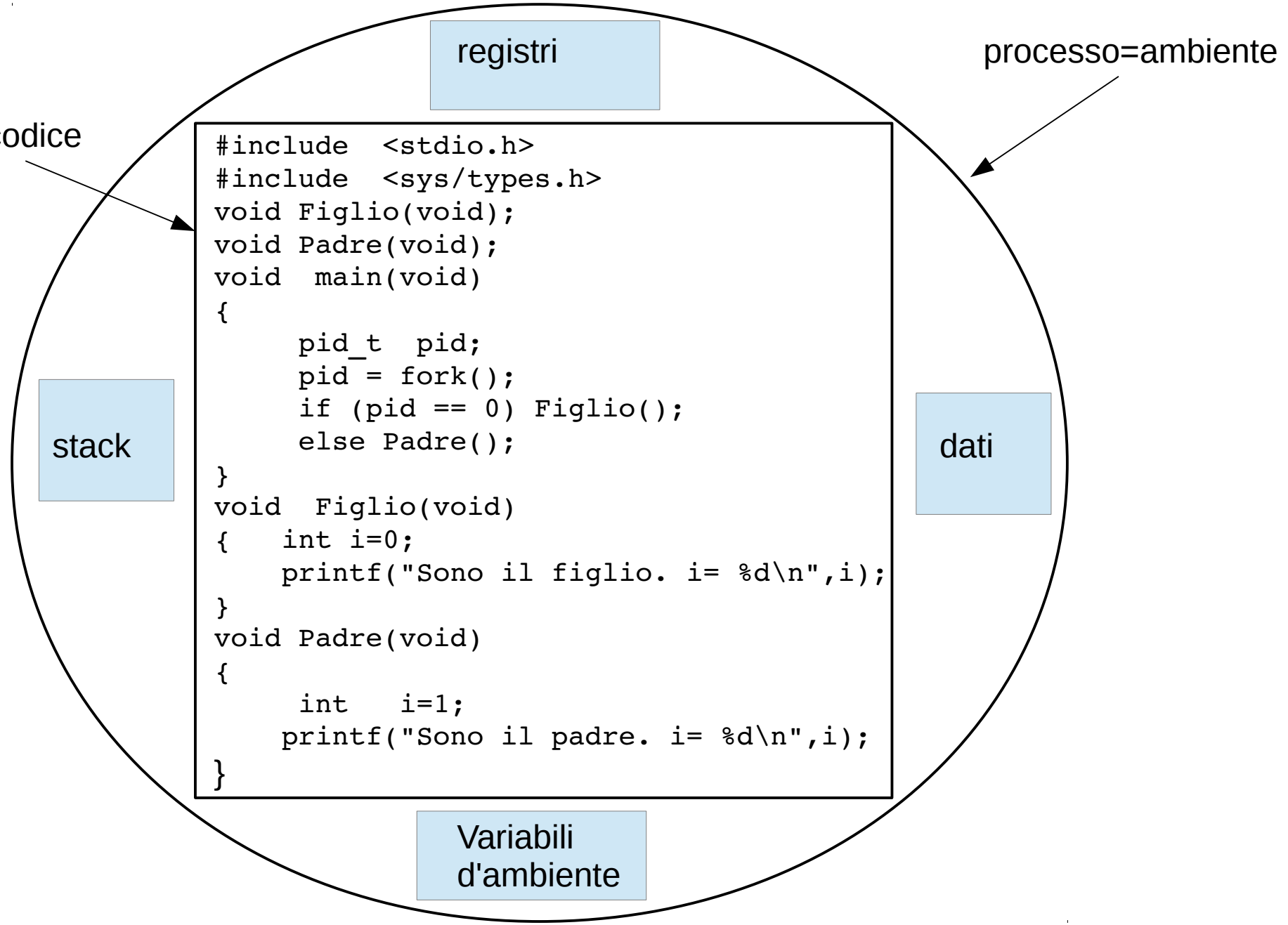
Posix

- Un cenno ai primi Standard Posix:
  - POSIX.1(1003.1a) → interfacce base, supporto per processo singolo e multiplo, controllo dei processi, segnali, file system, pipe, fifo …
  - POSIX.1(1003.1b) → Estensioni Real Time → segnali, schedulazione prioritaria, timer, I/O asincrono, prioritario, sincrono, messaggi, semafori …
  - POSIX.1(1003.1c) → Thread → controllo dei thread,attributi, schedulazione, variabili condizione …
  - POSIX.2 → comandi shell
  - POSIX.6(1003.1e) → sicurezza
  - POSIX.7 → amministrazione di sistema
  - POSIX.8(1003.1f) → accesso ai file di rete
  - ...
- <sys/types.h> definisce tipi di dati: dev_t, pid_t, size_t, ...

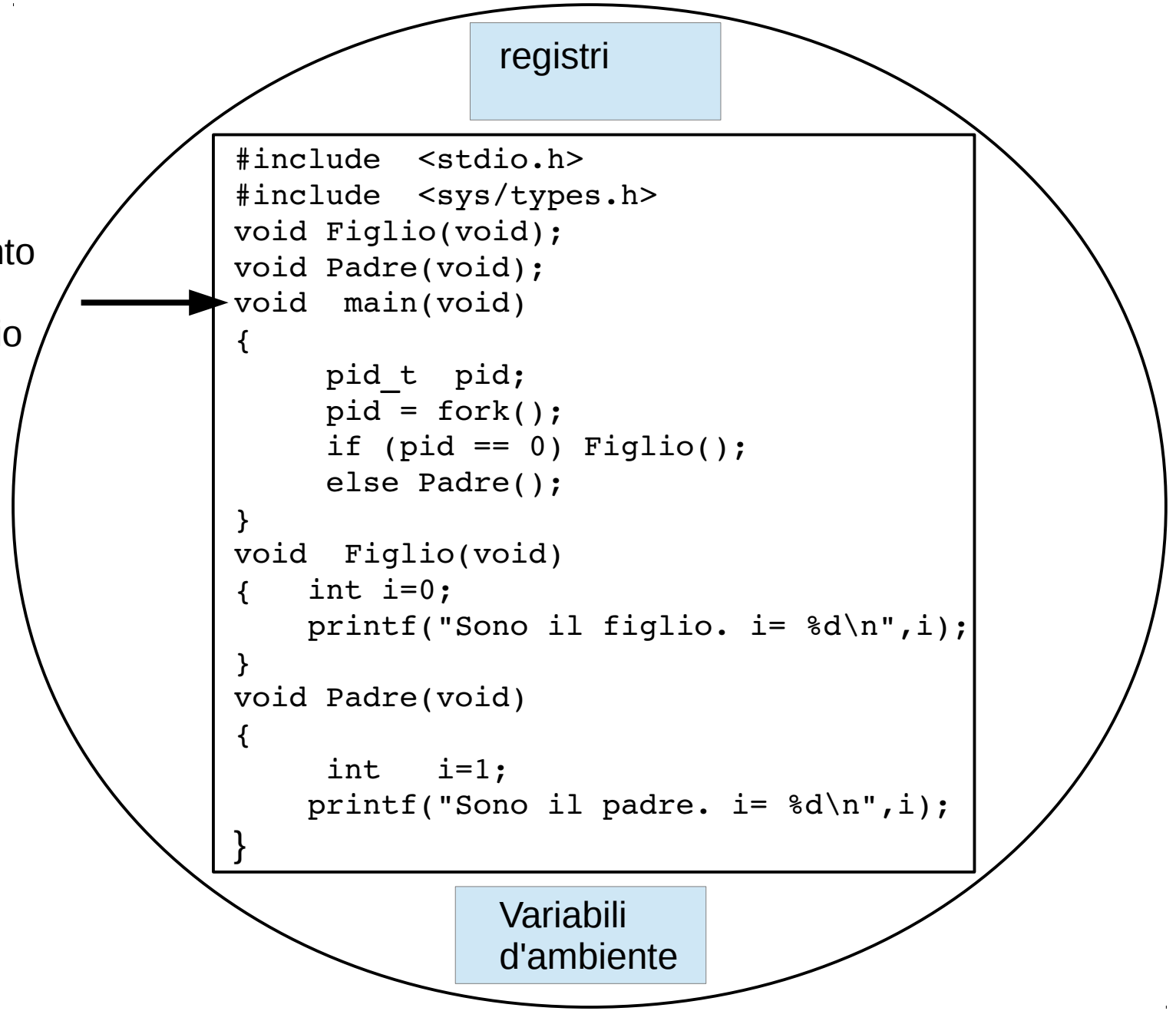
System call per la gestione dei processi

- fork crea un processo
- exec carica un codice eseguibile
- wait aspetta la terminazione del processo
- signal cattura un segnale
- kill invia un segnale

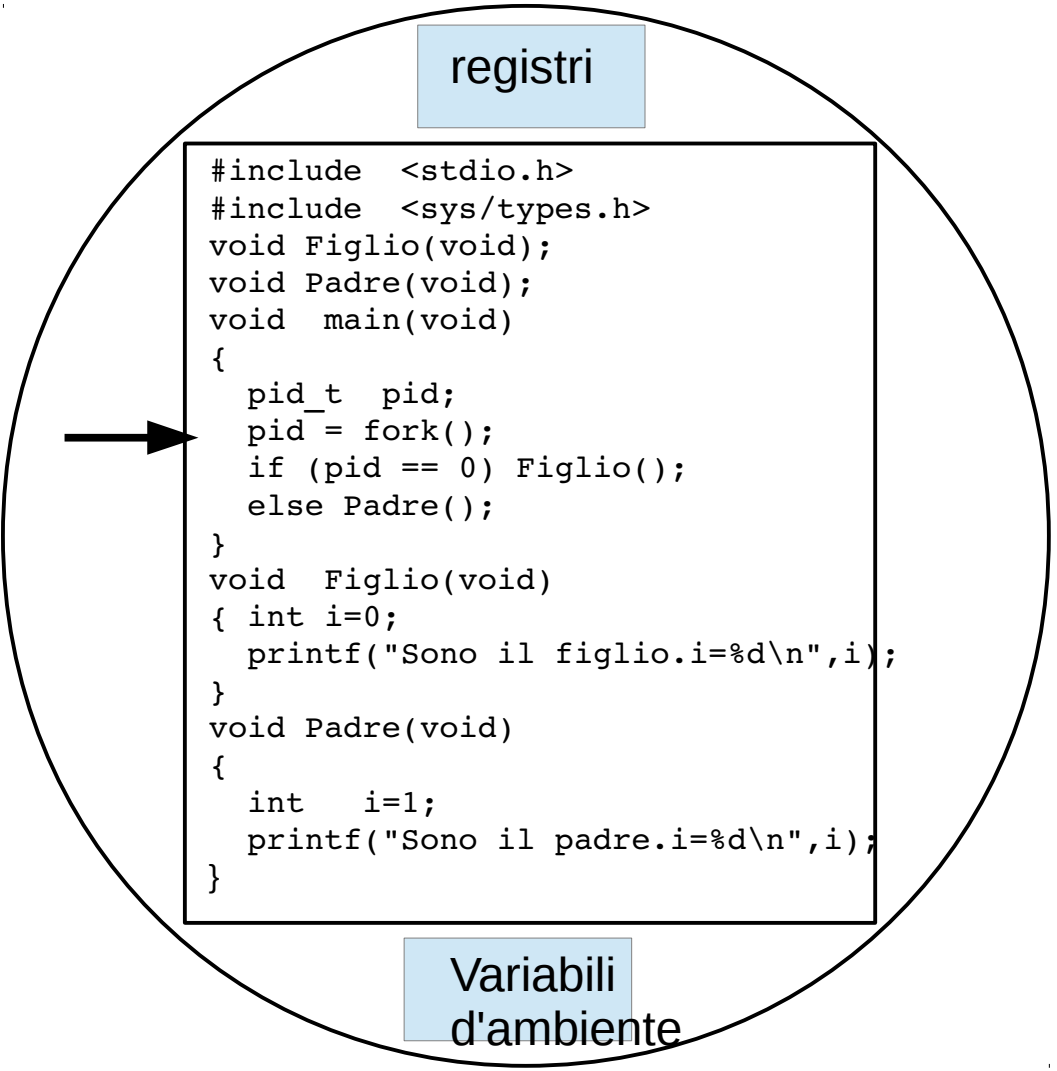
Controllo processi: chiamata di sistema fork()



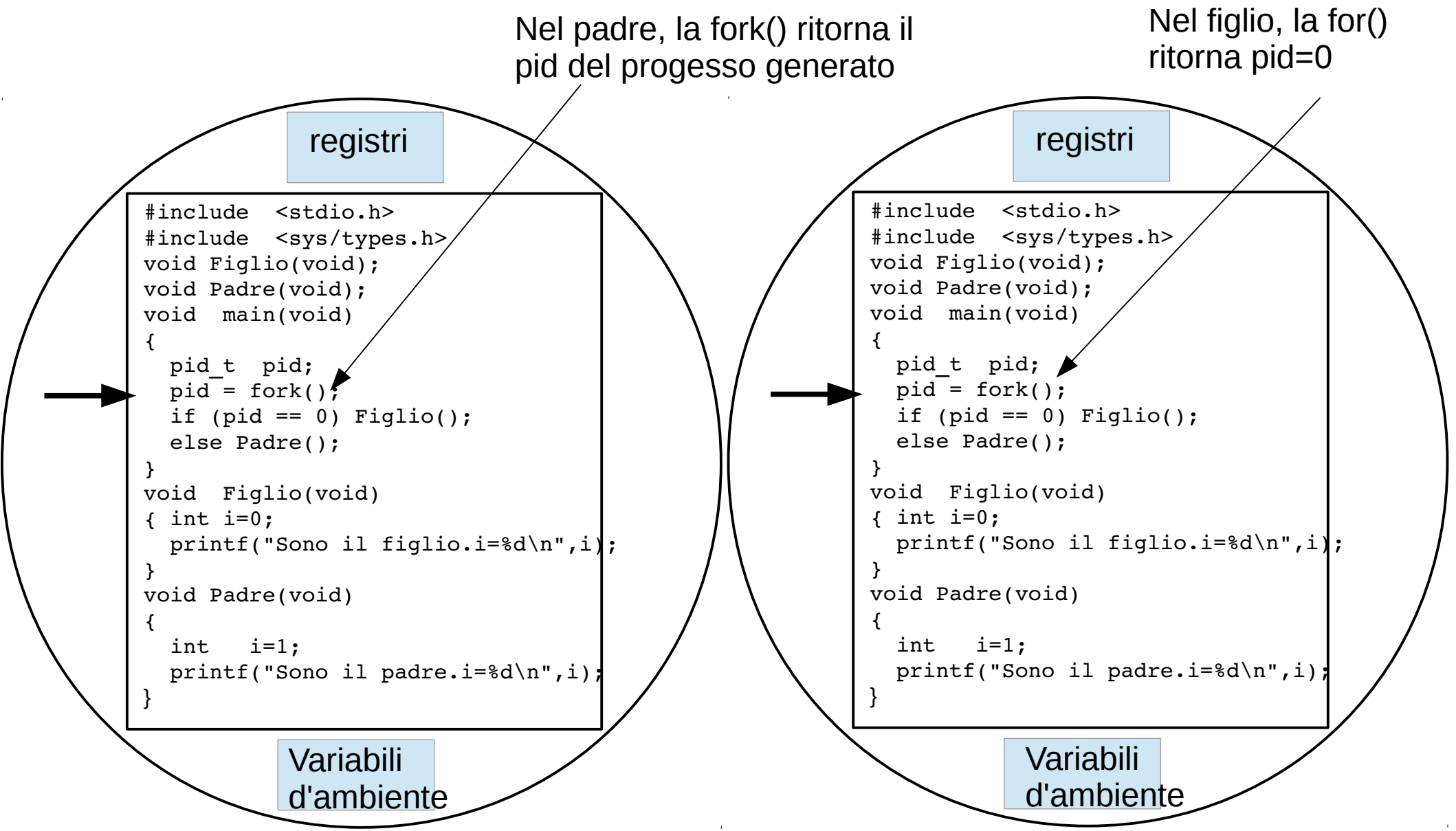
Controllo processi: chiamata di sistema fork()



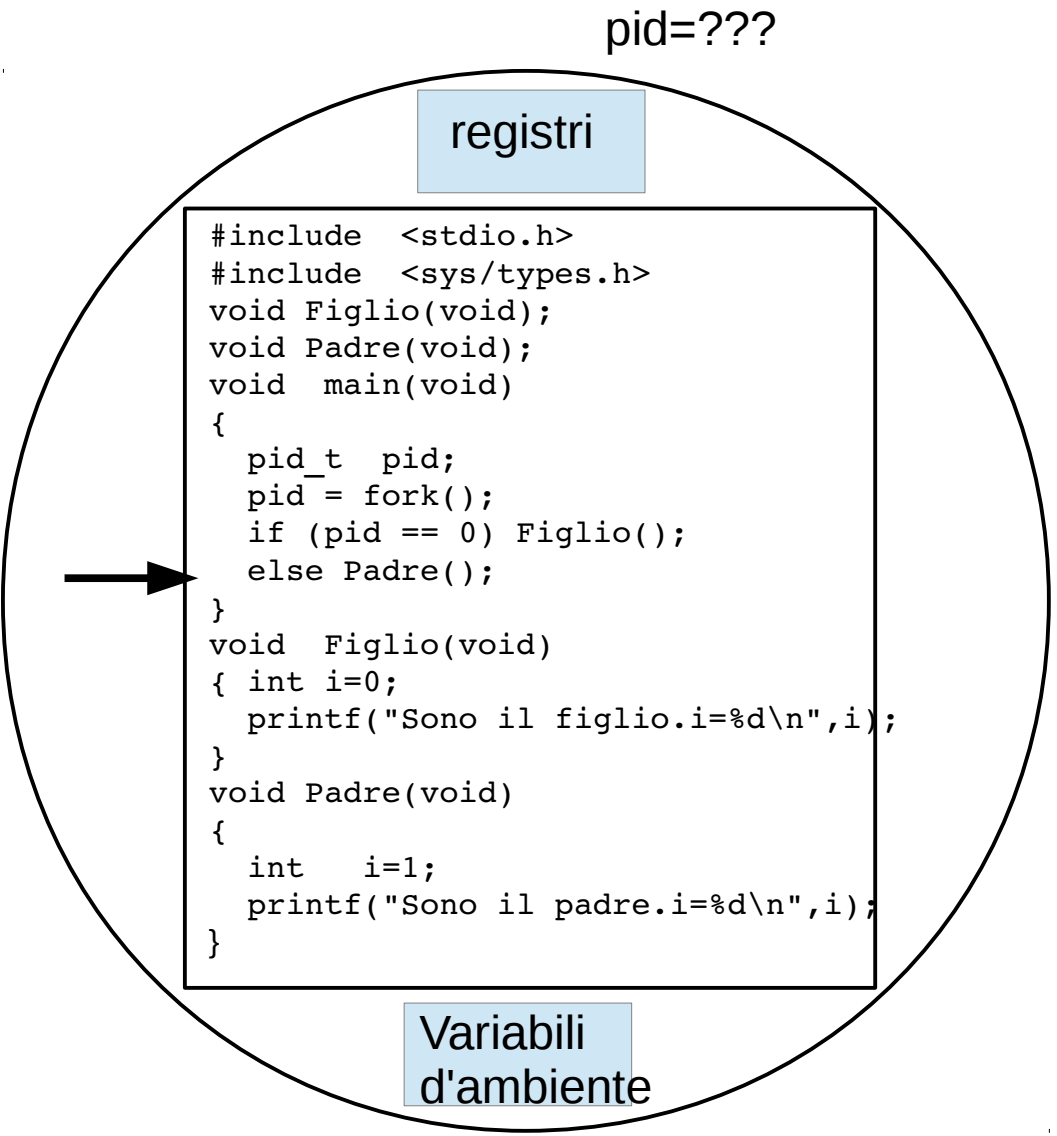
Controllo processi: chiamata di sistema fork()

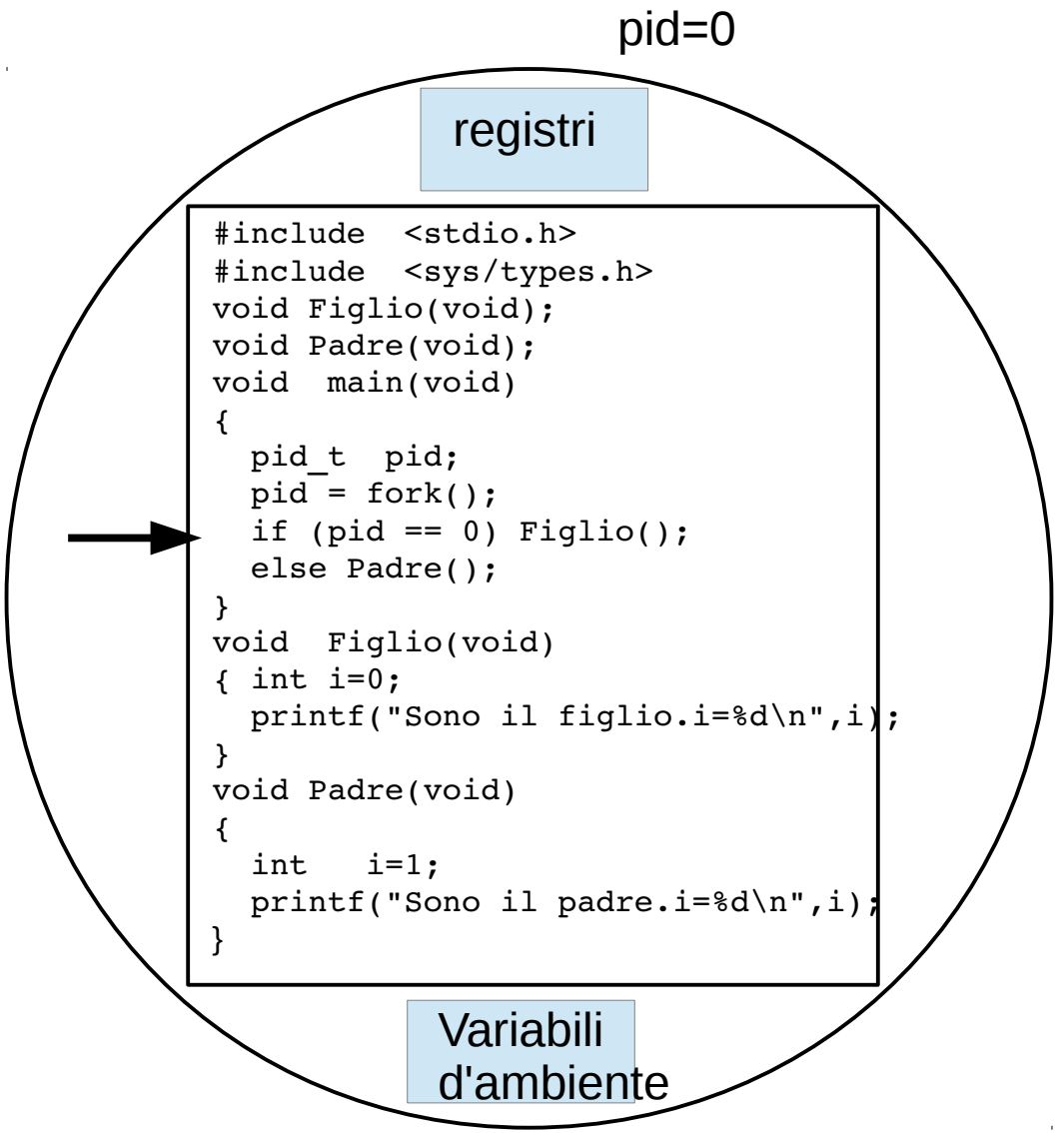


Controllo processi: chiamata di sistema fork()

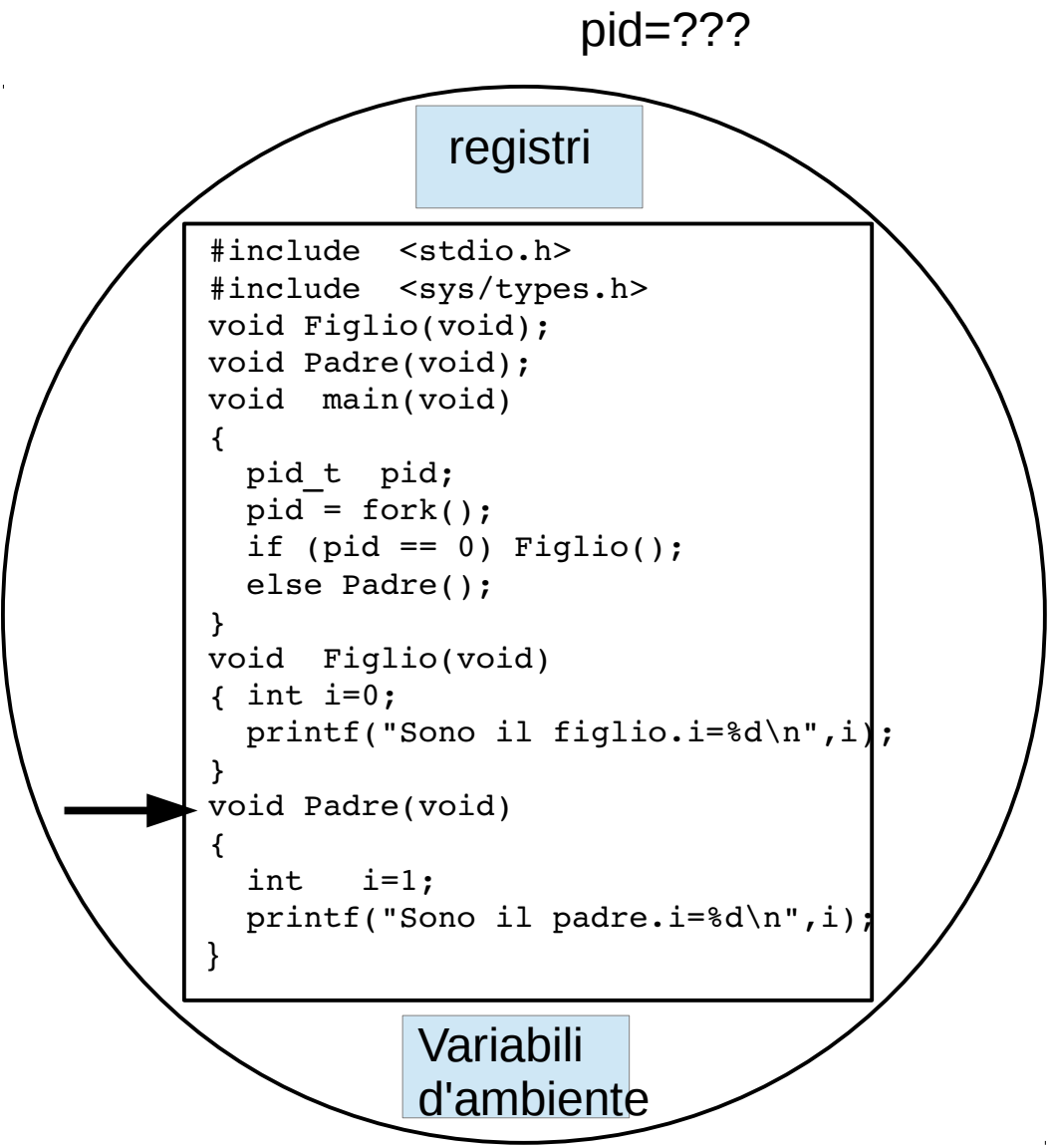


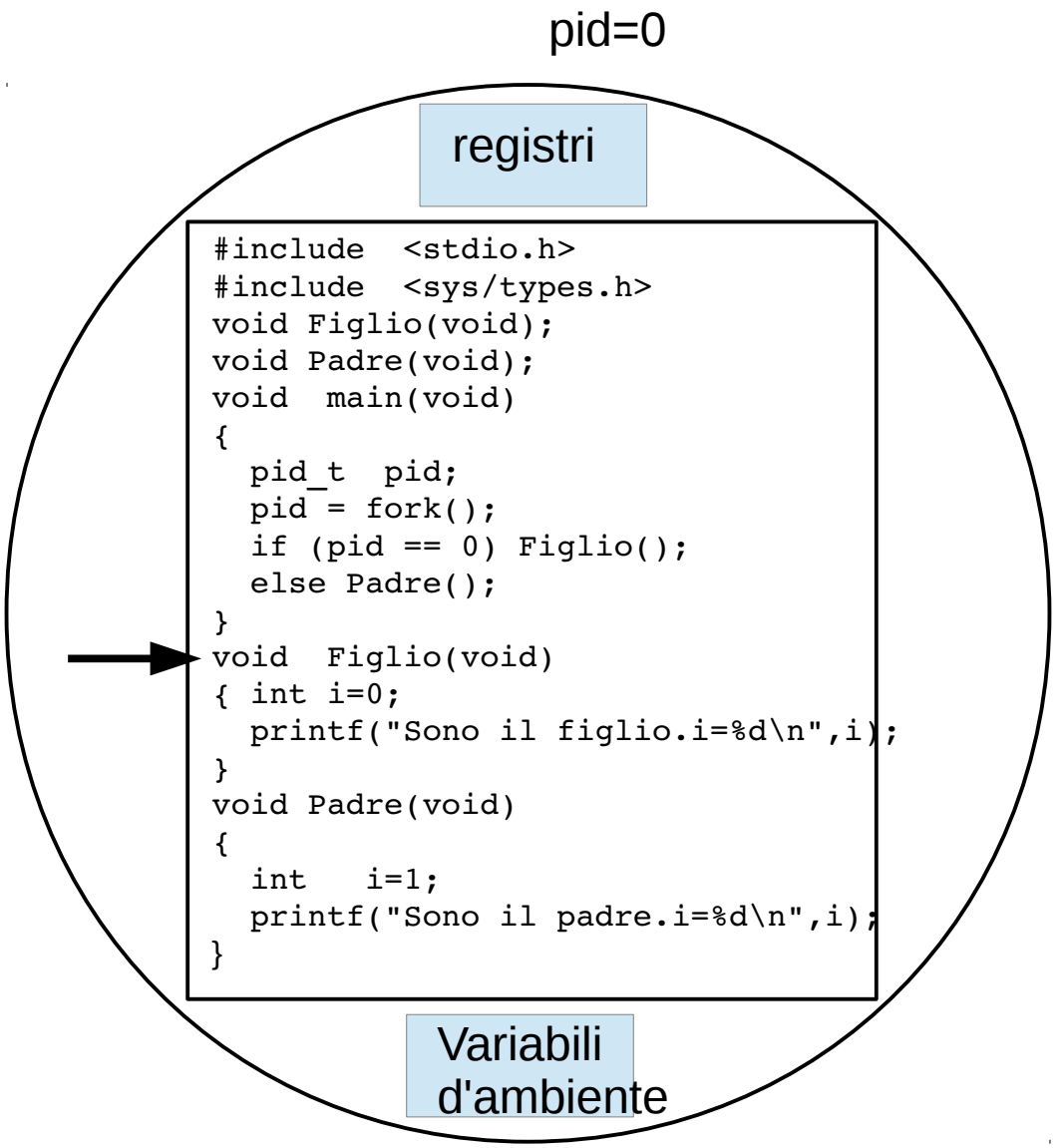
Controllo processi: chiamata di sistema fork()





Controllo processi: chiamata di sistema fork()





Chiamata di sistema fork()

- System call: **pid_t fork();**
  - crea un nuovo processo figlio, copiando completamente l'immagine di memoria del processo padre (data, heap, stack)
  - La memoria è completamente INDIPENDENTE tra padre e figlio
  - il codice viene generalmente condiviso tra padre e figlio
  - codice copy-on-write (copiato quando viene modificato)
  - tutti i descrittori dei file aperti nel processo padre (UFDT) sono duplicati nel processo figlio
  - sia il processo child che il processo parent continuano ad eseguire l'istruzione successiva alla **fork**
  - processo figlio: ritorna 0
  - processo padre: ritorna il process ID del processo figlio
  - Errore della fork → pid negativo

Chiamata di sistema fork(). Esempio

```
#include  <stdio.h>
#include  <sys/types.h>
void Figlio(void);
void Padre(void);
void  main(void)
{
     pid_t  pid;
     pid = fork();
     if (pid == 0) Figlio();
     else Padre();
}
void  Figlio(void)
{
     int i=0;
     for(i=0;i<10;i++){
        usleep(200);
        printf("\tSono il figlio. i= %d\n",i);
     }
}
void Padre(void)
{
     int   i=1;
     for(i=0;i<10;i++){
        usleep(250);
        printf("Sono il padre. i= %d\n",i);
     }
}
```

Chiamata di sistema fork()

- Ereditarieta' in **pid_t fork();**
  - Non tutte le proprieta' del padre vengono ereditate dal figlio
    - Esempio PID, PPID, file locking, operazione semop, timer, ...
  - Le variabili d'ambiente sono ereditate, a parte nuove variabili
  - Nuove variabili della shell vengono ereditate dal figlio col comando `export`
  - `export -p` mostra le variabili della shell esportate

Identificativi dei processi

- **Identificativi di processo:**
  - Process ID (PID)
  - Parent Process ID (PPID) del processo che l'ha generato
  - Process Group ID (PGID) del gruppo di processi al quale appartiene
  - Process Real User : UID dell'utente che ha richiesto accesso
  - Process Real Group ID: GID dell'utente che ha richiesto accesso
  - Process Effective User ID: normalmente uguale al REAL USER ID,
  - Process Effective Group ID:
- **Lettura identificativi**
  - Process ID del processo: `pid_t getpid();`
  - Process ID del processo padre: `pid_t getppid();`
  - Real user ID: `uid_t getuid();`
  - Real group ID: `gid_t getgid();`
  - Effective user ID: `uid_t geteuid();`
  - Effective group ID: `gid_t getegid();`

Terminazione processi

- Terminazione dei processi:
  - Terminazione normale:
    - eseguire un return da main (equivale a chiamare exit());
    - chiamare la funzione **exit()**: chiude gli stream I/O, chiama _exit()
    - Chiamare _exit(): torna al kernel immediatamente
  - Terminazione anormale:
    - Ricezione segnali
    - Chiamando abort()
- In ogni caso, l'azione del kernel e' lo stesso:
  - Rimozione della memoria utilizzata dal processo
  - Chiusura dei descrittori aperti
- Stato di un processo: raccolto con wait(), waitpid()

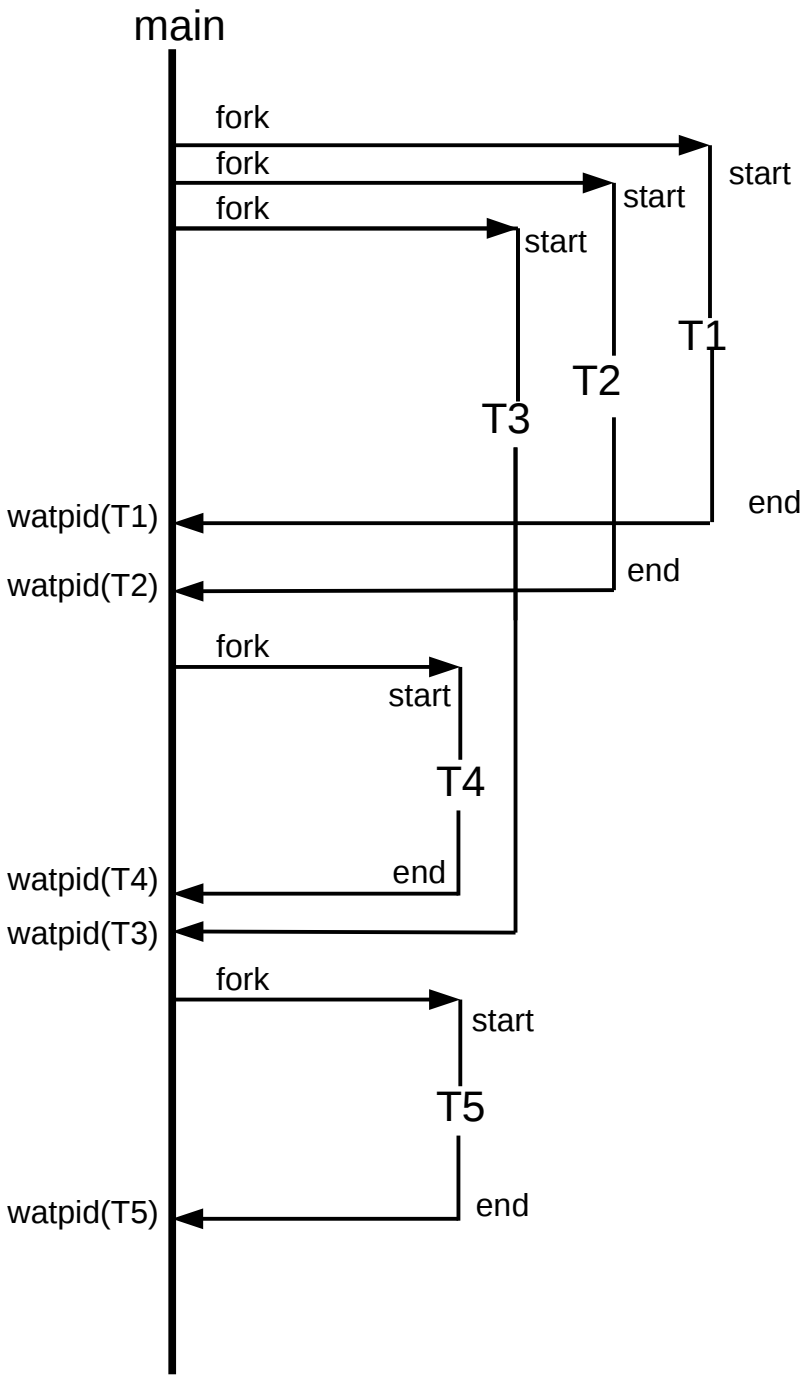
```
#include <stdlib.h>
void _exit(int status);
```

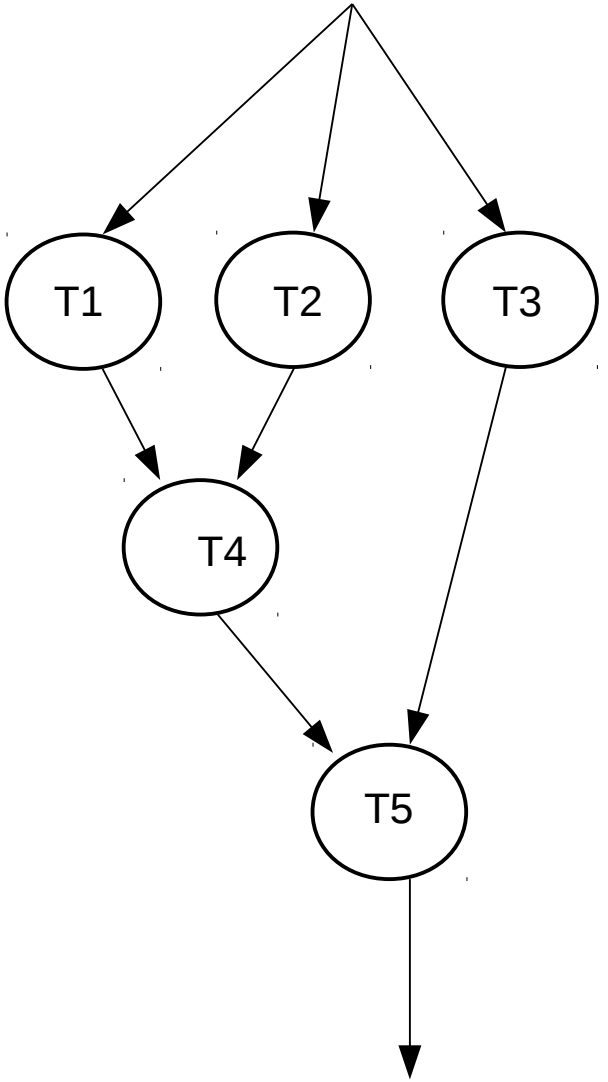
```
#include <unistd.h>
void _exit(int status);
```

Controllo processi

- **`pid_t wait(int *status);`**
- **`pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options);`**
  - Argomento **pid**:
    - **pid == -1→** attende la prima terminazione
    - **pid > 0 →**attende la terminazione del processo generato con process id corrispondente
    - **pid == 0 →** attende la terminazione di qualsiasi processo con process group id uguale a quello del processo chiamante
    - **pid < -1 →** attende la terminazione di qualsisi child con process group ID uguale a –**pid**
  - Argomento **status**
    - puntatore ad un intero;
    - se diverso da NULL, contiene lo stato della terminazione
  - Differenza wait/waitpid: wait aspetta il primo figlio

```c
/*forkd1.c*/  #include <stdio.h>#include <unistd.h> #include <sys/types.h>
int main(int argc, char *argv[]){
   pid_t cpid, w, t1,t2,t3,t4,t5;       int status;
   printf("Sono il processwo MAIN.  PID %ld, PPID %ld\n", (long) getpid(), (long) getppid());
   t1 = fork();
   if (t1 == 0) { /* codice del figlio */
       printf("processo T1; PID %ld, PPID %ld\n", (long) getpid(), (long) getppid());
       sleep(1); _exit(0);
   } else { /* codice del padre */
       t2 = fork();
       if (t2 == 0) { /* figlio */
          printf("processo T2; PID %ld, PPID %ld\n", (long) getpid(), (long) getppid());
          sleep(1); _exit(0);
       } else {
          t3 = fork();
          if (t3 == 0) { /* figlio */
               printf("processo T3; PID %ld, PPID %ld\n", (long) getpid(), (long) getppid());
               sleep(1); _exit(0);
          } else {
               waitpid(t1, &status,0);  printf("sono il padre, ho aspettato t1\n");
               waitpid(t2, &status,0);  printf("sono il padre, ho aspettato t2\n");
               t4 = fork();
               if (t4 == 0) { /* figlio */
                 Printf("processo T4; PID %ld, PPID %ld\n", (long) getpid(), (long) getppid());
                 Sleep(1); _exit(0);
               } else {
                 waitpid(t4, &status,0); printf("sono il padre, ho aspettato t4\n");
                 waitpid(t3, &status,0); printf("sono il padre, ho aspettato t3\n");
                 t5 = fork();
                 if (t5 == 0) { /* figlio */
                    printf("proc. T5; PID %ld, PPID %ld\n", (long) getpid(), (long) getppid());
                    sleep(1); _exit(0);
                 } else { /* padre */
                    waitpid(t5, &status,0); printf("sono il padre, ho atteso t5\n");
                    }
               }
          }
       }
   }
```


main
fork
fork
fork
start
start
start
T1
T2
T3
end
watpid(T1)
end
watpid(T2)
fork
start
T4
end
watpid(T4)
watpid(T3)
fork
start
T5
end
watpid(T5)


T1
T2
T3
T4
T5

Controllo processi

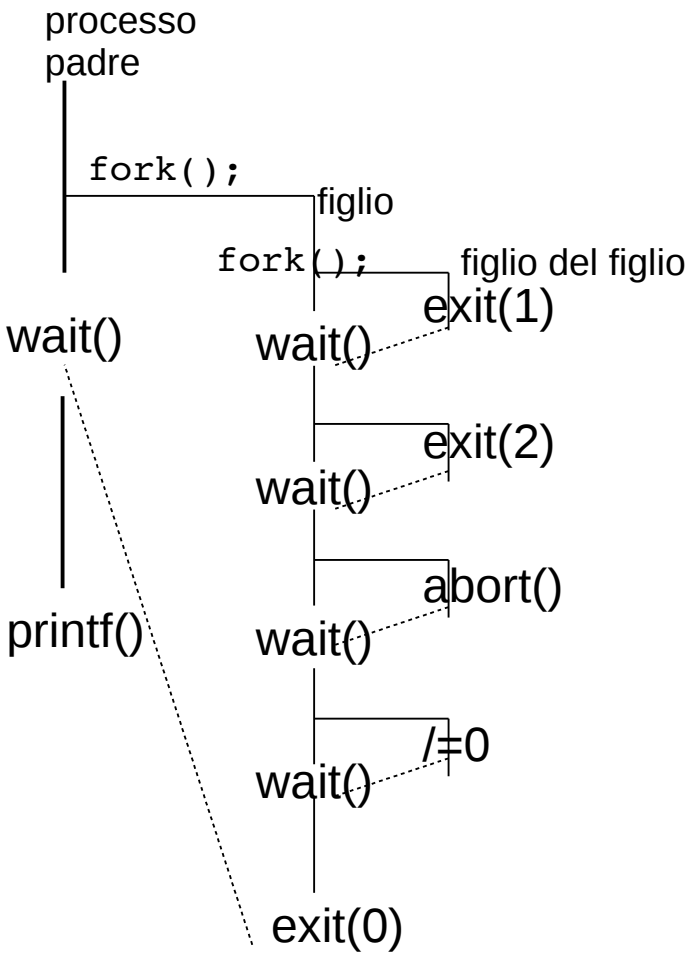
- **Cosa succede se il padre termina prima del figlio?**
  - il processo child viene "adottato" dal processo **init** (pid 1): quando un processo termina, il kernel esamina la tabella dei processi per vedere se aveva figli; in caso affermativo, il PPID viene posto uguale a 1
- **Cosa succede se il figlio termina prima del padre?**
  - il processo va in ***Stato 'zombie'***
  - vengono mantenute le informazioni che sono richieste dal padre tramite **wait** e **waitpid**
  - il processo resterà uno zombie fino a quando il parent non eseguirà una delle system call **wait**
- **I processi figli del processo init non possono diventare zombie**
  - tutte le volte che un child di **init** termina, **init** esegue una chiamata **wait** e raccoglie eventuali informazioni
  - in questo modo gli zombie vengono eliminati

Controllo processi

```
#include <sys/types.h>    //pid_t
#include <unistd.h>       //fork()
#include <sys/wait.h>     //waitpid
#include <stdio.h>        //printf...
#include <stdlib.h>       //exit()
//cntrl-proc1.c
int main(void)
{
    pid_t pid;
    int status;

    pid=fork();
    if(pid!=0) {
        printf("pid1=%d\n",pid);
        wait(&status);printf("status1=%d\n",status);
        exit(0);
    }else{
        pid=fork();       if(pid==0) exit(1);
        printf("\tpid=%d ppid=%d\n",pid,getpid());
        wait(&status);printf("\tstatus=%d\n",status);
        pid=fork();       if(pid==0) exit(2);
        printf("\tpid2=%d\n",pid);
        wait(&status);printf("\tstatus2=%d\n",status);
        pid=fork();       if(pid==0) abort();
        printf("\tpid3=%d\n",pid);
        wait(&status);printf("\tstatus3=%d\n",status);
        pid=fork();       if(pid==0) status /= 0;
        printf("\tpid4=%d\n",pid);
        wait(&status);printf("\tstatus4=%d\n",status);
        exit(0);
    }
}
```

processo padre

processo figlio

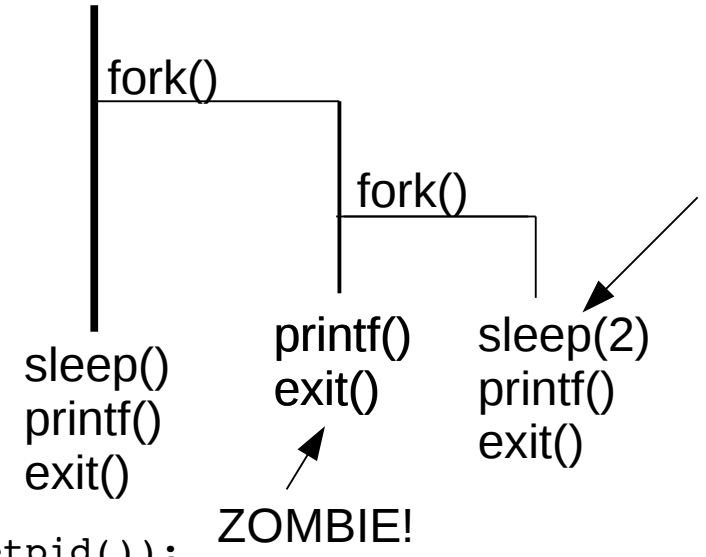


NB:

exit(n) ritorna il valore n*256 al processo padre

abort() e /=0 inviano un segnale al processo figlio

Controllo processi



Qui siamo all'interno del secondo processo figlio;non appena suo padre (il primo processo figlio) chiama exit(), viene adottato.
Il secondo processo figlio continua ...

```
/* processi ZOMBIE */

#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
//cntrl-proc2.c
int main(void)
{
     pid_t    pid;

     printf("ID del main=%d\n", getpid());
     pid = fork();
     if (pid == 0) {       /* primo processo figlio*/
          pid = fork();
          if (pid > 0)
               {printf("\tsono il 1o figlio. ID=%d PPID=%d\n", getpid(), getppid());
               exit(0);
     }    /* il primo figlio termina */
          else{
                    sleep(2);
                    printf("\t\tsono il 2o figlio. L'ID di mio padre e'= %d\n", getppid());
                    exit(0);
          }
     }
     /* A questo punto sono tornato al processo originale cioe' il padre dei due figli*/
     sleep(1);
     printf("sono il processo %d\n", getpid());
     exit(0);
}
```

figlio

Riepilogo...

Un codice d'esempio di un processo

```
void main(int argc, char *argv[])
{
    int i,fd, numero_righe,newlen,oldlen;
    int size=100, n;
    char **righe, *str="ieri";
    Char testo[100], *p;
    FILE *fp;

    righe=(char**)malloc(100*sizeof(char*));
    numero_righe=atoi(argv[2]);
    fd=open(argv[1],O_WRONLY);
    fp=fopen(argv[1],"r");
    oldlen=0;
    fork();
    fgets(testo, size, fp);
    newlen=strlen(testo);
    righe[i]=malloc(strlen(testo));
    strcpy(righe[i],testo);
    p = strstr(righe[i], "oggi");
    n = p-righe[i]+oldlen;
    lseek(fd,n,SEEK_SET);
    write(fd,str,4);
    oldlen+=newlen;
    close (fp);
    close(fd);
}
```

Nuovo processo creato per duplicazione

```
void main(int argc, char *argv[])
{
    int i,fd, numero_righe,newlen,oldlen;
    int size=100, n;
    char **righe, *str="ieri";
    Char testo[100], *p;
    FILE *fp;

    righe=(char**)malloc(100*sizeof(char*));
    numero_righe=atoi(argv[2]);
    fd=open(argv[1],O_WRONLY);
    fp=fopen(argv[1],"r");
    oldlen=0;
    fork();
    fgets(testo, size, fp);
    newlen=strlen(testo);
    righe[i]=malloc(strlen(testo));
    strcpy(righe[i],testo);
    p = strstr(righe[i], "oggi");
    n = p-righe[i]+oldlen;
    lseek(fd,n,SEEK_SET);
    write(fd,str,4);
    oldlen+=newlen;
    close (fp);
    close(fd);
}
```

Riepilogo...

Il codice d'esempio

```
void main(int argc, char *argv[])
{
    int i,fd, numero_righe,newlen,oldlen;
    int size=100, n;

    fork();
    wait();

    n = p-righe[i]+oldlen;
    lseek(fd,n,SEEK_SET);
    write(fd,str,4);
    oldlen+=newlen;
    close (fp);
    close(fd);
}
```

...Attesa...

Nuovo processo creato

```
void main(int argc, char *argv[])
{
    int i,fd, numero_righe,newlen,oldlen;
    int size=100, n;

    fork();
    wait();

    n = p-righe[i]+oldlen;
    lseek(fd,n,SEEK_SET);
    write(fd,str,4);
    oldlen+=newlen;
    close (fp);
    close(fd);
}
```

Riepilogo...

usando waitpid:

```
void main(int argc, char *argv[])
{
    int i,fd, numero_righe,newlen,oldlen;
    int size=100, n;

    i=fork();
    waitpid(i);

    n = p-righe[i]+oldlen;
    lseek(fd,n,SEEK_SET);
    write(fd,str,4);
    oldlen+=newlen;
    close (fp);
    close(fd);
}
```

...Attesa...

```
void main(int argc, char *argv[])
{
    int i,fd, numero_righe,newlen,oldlen;
    int size=100, n;

    fork();
    wait();

    n = p-righe[i]+oldlen;
    lseek(fd,n,SEEK_SET);
    write(fd,str,4);
    oldlen+=newlen;
    close (fp);
    close(fd);
}
```

Riepilogo...

- Fork() ritorna il pid del nuovo processo al processo chiamante fork()
- Fork() ritorna 0 al processo generato
- Il nuovo processo eredita dal processo che ha eseguito la fork():
  - Variabili d'ambiente
  - La UFDT (file aperti)
  - Process Real User ID
  - Process Real Group ID
  - Process Effective User ID
  - Process Effective Group ID
- I processi creati vengono rimossi da Linux se terminano mentre sono attesi da wait()
- Se termina senza essere atteso da wait diventa Zombie
- Se il processo chiamante la fork termina prima del figlio, il processo creato viene adottato dal processo 1

Chiamata di sistema exec()

- **Quando un processo chiama una delle system call exec :**
  - Il processo viene rimpiazzato COMPLETAMENTE dal codice contenuto nel file specificato (text, data, heap, stack vengono sostituiti)
  - il nuovo programma inizia a partire dalla sua funzione main
  - il process id non cambia
- **Esistono sei versioni di exec:**
  - `int execl(char *pathname, char *arg0, …);`
  - `int execv(char *pathname, char *argv[]);`
  - `int execle(char *pathname, char *arg0, …, char* envp[]);`
  - `int execve(char *pathname, char *argv[] , char* envp[]);`
  - `int execlp(char *filename, char *arg0, …);`
  - `int execvp(char *filename, char *argv[]);`

Chiamata di sistema exec()

- **Cosa viene ereditato da exec?**
  - UFDT (file aperti)
  - Variabili d'ambiente
  - PID e PPID
  - real uid e real gid
  - current working directory (variabile PWD)
  - root e home directory
  - maschera creazione file (umask)
  - segnali in attesa

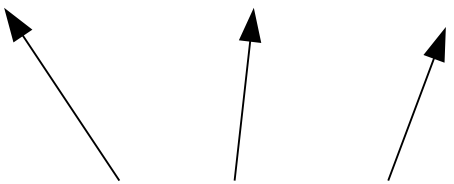
Chiamata di sistema exec()

- **Cosa non viene ereditato da exec?**
  - effective user id e effective group id
  - vengono settati in base ai valori dei bit di protezione
- **Cosa succede ai file aperti?**
  - Dipende dal flag close-on-exec che è associato ad ogni descrittore
  - Se close-on-exec è true, vengono chiusi
  - Altrimenti, vengono lasciati aperti (comportamento di default)

Esempio d'uso di exec()

- Questo processo sovrascrive il suo ambiente col codice eseguibile `all`

```
#include <stdlib.h>     /*  'errno' */
#include <unistd.h>    /*  'execle' */
#include <stdio.h>      /*  'printf' and 'NULL' */
#include <errno.h>      /*  'ENOENT' and 'ENOMEM' */

int main(void)
{
     pid_t     pid;

     if (execlp("/home/mumolo/all", "all", "primo_arg", "secondo_arg", "terzo_arg", NULL) < 0)
          err_sys("execlp error");

     if (waitpid(pid, NULL, 0) < 0)
          err_sys("wait error");

     exit(0);
}
```



Gli argomenti passati sono sempre stringhe!

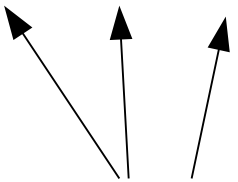
- Sorgente di `all`

```
#include  <stdlib.h>
#include  <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
     int i;
     printf("Sono il processo all. I miei argomenti passati da exec sono:\n");
     for (i = 1; i < argc; i++)    /* fa l'eco di tutti gli argomenti */
          printf("argv[%d]: %s\n", i, argv[i]);
     exit(0);
}
```

Esempio d'uso di exec()

- Questo processo sovrascrive il suo ambiente col codice eseguibile `all1`

```
#include <stdlib.h>     /*  'errno' */
#include <unistd.h>    /*  'execle' */
#include <stdio.h>      /*  'printf' and 'NULL' */
#include <errno.h>      /*  'ENOENT' and 'ENOMEM' */

int main(void)
{
     pid_t     pid;
     if (execlp("/home/mumolo/all1", "all1", "5", "10", "5700", NULL) < 0)
          err_sys("execlp error");

     if (waitpid(pid, NULL, 0) < 0)
          err_sys("wait error");

     exit(0);
}
```



Gli argomenti passati sono sempre stringhe!

- Sorgente di `all1`

```
#include  <stdlib.h>
#include  <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
     int i, buf[10];
     printf("Sono il processo all. I miei argomenti passati da exec sono numeri:\n");
     for (i = 1; i < argc; i++)    /* trasforma gli argomenti in int */
          buf[i]=atoi(argv[i]);

     for (i = 1; i < argc; i++)
          printf("buf[%d]: %d\n", i, buf[i]);
     exit(0);
}
```

Le stringhe passate vengono trasformate in int!

Esempio d'uso di exec()

- Esecuzione processo ls

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
main()
{
    printf("Esecuzione di ls\n");
    execl("/bin/ls", "ls", "-l", (char *)0);
    printf("La chiamata di execl ha generato un errore\n");
    exit(1);
}
```

- Esecuzione processo ps

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
main()
{
    printf("Esecuzione di ps -f\n");
    execl("/bin/ps", "ps", "-f", (char *)0);
    printf("La chiamata di execl ha generato un errore\n");
    exit(1);
}
```

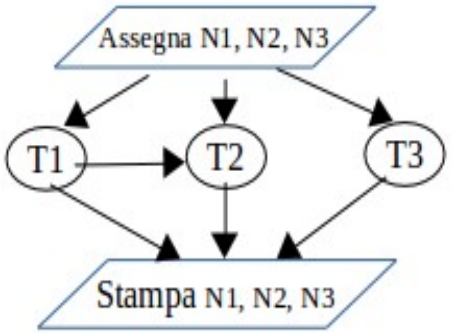
Se la execl funziona, non c'è più traccia della printf! Quindi la printf viene eseguita solo se c'è stato un problema.

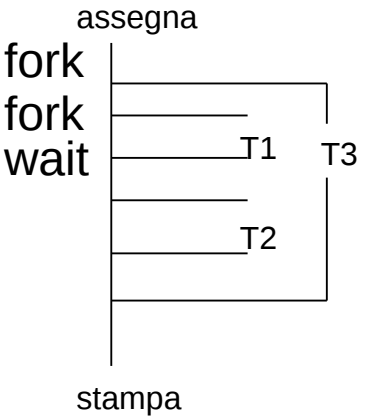
Uso di exec() e fork()

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>


main()
{
    pid_t pid;
    int status;

    switch(pid = fork()) {
        case -1:
            fatal("fork failed"); break;
        case 0:
            execl("/bin/ls", "ls", "-l", (char *)0);
            sys_err("exec failed");
            break;
        default:
            wait(&status);
            printf("ls completato\n");
            exit(0);
    }
}
```

Che succede se non aspetto?

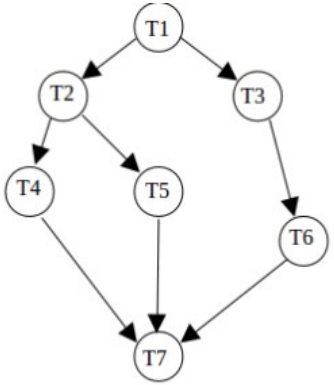
Implementazione di grafi delle precedenze

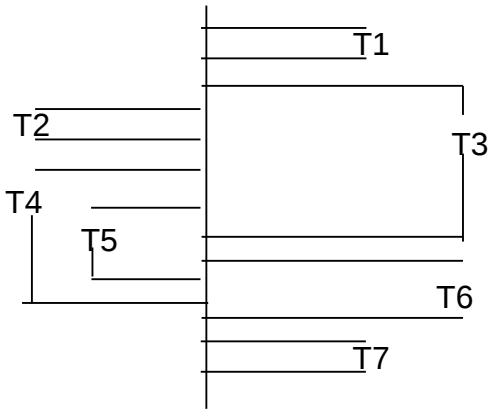





```
int main(int argc, char *argv[]){
   pid_t cpid, w, t1,t2,t3,t4,t5;

   t3 = fork();
   if (t3 == 0) { /* codice del figlio */
       execl("/home/T3", (char *)0);
   } else { /* codice del padre */
          t1 = fork();
          if (t1 == 0) { /* codice del figlio */
              execl("/home/T1", (char *)0);
          } else { /* codice del padre */
                    waitpid(t1, NULL, 0)
                    t2 = fork();
                    if (t2 == 0) { /* codice del figlio */
                         execl("/home/T2", (char *)0);
                    } else { /* codice del padre */
                         waitpid(t2, NULL, 0);
                         waitpid(t3, NULL, 0);
                    }
                }
     }
}
```

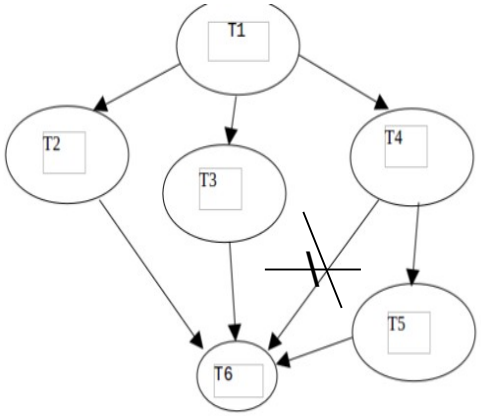
Implementazione di grafi delle precedenze



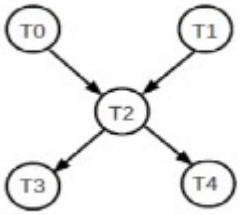



```
int main(int argc, char *argv[]){
   pid_t cpid, w, t1,t2,t3,t4,t5;

   t1 = fork();
   if (t1 == 0) { /* codice del figlio */
       execl("/home/T1", (char *)0);
   } else { /* codice del padre */
       waitpid(t1, NULL, 0);
       t3 = fork();
       if (t3 == 0) { /* codice del figlio */
           execl("/home/T3", (char *)0);
       } else {
                  t2 = fork();
                  if (t2 == 0) { /* codice del figlio */
                     execl("/home/T2", (char *)0);
                  } else {
                  waitpid(t2,NULL,0);
                     t4 = fork();
                     if (t4 == 0) { /* codice del figlio */
                          execl("/home/T4", (char *)0);
                     } else { /* codice del padre */
                          t5 =fork();
                          if (t5 == 0) { /* codice del figlio */
                              execl("/home/T5", (char *)0);
                          } else { /* codice del padre */
                               t6 = fork();
                               if (t6 == 0) { /* codice del figlio */
                                    execl("/home/T6", (char *)0);
                               } else { /* codice del padre */
                                    waitpid(t5, NULL, 0);
                                    waitpid(t4, NULL, 0);
                                    waitpid(t6, NULL, 0);
                          }
                  }
              }
          }
      }
}
```

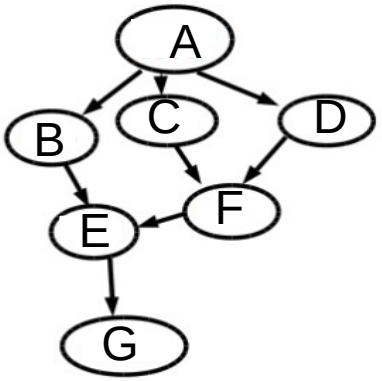
Implementazione di grafi delle precedenze



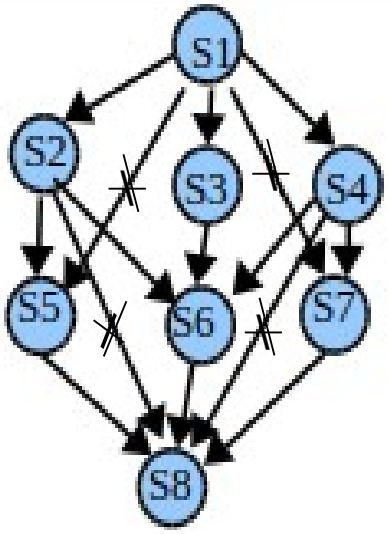
Implementazione di grafi delle precedenze

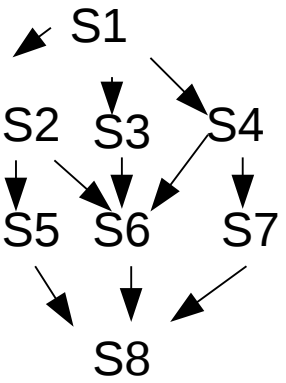


Implementazione di grafi delle precedenze

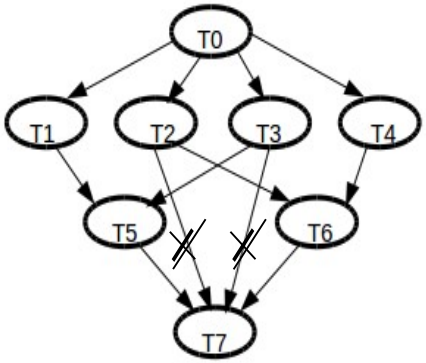


Implementazione di grafi delle precedenze





Implementazione di grafi delle precedenze



L'ambiente di un processo

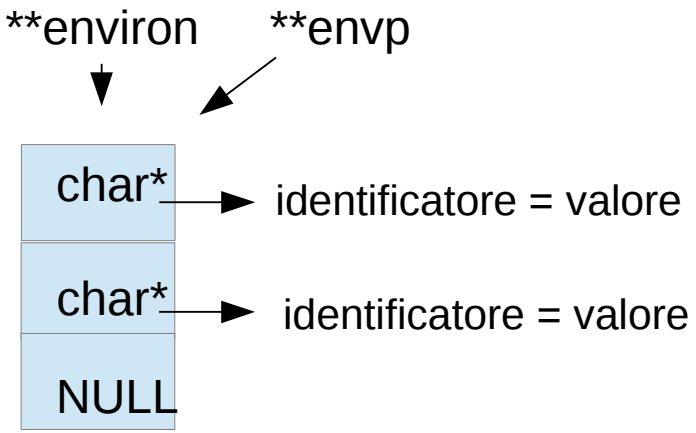
- Un ambiente è rappresentato da un vettore di puntatori a caratteri terminato da un puntatore nullo.
- Ogni puntatore (che non sia quello nullo) punta ad una stringa della forma: identificatore = valore
- Per accedere all'ambiente da un programma C, è possibile:
  - aggiungere il parametro envp a quelli del main:

```
/* showmyenv */
#include <stdio.h>
main(int argc, char **argv, char **envp)
{
    while(*envp) printf("%s\n",*envp++);
}
```

  - oppure usare la variabile globale seguente:

```
extern char **environ;
```

  - Usare il comando `env`



Stampa dell'ambiente

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


int main(int argc, char *argv[])
{
    int         i;
    char        **ptr;
    extern char **environ;

    for (i = 0; i < argc; i++)      /* fa l'eco di tutti gli argomenti */
        printf("argv[%d]: %s\n", i, argv[i]);

    for (ptr = environ; *ptr != 0; ptr++)   /* e di tutto l'ambiente */
        printf("%s\n", *ptr);

    exit(0);
}
```

Primo programma di shell

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#define MAXLINE 128
int main(void)
{
    char    buf[MAXLINE];
    pid_t   pid;
    int     status;
    printf("%% "); /* prompt */
    while (fgets(buf, MAXLINE, stdin) != NULL) {
        if (buf[strlen(buf) - 1] == '\n') buf[strlen(buf) - 1] = 0;
        if ((pid = fork()) < 0) {
            printf("errore di fork "); exit(1);
        } else if (pid == 0) {     /*figlio */
            execlp(buf, buf, NULL);
            printf("non posso eseguire: %s", buf);
            exit(127);
        } else
        if ((pid = waitpid(pid, &status, 0)) < 0) /* padre */
            {printf("errore di waitpid"); exit(1);}
        printf("%% ");
    }
    exit(0);
}
```