

LabSO 2024

Laboratorio Sistemi Operativi - A.A. 2023-2024

Michele Grisafi - michele.grisafi@unitn.it

Segnali

—

Segnali in Unix

Ci sono vari eventi che possono avvenire in maniera asincrona al normale flusso di un programma, alcuni dei quali in maniera inaspettata e non predicibile. Per esempio, durante l'esecuzione di un programma ci può essere una richiesta di terminazione o di sospensione da parte di un utente, la terminazione di un processo figlio o un errore generico.

Unix prevede la gestione di questi eventi attraverso i **segnali**: quando il sistema operativo si accorge di un certo evento, genera un segnale da mandare al processo interessato il quale potrà *decidere* (nella maggior parte dei casi) come comportarsi.

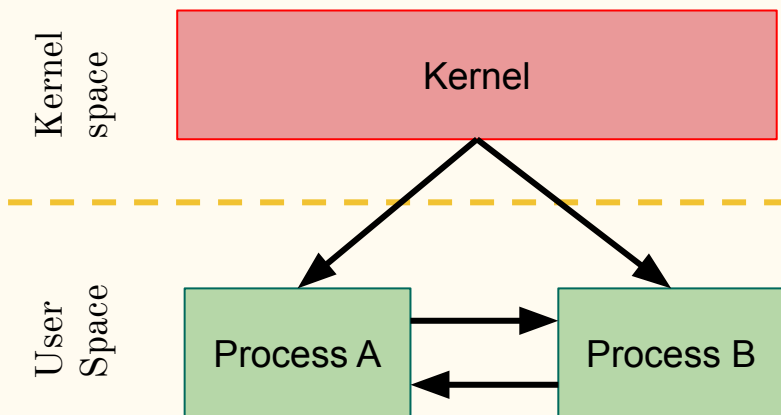
Segnali in Unix

Il numero dei segnali disponibili cambia a seconda del sistema operativo, con Linux che ne definisce 32. Ad ogni segnale corrisponde sia un valore numerico che un'etichetta mnemonica (definita nella libreria “*signal.h*”) nel formato **SIGXXX**.

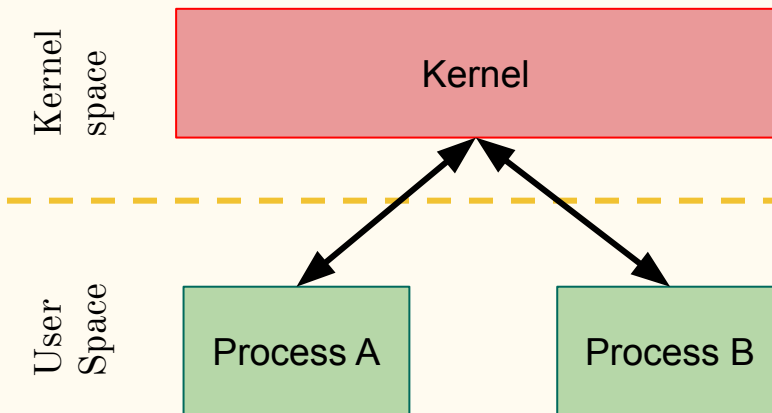
Alcuni esempi:

SIGALRM (alarm clock)	SIGQUIT (terminal quit)
SIGCHLD (child terminated)	SIGSTOP (stop)
SIGCONT (continue, if stopped)	SIGTERM (termination)
SIGINT (terminal interrupt, CTRL + C)	SIGUSR1 (user signal)
SIGKILL (kill process)	SIGUSR2 (user signal)

Visione concettuale



Vedete qualche problema?



Il kernel media tutti i segnali!

Segnali in Unix

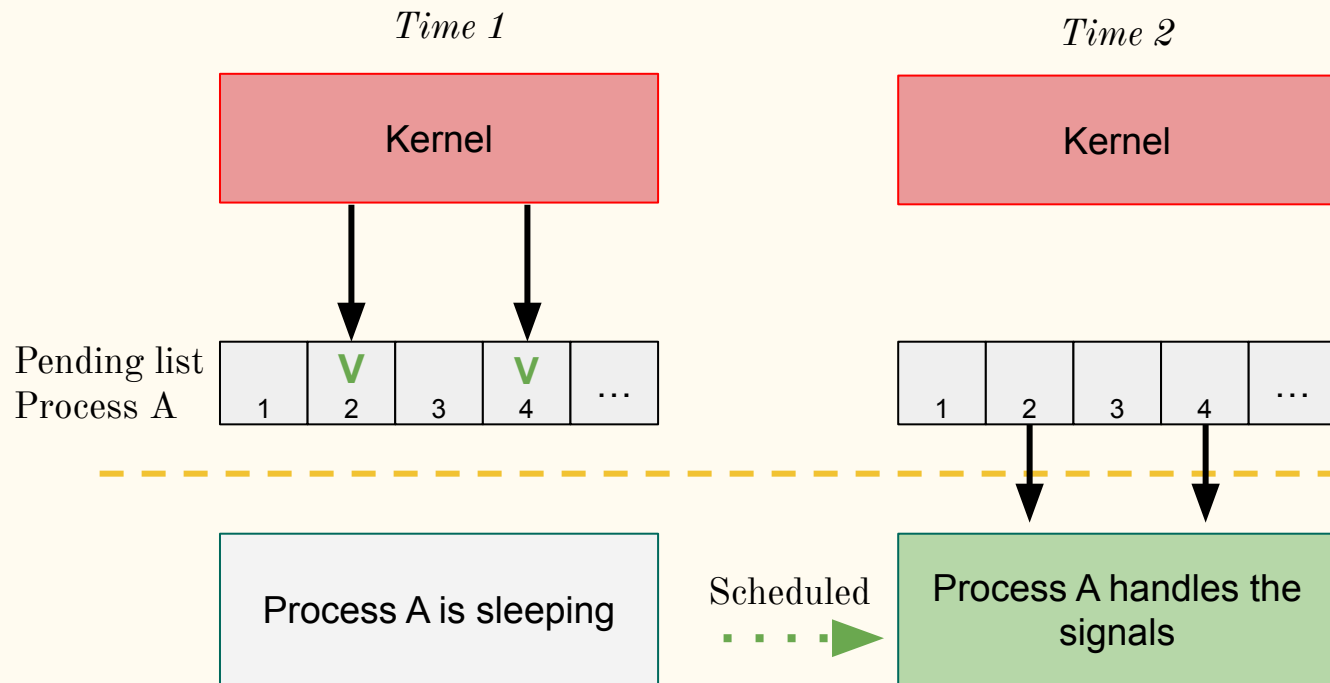
Per ogni processo, all'interno della process table, vengono mantenute due liste:

- **Pending signals:** segnali emessi dal kernel e che il processo deve ancora gestire.
- **Blocked signals:** segnali che non devono essere comunicati al processo.

Chiamata anche con il termine **signal mask**, maschera dei segnali.

Ad ogni schedulazione del processo le due liste vengono controllate per consentire al processo di reagire nella maniera più adeguata.

Visione concettuale dei segnali



Gestione dei segnali

I segnali sono anche detti “*software interrupts*” perchè sono, a tutti gli effetti, delle interruzioni del normale flusso del processo generate dal sistema operativo (invece che dall’hardware, come per gli *hardware interrupts*).

Come per gli interrupts, il programma può decidere come gestire l’arrivo di un segnale (presente nella lista *pending*):

- Eseguendo l’azione default.
- Ignorandolo (non sempre possibile) → programma prosegue normalmente.
- Eseguendo un handler personalizzato → programma si interrompe.

NB: nella pratica, il programma comunica al kernel come vuole che il segnale venga gestito, ed è poi il kernel che richiamerà la funzione adeguata del programma.

Default handler

Ogni segnale ha un suo handler di default che tipicamente può:

- Ignorare il segnale
- Terminare il processo
- Continuare l'esecuzione (se il processo era in stop)
- Interrompere il processo

Ogni processo può sostituire il gestore di default con una funzione “custom” (**a parte per SIGKILL e SIGSTOP**) e comportarsi di conseguenza. La sostituzione avviene tramite la system call **signal()** (definita in “*signal.h*”).

signal()

NB: deprecato ormai!

```
sighandler_t signal(int signum, sighandler_t handler);
```

Imposta un nuovo signal handler **handler** per il segnale **signum**. Restituisce il signal handler precedente. Quello nuovo può essere:

- **SIG_DFL**: handler di default
- **SIG_IGN**: ignora il segnale
- **typedef void (*sighandler_t)(int):** custom handler.

```
#include <signal.h> <stdio.h> <stdlib.h>
void main(){
    signal(SIGINT,SIG_IGN);    //Ignore signal
    signal(SIGCHLD,SIG_DFL);   //Use default handler
}
```

Custom handler

Un custom handler deve essere una funzione di tipo **void** che accetta come argomento un **int** rappresentante il segnale catturato. Questo consente allo stesso handlers di gestire segnali diversi.

```
#include <signal.h> <stdio.h>                                //param.c

void myHandler(int sigNum){
    if(sigNum == SIGINT) printf("CTRL+C\n");
    else if(sigNum == SIGTSTP) printf("CTRL+Z\n");
}

signal(SIGINT,myHandler);
signal(SIGTSTP,myHandler);
```

Esempio:

```
#include <signal.h>    //sigCST.c
#include <stdio.h>

void myHandler(int sigNum){
    printf("CTRL+Z\n");
    exit(2);
}

int main(void){
    signal(SIGTSTP, myHandler);
    while(1);
}
```

```
$ ./sig.out
$ <CTRL+Z>
```

```
#include <signal.h>    //sigDFL.c
int main(){
    signal(SIGTSTP, SIG_DFL);
    while(1);
}
```

```
#include <signal.h>    //sigIGN.c
int main(){
    signal(SIGTSTP, SIG_IGN);
    while(1);
}
```

signal() return

signal() restituisce un riferimento all'handler che era precedentemente assegnato al segnale:

- NULL: handler precedente era l'handler di default
- 1: l'handler precedente era SIG_IGN
- <address>: l'handler precedente era *(*address*)

```
#include <signal.h> <stdio.h>                                //return.c
void myHandler(int sigNum){}
int main(){
    printf("DFL: %p\n", signal(SIGINT, SIG_IGN));
    printf("IGN: %p\n", signal(SIGINT, myHandler));
    printf("Custom: %p == %p\n", signal(SIGINT, SIG_DFL), myHandler);
}
```

Alcuni segnali

SIGXXX	description	default
SIGALRM	(alarm clock)	quit
SIGCHLD	(child terminated)	ignore
SIGCONT	(continue, if stopped)	ignore
SIGINT	(terminal interrupt, CTRL + C)	quit
<u>SIGKILL</u>	(kill process)	quit
SIGSYS	(bad argument to syscall)	quit with dump
SIGTERM	(software termination)	quit
SIGUSR1/2	(user signal 1/2)	quit
<u>SIGSTOP</u>	(stopped)	quit
SIGTSTP	(terminal stop, CTRL + Z)	quit

Esempio: SIGCHLD

```
#include <signal.h> <stdio.h> <sys/wait.h> <unistd.h> //child.c
int childStatus = 0;
void myHandler(int sigNum){
    printf("Child exit! Sig %d - code %d!\n",
           sigNum, WEXITSTATUS(childStatus));
}
int main(){
    signal(SIGCHLD, myHandler);
    int child = fork();
    if(!child){
        sleep(2); return 0;
    }
    wait(&childStatus);
    printf("Child status after wait %d\n", WEXITSTATUS(childStatus));
}
```

Invio di segnali

Inviare i segnali: kill()

```
int kill(pid_t pid, int sig); NB: ordine degli argomenti!  
$ kill -<signo> <pid_t>
```

Invia un segnale ad uno o più processi a seconda dell'argomento *pid*:

- `pid > 0`: segnale al processo con `PID=pid`
- `pid = 0`: segnale ad ogni processo dello stesso gruppo
- `pid = -1`: segnale ad ogni processo possibile (stesso UID/RUID)
- `pid < -1`: segnale ad ogni processo del gruppo `|pid|`

Restituisce 0 se il segnale viene inviato, -1 in caso di errore.

Ogni tipo di segnale può essere inviato, non deve essere necessariamente un segnale corrispondente ad un evento effettivamente avvenuto!

```
#include <signal.h> <stdio.h> <stdlib.h> <sys/wait.h> <unistd.h>
//kill.c
void myHandler(int sigNum){printf("[%d]ALARM!\n",getpid());}
int main(void){
    signal(SIGALRM,myHandler);
    int child = fork();
    if (!child) while(1); // block the child
    printf("[%d]sending alarm to %d in 3 s\n",getpid(),child);
    sleep(3);
    kill(child,SIGALRM); // send ALARM, child's handler reacts
    printf("[%d]sending SIGTERM to %d in 3 s\n",getpid(),child);
    sleep(3);
    kill(child,SIGTERM); // send TERM: default is to terminate
    while(wait(NULL)>0);
}
```

Kill da bash

kill è anche un programma in bash che accetta come primo argomento il tipo di segnale (**kill -l** per la lista) e come secondo argomento il PID del processo.

```
#include <signal.h> <stdio.h> <stdlib.h> <unistd.h> //bash.c
void myHandler(int sigNum){
    printf("[%d]ALARM!\n",getpid());
    exit(0);
}
int main(){
    signal(SIGALRM,myHandler);
    printf("I am %d\n",getpid());
    while(1);
}
```

```
$ gcc bash.c -o bash.out
$ ./bash.out
# On new window/terminal
$ kill -14 <PID>
```

Set up an alarm: alarm()

```
unsigned int alarm(unsigned int seconds);
```

Genera un segnale SIGALRM per il processo corrente dopo un lasso di tempo specificato in secondi. Restituisce i secondi rimanenti all'alarm precedente.

```
#include <signal.h> <stdio.h> <stdlib.h> <unistd.h> //alarm.c
short cnt = 0;
void myHandler(int sigNum){printf("ALARM!\n"); cnt++;}
int main(){
    signal(SIGALRM,myHandler);
    alarm(0); //Clear any pending alarm
    alarm(5); //Set alarm in 5 seconds
    //Set new alarm (cancelling previous one)
    printf("Seconds remaining to previous alarm %d\n",alarm(2));
    while(cnt<1);
}
```

Bloccare i segnali

Bloccare i segnali

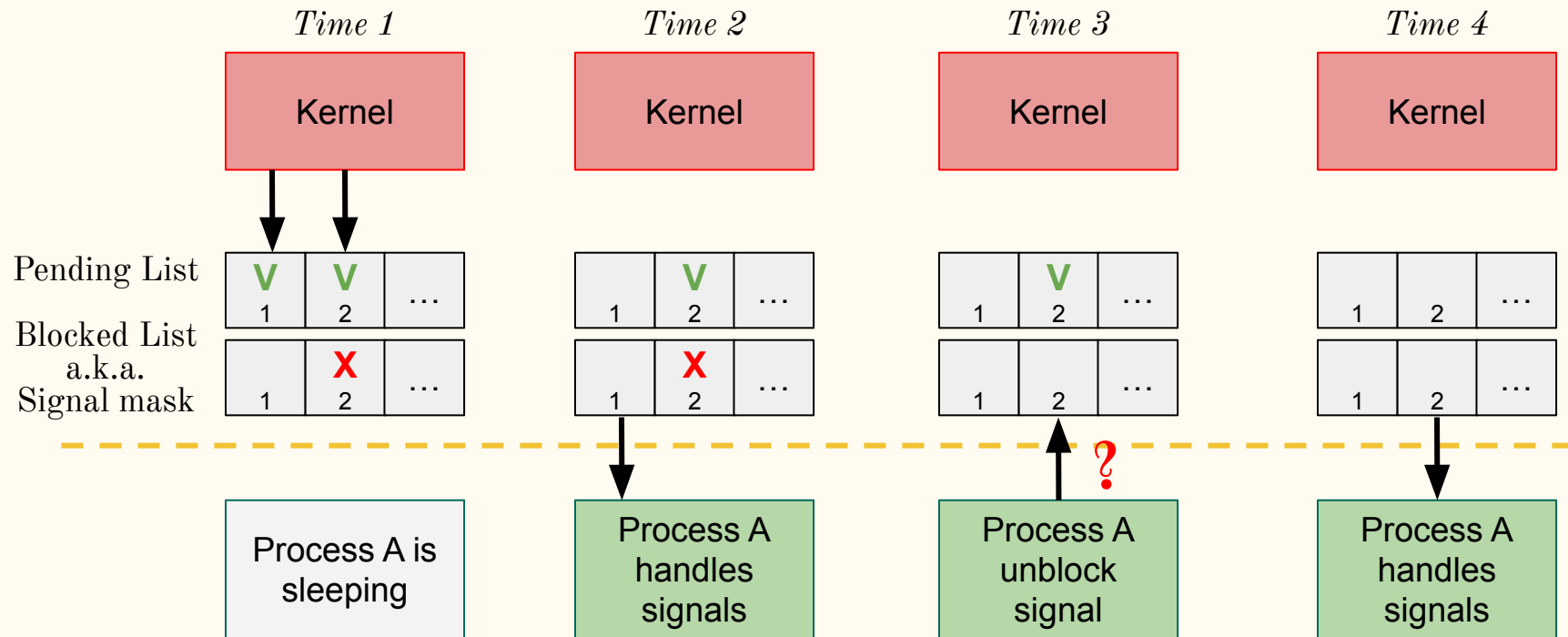
Oltre alla lista dei “pending signal” esiste la lista dei “blocked signals”, ovvero dei segnali ricevuti dal processo ma volutamente non gestiti. Mentre i segnali ignorati non saranno mai gestiti, i segnali bloccati sono solo *temporaneamente* non gestiti.

Al contrario dei segnali ignorati, un segnale bloccato rimane nello stato *pending* fino a quando esso non viene gestito oppure il suo handler tramutato in *ignore*.

Per allertare il kernel dei segnali che devono essere bloccati, un processo può modificare la propria **signal mask**, ovvero una struttura dati mantenuta nel kernel che può essere alterata con la funzione **sigprocmask()**.

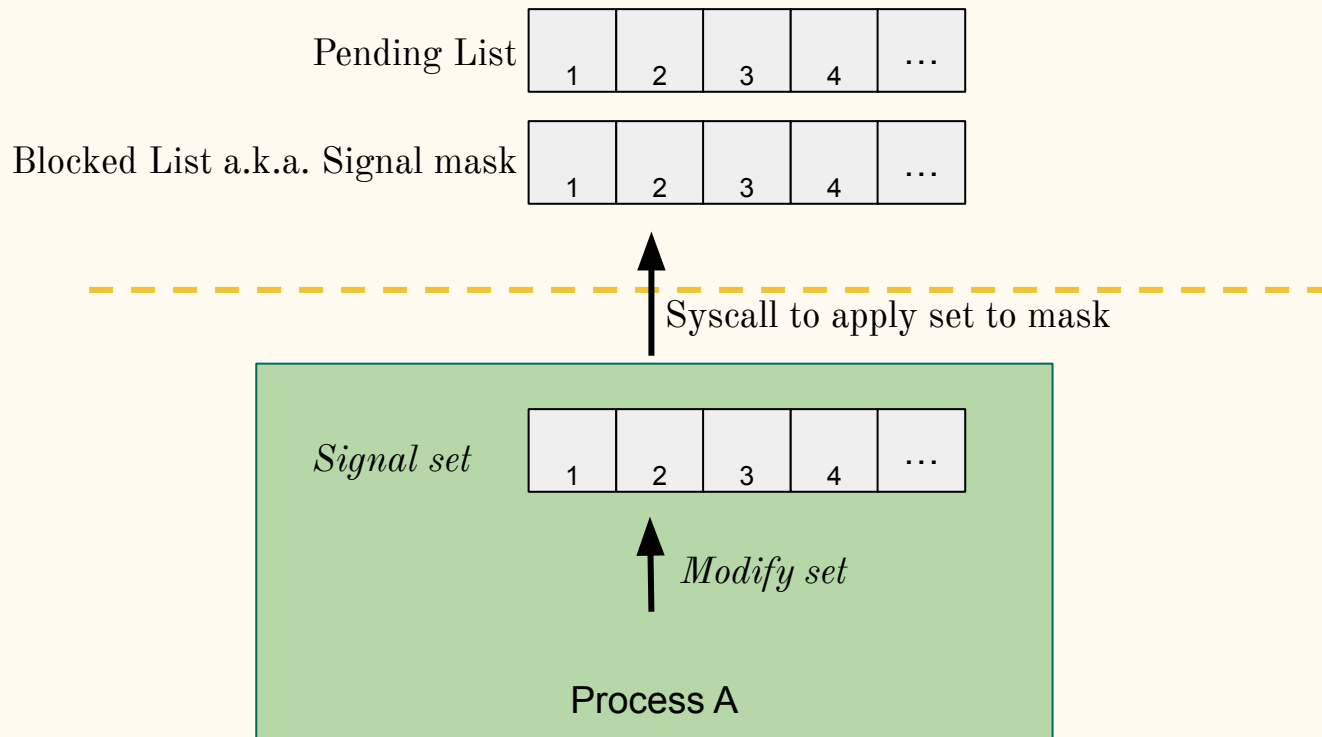
NB: SIGKILL e SIGSTOP non possono essere bloccati.

Visione concettuale



*Agisce come un
filtro*

La signal mask



Bloccare i segnali: `sigset_t`

La signal mask viene memorizzata come struttura dati ottimizzata che non può essere modificata direttamente. Invece, può essere gestita attraverso un **`sigset_t`**, cioè una struttura dati locale contenente un elenco di segnali. Questo insieme può essere modificato con funzioni dedicate e poi può essere utilizzato per modificare la maschera di segnale stessa.

NB: la modifica di questa struttura non modifica implicitamente la maschera dei segnali! Le modifiche devono essere salvate con **`sigprocmask()`**.

Bloccare i segnali: preparare il set

```
int sigemptyset(sigset_t *set);
```

Svuota il set (inizializza)

```
int sigfillset(sigset_t *set);
```

Riempie il set con tutti i segnali (inizializza)

```
int sigaddset(sigset_t *set, int signo);
```

Aggiunge singolo segnale al set

```
int sigdelset(sigset_t *set, int signo);
```

Rimuove singolo segnale dal set

```
int sigismember(const sigset_t *set, int signo);
```

Restituisce 0 se il segnale non è impostato nel set, 1 altrimenti

Bloccare i segnali: applicare il set

```
int sigprocmask(int how, const sigset_t *restrict set,  
                sigset_t *restrict oldset);
```

A seconda del valore di **how** e di **set**, la maschera dei segnali del processo viene cambiata. Nello specifico **how** = :

- **SIG_BLOCK**: i segnali in **set** sono aggiunti alla maschera del processo;
- **SIG_UNBLOCK**: i segnali in **set** sono rimossi dalla maschera del processo;
- **SIG_SETMASK**: **set** diventa la maschera del processo.

Se **oldset** non è nullo, in esso verrà salvata la vecchia maschera (anche se **set** è nullo). I segnali in attesa verranno ricevuti **prima** che **sigprocmask** ritorni!

Esempio

```
#include <signal.h>

int main(){
    sigset_t mod,old;
    sigfillset(&mod); // Add all signals to the blocked list
    sigemptyset(&mod); // Remove all signals from blocked list
    sigaddset(&mod,SIGALRM); // Add SIGALRM to blocked list
    sigismember(&mod,SIGALRM); // is SIGALRM in blocked list?
    sigdelset(&mod,SIGALRM); // Remove SIGALRM from blocked list

    // Update the current mask with the signals in 'mod'
    sigprocmask(SIG_BLOCK,&mod,&old);
}
```

Esempio 2

```
$ kill -10 <PID> # ok  
$ kill -10 <PID> # blocked
```

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdio.h> //sigprocmask.c  
sigset_t mod, old;  
int i = 0;  
void myHandler(int signo){  
    printf("signal received\n");  
    i++;  
}  
int main(){  
    printf("my id = %d\n",getpid());  
    signal(SIGUSR1,myHandler);  
    sigemptyset(&mod); //Initialise set  
    sigaddset(&mod,SIGUSR1);  
    while(1) if(i==1) sigprocmask(SIG_BLOCK,&mod,&old);  
}
```

Verificare pending signals: sigpending()

```
int sigpending(sigset_t *set);
```

```
//sigpending.c
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

sigset_t mod, pen;
void handler(int signo){
    printf("SIGUSR1 received\n");
    sigpending(&pen);
    if(!sigismember(&pen, SIGUSR1))
        printf("SIGUSR1 not pending\n");
    exit(0);
}
```

```
int main(){
    signal(SIGUSR1, handler);
    sigemptyset(&mod);
    sigaddset(&mod, SIGUSR1);
    sigprocmask(SIG_BLOCK, &mod, NULL);
    kill(getpid(), SIGUSR1);
    // sent but it's blocked...
    sigpending(&pen);
    if(sigismember(&pen, SIGUSR1))
        printf("SIGUSR1 pending\n");
    sigprocmask(SIG_UNBLOCK, &mod, NULL);
    while(1);
}
```

sigaction() da usare al posto di signal()

```
int sigaction(int signum, const struct sigaction *restrict  
              act, struct sigaction *restrict oldact);
```

```
struct sigaction {  
    void (*sa_handler)(int);  
    void (*sa_sigaction)(int, siginfo_t *, void *);  
    sigset_t sa_mask; //Signals blocked during handler  
    int sa_flags; //modify behaviour of signal  
    void (*sa_restorer)(void); //Deprecated, not POSIX  
};
```

NB: i flags della variabile sa_flags dovrebbero essere sempre inizializzati almeno a 0!

Esempio

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdlib.h> <stdio.h>    //sigaction.c
void handler(int signo){
    printf("signal received\n");
}
int main(){
    struct sigaction sa; //Define sigaction struct
    sa.sa_handler = handler; //Assign handler to struct field
    sa.sa_flags = 0; //Initialise flags
    sigemptyset(&sa.sa_mask); //Define an empty mask
    sigaction(SIGUSR1,&sa,NULL);
    kill(getpid(),SIGUSR1);
}
```


Esempio: bloccare segnali

```
$ kill -10 <PID> ; sleep 1  
&& kill -12 <PID>
```

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdlib.h> <stdio.h> //sigaction2.c  
void handler(int signo){  
    printf("signal %d received\n",signo);  
    sleep(2);  
    printf("Signal done\n");  
}  
int main(){  
    printf("Process id: %d\n",getpid());  
    struct sigaction sa;  
    sa.sa_handler = handler;  
    sa.sa_flags = 0; //Initialise flags  
    sigemptyset(&sa.sa_mask); //Use an empty mask → block no signal  
    sigaction(SIGUSR1,&sa,NULL);  
    while(1);  
}
```

Esempio: bloccare segnali

```
$ kill -10 <PID> ; sleep 1  
&& kill -12 <PID>
```

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdlib.h> <stdio.h> //sigaction3.c  
void handler(int signo){  
    printf("signal %d received\n",signo);  
    sleep(2);  
    printf("Signal done\n");  
}  
int main(){  
    printf("Process id: %d\n",getpid());  
    struct sigaction sa;  
    sa.sa_handler = handler;  
    sa.sa_flags = 0; //Initialise flags  
    sigemptyset(&sa.sa_mask);  
    sigaddset(&sa.sa_mask, SIGUSR2); // Block SIGUSR2 in handler  
    sigaction(SIGUSR1, &sa, NULL);  
    while(1);  
}
```

```
$ echo $$ ; kill -10 <PID> # custom  
$ kill -10 <PID> # default
```

Esempio: sa_sigaction

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdlib.h> <stdio.h> //sigaction4.c  
void handler(int signo, siginfo_t * info, void * empty){  
    //print id of process issuing the signal  
    printf("Signal received from %d\n", info->si_pid);  
}  
int main(){  
    struct sigaction sa;  
    sa.sa_sigaction = handler;  
    sigemptyset(&sa.sa_mask);  
    sa.sa_flags = SA_SIGINFO; // Use sa_sigaction  
    sa.sa_flags |= SA_RESETHAND; // Restore def handler afterward  
    sigaction(SIGUSR1, &sa, NULL);  
    while(1);  
}
```

Inviare un payload con un segnale

```
int sigqueue(pid_t pid, int sig, const union sigval value);
```

Invia un segnale **sig** al processo identificato da **pid**, accompagnato da un payload **value**. Quest'ultimo è rappresentato con la seguente union:

```
union sigval {  
    int    sival_int;  
    void *sival_ptr;  
};
```

Essa può contenere un puntatore qualsiasi o un intero, che verrà ricevuto solo ed esclusivamente se il processo destinatario utilizza **sigaction** con **SA_SIGINFO**.

NB: il processo ricevente non condivide la memoria, quindi non può essere usato per scambiare dati tra processi diversi.

Esempio ricezione

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdlib.h> <stdio.h> //sigqueueR.c
void handler(int signo, siginfo_t * info, void * empty){
    printf("Received integer\n",info->si_value.sival_int);
    exit(0);
}
int main(){
    struct sigaction sa;
    sa.sa_sigaction = handler;
    sigemptyset(&sa.sa_mask);
    sa.sa_flags = SA_SIGINFO; // Use sa_sigaction
    sigaction(SIGUSR1,&sa,NULL);
    while(1);
}
```

Esempio invio

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdlib.h> <stdio.h> //sigqueueS.c

int main(int argc, char ** argv){
    union sigval value;
    value.sival_int = atoi(argv[2]);
    sigqueue(atoi(argv[1]), SIGUSR1, value);
    while(1);
}
```

E se provassimo ad inviare una struct?

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdlib.h> <stdio.h>
typedef struct{
    char name[45];
    int age;
} Person;

int main(int argc, char * argv[]){
    Person p;
    strncpy(p.name, "Michele", 44);
    p.age = 28;
    union sigval value;
    value.sival_ptr = &p;
    sigqueue(atoi(argv[1]), SIGUSR1, value);
}
```

Mettere in pausa: `pause()` o `sigsuspend()`

```
int pause();
```

```
int sigsuspend(const sigset_t *mask);
```

Mette il processo in pausa fino alla ricezione di un segnale. `Sigsuspend` consente di impostare una maschera dei segnali temporanea, che verrà sostituita con quella precedente appena la funziona ritorna.

Utili per i busy wait → invece di mettere un `while(1)`, mettiamo:

```
while(1) pause();
```

```
while(1) sigsuspend(NULL)
```

Questo consente di conservare i cicli di CPU!

Mettere in pausa: pause()

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdio.h>                                //pause.c

void myHandler(int sigNum){
    printf("Continue!\n");
}

int main(){
    signal(SIGCONT,myHandler);
    signal(SIGUSR1,myHandler);
    while(1){
        pause();
    }
}
```

```
$ gcc pause.c -o pause.out
$ ./pause.out
# On new window/terminal
$ kill -18/-10 <PID>
```

Mettere in pausa: sigsuspend()

```
#include <signal.h> <unistd.h> <stdio.h>           //sigsuspend.c

void myHandler(int sigNum){
    printf("Continue!\n");
}

int main(){
    signal(SIGCONT,myHandler);
    signal(SIGUSR1,myHandler);
    sigset_t mask;
    sigemptyset(&mask);
    sigaddset(&mask,SIGCONT);
    while(1) sigsuspend(&mask);
}
```

```
$ gcc sigsuspend.c -o sigsuspend.out
$ ./sigsuspend.out
# On new window/terminal
$ kill -18/-10 <PID>
```

Ed infine... vi ricordate lo status dei figli?

```
void sigHandler(int signo){ exit(59);}    //waitStatus.c
int main() {
    int fid=fork(), wid, st; // Generate child
    if (fid==0) { //If it is child
        signal(SIGUSR2,sigHandler);
        while(1) pause();
    } else { // If it is parent
        kill(fid,SIGUSR1); //LET'S CHANGE THIS TO SIGUSR2
        wid=waitpid(fid,&st,0); // wait for ONE child to terminate
        printf("EXITSTATUS: %d\nIFCONTINUED: %d\nIFEXITED: %d\nIFSIGNALLED: %d\nIFSTOPPED: %d\nSTOPSIG: %d\nTERMSIG:%d\n",
            WEXITSTATUS(st),WIFCONTINUED(st),WIFEXITED(st),WIFSIGNALLED(st),
            WIFSTOPPED(st),WSTOPSIG(st),WTERMSIG(st));
    }
}
```