Processi – Concetti di base

Esecuzione parallela e sequenziale

Il concetto di processo

Gestione dei processi

Esecuzione sequenziale

- **I sistemi di calcolo più semplici consentono unicamente l'esecuzione sequenziale**
  - Un programma può essere eseguito se e solo se il programma precedente è terminato
- **Questo schema presenta alcuni vantaggi**
  - La semplicità
  - Il determinismo della sequenza e dei tempi di esecuzione
  - L'assenza di conflitti per l'accesso alle risorse condivise
    - Software: File, Dati
    - Hardware: Memoria, Dispositivi
- **... ma mostra diversi limiti**
  - Accesso di un solo utente alla volta
  - Esecuzione di un solo programma alla volta
  - Mancanza del supporto per applicazioni distribuite
  - Scarso sfruttamento delle risorse hardware
    - Dispositivi
    - Processore/i

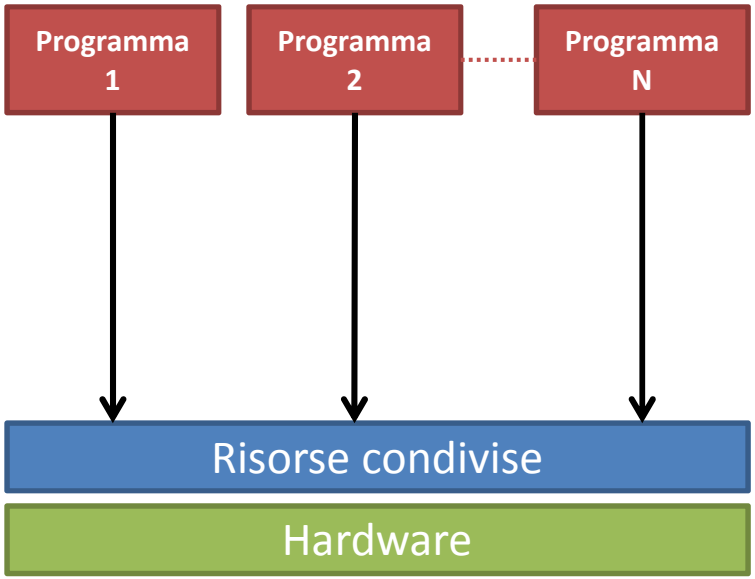
Esecuzione parallela

- **I moderni sistemi di calcolo offrono il supporto all'esecuzione parallela**
  - Più programmi eseguiti contemporaneamente
    - Il parallelismo è "simulato", se la macchina hardware dispone di un solo processore
    - Il parallelismo è "reale", se la macchina dispone di più processori
- **Questo schema supera tutti i limiti dell'esecuzione sequenziale ma introduce alcuni problemi**
  - Il determinismo non è garantito automaticamente
  - L'ordine di esecuzione dei programmi non è fissato
  - L'esecuzione sequenziale di più programmi deve essere gestita esplicitamente dall'utente o dal programmatore
  - I conflitti di accesso alle risorse devono essere gestiti
- **Questi problemi sono risolti grazie al Sistema Operativo**
  - In modo automatico
    - Scheduling, memoria virtuale, periferiche virtuali, ...
  - Offrendo opportuni servizi al programmatore
    - Gestione dei processi, sincronizzazione, ...

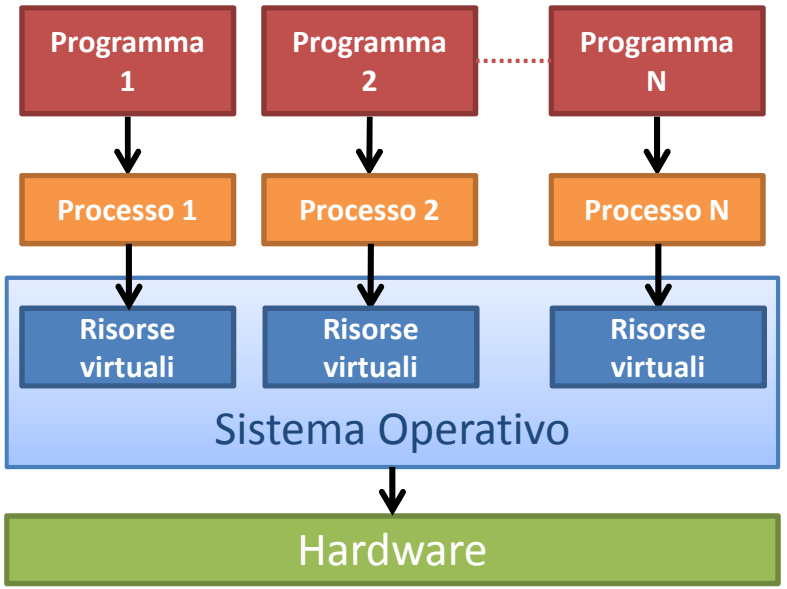
Processo

- **A supporto dell'esecuzione parallela i sistemi operativi hanno introdotto il concetto di processo**
- **Un processo**
  - Rappresenta una istanza di esecuzione di un programma
  - Può essere considerato un "esecutore virtuale"
  - Permette di gestire l'accesso concorrente alle risorse

Esecuzione sequenziale senza S.O.



Esecuzione parallela con S.O.



Processo

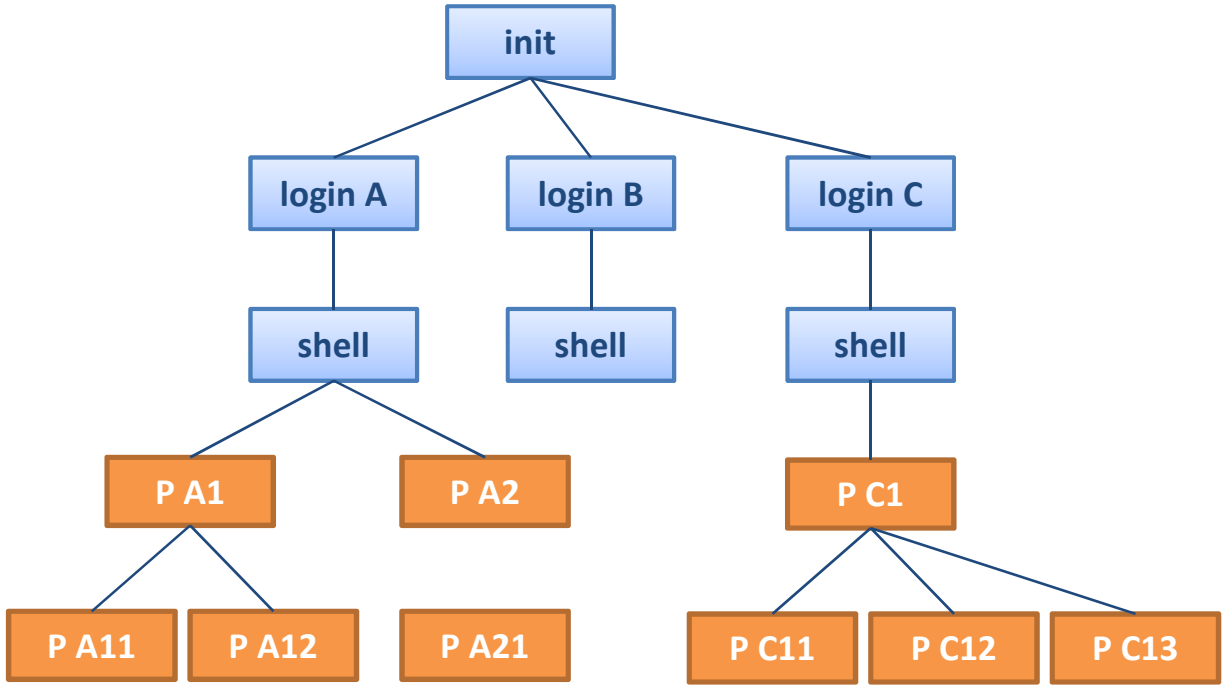
- **Esecuzione sequenziale senza S.O.**
  - Un programma è eseguito solo quando termina il programma precedente
  - Un programma accede direttamente alle risorse condivise
    - Non si hanno conflitti per costruzione
  - Un programma accede direttamente ai driver delle periferiche e alle risorse condivise
- **Esecuzione parallela con S.O.**
  - Tutti i programmi sono eseguiti contemporaneamente
    - Il sistema operativo gestisce l'alternanza dei processi mediante uno "scheduler"
  - Un programma non accede direttamente alle risorse condivise
    - Il S.O. si occupa di gestire i conflitti
    - Un programma accede ad un insieme di risorse virtuali private associate al processo
  - Un programma delega al S.O. l'acesso alle risorse mediante "system call"

Processo

- **Un processo è identificato da un PID (Process IDentifier) univoco**
  - Ogni processo è creato da un altro processo detto "padre"
  - Unica eccezione è il processo "init", il primo ad essere eseguito dal S.O.
- **Il sistema operativo mantiene una tabella che associa ad ogni PID una struttura dati detta Process Descriptor che contiene tutte le informazioni ad esso relative**
- **Il Process Descriptor contiene**
  - PID del processo padre
  - Informazioni sul''utente (uid, gid, permessi)
  - Informazioni sulla memoria
  - Riferimenti alle tabelle di sistema
  - Informazioni sui tempi di esecuzione
  - ...
- **Ogni processo dispone di un insieme di risorse virtuali**
  - Memoria
  - File
  - Periferiche

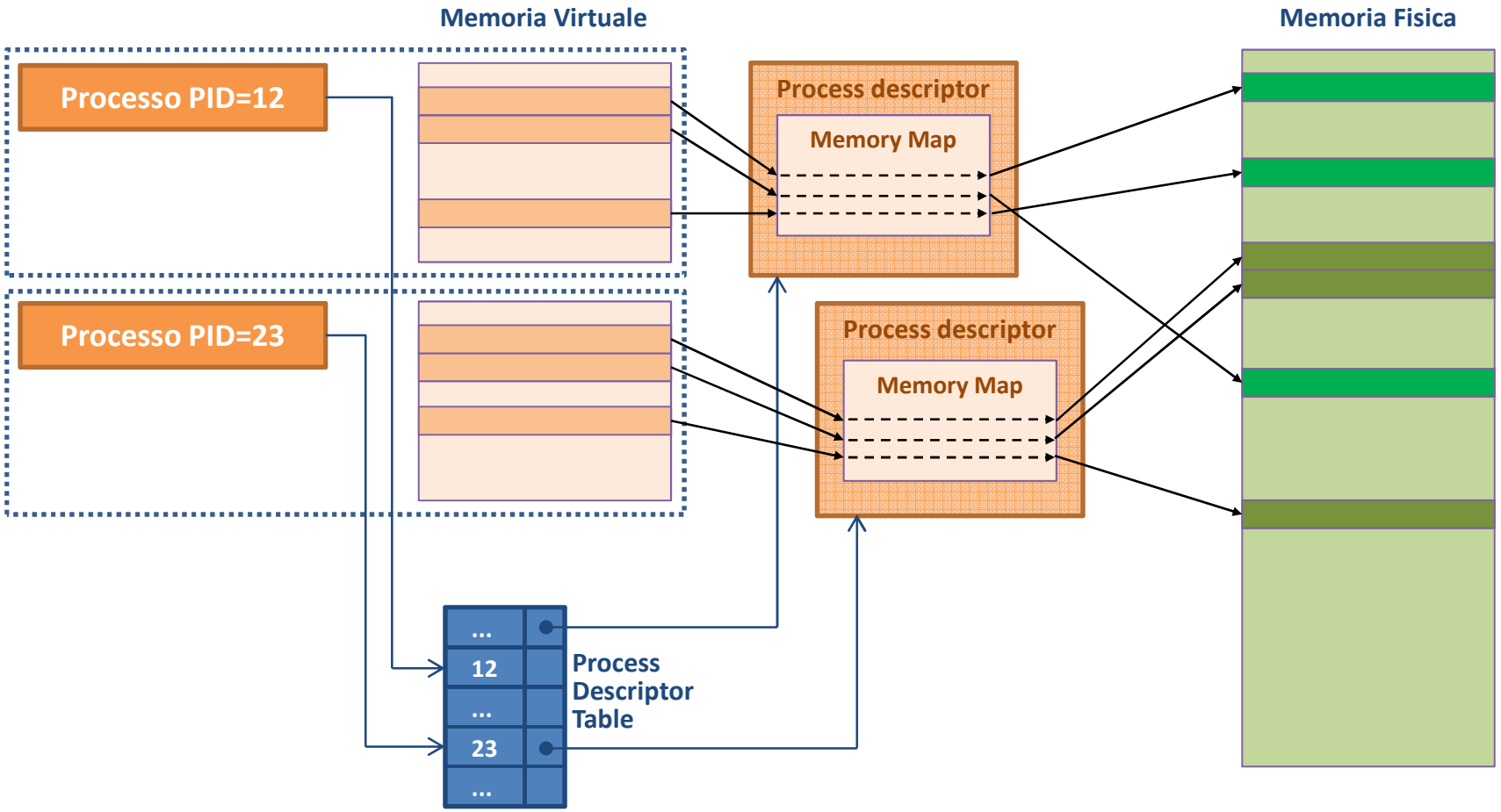
Gerarchia di processi

- **Quanto segue è vero in generale, ma faremo riferimento specificamente ai sistemi operativi UNIX/Linux**
- **Tutti i processi sono figli del processo "init"**
  - Da questo discende il processo "login" e la relativa "shell"
  - Da una shell discende la gerarchia dei processi utente



Modello di memoria

- **Un processo**
  - Non accede alla memoria fisica in modo diretto
  - Accede ad una "memoria virtuale", mappata sulla memoria fisica mediante il PD



Modello di memoria

- **Dal punto di vista logico, la memoria di un processo è organizzata in "segmenti"**
- **Ogni segmento contiene un tipo specifico di informazioni**
  - Dati, codice, informazioni di sistema operativo
- **Un semplice modello di memoria segmentata dispone dei segmenti seguenti**
- **TEXT**
  - Contiene il codice eseguibile del programma
- **DATA**
  - Contiene i dati del programma. A sua volta è suddiviso in sezioni
    - DATA: Variabili globali esterne e statiche inizializzate
    - BSS: Variabili globali esterne e statiche non inizializzate
    - ROM: Costanti. A volte questa sezione fa parte del segmento TEXT
    - STACK: Stack del programma. Contiene le variabili automatiche
    - HEAP: Memoria dinamica. Contiene i dati allocati dinamicamente
    - SHARED: Memoria condivisa con altri processi
- **SYSTEM DATA**
  - Contiene i dati del programma gestiti dal sistema operativo
    - Descrittori di file, strutture dati dei thread, descrittori dei socket, ...

Operazioni sui processi

- **Creazione di un processo**
  - Il processo corrente crea un nuovo processo
  - Il processo creato (figlio) è identico al padre
- **Terminazione di un processo**
  - Termina un processo
  - Ritorna al padre un codice di terminazione o exit code
- **Attesa della terminazione di un processo**
  - Permette al processo padre di attendere la terminazione di un figlio
  - L'attesa può essere bloccante o non bloccante
- **Sostituzione del codice di un processo**
  - Sostitusce il codice eseguito da un processo con quello di un altro programma
  - Consente di creare processi che eseguono codice diverso da quello del padre
- **Analisi di un processo**
  - Permette di raccogliere informazioni sul processo corrente
- **Segnalazione**
  - Permette di inviare "segnali" ad un processo

Creazione

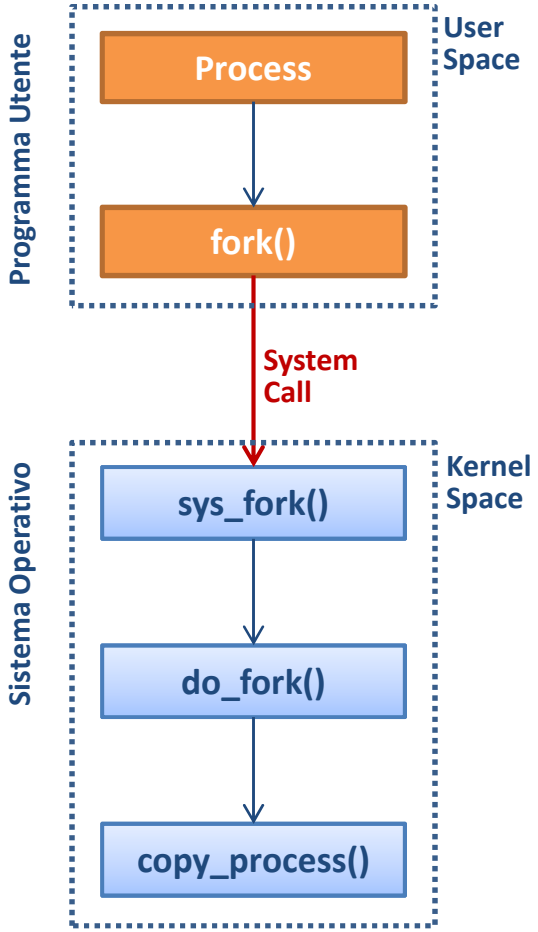
- **La creazione di un processo avviene mediante la funzione:**

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

- **L'effeto della chiamata è il seguente**
  - Viene generato un nuovo PID per il figlio
  - Viene creato un nuovo process descriptor
  - I segmenti dati e dati di sitema vengono copiati nella memoria del nuovo processo
    - Immediatamente dopo la creazione le due coppie di segmenti sono identiche
    - A meno del valore restituito dalla fork() stessa
  - Il codice del processo padre viene condiviso dal figlio
- **Dato che il codice è duplicato la funzione fork() "ritorna due volte", una volta nel processo padre e una volta nel processo figlio**
  - Nel padre restituisce
    - Il PID del processo figlio appena creato
    - Il valore -1 in caso di errore
  - Nel figlio restituisce sempre 0

Creazione

- **Vediamo le operazioni effettuate dal programma e quelle delegate al S.O.**
- **fork()**
  - Inizia la creazione del processo e prepara le informazioni per la chiamata di sistema
- **sys_fork()**
  - E' la versione della fork() in kernel space
- **do_fork()**
  - Genera il nuovo PID
  - Chiama copy_process() con gli argomenti opportuni
  - Al ritorno da do_fork() inizia l'esecuzione del nuovo processo
- **copy_process()**
  - Crea un nuovo descrittore di processo e vi copia alcune informazioni del processo padre
  - Copia le varie porzioni (segmenti e sezioni) del processo padre nel processo figlio



Creazione

- **Spesso un processo genera un figlio per eseguire un programma differente**
- **Ciò è possibile**
  - Creando un figlio identico al padre
  - Sostituendo il codice del figlio con quello del programma desiderato (vedi oltre)
- **In questo caso è verosimile che nel processo figlio non avvenga alcuna modifica delle variabili tra il momento in cui il figlio inizia l'esecuzione e il momento in cui il suo codice (e quindi i suoi dati!) vengono sostituiti**
- **Ciò rende superflua la copia dei segmenti dati nello spazio di memoria del figlio**
  - In generale tale copia può essere molto onerosa
- **Esistono due soluzioni per evitare tale inutile copia**
  - La funzione standard vfork()
    - Funziona come fork(), ma non esegue la copia dei segmenti dati
    - Richiede di sostituire il codice del figlio immediatamente dopo la sua creazione
  - Una versione della funzione fork() che implementa il meccanismo "copy-on-write"
    - Non esegue la copia dei dati fintanto che il programma non richiede una scrittura in memoria
    - In tal caso copia tutti i dati del processo padre nella memoria del figlio

Terminazione

- **La terminazione di un processo avviene mediante la funzione:**

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

- **L'effetto della chiamata è il seguente**
  - Vengono eseguite operazioni di housekeeping
    - I file aperti vengono chiusi, la memoria viene rilasciata, ...
  - Viene salvato il valore dell'exit status nel descrittore del processo
    - In questo modo potrà essere recuperato dal padre mediante le funzione wait() o waitpid()
    - Si noti che il PID non viene rilasciato e il descrittore non viene distrutto
  - Viene segnalata al processo padre la terminazione di un figlio
    - Viene inviato al padre il segnale SIGCHLD (vedi oltre)
  - La funzione exit() non ritorna
- **Se un processo figlio termina prima che il padre abbia invocato la funzione wait(), il processo figlio diventa "defunct" o "zombie"**
  - Il processo è terminato ma il descrittore non può essere rilasciato

Attesa della terminazione

- **L'attesa per la terminazione di un processo avviene mediante le funzioni:**

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
pid_t wait( int* status );
pid_t waitpid( pid_t pid, int* status, int options );
```

- **Con alcune differenze, l'effetto delle due chiamate è il seguente**
  - Si sospende in attesa della terminazione di un processo figlio
    - L'esecuzione riprende nel momento in cui il processo corrente riceve il segnale SIGCHLD
  - Recupera il valore dello stato di uscita specificato dalla funzione exit() nel figlio
  - Rilascia il PID del figlio e rimuove il suo descrittore di processo
  - Restituisce il PID del figlio terminato
- **La funzione wait()**
  - Attende la terminazione di un figlio qualsiasi ed è sempre bloccante
- **La funzione waitpid()**
  - Può attendere un figlio o un insieme di figli specifici e può essere non bloccnate

Attesa della terminazione – Exit status

- **La terminazione di un processo può avvenire**
  - In modo naturale
    - Mediante la funzione exit() o l'istruzione return nella funzione main()
  - A causa di un "segnale"
    - Terminazione, ...
- **Il valore salvato nella variabile passata alle chiamate wait() e waitpid() indica**
  - La ragione della terminazione: terminazione naturale o mediante segnale
    - Tale valore è salvato nel byte meno significativo della variabile
  - Il valore dello stato di uscita specificato nella funzione exit() del figlio
    - Tale valore è salvato nel byte più significativo della variabile
- **Ecco alcuni esempi**
  - status = 0x2000 — Terminazione naturale (0x00)
Exits status 0x20
  - status = 0x0009 — Terminazione causata dal segnale SIGKILL (0x09)
Il valore dello stato di uscita non è significativo

Attesa della terminazione – Exit status

- **La libreria standard mette a disposizione alcune macro per analizzare il valore catturato dalle funzioni wait() e waitpid()**

- **WIFEXITED(status)**
  - Ritorna vero se il figlio è terminato in modo naturale

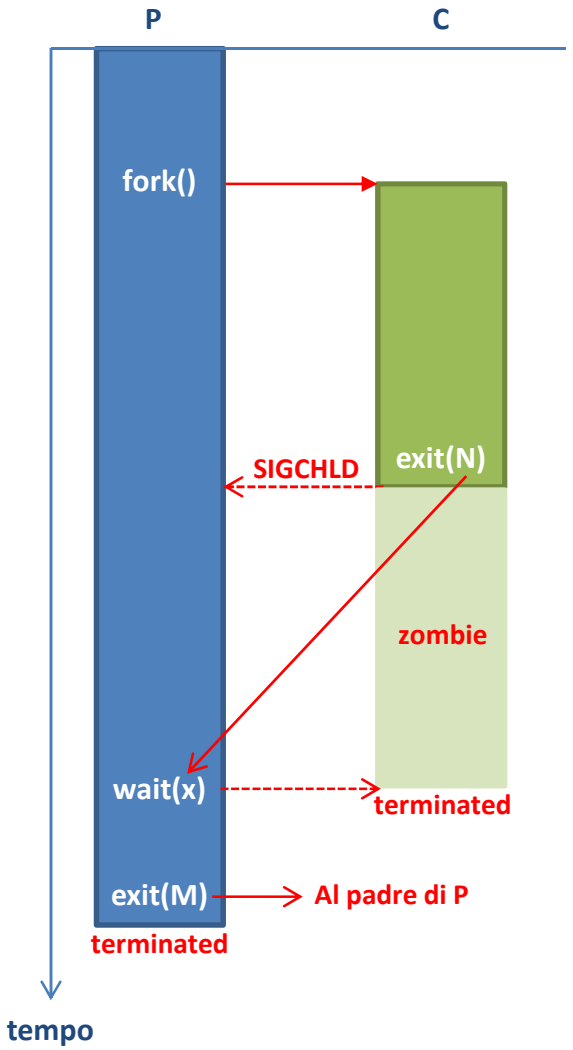
- **WEXITSTATUS(status)**
  - Se il figlio è terminato in modo naturale, restituisce l'exit status passato dal figlio alla funzione exit()

- **WIFSIGNALLED(status)**
  - Ritorna vero se il figlio è terminato a causa di un segnale

- **WTERMSIG(status)**
  - Se il figlio è terminato a causa di un segnale, restituisce il codice del segnale

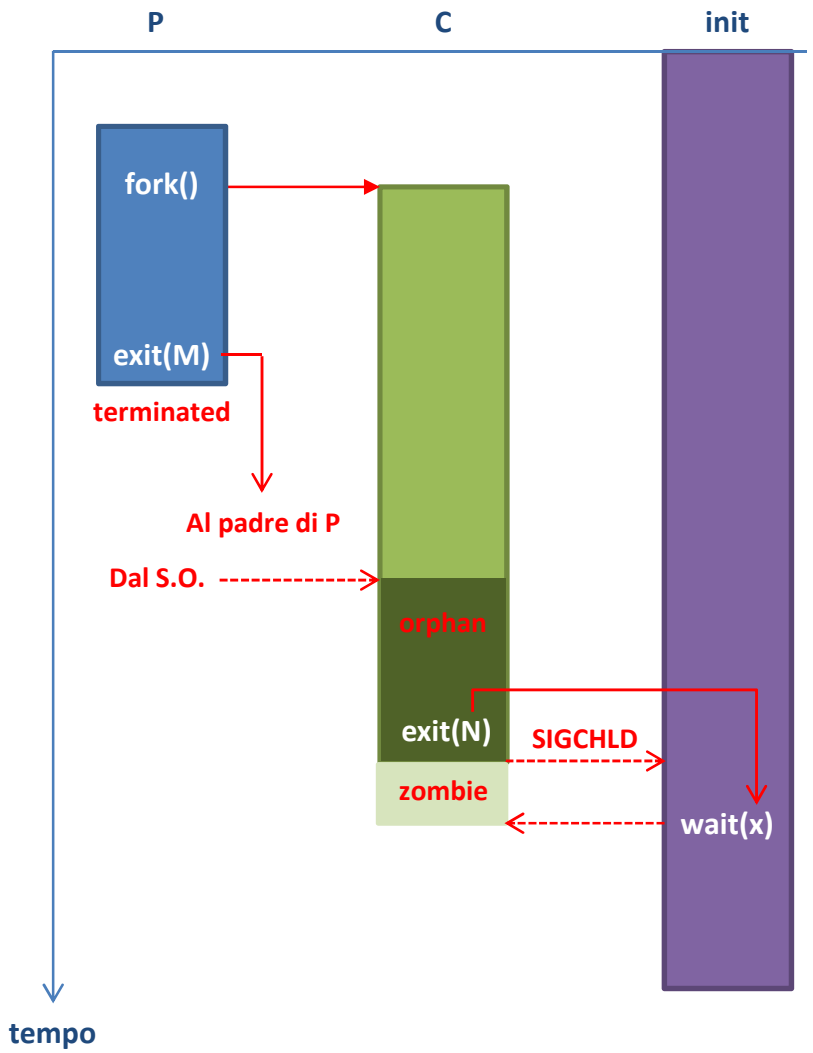
Processi zombie e orphaned

- **Lo stato di un processo dipende da diverse condizioni**
  - Sequenza di chiamata delle funzioni exit() e wait()
  - Sequenza di terminazione di padre (P) e figlio (C)
- **Un processo C è "zombie" quando**
  - Il processo C termina prima che il padre P si sia messo in attesa
  - Quando C termina
    - Le sue risorse vengono rilasciate
    - Il PID rimane nella tabella dei processi
    - Il descrittore (contenente l'exit status) è conservato
  - Quando il padre P esegue la chiamata alla wait()
    - Rileva l'exit status
    - Rilascia il PID e il descrittore del figlio C
    - Il figlio C a questo punto non esiste più
  - Se il padre P non esegue la chiamata alla wait()
    - Il figlio C rimane zombie



Processi zombie e orphaned

- **Un processo C è "orphaned" quando**
  - Il processo padre P termina prima del processo figlio C
    - Il padre non può più invocare la funzione wait() per il figlio
    - Per questo, il processo C viene "adottato" dal processo init, il cui PID è sempre 1
  - Quando il padre P è termina
    - Il sistema operativo deve verificare se esistono processi figli di P, nel nostro caso identificherà il processo figlio C
    - In tal caso modifica il descrittore del figlio C modificando il parent PID da quello di P a quello di "init", cioè 1
  - Quando figlio C termina
    - Il processo "init" riceve il segnale SIGCHLD
    - Esegue una wait() per consentire il rilascio del PID e del descrittore di C e la sua terminazione



Sostituzione del codice

- **La sostituzione del codice avviene mediante la funzione:**

```
#include <unistd.h>
int execl( const char* path, const char* arg, ... );
```

- **L'effeto della chiamata è il seguente**
  - Sostituisce i segmenti TEXT e DATA del processo corrente con il codice e i dati del programma specificato mediante il primo argomento
    - Il nome del programma deve essere specificato completo del path
  - Il segmento SYSTEM DATA non viene sostituito
    - Ciò significa che le risorse di sistema (file, socket, ...) sono disponibili nel nuovo programma
  - Il processo non cambia, perciò descrittore e PID rimangono invariati
- **Al nuovo programma vengono passati gli argomenti specificati**
  - Il primo argomento deve essere il path del programma, cioè deve coincidere con path
  - Seguono gli argomenti veri e propri, seguiti dal valore NULL che indica la fine della lista
- **Nel programma è possibile accedere agli argomenti mediante i parametri argc e argv della funzione main()**

Sostituzione del codice

- Il passaggio degli argomenti al nuovo programma avviene come mostrato

Prima della sostituzione del codice: Chiamata della funzione execl()

```
ret = execl( prgpath, prgpath,  arg1,     arg2,    ...,  argN, NULL );
```

Dopo la sostituzione del codice: Ingresso nella funzione main()

```
/*                    argv[0]   argv[1]   argv[2]  ...   argv[N]   */
main( int argc, char** argv ) {


}
```

Sostituzione del codice

- **Esistono diverse varianti della funzione per la sotituzione del codice:**
- **execl(const char* path, const char* arg, ...)**
  - La funzione appena vista
- **execlp(const char* file, const char* arg, ...)**
  - Come execl() ma il nome del programma è specificato senza path e viene cercato dal sistema in tutte le directory specificate dalla variabile d'ambiente PATH
- **execle(const char* path, const char* arg, ..., char* const evnp[])**
  - Come execl() ma passa alla fuznione main anche l'ambiente
  - Ogni elemento dell'array envp[] è una stringa del tipo "variable=value\0" e la fine dell'array è indicata dal un puntatore NULL
- **execv(const char* path, char* const argv[])**
  - Come execl() ma passa gli argomenti nella stessa forma in cui main() li riceve mediante il parametro argv[], cioè un array di puntatori a stringhe terminato da un puntatore NULL
- **execvp(const char* file, char* const argv[])**
  - Come execv() ma il nome del programma è specificato senza path

Sostituzione del codice

- **Tutte le funzioni viste sono front-end della funzione:**
- **execve(const char* path, char* const argv[] , char* const envp[])**
  - Richiede il path completo del programma
  - Passa gli argomenti sotto forma di array di puntatori a stringhe terminato da NULL
  - Passa l'ambiente sotto forma di array di puntatori a stringhe terminato da NULL