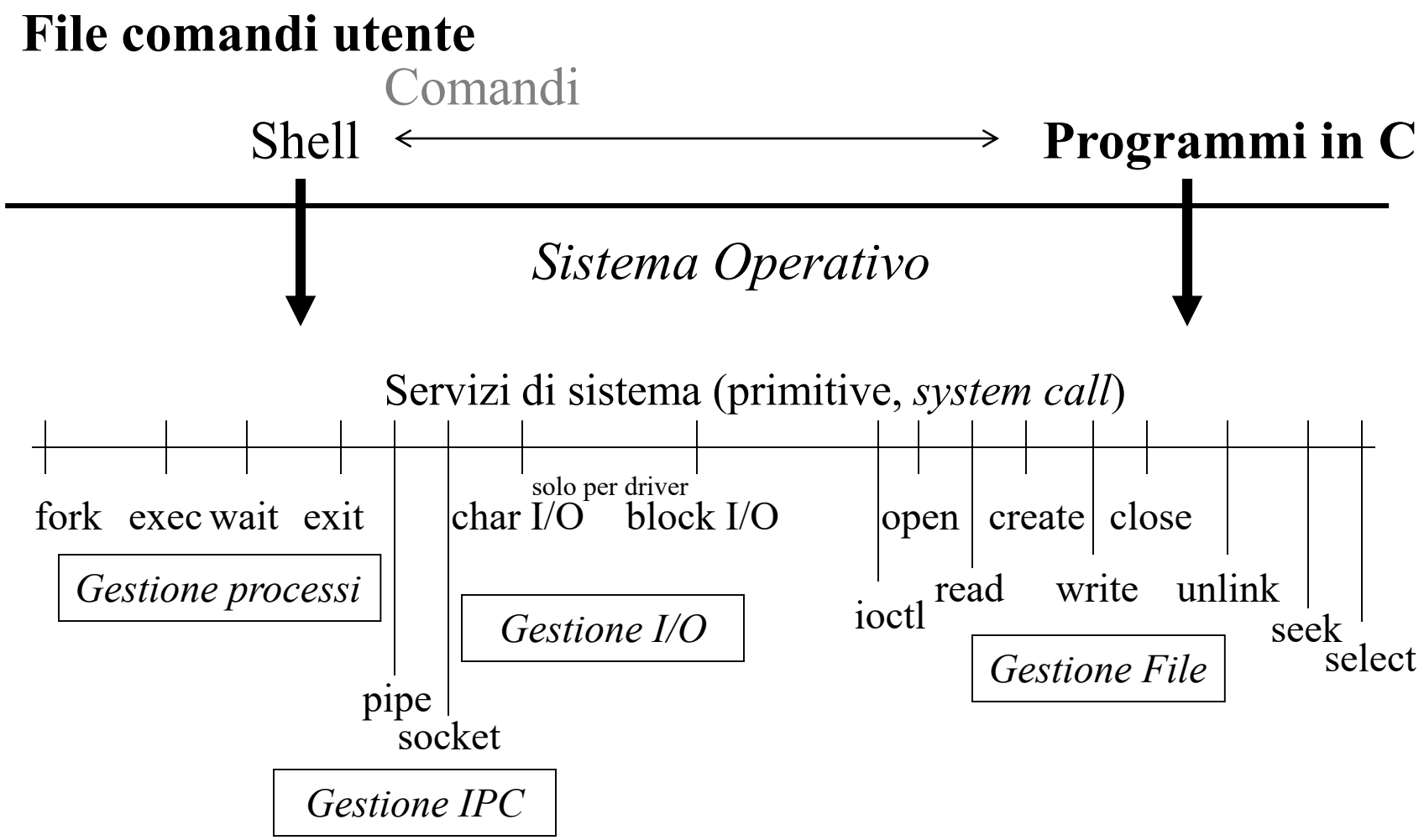
UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Programmazione di sistema in UNIX

prof. Francesco Zanichelli

Programmazione di sistema in UNIX



Lo spazio di indirizzamento di un processo UNIX

Ogni processo opera in uno spazio di indirizzamento logico e **privato (di norma non accessibile ad altri processi)**

L'immagine di un processo è mappata in un *address space* ed è organizzata in due aree principali

- area utente (codice, dati, stack);
- area di kernel (kernel stack, User area)

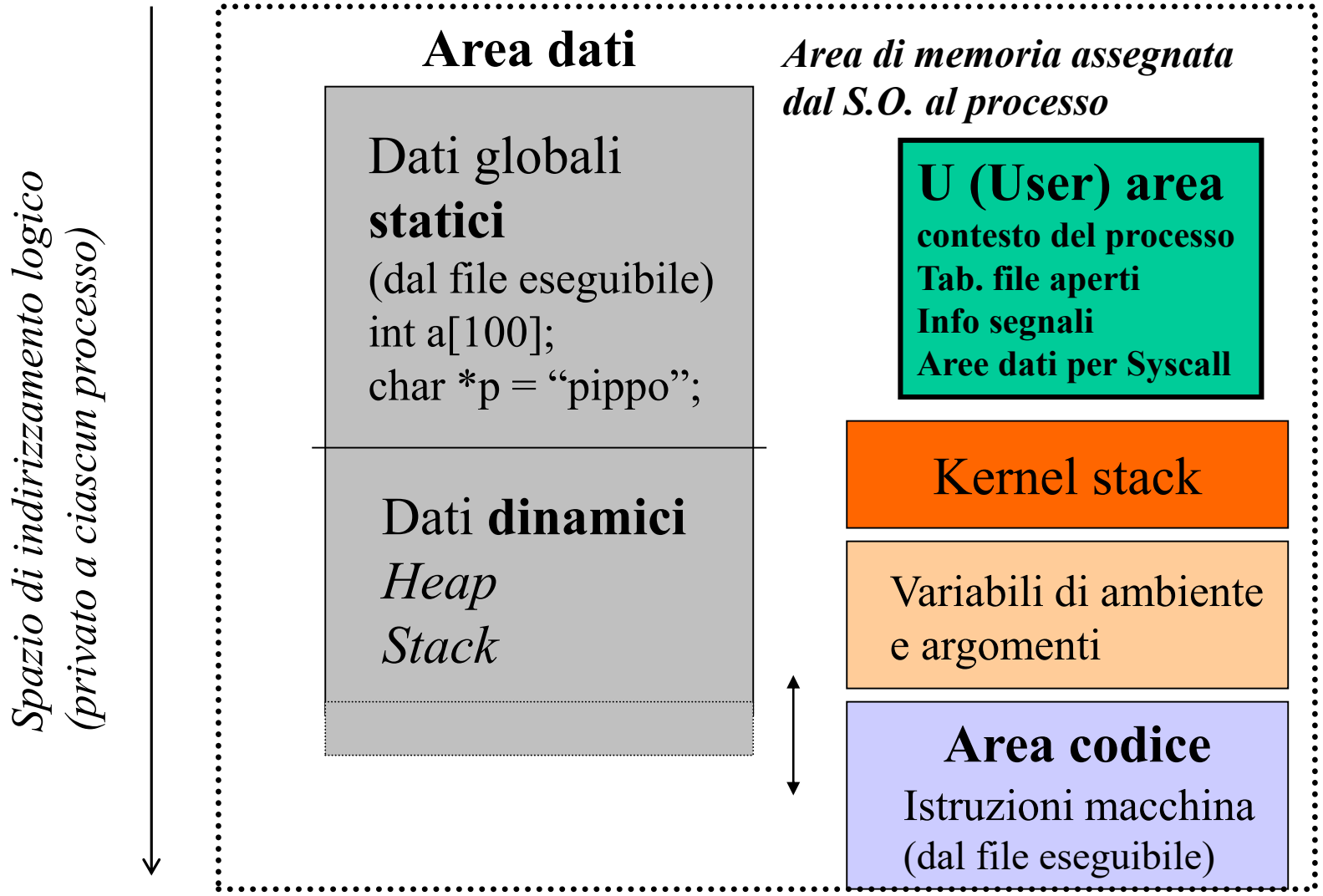
entrambe possono essere trasferite sul dispositivo di swap (*swappable*)

Il kernel utilizza inoltre strutture dati residenti (non *swappable*) :

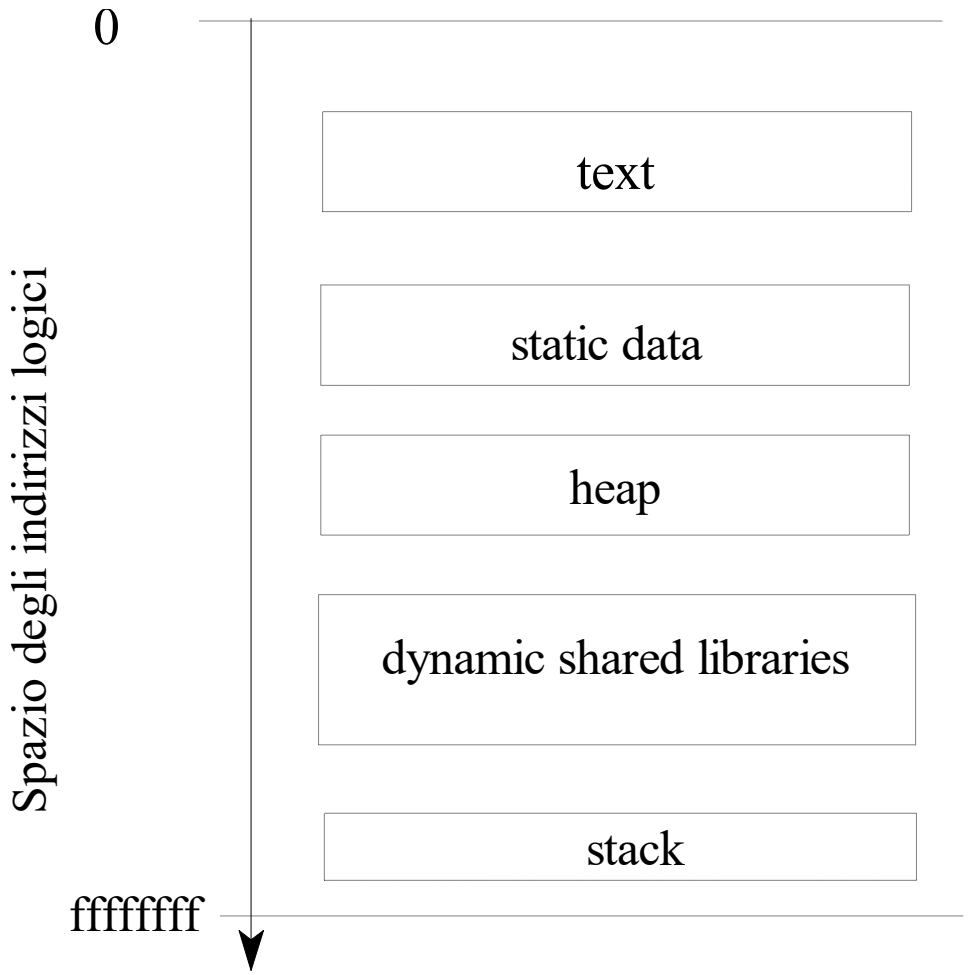
- process table
- text table (tabella dei codici correnti)

Immagine di un processo UNIX

- nei sistemi moderni U area non più presente (il kernel Linux utilizza task_struct)



Lo spazio di indirizzamento di un processo UNIX



Esempio ottenuto con `pmap` in Solaris

```
11368:   -tcsh
Address   Kbytes Resident Shared Private Permissions       Mapped File
00010000     312      312    304       8 read/exec         tcsh
0006C000      24       24      -      24 read/write/exec   tcsh
00072000     224      224      -     224 read/write/exec    [ heap ]
FF0C0000      16       16      8       8 read/exec         it.so.2
FF0D2000      16       16      -      16 read/write/exec   it.so.2
FF0E0000      16       16      8       8 read/exec         it.ISO8859-15.so.2
FF0F2000      16       16      -      16 read/write/exec   it.ISO8859-15.so.2
FF100000     648      616    600      16 read/exec         libc.so.1
FF1B0000      40       40      -      40 read/write/exec   libc.so.1
FF1F0000      24       24     16       8 read/exec         libgen.so.1
FF204000      16       16      -      16 read/write/exec   libgen.so.1
FF210000      16       16      8       8 read/exec         libmp.so.2
FF222000       8        8      -       8 read/write/exec   libmp.so.2
FF230000     168      112    104       8 read/exec         libcurses.so.1
FF268000      40       40      -      40 read/write/exec   libcurses.so.1
FF272000       8        8      -       8 read/write/exec    [ anon ]
FF280000     512      448    440       8 read/exec         libnsl.so.1
FF30E000      40       40      -      40 read/write/exec   libnsl.so.1
FF318000      32       32      -      32 read/write/exec    [ anon ]
FF330000      16       16      8       8 read/exec         libc_psr.so.1
FF340000       8        8      -       8 read/write/exec    [ anon ]
FF350000       8        8      -       8 read/exec         libcrypt_i.so.1
FF360000      16       16      -      16 read/write/exec   libcrypt_i.so.1
FF370000      32       32     24       8 read/exec         libsocket.so.1
FF386000      16       16      -      16 read/write/exec   libsocket.so.1
FF390000       8        8      -       8 read/exec         libdl.so.1
FF3A0000       8        8      -       8 read/write/exec    [ anon ]
FF3B0000     120      120    112       8 read/exec         ld.so.1
FF3DC000       8        8      -       8 read/write/exec   ld.so.1
FFBE4000      48       48      -      48 read/write/exec    [ stack ]
--------  ------  ------  ------  ------
total Kb    2464    2312    1632     680
```

Esempio ottenuto con `cat /proc/PID/maps` in Linux

```
address           perm offset   dev   inode                      pathname
00400000-004f4000 r-xp 00000000 08:01 915964                     /bin/bash
006f3000-006f4000 r--p 000f3000 08:01 915964                     /bin/bash
006f4000-006fd000 rw-p 000f4000 08:01 915964                     /bin/bash
006fd000-00703000 rw-p 00000000 00:00 0
00ef7000-01084000 rw-p 00000000 00:00 0                          [heap]
7f8ed8fc0000-7f8ed8fcb000 r-xp 00000000 08:01 920325             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.23.so
7f8ed8fcb000-7f8ed91ca000 ---p 0000b000 08:01 920325             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.23.so
7f8ed91ca000-7f8ed91cb000 r--p 0000a000 08:01 920325             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.23.so
7f8ed91cb000-7f8ed91cc000 rw-p 0000b000 08:01 920325             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_files-2.23.so
7f8ed91cc000-7f8ed91d2000 rw-p 00000000 00:00 0
…
7f8ed95f5000-7f8ed95f7000 rw-p 00000000 00:00 0
7f8ed95f7000-7f8ed95ff000 r-xp 00000000 08:01 920321             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_compat-2.23.so
7f8ed95ff000-7f8ed97fe000 ---p 00008000 08:01 920321             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_compat-2.23.so
7f8ed97fe000-7f8ed97ff000 r--p 00007000 08:01 920321             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_compat-2.23.so
7f8ed97ff000-7f8ed9800000 rw-p 00008000 08:01 920321             /lib/x86_64-linux-gnu/libnss_compat-2.23.so
7f8ed9800000-7f8eda1bf000 r--p 00000000 08:01 135526             /usr/lib/locale/locale-archive
7f8eda1bf000-7f8eda37f000 r-xp 00000000 08:01 920230             /lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7f8eda37f000-7f8eda57f000 ---p 001c0000 08:01 920230             /lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7f8eda57f000-7f8eda583000 r--p 001c0000 08:01 920230             /lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
7f8eda583000-7f8eda585000 rw-p 001c4000 08:01 920230             /lib/x86_64-linux-gnu/libc-2.23.so
…
7f8eda9b6000-7f8eda9dc000 r-xp 00000000 08:01 920202             /lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7f8edab7f000-7f8edaba1000 r--p 00000000 08:01 406506             /usr/share/locale-langpack/it/LC_MESSAGES/libc.mo
7f8edaba1000-7f8edabbf000 r--p 00000000 08:01 406324             /usr/share/locale-langpack/it/LC_MESSAGES/bash.mo
7f8edabbf000-7f8edabc3000 rw-p 00000000 00:00 0
7f8edabd4000-7f8edabdb000 r--s 00000000 08:01 265824             /usr/lib/x86_64-linux-gnu/gconv/gconv-modules.cache
7f8edabdb000-7f8edabdc000 r--p 00025000 08:01 920202             /lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7f8edabdc000-7f8edabdd000 rw-p 00026000 08:01 920202             /lib/x86_64-linux-gnu/ld-2.23.so
7f8edabdd000-7f8edabde000 rw-p 00000000 00:00 0
7ffcfd6c3000-7ffcfd6e4000 rw-p 00000000 00:00 0                  [stack]
7ffcfd73f000-7ffcfd742000 r--p 00000000 00:00 0                  [vvar]
7ffcfd742000-7ffcfd744000 r-xp 00000000 00:00 0                  [vdso]
ffffffffff600000-ffffffffff601000 r-xp 00000000 00:00 0          [vsyscall]
```

Un oggetto virtuale dinamico condiviso (vDSO) è un meccanismo con cui il kernel Linux espone alcune funzioni nello spazio del kernel allo spazio utente. Le chiamate di sistema nel kernel Linux che non coinvolgono la sicurezza direttamente sono mappate nello spazio utente, ad es. `getimeofday`, in modo che le applicazioni nello spazio utente non abbiano bisogno di passare allo stato del kernel per ridurre la perdita di prestazioni quando chiamano queste funzioni.

Argomenti di un programma

Un programma può accedere agli eventuali argomenti di invocazione attraverso i parametri della funzione principale **main**

```
/* mioprogramma.c */
main(int argc, char *argv[])
{int i;
printf("Numero di argomenti (argc) = %d\n", argc);
for(i=0;i<argc;i++)
  printf("Argomento %d (argv[%d]) = %s\n",i,i,argv[i]);

printf("L'argomento di indice 0 è il nome del programma
eseguito\n");
}
```

Compilazione del programma

```
$ gcc  -o mioprogramma mioprogramma.c
```

Eseguendo il programma

```
$ ./mioprogramma 1 pippo pluto 4
```

viene visualizzato:

```
Numero di argomenti (argc) = 5
Argomento 0 (argv[0]) = mioprogramma
Argomento 1 (argv[1]) = 1
Argomento 2 (argv[2]) = pippo
Argomento 3 (argv[3]) = pluto
Argomento 4 (argv[4]) = 4
L'argomento di indice 0 è il nome del programma
eseguito
```

Variabili di ambiente

Sono accessibili attraverso :

- un terzo parametro char **`envp` della funzione principale **main** (o come variabile esterna `extern char **environ;`)
- mediante le funzioni di utilità `getenv`/`putenv`

```
/* mioprogramma.c */
main(int argc, char *argv[], char **envp)
{int i;
printf("Numero di argomenti (argc) = %d\n", argc);
for(i=0;i<argc;i++)
  printf("Argomento %d (argv[%d]) = %s\n",i,i,argv[i]);

while (*envp != NULL)
      { printf("%s\n",*envp++);
}
```

Le primitive UNIX ritornano sempre un valore intero che esprime il successo (>=0) o il fallimento (-1 o comunque < 0) della chiamata:

- la descrizione dell'errore viene resa disponibile nella variabile `errno` (non è necessario definirla, va incluso errno.h)

- funzioni di utilità come `perror` o `strerror` permettono di visualizzare o di generare messaggi descrittivi dell'errore

```
if (syscall_N(…, …) < 0)
      {
      perror("Errore nella syscall_N");
      /* La descrizione dell'errore viene
      concatenata alla stringa argomento di
      perror */
      exit(1);    /* terminazione del processo con
                  errore */
}
```

Introduzione

Nel proprio codice deve essere sempre verificato l'esito (il valore di uscita) di ogni invocazione di una primitiva UNIX

E volendo controllare l'esecuzione di un processo per il quale non è disponibile il codice sorgente ? Due comandi interessanti :

- **strace** - *trace system calls and signals*
  - `strace [-CdffhiqrtttTvVxxy] [-In] [-b execve] [-e expr]... [-a column] [-o file] [-s strsize] [-P path]... -p pid... / [-D] [-E var[=val]]... [-u username] command [args]`
  - `strace -c[df] [-In] [-b execve] [-e expr]... [-O overhead] [-S sortby] -p pid... / [-D] [-E var[=val]]... [-u username] command [args]`

Dettagli ed esempi nell'esercitazione UNIX n. 3

- **ltrace** - *a library call tracer*
  - `ltrace [-e filter|-L] [-l|--library=library_pattern] [-x filter] [-S] [-b|--no-signals] [-i] [-w|--where=nr] [-r|-t|-tt|-ttt] [-T] [-F filename] [-A maxelts] [-s strsize] [-C|--demangle] [-a|--align column] [-n|--indent nr] [-o|--output filename] [-D|--debug mask] [-u username] [-f] [-p pid] [[--] command [arg ...]]`
  - `ltrace -c [-e filter|-L] [-l|--library=library_pattern] [-x filter] [-S] [-o|--output filename] [-f] [-p pid] [[--] command [arg ...]]`

UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

UNIX - Le primitive per la gestione dell'I/O

prof. Francesco Zanichelli

Operazioni sui file

L'uso di file (file regolari e speciali associati ai dispositivi) in UNIX si basa su un protocollo di richiesta/rilascio della risorsa

- **Prologo** (richiesta della risorsa)
  - primitive `open` (o altre per l'accesso a risorse che non siano file)
  - **Uso della risorsa**
    - primitive `read, write` o altre
- **Epilogo** (rilascio della risorsa)
  - primitiva `close`

Apertura ed eventuale creazione di un file

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>

int open(const char *pathname,int flags);
```

oppure

```
fd=int open(const char *pathname,int flags,mode_t mode);
```

- `pathname` è il nome/percorso del file da aprire o creare
- `flags` contiene il modo di accesso richiesto
  (uno tra `O_RDONLY, O_WRONLY, O_RDWR`) più altre eventuali opzioni in OR
  (ad es. O_WRONLY | O_CREAT |O_TRUNC per richiedere la creazione di un nuovo file o per azzerarlo se già esistente)
- `mode` indica i diritti di accesso del nuovo file (ad es. in ottale 0644)

Operazioni sui file

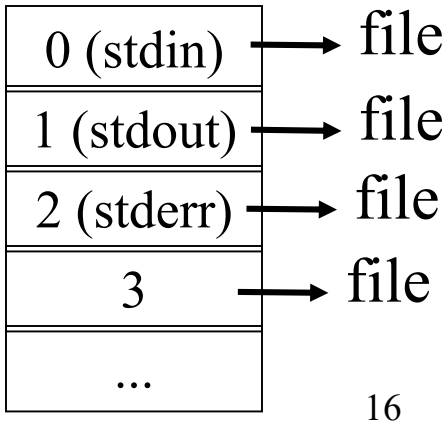
Se la invocazione di una primitiva `open` ha successo, viene restituito al processo un valore intero >=0 che costituisce un *file descriptor* (fd) per quel file:

- il file descriptor va utilizzato per le successive operazioni su quel file da parte di quel processo (invece del nome/percorso che viene utilizzato solo in `open`)
- numeri successivi vengono associati ai nuovi file aperti (3, 4, …)

Lo stesso comportamento vale anche per le primitive utilizzate per creare/accedere altri tipi di risorsa (`pipe, socket`)

I file descriptor sono indici per una tabella dei file aperti mantenuta per il processo nella sua User Area

i primi tre file descriptor sono predefiniti (non è necessario crearli ma vanno modificati per ottenere la redirezione)



Duplicazione di un file descriptor

```
#include <unistd.h>

int dup(int oldfd);
int dup2(int oldfd, int newfd);
```

Utilizzati per la redirezione e il piping

Il valore di ritorno di `dup` o il `newfd` di `dup2` possono essere utilizzati indifferentemente al posto del file descriptor originale

Chiusura di un file descriptor

```
#include <unistd.h>

int close(int fd);
```

La chiusura di un file descriptor consente di riutilizzarlo per un nuovo file
Se non vi sono altri file descriptor per quell'oggetto, le risorse associate vengono effettivamente liberate

Lettura e scrittura da un *file descriptor* (file o altre risorse)

```
#include <unistd.h>

int read(int fd, void *buf, size_t count);
int write(int fd, void *buf, size_t count);
```

- **`read`** prova a leggere dall'oggetto a cui si riferisce `fd` fino a `count` byte, memorizzandoli a partire dalla locazione `buf`.

- **`write`** prova a scrivere sull'oggetto a cui si riferisce `fd` fino a `count` byte, letti a partire dalla locazione `buf`

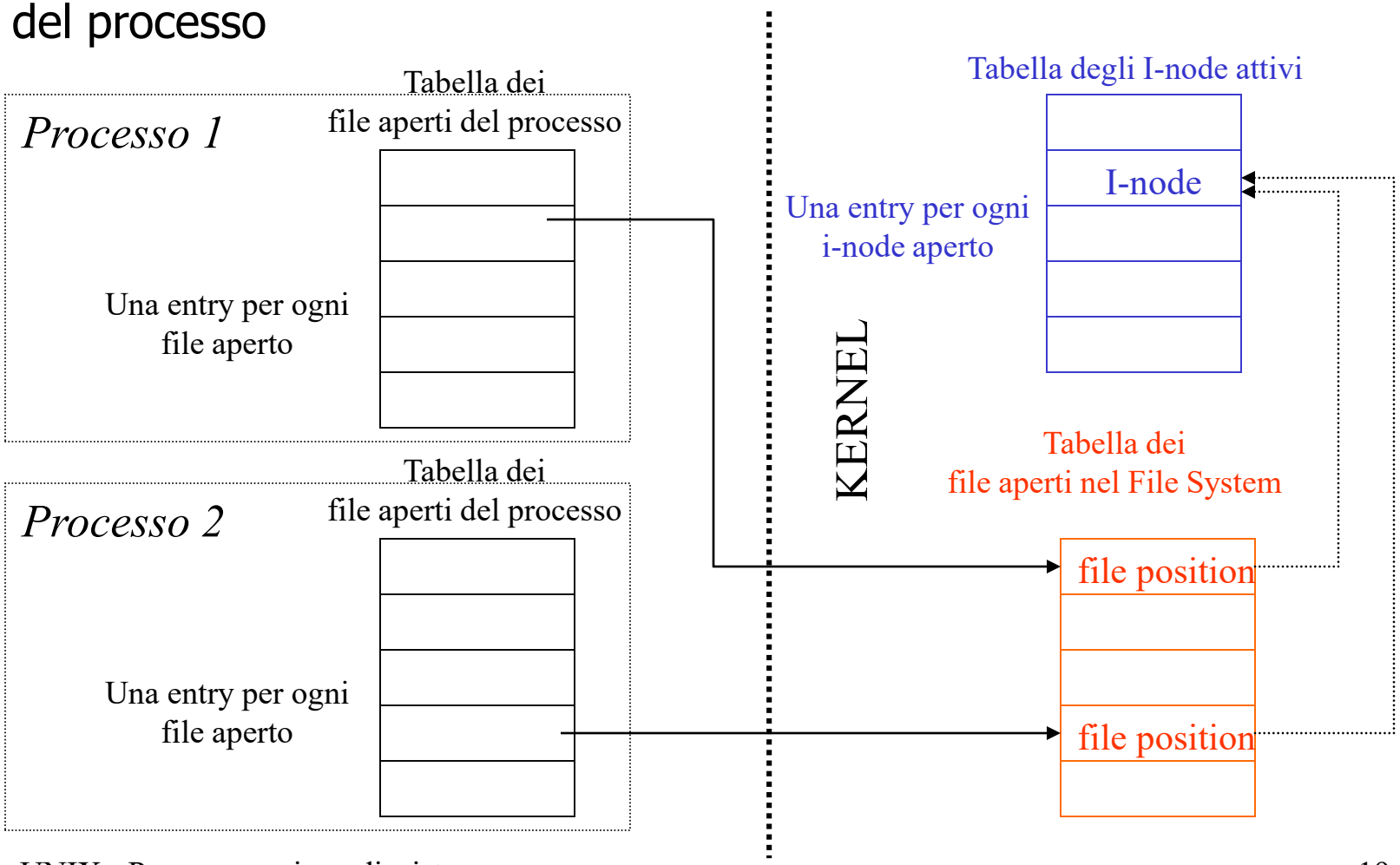
- La lettura e scrittura di un file avvengono a partire dalla posizione corrente del file (il **file offset**) che viene modificato dalla operazione

- Le primitive ritornano il numero di byte effettivamente letti/scritti (una lettura di 0 byte significa che il file offset è uguale alla dimensione del file e quindi non c'è più nulla da leggere (EOF)

Operazioni sui file

Ogni processo ha la propria visione dei file aperti

- se più processi aprono lo stesso file, ciascun processo si riferisce ad un proprio file offset (*file position* nella figura) distinto da quello degli altri
- le operazioni condotte da un processo su un file modificano solo il file offset del processo



Proprietà di `read` e `write`

- **Sincronizzazione**
  - **`read`** è normalmente sincrona: la primitiva attende la disponibilità dei dati richiesti a meno che non sia stato specificato il flag `O_NONBLOCK` in fase di apertura o creazione
  - **`write`** è normalmente semi-sincrona: la primitiva ritorna subito dopo aver scritto i dati in un buffer di kernel mentre l'effettiva scrittura sul disco viene portata a termine in modo asincrono (a meno che non sia stato specificato il flag `O_SYNC` in fase di apertura o creazione che comporta l'attesa della scrittura fisica sul disco)

- Atomicità
  - L'esecuzione di una singola primitiva `write` o `read` non è interrompibile mentre non è garantita l'atomicità di una sequenza di `read` e/o `write`
  - l'accesso esclusivo ad un file (o ad una porzione di esso) può essere ottenuto mediante `fcntl` oppure `flock`

Esempi di lettura/scrittura : Copia di file (ver. 1)

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#define BUFSIZ 4096

main()
{
char    *f1= "filesorg", *f2= "/tmp/filedest", buffer[BUFSIZ];
int     infile, outfile; /* file descriptor */
int     nread;

/* apertura file sorgente */
if ((infile=open(f1,O_RDONLY)) <0)
        { perror("Apertura f1"); exit(1); }

/* creazione file destinazione */
if ((outfile=open(f2,O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, 0644)) <0)
        { perror("Creazione f2"); exit(2);}

/* Ciclo di lettura/scrittura fino alla fine del file sorgente */
while((nread= read(infile, buffer, BUFSIZ)) >0)
        if(write(outfile, buffer, nread) != nread)
        { perror("Errore write"); exit(3);}
if(nread < 0) { perror("Errore read"); exit(4);}

close(infile); close(outfile);
exit(0);
```

NB: file sorgente e file destinazione sono pretederminati

Copia di file (ver. 2 - uso argomenti)

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#define PERM 0644
#define BUFSIZ 4096
main(int argc, char *argv[])
{
int    infile, outfile; /* file descriptor */
int    nread;
char   buffer[BUFSIZ];

/* Controllo del numero degli argomenti */
if (argc != 3)
       { fprintf(stderr,"Uso: %s filesorg filedest\n",argv[0]);
       exit(1); }
```

Copia di file (ver. 2 - uso argomenti) (cont.)

```
/* apertura file sorgente */
if ((infile=open(argv[1],O_RDONLY)) <0)
      {fprintf(stderr,"Non posso aprire %s: %s\n", argv[1],
            strerror(errno)); exit(2); }

/* creazione file destinazione */
if ((outfile=open(argv[2],O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, PERM)) <0)
      {fprintf(stderr,"Non posso creare %s: %s\n", argv[2],
                  strerror(errno)); exit(3);}

/* Ciclo di lettura/scrittura fino alla fine del file sorgente
*/
while((nread= read(infile, buffer, BUFSIZ)) >0)
      if(write(outfile, buffer, nread) != nread)
            { perror("Errore write: "); exit(4);}

if (nread < 0) { perror("Errore read: "); exit(5);}
close(infile); close(outfile);
exit(0);
}
```

Copia di file (ver. 3 - richiede la redirezione dell' I/O)

```
/* copyredir.c */

#include <unistd.h>

#define BUFSIZ 4096

main()
{
int nread;
char buffer[BUFSIZ];

/* Ciclo di lettura/scrittura fino alla fine del file sorgente */

while((nread= read(0, buffer, BUFSIZ)) >0)
        if(write(1, buffer, nread) != nread)
                { perror("Errore write su stdout"); exit(1);}


exit(0);
}
```

Esecuzione

```
$copyredir <filesorgente >filedestinazione
```

Trasferire dati tra descrittori

```
#include <sys/sendfile.h>

ssize_t sendfile(int out_fd, int in_fd, off_t *offset, size_t count);
```

- **`sendfile`** copia dati da un file descriptor all'altro rimanendo all'interno del kernel, quindi è più efficiente dell'uso combinato di **read** e **write** che trasferiscono dati tra spazio utente e kernel

- Se `offset` non è NULL, indica l'indirizzo di una variabile contenente lo spiazzamento da cui iniziare la lettura da `in_fd` che sarà modificata all'offset successivo all'ultimo byte letto; `count` è il numero di byte da copiare;
- Se `offset` non è NULL, allora **`sendfile`**() non modifica il *file offset* di `in_fd`; altrimenti esso viene aggiustato per riflettere il numero di byte letti da `in_fd`: `ad es. sendfile(sockfd, filefd, NULL, BUFSIZE);`

- il valore di uscita è il numero di byte scritti su `out_fd`;

Copia di file con **sendfile**

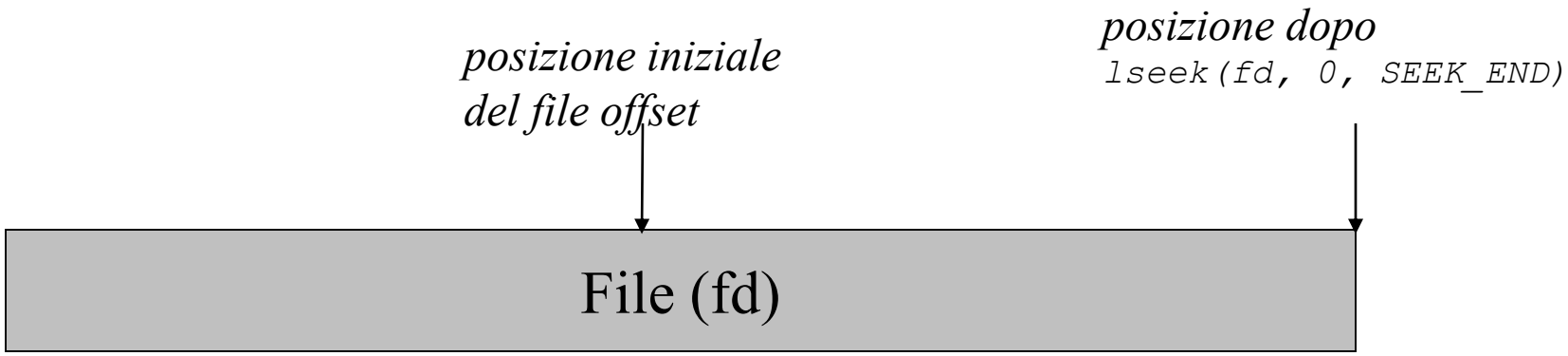
```
#include <fcntl.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/sendfile.h>
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

int main (int argc, char* argv[]) {
int read_fd, write_fd;
struct stat stat_buf;
off_t offset = 0;

/* Open the input file. */
 read_fd = open (argv[1], O_RDONLY);
/* Stat the input file to obtain its size. */
fstat (read_fd, &stat_buf);
/* Open the output file for writing,
    with the same permissions as the source file. */
write_fd = open (argv[2], O_WRONLY | O_CREAT, stat_buf.st_mode);
/* Blast all the bytes from one file to the other. */
sendfile (write_fd, read_fd, &offset, stat_buf.st_size);
/* Close up. */
close (read_fd);
close (write_fd);
return 0;
}
```

Riposizionamento non sequenziale del file offset

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

off_t lseek(int fd, off_t offset, int whence);
```

Valori per il parametro whence

- `SEEK_SET`: il *file offset* diventa `offset` byte (dall'inizio del file);
- `SEEK_CUR`: al *file offset* sono aggiunti `offset` byte (dalla sua posizione corrente);
- `SEEK_END`: *il file offset* diventa la somma della dimensione del file più `offset` byte (dalla fine del file);



Informazioni su file (ordinari, speciali, direttori)

```
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>

int stat(const char *filename, struct stat *buf);
int fstat(int fd, struct stat *buf);
```

Nella struttura buf vengono riportate le informazioni relative al file:

```
struct stat
   {
   dev_t          st_dev;     /* device */
   ino_t          st_ino;     /* inode */
   mode_t         st_mode;    /* protection */
   nlink_t        st_nlink;   /* number of hard links */
   uid_t          st_uid;     /* user ID of owner */
   gid_t          st_gid;     /* group ID of owner */
   dev_t          st_rdev;    /* device type (if inode device) */
   off_t          st_size;    /* total size, in bytes */
   unsigned long  st_blksize; /* blocksize for filesystem I/O */
   unsigned long  st_blocks;  /* number of blocks allocated */
   time_t         st_atime;   /* time of last access */
   time_t         st_mtime;   /* time of last modification */
   time_t         st_ctime;   /* time of last status change */
   };
```

Cancellazione di file

```
#include <unistd.h>

int unlink(const char *filename);
```

Il file viene cancellato solo se:
- si tratta dell'ultimo link al file
- non vi sono altri processi che lo hanno aperto ; il file verrà effettivamente rimosso all'atto dell'ultima close

Nel caso si tratti di un link simbolico viene rimosso il link

Controllo su file e dispositivi

```
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>

int fcntl(int fd, int cmd /*, arg */);
```

Vari comandi per il controllo sui file aperti: ad.es. gestione dei lock per l'accesso esclusivo ad una regione di un file aperto (cfr. anche **`flock`**)

```
#include <sys/ioctl.h>

int ioctl(int fd, int cmd /*, arg */);
```

Vari comandi per il controllo della modalità di funzionamento dei dispositivi

I comandi applicabili sono in genere determinati dalla tipologia del dispositivo anche se sono disponibili `ioctl` di carattere generale

`ioctl(fd, FIONREAD, &available)` in `available` viene restituito il numero di byte disponibili per la lettura

Esempio di configurazione di un terminale su linea seriale

```
#include <unistd.h>
#include <sys/ioctl.h>
#include <sys/termios.h>


struct termios terminal;

...
/* Mancano i controlli sull'esito delle primitive */

fd = open("/dev/ttyS0", O_RDWR);

/* Ottiene la configurazione corrente della linea */
ioctl(fd, TCGETS, &terminal);

/* Modifica la configurazione per una comunicazione a 8 bit */
terminal.c_flag |= CS8 ;

/* Aggiorna la configurazione corrente della linea */
ioctl(fd, TCSETS, &terminal);

...
```

UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

UNIX - Le primitive per la gestione dei processi

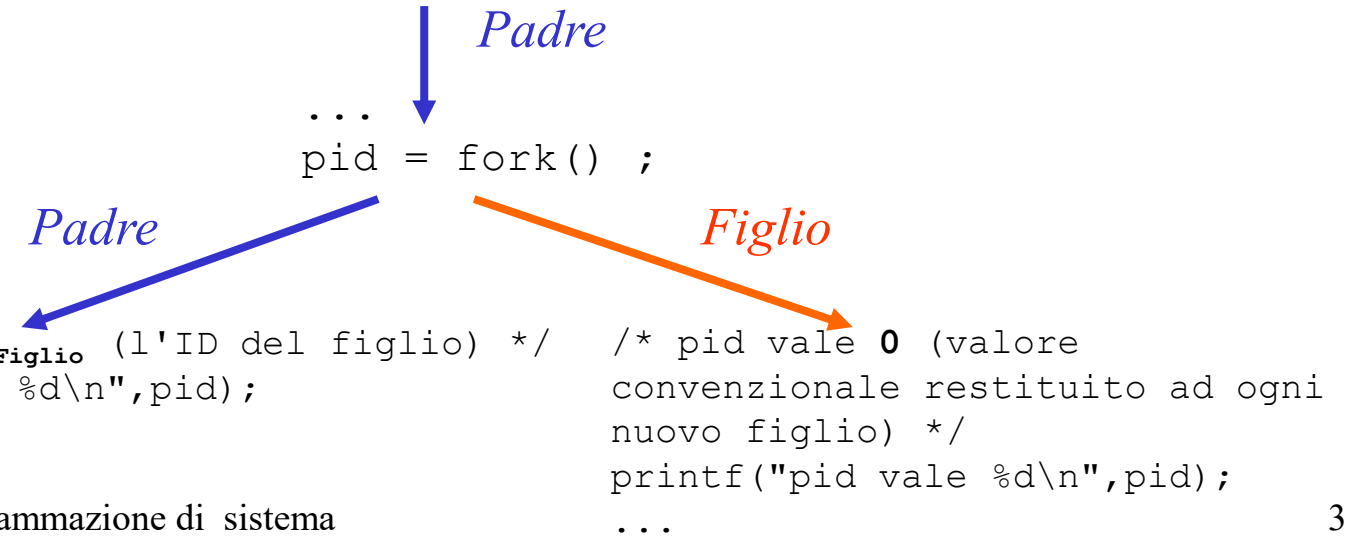
prof. Francesco Zanichelli

La creazione di un nuovo processo in UNIX

```
#include <unistd.h>

int fork(void);
```

Viene creato un **nuovo** processo (*figlio*) identico (stesso codice, area dati copiata) al processo (*padre*) che ha invocato la `fork`. I due processi competono per l'utilizzo della CPU (scheduling) e non vi è alcuna garanzia su chi inizierà per primo l'esecuzione

Solo il valore di uscita dalla `fork` è diverso per i due processi



Schema di generazione

I ruoli di padre e figlio sono relativi ad una specifica fork : il figlio può a sua volta generare altri processi

```
#include <unistd.h>

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

Dopo la generazione del nuovo processo, padre e figlio sono processi indipendenti e pronti per l'esecuzione

Il padre può decidere:

- se continuare la propria esecuzione concorrentemente a quella del figlio

Cfr. le modalità di esecuzione dei programmi in uno shell

- se attendere che il figlio termini (primitiva `wait`)

Il processo figlio :

- utilizza lo stesso codice che sta eseguendo il padre ;
- dispone di una area dati (utente/kernel) che è una copia (spesso *on-write*) di quella che ha il padre all'atto della fork;

$\Rightarrow$ **non vi è nessuna condivisione di memoria tra i processi padri e figlio**
(MOLTO IMPORTANTE)

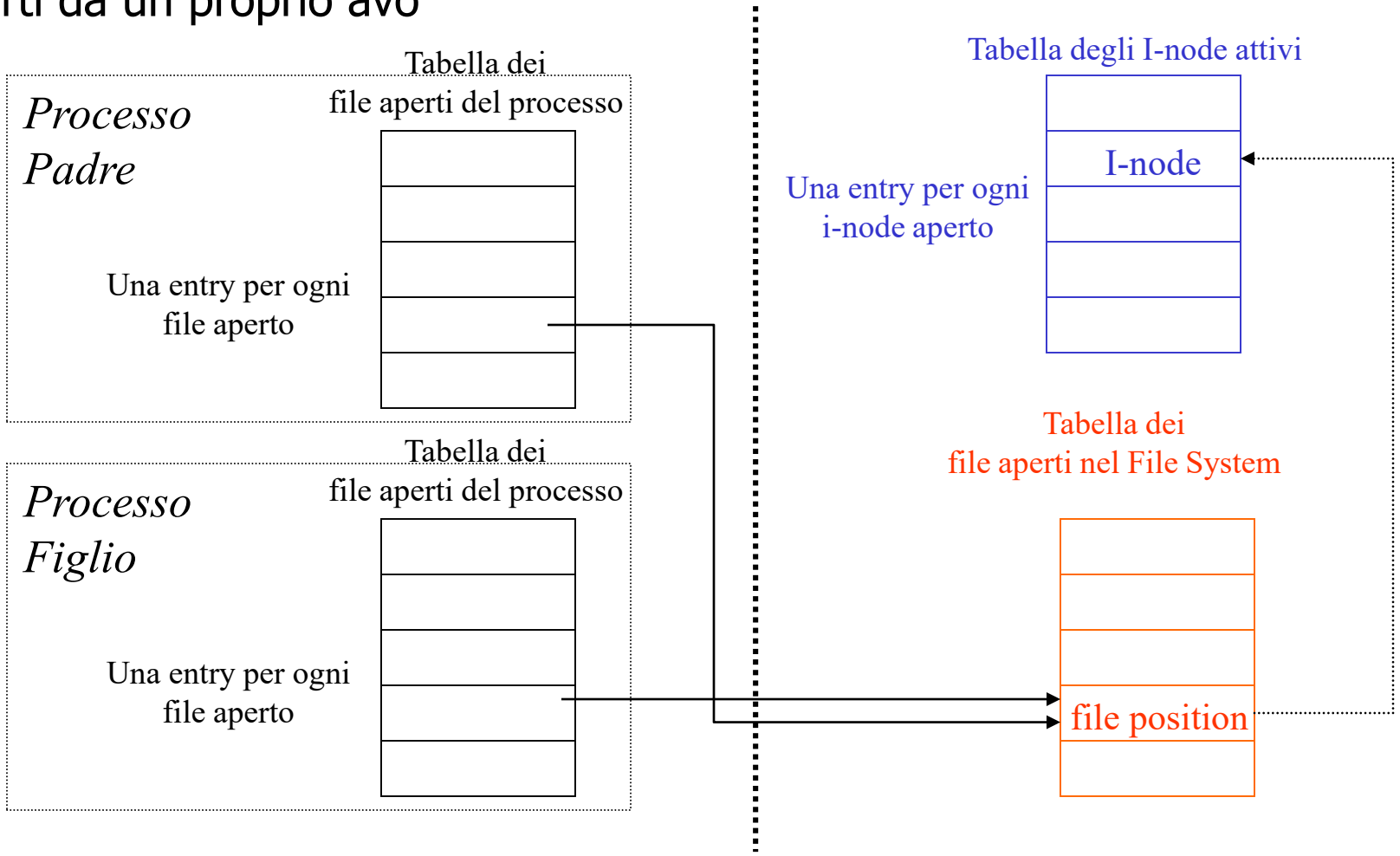
La duplicazione dell'area di kernel ha come effetto che **il processo figlio eredita la gestione dei segnali e la tabella dei file aperti del padre** :

- i file aperti dal padre risultano aperti anche dal figlio con una condivisione del *file offset*

$\Rightarrow$ le operazioni su uno stesso file condotte da una famiglia di processi modificano il *file offset* comune

Operazioni sui file

I processi di una stessa famiglia non hanno una visione indipendente dei file aperti da un proprio avo



È possibile chiudere il file descriptor "ereditato" e riaprire di nuovo il file per avere un accesso indipendente ai file

Identificazione dei processi

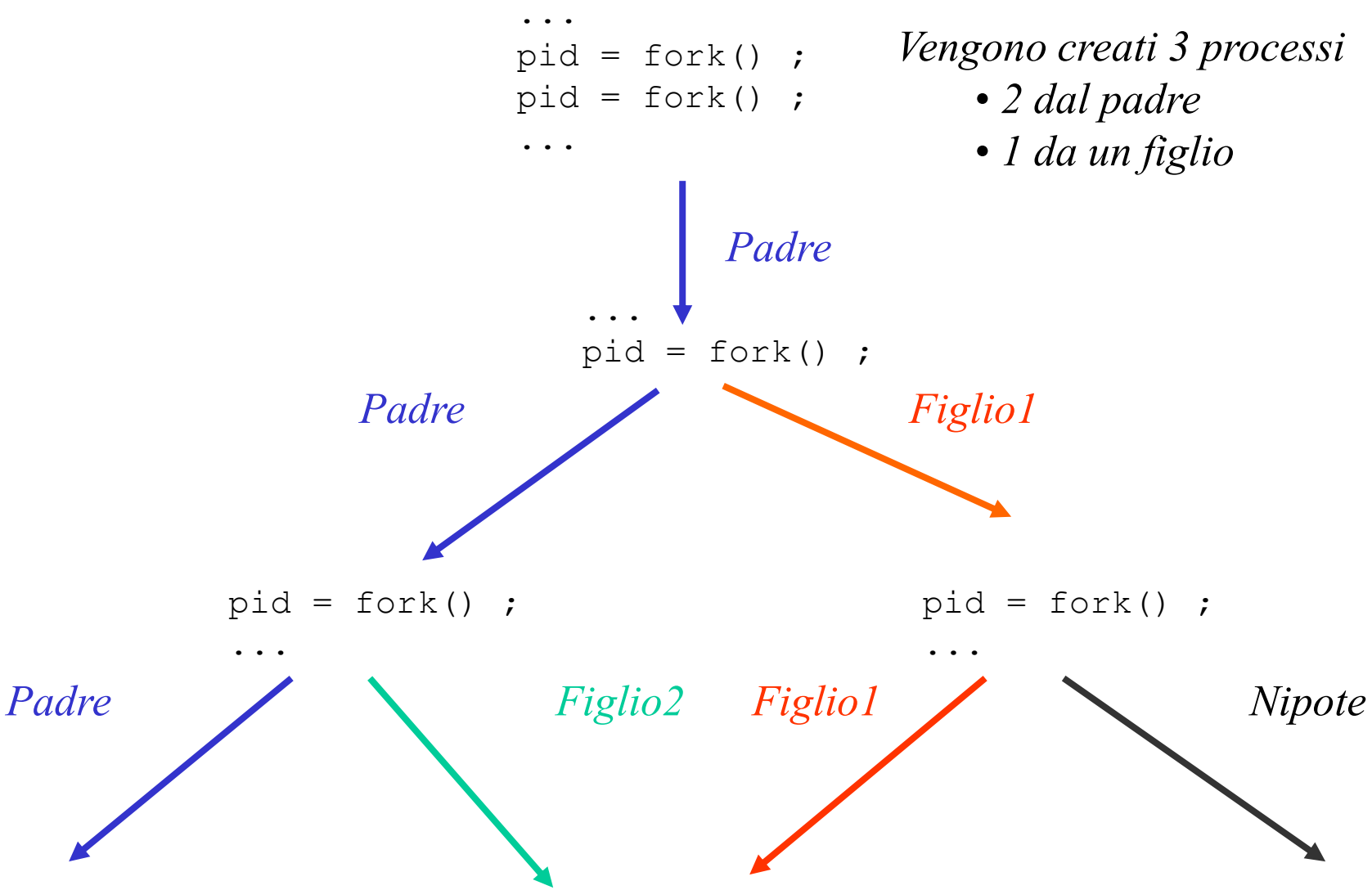
```
#include <unistd.h>

pid_t getpid(void);
pid_t getppid(void);
```

La `getpid` ritorna al processo chiamante il suo identificatore di processo (PID)

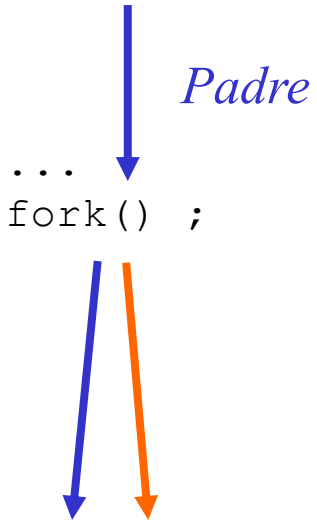
La `getppid` ritorna al processo chiamante l' identificatore di processo del suo processo padre (PID del padre)

Dalla `fork` il padre riceve il PID del processo figlio che deve invece invocare `getpid` per conoscere il proprio PID

Attenzione alla fork



Attenzione alla fork



Se non viene salvato il valore di uscita come separare l'esecuzione dei due processi ?

```
Pid_t pidPadre;
pidPadre=getpid();
fork() ;
```

Quale informazione differenzia ciascun processo?

Sincronizzazione tra padre e figlio

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

pid_t wait(int *status);
```

Il processo chiamante rimane bloccato in attesa della terminazione di uno tra i suoi figli (se i processi figli sono già terminati `wait` ritorna immediatamente)

- `status` contiene il valore di uscita del processo figlio: per ottenerlo (`status >> 8`) oppure `WEXITSTATUS(status)`

- se la `wait` ha successo il valore di ritorno è il PID del processo figlio che è terminato

Con la variante `waitpid` è possibile ottenere informazioni sullo stato dei processi figli anche senza bloccare il processo chiamante (opzione `WNOHANG`)

Uso della wait

```
int status;
/* NB int *status ; è sbagliato : perché ?
*/

if(fork() ==0)
        {/* Codice eseguito dal figlio */
        ...
        }
else
        {/* Codice eseguito dal padre */
        ...
        /* Attende che il figlio termini */
        wait(&status);
        ...
```

Nel caso di più figli in esecuzione pùo essere necessario attendere la terminazione di uno specifico figlio (*pidfiglio*):

```
while ((pid = wait(&status)) != pidfiglio);
```

Oppure direttamente:

```
waitpid(pidfiglio,&status, NULL);
```

Terminazione volontaria di un processo

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

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

Un processo termina volontariamente invocando la primitiva `_exit` oppure la funzione *exit* della libreria standard I/O del C oppure alla conclusione della funzione *main* (dove viene invocata automaticamente `_exit`);

`status` è il valore di uscita che viene reso disponibile al padre attraverso la wait o le altre primitive (waitpid, …)

`_exit` e *exit* chiudono tutti i file aperti del processo

Terminazione involontaria di un processo

Un processo termina involontariamente a seguito di:

- azioni non consentite:
  - riferimenti ad indirizzi di memoria non assegnati al processo (SIGSEGV)
  - esecuzione di codici di istruzioni non definite (SIGILL)
- segnali generati dall'utente da tastiera
  - ^C (SIGINT)
  - ^\ (SIGQUIT) con generazione del *corefile*
- segnali inviati da un altro processo
  - mediante la primitiva kill (che vedremo più avanti)
  - mediante il comando kill (ad es. `kill -9 pidprocesso`)

Esempio di uso della wait

```
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/wait.h>

int main (int argc, char **argv)
{
  int fd,pid, pid_processo;
  int nread,nwrite,status;
  char st1[256];
  char st2[256];

  if (argc != 2) {fprintf(stderr,"Uso: %s nomefile\n",argv[0]); exit(1); }

  /* Apertura del file in lettura e scrittura */
  if ((fd=open(argv[1], O_RDWR| O_CREAT|O_TRUNC,0644))<0)
    {perror("opening argv[1]"); exit(2);}

  if((pid=fork())<0)
    {
      {perror("fork"); exit(3);}
    }
  else
    if (pid==0)   /* Processo figlio  */
      {
          /* Continua nella trasparenza successiva … */
```

Esempio

```
        /* … continua processo figlio */
        printf("Introduci una stringa e premi [Enter]\n");
        scanf("%s",st1);
        /*  Il figlio eredita il descrittore fd dal padre */
        nwrite= write(fd,st1,strlen(st1)+1);/* per scrivere anche il '\0' */
        /* Il file offset si e' spostato alla fine del file  */
        exit(0); // exit(nwrite);

    }
  else
    {  /* pid > 0 : Processo padre  */

      /* Attesa della terminazione del figlio */
      pid_processo = wait(&status);
      /* Con un solo figlio generato, pid_processo è uguale a pid  */
      /* Riposizionamento all'inizio del file */
      lseek(fd,0,SEEK_SET);

      if( (nread = read(fd,st2,256)) <0)
          {perror("Errore read"); exit(4);}

      printf("Il figlio ha letto la stringa %s\n",st2);
      close(fd);
      exit(0);
  }
}
```

Esecuzione di un programma

```
#include <unistd.h>

int  execve (const char *pathname, char *const argv[],
char *const envp[]);
```

Il processo chiamante passa ad eseguire il programma `filename` (file eseguibile o *script*): non è previsto il ritorno della chiamata a meno che non vi sia un errore (-1)

Con `argv` e `envp` è possibile specificare gli argomenti e le variabili di ambiente che il programma riceve

L'ambiente di esecuzione (codice e dati) del processo corrente viene modificato in quello del programma (senza che venga creato un nuovo processo - il PID rimane invariato) :

- la fork crea un nuovo processo identico al padre
- la exec permette di modificare l'ambiente di esecuzione di un processo (in modo da renderlo diverso da quello del padre)

Varianti della execve

```
#include <unistd.h>

int execl( const char *path, const char *arg, ...);
int execlp( const char *file, const char *arg, ...);

int execle( const char *path, const char *arg , ...,
char * const envp[]);

int execv( const char *path, char *const argv[]);
int execvp( const char *file, char *const argv[]);
```

La `execlp` e la `execvp` ricercano il `file` nei direttori indicati nella variabile di ambiente $PATH (è un comportamento analogo a quello dello shell : non è necessario il path completo)

Effetti delle primitive exec

La gestione dei segnali (vista più avanti) viene alterata:

- se essi venivano **ignorati** rimangono tali
- se erano collegati a **funzioni** (handler) vengono riportati alla gestione di default

Se il file eseguito hai il bit SUID attivo, gli identificatori **effettivi** del processo vengono modificati in quelli del **proprietario del file eseguito**, mentre quelli **reali** rimangono **inalterati**

Si ereditano:
direttorio corrente, maschera dei segnali, terminale di controllo ed altre informazioni

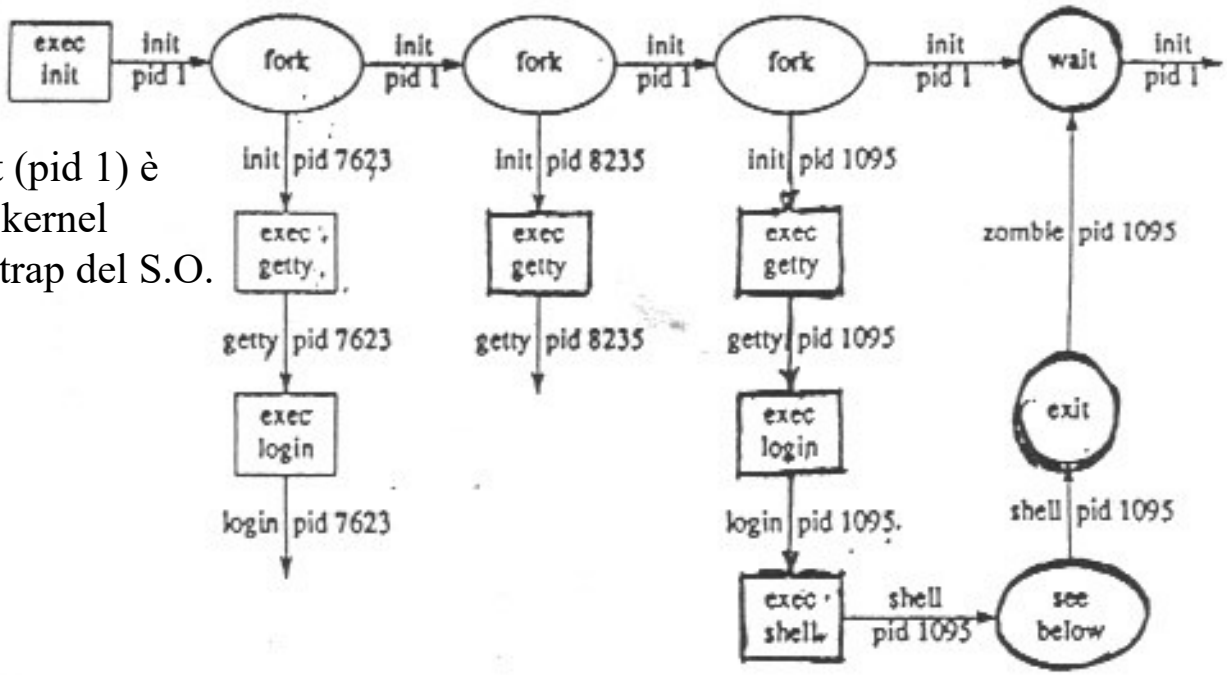
Esempio di uso della execve

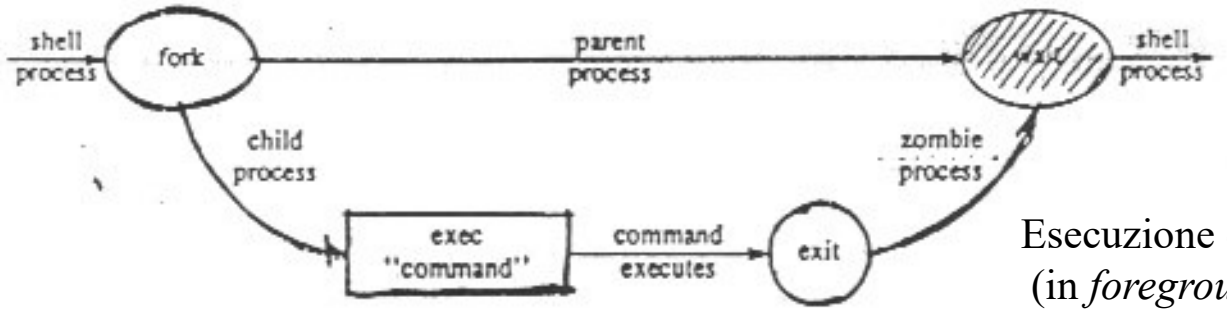
```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>

int main() {
  int status;
  pid_t pid;
  char *env[] = { "TERM=vt100",
                  "PATH=/bin:/usr/bin",
                  (char *) 0 };

  char *args[] = {"cat",
                  "f1",
                  "f2",
                  (char *) 0 };


  if ((pid=fork())==0) {
    /* Codice eseguito dal figlio */
    execve("/bin/cat",args,env);
    /* Si torna qui solo in caso di errore/fallimento della execve*/
    perror("execve");
    exit(1);
  }
  else {
    /* Codice eseguito dal padre */
    wait(&status);
    printf("Il processo %d e' terminato con %d\n",pid,WEXITSTATUS(status));
  }

  exit(0);
}
```

La gestione delle sessioni utente si basa su fork e exec

Un processo per ogni dispositivo di linea (terminale) attraverso il quale un utente può fare un login (vedi /etc/inittab)

Il processo init (pid 1) è attivato dal kernel alla fine del bootstrap del S.O.





Esecuzione di un comando (in *foreground*) nello shell

Un'alternativa a fork+exec

```
#include <spawn.h>

int posix_spawn(pid_t *pid, const char *path,
                  const posix_spawn_file_actions_t *file_actions,
                  const posix_spawnattr_t *attrp,
                  char *const argv[], char *const envp[]);

int posix_spawnp(pid_t *pid, const char *file,
                  const posix_spawn_file_actions_t *file_actions,
                const posix_spawnattr_t *attrp,
                 char *const argv[], char *const envp[]);
```

Le funzioni `posix_spawn()` e `posix_spawnp()` sono utilizzate per creare un nuovo processo figlio che esegue il file specificato. Queste funzioni sono state specificate dallo standard POSIX per fornire un metodo standardizzato di creazione di nuovi processi su processi su macchine che non supportano la chiamata di sistema, ad es. molti sistemi embedded senza supporto per una MMU.

Tra la creazione del processo e l'esecuzione del programma possono essere modificati attributi ed eseguite azioni sui file (ad. es. la chiusura di uno o più file descriptor del padre)

Gli attributi (ad es. POSIX_SPAWN_SETSIGMASK o POSIX_SPAWN_SETSCHEDPARAM) sono definiti tramite una funzione `posix_spawnattr_setflags` da invocare in precedenza

Le azioni sui file sono un insieme ordinato di richieste di `open`, `close` e `dup` definito tramiite funzioni `posix_spawn_file_actions_add*()` anche esse da invocare in precedenza

Non è un sostituto completo di fork+exec perché alcune operazioni (ad es. la configurazione degli attributi del terminale) non sono ancora supportato.

UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

UNIX - Le primitive per la gestione dei segnali

prof. Francesco Zanichelli

Sincronizzazione mediante segnali

Vi sono spesso eventi importanti da notificare ai processi:

- tasti speciali sul terminale (es. ^C)
- eccezioni hardware (es. divisione per 0)
- primitiva/comando kill (es. `kill -9 1221`)
- condizioni software (es. scadenza di un timer)

L'arrivo di tali **eventi asincroni** può richiedere un'immediata gestione da parte del processo (analogamente alle interruzioni hardware)

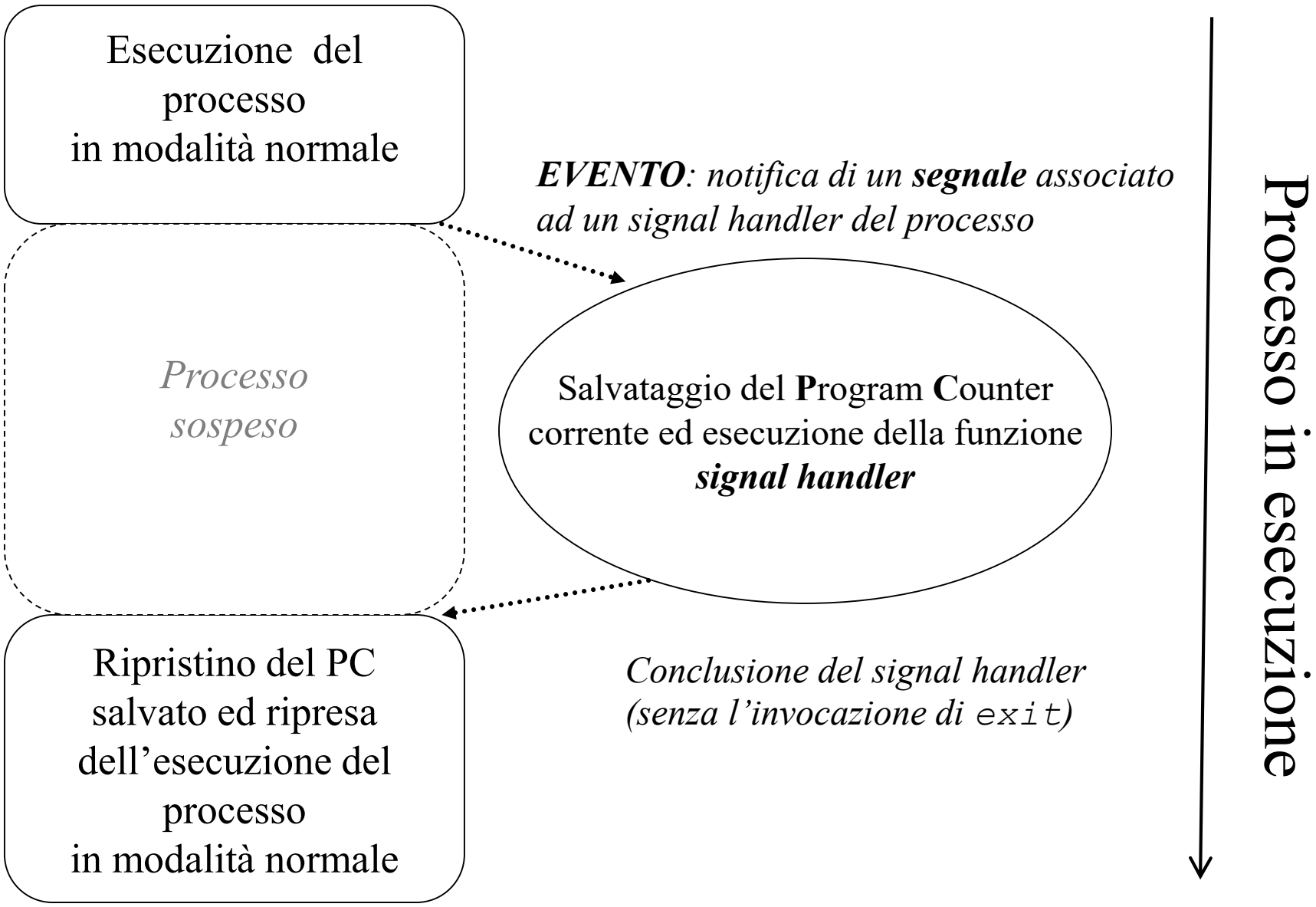
⇒ **i segnali sono anche detti software interrupts**

Quali sono le possibilità di gestione di un segnale per un processo ?

1. può decidere di **ignorarlo** (possibile solo per alcuni tipi di segnale)
2. può contare su un'azione di **default**
3. può far eseguire un'**azione** specificata dall'utente (gestore del segnale - *signal handler*)

Per tutta la durata dell'esecuzione del gestore del segnale, l'esecuzione del programma interrotto rimane bloccata :

$\Rightarrow$ al processo UNIX è associato un solo flusso di controllo (un solo Program Counter)


Esecuzione del processo in modalità normale
Processo sospeso
Ripristino del PC salvato ed ripresa dell'esecuzione del processo in modalità normale
***EVENTO**: notifica di un **segnale** associato ad un signal handler del processo*
Salvataggio del **P**rogram **C**ounter corrente ed esecuzione della funzione ***signal handler***
Conclusione del signal handler (senza l'invocazione di `exit`)
Processo in esecuzione

Elenco dei segnali Linux (/usr/include/asm/signal.h)

```
#define   SIGHUP      1        /* Hangup (POSIX).  */
#define   SIGINT      2        /* Interrupt (ANSI).  */
#define   SIGQUIT     3        /* Quit (POSIX).  */
#define   SIGILL      4        /* Illegal instruction (ANSI).  */
#define   SIGTRAP     5        /* Trace trap (POSIX).  */
#define   SIGABRT     6        /* Abort (ANSI).  */
#define   SIGIOT      6        /* IOT trap (4.2 BSD).  */
#define   SIGBUS      7        /* BUS error (4.2 BSD).  */
#define   SIGFPE      8        /* Floating-point exception (ANSI).  */
#define   SIGKILL     9        /* Kill, unblockable (POSIX).  */
#define   SIGUSR1     10       /* User-defined signal 1 (POSIX).  */
#define   SIGSEGV     11       /* Segmentation violation (ANSI).  */
#define   SIGUSR2     12       /* User-defined signal 2 (POSIX).  */
#define   SIGPIPE     13       /* Broken pipe (POSIX).  */
#define   SIGALRM     14       /* Alarm clock (POSIX).  */
#define   SIGTERM     15       /* Termination (ANSI).  */
#define   SIGSTKFLT   16       /* Stack fault.  */
#define   SIGCLD      SIGCHLD          /* Same as SIGCHLD (System V).  */
```

Per Solaris 5.x cfr. /usr/include/sys/signal.h : alcuni segnali hanno valori diversi

Elenco dei segnali (cont.)

```
#define   SIGCHLD     17      /* Child status has changed (POSIX).  */
#define   SIGCONT     18      /* Continue (POSIX).  */
#define   SIGSTOP     19      /* Stop, unblockable (POSIX).  */
#define   SIGTSTP     20      /* Keyboard stop (POSIX).  */
#define   SIGTTIN     21      /* Background read from tty (POSIX).  */
#define   SIGTTOU     22      /* Background write to tty (POSIX).  */
#define   SIGURG      23      /* Urgent condition on socket (4.2 BSD).  */
#define   SIGXCPU     24      /* CPU limit exceeded (4.2 BSD).  */
#define   SIGXFSZ     25      /* File size limit exceeded (4.2 BSD).  */
#define   SIGVTALRM   26      /* Virtual alarm clock (4.2 BSD).  */
#define   SIGPROF     27      /* Profiling alarm clock (4.2 BSD).  */
#define   SIGWINCH    28      /* Window size change (4.3 BSD, Sun).  */
#define   SIGPOLL     SIGIO   /* Pollable event occurred (System V).  */
#define   SIGIO       29      /* I/O now possible (4.2 BSD).  */
#define   SIGPWR      30      /* Power failure restart (System V).  */
#define   SIGSYS      31      /* Bad system call.  */
#define   SIGUNUSED   31
```

L'interfaccia **signal** per la gestione dei segnali

```
#include <signal.h>
void (*signal( int signo, void (*func)(int))) (int) ;
```

Si specifica quale segnale (`signo`) e come deve essere trattato (`func`)

Valori ammessi per il parametro `func` :

1. **SIG_IGN** (ignora il segnale - solo per alcuni segnali)
2. **SIG_DFL** (azione di default per quel segnale)
3. indirizzo (ovvero in C il nome) di una funzione del programma (*signal handler* o gestore del segnale)

Per un inquadramento generale dei segnali UNIX
man 7 signal

`signal` fornisce un'interfaccia semplificata presente in ANSI C

- in SVR4 si ottengono segnali ***inaffidabili*** :
  - alla notifica del segnale, dopo l'esecuzione del gestore, l'azione torna ad essere quella di default (il gestore deve quindi installare di nuovo se stesso richiamando la `signal`)
  - segnali inviati possono andare perduti

  $\Rightarrow$ deve essere usata la `sigaction` (più avanti)

- in BSD4.3+ e in LINUX si ottengono invece segnali *affidabili* perchè la `signal` è implementata attraverso la `sigaction` (più avanti)

Uso della `signal`

```
...
/* Il processo richiede che una eventuale notifica
di un segnale SIGINT venga gestita dalla propria
funzione sigint_handler */

signal(SIGINT, sigint_handler);
...

void sigint_handler(int signo)
{
/* In SVR4 è necessario installare di nuovo il gestore
per la successiva notifica di SIGINT:
signal(SIGINT, sigint_handler);
*/
...
}
```

Un gestore di segnale può decidere di far continuare il processo oppure di farlo terminare (exit)

Esempio di gestione di segnale con `signal`

Per terminare l'esecuzione di questo processo:
^\ oppure `kill -9 pidprocesso` dallo shell

```
#include <signal.h>

void catchint(int);

main()
{
int i;

/* La notifica di un segnale SIGINT deve avviare il gestore
catchint: si dice comunemente che il processo "intercetta" o
"aggancia" il segnale */
signal(SIGINT, catchint);

while(1) {  /* Ciclo senza fine */
       for(i=0 ; i< 100 ; i++)
              printf("i vale %d\n", i);
       sleep(1); }
}

void catchint(int signo) {
printf("catchint: signo=%d\n", signo);
/* Non viene invocata la exit : ritorno al segnalato */
}
```

Altre primitive per i segnali

```
#include <sys/types.h>
#include <signal.h>

int kill(pid_t pid, int sig);
```

Invia il segnale `sig` al processo `pid`

- il processo mittente e quello destinatario del segnale devono appartenere allo stesso utente
- solo root può inviare segnali a processi di altri utenti
- **`kill (0, sig)`** invia il segnale sig a tutti i processi del gruppo del processo chiamante (padre, figli, nipoti, etc.)

La primitiva `kill` è asincrona (non bloccante):

$\Rightarrow$ il processo mittente prosegue immediatamente mentre al destinatario viene notificato il segnale

Invio temporizzato di segnali

```
#include <unistd.h>

unsigned int alarm(unsigned int  nseconds);
```

Dopo *nseconds* secondi il processo chiamante riceve un segnale `SIGALRM` – che deve essere gestito dal processo - inviato dal S.O (alarm(0) annulla il countdown)

Attesa di un segnale

```
#include <unistd.h>
int pause(void);     // NON utilizzare : usare sigsuspend
```

Il processo chiamante rimane bloccato fino a quando non viene eseguito un gestore di segnale per l' arrivo di un qualunque segnale

La `pause` ritorna sempre con -1 e con errno che vale EINTR

Sospensione temporizzata

```
unsigned int sleep(unsigned int nseconds);
```

Sospende il processo chiamante per il tempo specificato

L'arrivo di un segnale mentre il processo è sospeso interrompe l' attesa :

- in questo caso `sleep` ritorna con -1 e con errno che vale EINTR

Alcune implementazioni della `sleep` usano `SIGALRM` per cui non è possibile utilizzare contemporaneamente `sleep` e `alarm`

E' preferibile l'utilizzo della `nanosleep` che in caso di interruzione restituisce l'intervallo di attesa residuo

nanosleep e gettimeofday

```
#include <time.h>
int nanosleep(const struct timespec *req, struct timespec *rem);
```

Sospende il processo chiamante per l'intervallo temporale specificato nella struttura req :

```
struct timespec {       time_t tv_sec;      /* seconds */
                        long   tv_nsec;     /* nanoseconds */
                        };
```

In uscita nella struttura rem è riportato il tempo che resta da attendere dopo l'uscita anticipata della primitiva a causa della notifica di un segnale.
Il processo può quindi richiamarla indicando il tempo residuo di attesa.

```
#include <sys/time.h>
#include <time.h>

int gettimeofday(struct timeval *tv, struct timezone *tz);
```

Permette di conoscere l'ora e la data correnti come numero di secondi dal 1 gennaio 1970.

Esempio di interazione tra processi mediante segnali inaffidabili

```
#include <signal.h>
#include <unistd.h>

void catcher(int signo)
{
  static int ntimes = 0;
  printf("Processo %d ricevuto #%d volte\n", getpid(), ++ntimes);
}

int main()
{
int pid, ppid;

signal(SIGUSR1, catcher); /*  il figlio erediterà questa politica di
                              gestione del segnale SIGUSR1 */

if ((pid=fork()) < 0)
  {
  perror("fork error");
  exit(1);
  }
else
  if (pid == 0)
    {
        /* Processo figlio - continua … */
```

Segnali

```
    {/* … continua processo figlio */
    ppid = getppid();
    printf("figlio: mio padre e' %d\n", ppid);
    for (;;)
        {

        sleep(1);
        kill(ppid, SIGUSR1);
        pause();
        }
    }
  else
    {
      /* Processo padre */
      printf("padre: mio figlio e' %d\n", pid);
      for (;;)
        {
          pause();
          sleep(1);
          kill(pid, SIGUSR1);
        }
    }
}
```

Problemi con i segnali inaffidabili (*unreliable)*

1) Reset del gestore dopo una notifica del segnale (SVR4)

```
...
signal(SIGINT, sig_int);
...

void sig_int()
{
      <= = = ======================
signal(SIGINT, sig_int);
...

}
```

⇒ Esiste una finestra temporale in cui la notifica di un secondo segnale fa terminare il processo (N.B. prima di eseguire la nuova signal è tornata attiva la gestione di default !)

Problemi con i segnali inaffidabili (*unreliable)*

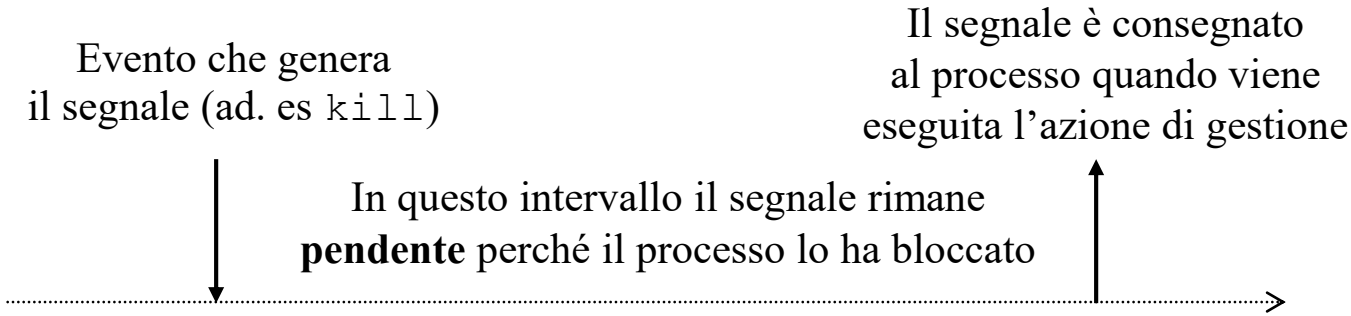
2) Attesa di un segnale

```
...
int segnale_arrivato=0;
...
signal(SIGINT, sig_int);
...
// Controlla arrivo segnale prima di mettersi in attesa
if (! segnale_arrivato)
                    <= = = ====================== SEGNALE
      pause(); /*Il segnale va perso: il processo
                   attenderà un ulteriore segnale */
...
void sig_int()
{
signal(SIGINT, sig_int); // SVR4
segnale_arrivato= 1;
}
```

⇒ Esiste una finestra temporale in cui la notifica del segnale può provocare eventualmente un deadlock

La gestione affidabile dei segnali

Un processo può bloccare temporaneamente la consegna di un segnale (non `SIGKILL`/`SIGBLOCK`) che rimane pendente



Il segnale rimane pendente fino a che:

- il processo lo sblocca

oppure

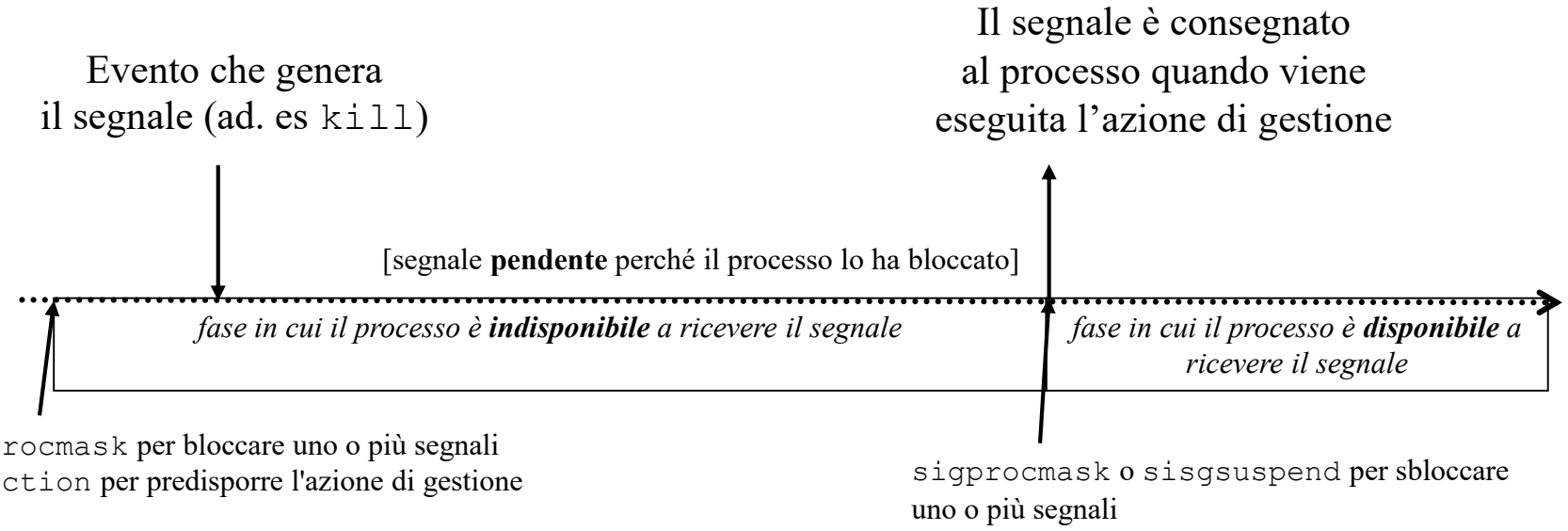
- il processo sceglie di ignorare quel segnale

$\Rightarrow$ un processo può cambiare l'azione da eseguire prima della consegna del segnale

La gestione affidabile dei segnali

Con la gestione affidabile :

- è minimizzato il rischio di perdita di segnali
- un processo può organizzarsi per poter ricevere la notifica dei segnali solo in certe fasi della sua attività:



sigset_t è un nuovo tipo di dato che rappresenta un insieme di segnali (*signal set*)

Funzioni di utilità per la manipolazione dei *signal set*

```
#include <signal.h>

int sigemptyset (sigset_t *set);
```
azzera / rende vuoto un sigset

```
int sigfillset (sigset_t *set);
```
mette tutti i segnali nel sigset

```
int sigaddset (sigset_t *set, int signo);
```
aggiunge un segnale al sigset

```
int sigdelset (sigset_t *set, int signo);
```
rimuove un segnale dal sigset

```
int sigismember (sigset_t *set, int signo);
```
valuta se quel segnale è presente nel sigset

Un processo può esaminare e/o modificare la propria ***signal mask*** **che è l'insieme dei segnali che sta attualmente bloccando**
(la maschera dei segnali di un processo è mantenuta nella sua User area ed è accessibile direttamente solo in modalità kernel)

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

dove *how* può valere:

- **SIG_BLOCK** ⇒ la nuova signal mask diventa l'OR binario di quella corrente con quella specificata da `set`
- **SIG_UNBLOCK** ⇒ i segnali indicati da `set` sono rimossi dalla signal mask
- **SIG_SETMASK** ⇒ la nuova signal mask diventa quella specificata da `set`

se `oset` è diverso da `NULL` la signal mask precedente viene restituita in `oset`

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

restituisce in `set` il sottoinsieme dei segnali bloccati che sono attualmente pendenti ovvero inviati ma non ancora notificati perché bloccati

Un segnale pendente che viene sbloccato (mediante la `sigprocmask` o con la `sigsuspend`) è immediatamente notificato al processo : se non è stato predisposto un gestore, l'effetto è quello di default per il segnale ricevuto (ad es. la terminazione del processo per i segnali `SIGUSR1/SIGUSR2`)

La `sigaction` è la primitiva fondamentale per la gestione dei segnali affidabili

```
#include <signal.h>

int sigaction(int signo, const struct sigaction *act,
const struct sigaction *oact);
```

Permette di esaminare e/o modificare l'azione associata ad un segnale

- `signo` identifica il segnale del quale si vuole esaminare e/o modificare l'azione
- se *`act`* non è NULL si modifica l'azione
- se *`oact`* non è NULL viene restituita la precedente azione

Definizione della struttura sigaction

```
struct sigaction {
void  (*sa_handler)(); /* indirizzo del gestore o SIG_IGN o
                          SIG_DFL */
void  (*sa_sigaction)(int, siginfo_t *, void *);
/*  indirizzo del gestore che riceve informazioni addizionali
sul segnale ricevuto (utilizzato al posto di sa_handler se
sa_flags contiene SA_SIGINFO ) */

sigset_t    sa_mask;      /* segnali addizionali da
     bloccare prima dell'esecuzione del gestore */

int  sa_flags;            /* opzioni addizionali */
};
```

Notifiche (eventualmente multiple) dello stesso segnale durante l'esecuzione dell'azione sono bloccate fino al termine del gestore (a meno che `sa_flags` valga `SA_NODEFER`) quando ne viene notificata comunque una sola

Con la `sigaction` l'azione rimane permanentemente installata fino a quando non viene modificata

Attesa di un segnale con la gestione affidabile

```
int sigsuspend(const sigset_t *sigmask)
```

permette **l'*attivazione*** della *signal mask* specificata (sbloccando alcuni o tutti gli eventuali segnali pendenti) e **l'*attesa di un qualunque segnale*** in modo **atomico**:

- se il segnale è pendente viene immediatamente eseguita l'azione corrispondente: successivamente, se non viene invocata la `exit`, la `sigsuspend` ritorna ;

- se il segnale non è pendente la `sigsuspend` attende fino alla notifica di un qualunque segnale che causa l'immediata esecuzione dell'azione corrispondente: se non viene invocata la `exit` la `sigsuspend` ritorna ;

`sigsuspend` ritorna sempre -1 con errno che vale EINTR

Segnali

L'uso di `sigsuspend` è indispensabile per un processo che intende sospendersi in attesa di uno specifico segnale (gestione sincrona): inizialmente va bloccato il segnale di interesse, per poi sbloccarlo e attenderlo atomicamente con la `sigsuspend` quando necessario

```
...
sigaction(…);
sigemptyset(&zeromask);
sigemptyset(&newmask);
sigaddset(&newmask,SIGINT);
sigprocmask(SIG_BLOCK,&newmask, &oldmask);
/* Da qui il segnale SIGINT e' bloccato per il processo */
...

/* Sblocco di tutti i segnali pendenti
e attesa di un qualunque segnale */
sigsuspend(&zeromask);

sigprocmask(SIG_SETMASK,&oldmask, NULL);
/* sigsuspend rimette la maschera attiva prima
della sua chiamata: se necessario va rimessa
quella ancora precedente (oldmask) */

...
```

Esempio di interazione tra processi mediante segnali affidabili

```
#include <signal.h>
#include <unistd.h>

void catcher(int signo)
{
static int ntimes = 0;
printf("Processo %d: SIGUSR1 ricevuto #%d volte\n",getpid(),++ntimes);
}

int main()
{
int pid, ppid;
struct sigaction sig, osig;
sigset_t sigmask, oldmask, zeromask;

sig.sa_handler= catcher;
sigemptyset( &sig.sa_mask);
sig.sa_flags= 0;

sigemptyset( &zeromask);

sigemptyset( &sigmask);
sigaddset(&sigmask, SIGUSR1);
sigprocmask(SIG_BLOCK, &sigmask, &oldmask);

sigaction(SIGUSR1, &sig, &osig); /* il figlio la ereditera' */

/* Continua ... */
```

Segnali

```
/* ...continua */
if ((pid=fork()) < 0) {
  perror("fork error");
  exit(1);
  }
else
  if (pid == 0) {
    /* Processo figlio */
    ppid = getppid();
    printf("figlio: mio padre e' %d\n", ppid);
    while(1) {
        sleep(1);
        kill(ppid, SIGUSR1);
        /* Sblocca il segnale SIGUSR1 e lo attende */
        sigsuspend(&zeromask);
        }
    }
  else {
      /* Processo padre */
      printf("padre: mio figlio e' %d\n", pid);
      while(1) {
          /* Sblocca il segnale SIGUSR1 e lo attende */
          sigsuspend(&zeromask);
          sleep(1);
          kill(pid, SIGUSR1);
        }
    }
}
```

Implementazione della `signal` mediante la `sigaction`

```
#include <signal.h>

typedef void Sigfunc(int);

Sigfunc *signal(int signo, Sigfunc *func)
{
struct sigaction      act,oact;

act.sa_handler = func;
sigemptyset(&act.sa_mask);
act.sa_flags= 0;

/* Il segnale SIGALARM viene normalmente utilizzato per avere un
timeout sulle primive bloccanti (read, connect, accept, ...) */
if(signo == SIGALRM)
#ifdef SA_INTERRUPT /* in SunOS si avrebbe di default il RESTART */
        act.sa_flags  |= SA_INTERRUPT;
#endif
} else {
#ifdef SA_RESTART /* in SVR4/4.3+BSD di default niente RESTART */
        act.sa_flags  |= SA_RESTART;
#endif
}

if(sigaction(signo, &act, &oact) < 0 ) return (SIG_ERR);
return (oact.sa_handler);
}
```

UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

UNIX - Le primitive per la gestione della comunicazione via pipe e FIFO

prof. Francesco Zanichelli

Pipe

```
int pipe(int fd[2]);
```

Le pipe sono canali di comunicazione unidirezionali che costituiscono un primo strumento di comunicazione (con diverse limitazioni), basato sullo scambio di messaggi, tra processi UNIX

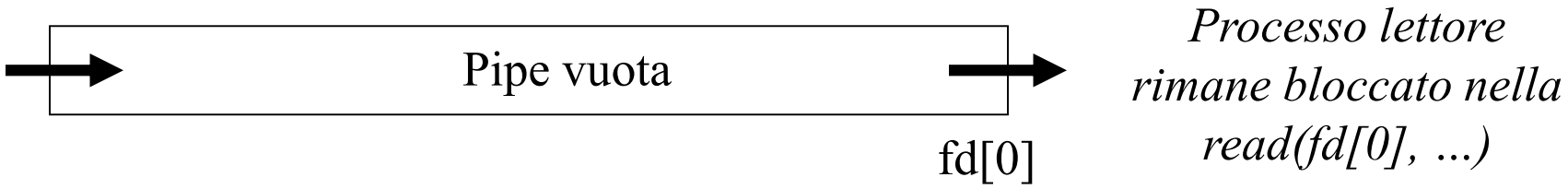
Sono state introdotte per realizzare il piping di comandi

La creazione di una *pipe* mediante la primitiva omonima restituisce in `fd` due descrittori: `fd[0]` per la lettura e `fd[1]` per la scrittura

Lettura e scrittura sulla *pipe* sono ottenute mediante le normali primitive `read` e `write`

L' accesso alle pipe è regolato da un meccanismo di sincronizzazione:

- la lettura da una pipe da parte di un processo è bloccante se la pipe è vuota (in attesa che arrivino i dati)



- la scrittura su una pipe da parte di un processo è bloccante se la pipe è piena

Pipe

La sincronizzazione è legata alla implementazione delle pipe:

ad ogni pipe viene associato un buffer circolare nel kernel (e quindi inaccessibile direttamente ai processi) di dimensione prefissata (64KB in Linux ma può essere modificata con `fcntl`, vedi `man 7 pipe`)

- la lettura da una pipe vuota è bloccante per proteggere dall' underflow del buffer

- la scrittura su una pipe piena è bloccante per proteggere dall' overflow del buffer

Si ricorda che le **`read`** e le **`write`** fino a PIPE_BUF (4096) bytes sono garantite essere atomiche, ovvero non interrompibili
La **`read`** ritorna il numero di byte letti che può essere inferiore a quanto richiesto se la pipe non contiene abbastanza dati

Pipe

Le pipe sono anche dette pipe anonime (*unnamed pipe*) perché non sono associate ad alcun nome nel File System:

$\Rightarrow$ solo i processi che possiedono i descrittori possono comunicare attraverso una pipe

La tabella dei file aperti di un processo (contenente i descrittori della pipe) viene duplicata per i processi figli:

$\Rightarrow$ la comunicazione attraverso una pipe anonima è quindi possibile solo per processi in relazione di parentela che condividono un progenitore

Per un inquadramento generale delle pipe UNIX
`man 7 pipe`

Esempio di comunicazione su pipe

```
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>

#define N_MESSAGGI 10

int main()
{
  int pid, j,k, piped[2];

  /* Apre la pipe creando due file descriptor,
     uno per la lettura e l'altro per la scrittura
     (vengono memorizzati nei due elementi dell'array piped[]) */
  if (pipe(piped) < 0)
    exit(1);

  if ((pid = fork()) < 0)
    exit(2);
  else if (pid == 0)  /* Il figlio eredita una copia di piped[] */
    {
     /* Il figlio e' il lettore dalla pipe: piped[1] non gli serve  */
     close(piped[1]);

     /* Continua … */
```

Pipe

```
/* … continua */

for (j = 1; j <= N_MESSAGGI; j++)
        {
          read(piped[0],&k, sizeof (int));
          printf("Figlio: ho letto dalla pipe il numero %d\n", k);
        }
      exit(0);
    }
  else {
        /* Processo padre */
       /* Il padre e' scrittore sulla pipe: piped[0] non gli serve */
       close(piped[0]);
       for (j = 1; j <= N_MESSAGGI; j++)
        {
         write(piped[1], &j, sizeof (int));
         }

      wait(NULL);
      exit(0);
    }
}
```

Implementazione del *piping* di comandi

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

int join(char* com1[], char *com2[])
{
  int status, pid;
  int piped[2];

  switch(fork())
    {
    case -1:  /* errore */  return 1;
    case  0:  /* figlio */  break;  /* esce dal case */
    default:  /* padre: attende il figlio */  wait(&status); return
WEXITSTATUS(status);
    }

  /* il figlio crea la pipe e un proprio figlio (nipote del primo
processo)*/
  if (pipe(piped) < 0)
    return 2;
  if ((pid = fork()) < 0)
    return 3;
  else if (pid == 0)
    { /* Nipote: continua … */
```

Pipe

```
/* … continua il nipote */
/* Lo stdin corrente non interessa a com2 (lettore): chiude il
descrittore 0 */
      close(0);
      /* Si richiede un nuovo descrittore per la lettura dalla pipe:
        il primo descrittore libero e' lo 0 (stdin) che viene
      associato alla lettura dalla pipe */
      dup(piped[0]);

      /* Gli altri descrittori delle pipe non servono piu':
         il lettore usa stdin per leggere dalla pipe */
      close(piped[0]);
      close(piped[1]);

      /* Esecuzione del comando 2 (che ha la pipe come stdin)  */
      execvp(com2[0], com2);
      perror("exec com2"); return 4;
    }
  else { /* Figlio */
      /* Lo stdout corrente non interessa a com1 (scrittore): chiude
il descrittore 1 */
      close(1);
      /* Si richiede un nuovo descrittore per la scrittura sulla pipe:
      il primo descrittore libero e' 1 (stdout) che viene
      associato alla scrittura sulla pipe */
      dup(piped[1]); /* Figlio continua … */
```

Pipe

```
/* … continua figlio */
      /* Gli altri descrittori delle pipe non servono piu':
         lo scrittore usa stdout per scrivere sulla pipe */
      close(piped[0]);
      close(piped[1]);

      /* Esecuzione del comando 1 (che ha la pipe come stdout)  */
      execvp(com1[0], com1);
      perror("exec com1"); return 5;
    }
}


int main(int argc, char **argv)
{
  int integi, i, j;
  char *temp1[10], *temp2[10];

  /* si devono fornire nella linea di comando due comandi distinti

 runpiping cmd1 [arg11…arg1n] | cmd2 [arg21…arg2n]

utilizzando \| oppure '|' o "|" per indicare il piping : occorre
evitare che il simbolo "|"  venga direttamente interpretato dallo shell
come una pipe) */

/* main continua … */
```

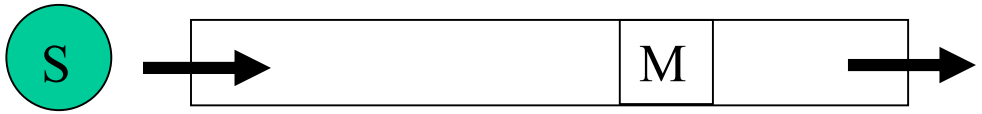
Pipe

```
/* … continua */

  if (argc > 2) {
      for (i = 1; (i < argc) && ((strcmp(argv[i], "|"))!=0); i++)
        temp1[i-1] = argv[i];
      temp1[i-1] = (char *)0;
      i++;
      for (j = 1; i < argc; i++, j++)
        temp2[j-1] = argv[i];
      temp2[j-1] = (char *)0;
    }
  else {
      printf("errore argomenti");
      exit(1);
    }
  integi = join(temp1, temp2);
  exit(integi);
}
```

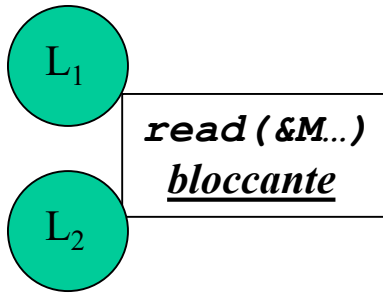
Usi "non ortodossi" delle pipe

Poiché la read è atomica, un lettore a caso riesce a leggere , l'altro si blocca

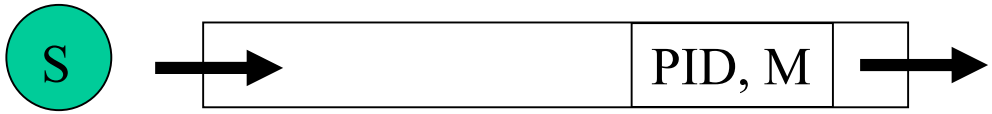
- **Uno scrittore con più lettori potenziali**



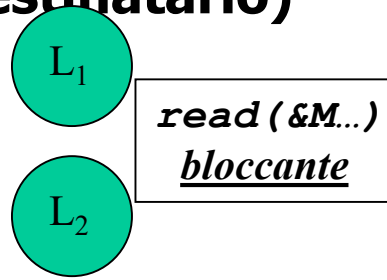
`read(&M,…)` ⇒ M



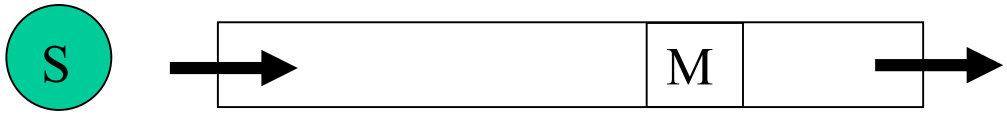
- **Uno scrittore che vuole scrivere ad un determinato lettore su pipe condivisa (meglio utilizzare una pipe per ogni destinatario)**




```
read(&M,…) ;
while(M.PID  ≠ PID_L1)
 {write(&M,…);
 sleep(1);
 read(&Mm…);…
}
```



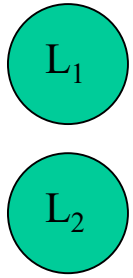
Il destinatario può essere indicato nel messaggio stesso (↑) oppure inviandogli un segnale (↓)




```
kill(PID_L1, SIGUSR1);
write(&M,…)  // o viceversa
```

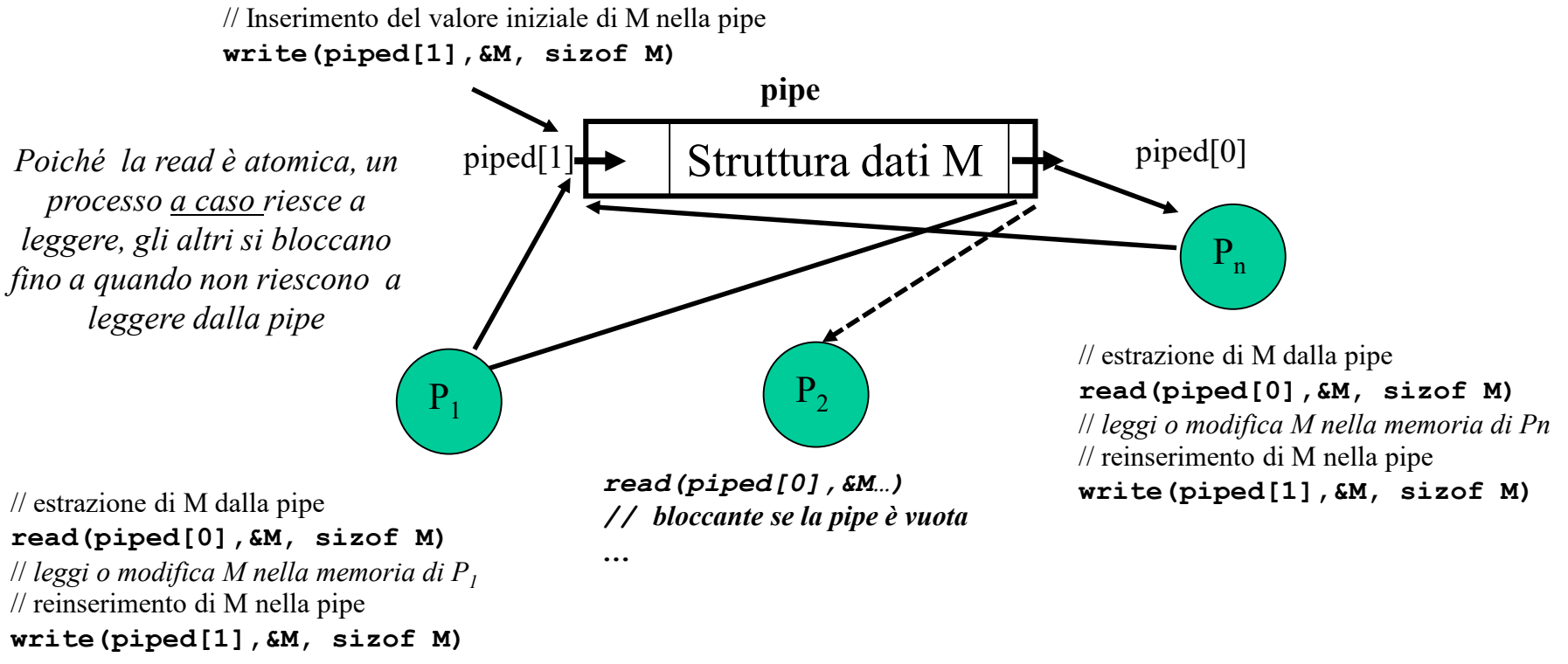
```
sigsuspend(…) ;
read(&M,…) ⇒ M
```

```
sigsuspend(…);bloccante
read(&M,…)
```



Usi "non ortodossi" delle pipe

- **La pipe come deposito di informazioni da condividere tra processi (Esercizio n. 1)**



- *E' un modo con cui realizzare una sorta di risorsa/variabile condivisa tra processi UNIX (che non possono condividere memoria se non con le primitive `shm*` che non vedremo in questo corso): in alternativa si può creare un processo dedicato gestore della risorsa a cui gli altri processi inviano richieste di lettura/modifica della risorsa*
- *Entrambi gli schemi sono applicabili ad un server concorrente su socket (vedi più avanti) che deve fornire un servizio basato su uno stato condiviso (ad es. operazioni sullo stesso contatore, conto, etc.) tra le diverse richieste dei clienti*

FIFO

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>

int mkfifo ( const char *pathname, mode_t mode );
```

Sono anche dette pipe con nome (le pipe classiche sono anonime): man 7 fifo

Viene creata una entità nel filesystem (`pathname`) accessibile anche da processi non in relazione di parentela

Vanno utilizzate le normali SysCall che si usano per file e pipe (`open`, `read`/`write`, `close`, ...)

Una FIFO deve essere aperta con `open` dopo che è stata creata con `mkfifo`

Effetto del flag O_NONBLOCK :

- in sua assenza una `open` in sola lettura blocca il processo fino a quando un altro processo apre la FIFO in scrittura (lo stesso per la sola scrittura);

- se O_NONBLOCK viene specificato, l'apertura in sola lettura ritorna immediatamente ma quella in sola scrittura ritorna con errno che vale ENXIO se non ci sono processi lettori

E' normale avere più scrittori su una FIFO :
le `write` sono **atomiche** se riguardano meno di `PIPE_BUF` byte:
/usr/include/linux/limits.h

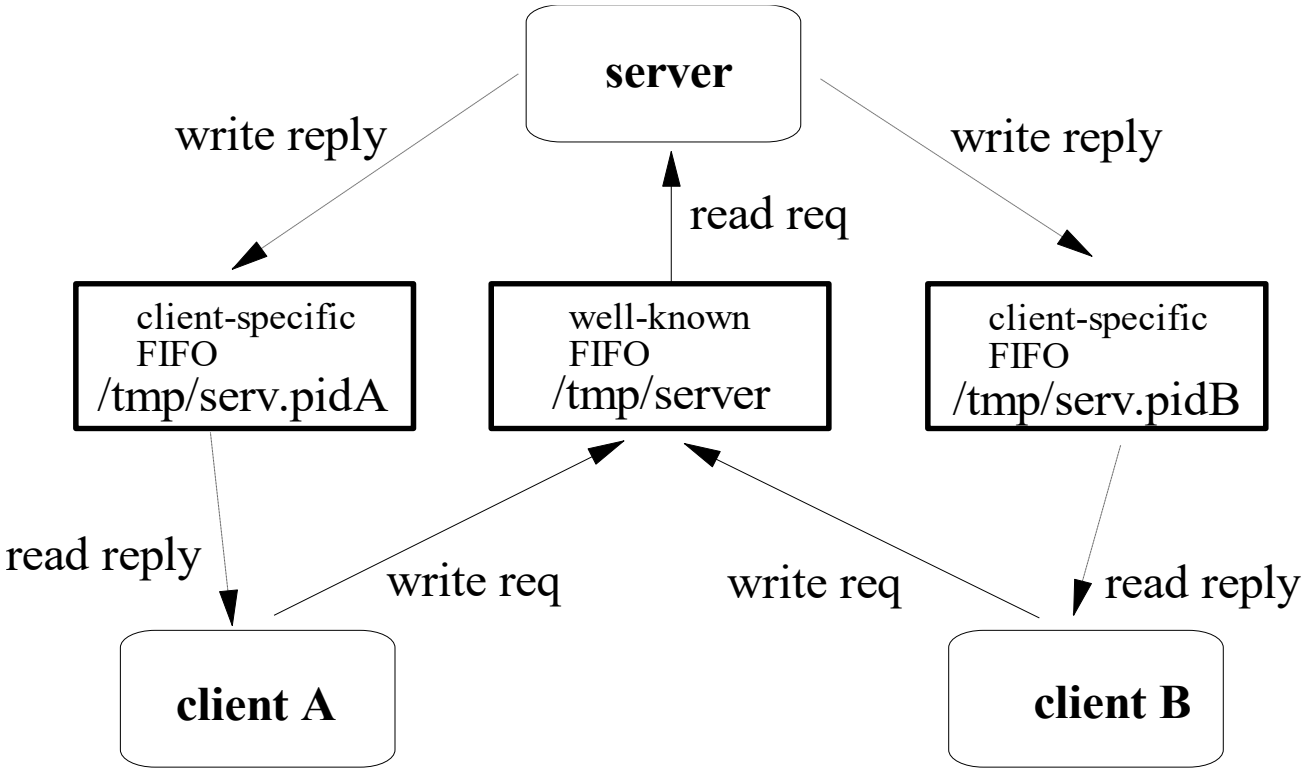
```
#define PIPE_BUF 4096 /* # bytes in atomic write to a
pipe */
```

FIFO

Le FIFO sono adatte per applicazioni client-server in locale:

- il server apre una FIFO con un nome noto (ad es. /tmp/server)
- i client aprono la FIFO e scrivono le proprie richieste

Per le risposte il server utilizza una FIFO per ogni cliente



UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

UNIX – Esercizi su segnali e pipe

prof. Francesco Zanichelli

Uno schema generale di soluzione per gli esercizi UNIX

5 fasi principali con un preciso ordinamento:

1. **Controllo degli argomenti di invocazione**

2. **Selezione della politica di gestione dei segnali**
   1. per il processo padre (main) e/o per i figli che la ereditano

3. **Creazione pipe (ed eventuale inizializzazione del contenuto per utilizzarle/a come deposito di informazioni condivise tra i processi)**
   1. le pipe saranno così accessibili ai figli e ai discendenti

4. **Creazione dei processi figli**

5. **Esecuzione dei figli confinata in specifiche funzioni**
   - nel caso alcuni processi abbiano lo stesso comportamento si ottiene una maggiore compattezza del codice:

   $\Rightarrow$ se possibile le funzioni vanno scritte in modo parametrico rispetto ai propri argomenti e al PID del processo corrente

Esercizi

Esercizio n. 1

```
/*************************************************************
Un processo padre crea N (N numero pari) processi figli.
Ciascun processo figlio Pi e' identificato da una variabile intera i
(i=0,1,2,3...,N-1). Due casi:

1. Se argv[1] è uguale ad 'a' ogni processo figlio Pi con i pari
manda un segnale (SIGUSR1) al processo i+1;

2. Se argv[1] è uguale a  'b' ogni processo figlio Pi con i < N/2
manda un segnale (SIGUSR1) al processo i + N/2.

*************************************************************/

#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include <signal.h>

#define N2 5
#define N N2*2

int pg[2];
int tabpid[N];
char arg1;

/* Continua ... */
```

Esercizio n. 1 (cont.)

```
void handler(int signo)
{
  printf("Sono il processo %d e ho ricevuto il segnale %d\n",
  getpid(),signo);
}

/* Funzione eseguita da ciascun figlio: ne definisce il
comportamento a regime */
int  body_proc(int id)
{
  printf("Sono il processo %d con id=%d\n",getpid(),id);

  if (arg1=='a')
   { /* % è l'operatore modulo, il resto della divisione intera */
     if (id % 2) pause(); /* id dispari */
     else
       {/* id pari */
        read(pg[0],tabpid,sizeof tabpid);
        write(pg[1],tabpid,sizeof tabpid);
        kill(tabpid[id+1],SIGUSR1);
       }
   }
  else
    {    /* Continua … */
```

Utilizzo di una pipe come deposito di informazioni condiviso tra i processi: l'atomicità della read garantisce un accesso mutuamente esclusivo al contenuto

Il processo che completa la read consuma il messaggio dalla pipe che va quindi reintegrato con una write

Esercizio n. 1 (cont.)

```
if (id >= N/2) pause();
      else
        {
          read(pg[0],tabpid,sizeof tabpid);
          write(pg[1],tabpid,sizeof tabpid);
          kill(tabpid[id+N/2],SIGUSR1);
        }
    }
  return(0);
}

main (int argc, char* argv[])
{
  int i, status;

/* 1) Controllo argomenti */

  if(argc != 2)
    {
      fprintf(stderr,"Uso:  %s a\n(oppure)\n%s b \n",argv[0],argv[0]);
      exit(1);
    }
/* Continua … */
```

Esercizio n. 1 (cont.)

```
arg1= argv[1][0]; /* primo carattere del secondo argomento */

/* 2) Gestione dei segnali che i figli erediteranno */
  signal(SIGUSR1,handler);

/* 3) Creazione della pipe di comunicazione tra padre e figli */
  if (pipe(pg)<0)
    {
      perror("creazione pipe"); exit(-1);
    }

/* 4) Creazione dei processi figli */
  for (i=0;i<N;i++)
    {
      if ((tabpid[i]=fork())<0)
        {
          perror("fork");
          exit(1);
        }
      else
        if (tabpid[i]==0)
          { /* 5) Esecuzione dei figli confinata all'interno di una
                funzione specifica */
            status= body_proc(i);
            /* Continua … */
```

Esercizio n. 1 (cont.)

```
        /* 5b) Terminazione dei figli: si evita che i figli
               rimanendo all'interno del ciclo for generino a loro
               volta altri processi                                    */
            exit(status);
          }
    }

  /* Il padre mette la tabella (che contiene tutti gli N pid dei figli)
        nella pipe  */
  printf("Sono il padre e scrivo sulla pipe la tabella dei pid\n");


  write(pg[1],tabpid,sizeof tabpid);
```

Questa `write` permette l'inizializzazione del contenuto della pipe da parte del processo padre

```
  exit(0);
}
```

Esercizio n. 2

```
/*****************************************************
Si realizzi in ambiente Unix/C l'interazione di tre
processi P1,P2 e Pa mediante segnali e una pipe pa :

- P1 e P2 inviano segnali SIGUSR1(P1)/SIGUSR2(P2) a Pa,
attendendo per un intervallo di durata casuale (massimo 5 secondi)
tra un segnale e l'altro;

- il numero di segnali che ciascun processo deve inviare viene
determinato dall'unico argomento di invocazione del programma main;

- al termine della spedizione dei segnali, ciascun processo P1/P2
invia mediante la pipe pa un messaggio a Pa contenente il proprio pid
e il numero di segnali spediti;

- alla ricezione dei due messaggi Pa deve visualizzare il numero di
segnali spediti e il numero di segnali effettivamente ricevuti.

Si utilizzino le primitive per la gestione affidabile dei segnali.

*****************************************************/
```

Esercizio n. 2

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <signal.h>

int pa[2];
int numsegnali;
int sigusr1cnt;        /* contatore segnali SIGUSR1 ricevuti */
int sigusr2cnt;        /* contatore segnali SIGUSR2 ricevuti */

/* Gestore segnale SIGUSR1 per il padre Pa */
void usr1_handler()
{
++sigusr1cnt;
printf("%d riceve SIGUSR1: %d\n",getpid(),sigusr1cnt);
}
/* Gestore segnale SIGUSR2 per il padre Pa */
void usr2_handler()
{
++sigusr2cnt;
printf("%d riceve SIGUSR2: %d\n",getpid(),sigusr2cnt);
}

/* Continua … */
```

Esercizio n. 2 (cont.)

```
main(int argc, char *argv[])
{
int pid;
struct sigaction act;

/* 1) Controllo argomenti */
if(argc !=2)
  {
    fprintf(stderr,"Uso: %s numsegnali\n", argv[0]);
    exit(1);
  }
numsegnali=atoi(argv[1]);
if(numsegnali <=0  || numsegnali>100)  /* Sanity checking */
  numsegnali=10;

/* 2) Gestione dei segnali del processo Pa */
act.sa_handler= usr1_handler;    /* Gestore del SIGUSR1 */
sigemptyset(&act.sa_mask);
sigaddset(&act.sa_mask,SIGUSR2); /* Blocca SIGUSR2 nel gestore */
act.sa_flags= SA_RESTART; /* Restart automatico di una primitiva di
                             lettura interrotta dal segnale SIGUSR1
                              (ad.es. la read dalla pipe pa)   */
sigaction(SIGUSR1,&act, NULL);
/* Continua … */
```

Esercizio n. 2 (cont.)

```
act.sa_handler= usr2_handler;    /* Gestore del SIGUSR2 */
sigemptyset(&act.sa_mask);
sigaddset(&act.sa_mask,SIGUSR1); /* Blocca SIGUSR1 nel gestore */
act.sa_flags= SA_RESTART; /* Restart automatico di una primitiva di
                             lettura interrotta dal segnale SIGUSR2
                              (ad.es. la read dalla pipe pa)   */
sigaction(SIGUSR2, &act, NULL);

/* 3) Creazione della pipe di comunicazione tra figli e padre */
if(pipe(pa) <0)
  {perror("creazione pipe"); exit(-1);
}

/* 4) Creazione dei processi figli */
if((pid=fork())==0)
  {/* 5) Esecuzione dei figli confinata all'interno di una
                funzione specifica */
    body_figlio(SIGUSR1);
    exit(0);
  }
else
 /* Continua … */
```

Esercizio n. 2 (cont.)

```
if((pid=fork())==0)
    {/* 5) Esecuzione dei figli confinata all'interno di una
                funzione specifica */
      body_figlio(SIGUSR2);
      exit(0);
    }
else
  body_padre();
}
/* Funzione eseguita da ciascun figlio: ne definisce il comportamento
   a regime */

body_figlio(int signo) /* segnale che questo figlio manda al padre */
{
int i,mesg[2];
srand(getpid());  // inizializzazione del generatore di numeri casuali
for(i=0; i<numsegnali; i++)
  {
    kill(getppid(),signo);
    printf("Processo %d invia %s\n",getpid(),
                (signo==SIGUSR1)? "SIGUSR1":"SIGUSR2");
    sleep(1+rand()%5); /* Attesa di durata casuale tra 1 e 5 secondi */
  }
/* Continua … */
```

Esercizio n. 2 (cont.)

```
/* Preparazione messaggio da inviare sulla pipe pa al padre */
mesg[0]= getpid();              /* indicazione del mittente */
mesg[1]= numsegnali;            /* messaggio */

write(pa[1], mesg, sizeof(mesg));
}

body_padre()
{
int mesga[2],mesgb[2];

read(pa[0],mesga,sizeof(mesga));
read(pa[0],mesgb,sizeof(mesgb));

printf("Processo %d ha mandato %d segnali\n",mesga[0],mesga[1]);
printf("Processo %d ha mandato %d segnali\n",mesgb[0],mesgb[1]);
printf("Ricevuti %d SIGUSR1 e %d SIGUSR2\n\n", sigusr1cnt, sigusr2cnt);
}
```

Esercizio n. 3

```
/*****************************************************
Si progetti in ambiente Unix/C la seguente interazione di processi:

- il sistema consiste di 3 processi: un processo padre (P1) che
provvede alla creazione di 2 processi figli (P11 e P12) e di due pipe
pa e pb ;

- P1 provvede a generare la sequenza dei primi N interi,
scrivendoli nella pipe pa;

- P11 inizialmente preleva i numeri pari da pa e li riscrive in pb ;

- P12 preleva l (con l > N/4 ) interi da pb e li scrive
 su un primo file;

- dopo aver letto l messaggi, P12 invia un segnale
SIGUSR1 a P11 per effetto del quale esso passa a prelevare
i numeri dispari da pa e a scriverli in pb ;

-  P12 preleva i rimanenti interi da pb e li scrive su un secondo file.

-  N e l sono derivati dai due argomenti di invocazione
*****************************************************/
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>

#include <ctype.h>
#include <unistd.h>
#include <signal.h>
#include <sys/ioctl.h>

#include <stdio.h>

#define FILENAME1 "prova-1.txt"
#define FILENAME2 "prova-2.txt"

#define PARI    0
#define DISPARI 1

pid_t pid11, pid12;
int pa[2],pb[2];
int n,l;
int pari_o_dispari=PARI; /* 0 PARI  --- 1 DISPARI:
variabile globale perché deve essere accessibile anche dal gestore
del segnale USR1  */
/* Continua  */
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
void sigusr1_handler(int signo)
{
  if(pari_o_dispari==PARI)
    pari_o_dispari=DISPARI ;
  else
    pari_o_dispari=PARI ;

 printf("Il processo p11 ha ricevuto SIGUSR1: ora sono selezionati
i %s\n",(pari_o_dispari==PARI)? "pari":"dispari" );
}

int  body_p11()
{
  int i,value;

  printf("Sono il processo p11\n");
  pari_o_dispari=PARI;

  while(1) /* Il processo viene terminato con il SIGKILL da p12 */
    {
      read(pa[0], &value, sizeof(value));

      if(value % 2) /* dispari */
        {
          if(pari_o_dispari != PARI)
            {/* Continua … */
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
                printf("%d dispari ->\n",value);
                write(pb[1], &value, sizeof(value));
              }/* inviati a p12 */
          }
        else  /* pari */
          {
            if(pari_o_dispari == PARI)
              {
                printf("%d pari ->\n", value);
                write(pb[1], &value, sizeof(value));
              }/* inviati a p12 */
          }
        sleep(1);
      }
}

int  body_p12()
{
  int i,fd1,fd2;
  int available, timeout;
  char number[10];

  printf("Sono il processo p12\n");

  if ((fd1=open(FILENAME1, O_WRONLY | O_CREAT |O_TRUNC, 0644))<0)
    {/* Continua … */
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
      perror("open");
      exit(7);
    }
if ((fd2=open(FILENAME2, O_WRONLY | O_CREAT |O_TRUNC, 0644))<0)
    {
      perror("open");
      exit(8);
    }
for(i=0;i<1;i++)
  {
     read(pb[0],&i, sizeof(i));
     printf("->%d in %s\n", i,FILENAME1);
     sprintf(number,"%d\n", i); /*Per scrivere numeri come testo*/
     write(fd1,number,strlen(number));
     sleep(1);
  }
kill(pid11,SIGUSR1);
// Quanti interi saranno ancora disponibili sulla pipe pb?
// Il codice seguente rinuncia dopo 4s in cui non c'è
// nulla da leggere dalla pipe pb
timeout =0 ;
while(timeout < 4)
  {
    ioctl(pb[0],FIONREAD, &available);
    if(available >0)
      {/* Continua … */
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
            timeout=0;
            read(pb[0],&i, sizeof(i));
            printf("->%d in %s\n", i,FILENAME2);
            sprintf(number,"%d\n", i); /*Per scrivere numeri come testo*/
            write(fd2,number,strlen(number));
          }
        else
            timeout++;

        sleep(1);
      }

 printf("Timeout in lettura per il processo p12 che termina p11\n");
 kill(pid11,SIGKILL);

 return(0);
}

main (int argc, char* argv[])
{
  int i, status;
  struct sigaction act;

/* 1) Controllo argomenti */
  if(argc != 3)
    { /* Continua … */
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
      fprintf(stderr,"Uso:  %s N l\n",argv[0]);
      exit(1);
    }

  n = atoi(argv[1]);
  l = atoi(argv[2]);

  if (l <= n/4)
    {
     fprintf(stderr,"l deve essere maggiore di N/4\n");
      exit(2);
    }

/* 2) Gestione dei segnali che i figli erediteranno */
  act.sa_handler= sigusr1_handler;
  sigemptyset(&act.sa_mask);
  act.sa_flags= SA_RESTART; /* Per la read di p11 - vedi es. n. 2 */
  if(sigaction(SIGUSR1, &act, NULL) <0)
    {
      perror("sigaction");
      exit(3);
    }

/* 3) Creazione delle pipe di comunicazione */
  if (pipe(pa)<0)
    {/* Continua … */
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
      perror("pipe error");
      exit(4);
    }
  if (pipe(pb)<0)
    {
      perror("pipe error");
      exit(4);
    }

/* 4) Creazione dei processi figli */
  if ((pid11=fork())<0)
    {
      perror("fork error");
      exit(5);
    }
  else
    if (pid11==0)
      { /* 5) Esecuzione del figlio in una funzione specifica */
        status= body_p11();
        exit(status);
      }

  if ((pid12=fork())<0)
    {
      perror("fork error");
      /* Continua … */
```

Esercizio n. 3 (cont.)

```
        exit(6);
      }
    else
      if (pid12==0)
        { /* 5) Esecuzione del figlio in una funzione specifica */
          status= body_p12();
          exit(status);
        }

    /* Padre */
    for(i=0;i<n;i++)
        write(pa[1],&i, sizeof(i));

    /* Attende la terminazione di entrambi i figli  */
    wait(NULL);
    wait(NULL);

    exit(0);
}
```

UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

UNIX - Le primitive per la gestione della comunicazione via socket

prof. Francesco Zanichelli

Socket

Una socket è un punto estremo di un canale di comunicazione accessibile mediante un file descriptor

Le socket costituiscono un fondamentale strumento di comunicazione, basato sullo scambio di messaggi, tra processi locali e/o remoti (sia UNIX che di altri sistemi operativi) :

$\Rightarrow$ vengono superate le limitazioni delle pipe e delle FIFO (comunicazione locale, con le pipe ristretta ai processi di uno stesso utente, discendenti di uno stesso avo)

Una socket va creata all'interno di un dominio di comunicazione che determina i protocolli utilizzati :

$\Rightarrow$ le socket sono l'elemento di base per la programmazione di applicativi e servizi di rete (ad es. utilizzando i protocolli TCP/IP - Internet)

Una socket è un oggetto con un tipo, determinato dal sottoinsieme delle seguenti proprietà che quel tipo di socket garantisce:

1) **consegna ordinata dei messaggi** (l' ordine di ricezione dei messaggi è uguale all'ordine di trasmissione)
2) **consegna non duplicata** (lo stesso messaggio non può essere consegnato due volte)
3) **consegna affidabile** (i messaggi inviati non possono andare persi)
4) **preservamento dei confini dei messaggi** (i messaggi inviati non vengono frazionati nella comunicazione)
5) **supporto per i messaggi *out-of-band*** (messaggi prioritari che superano quelli ordinari nella coda di ricezione)
6) **comunicazione orientata alla connessione** (più avanti)

Le pipe (che non sono socket) garantiscono le proprietà 1, 2 e 3

Alcuni tipi predefiniti di socket

- **SOCK_STREAM**
  orientata alla connessione, trasferisce byte stream con proprietà 1, 2, 3, 5, 6 ma non 4

- **SOCK_DGRAM**
  trasferisce datagram con proprietà 4 ma non 1, 2, 3, 5, 6

- **SOCK_SEQPACKET**
  trasferisce datagram con proprietà 1, 2, 3, 4, 5, 6 (non è implementata nel dominio di comunicazione Internet)

- **SOCK_RAW**
  permette l'accesso diretto ai protocolli di rete sottostanti (ad es. Ethernet)

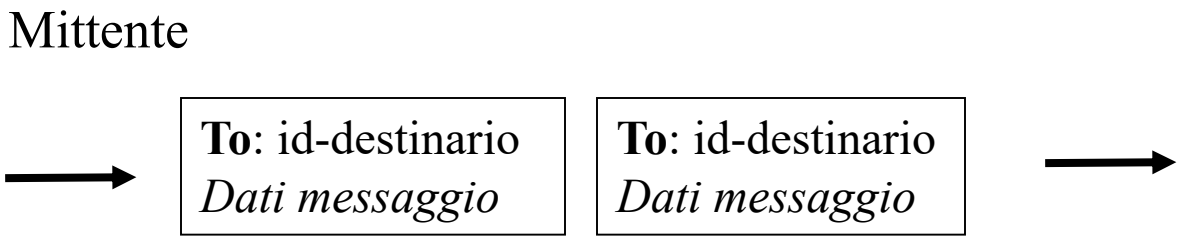
Per un inquadramento generale delle socket UNIX
`man 7 socket`

Le modalità di comunicazione *byte stream* e *datagram*

- **byte stream (SOCK_STREAM / protocollo TCP)**

Nella connessione il flusso di dati trasmesso è uguale a quello ricevuto (ma il protocollo può suddividere i messaggi i cui confini non sono quindi preservati)

- **datagram (SOCK_DGRAM / protocollo UDP)**



Ogni messaggio reca l'indicazione del destinario ed è singolarmente inviato, trasferito e ricevuto

Socket

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int socket(int domain, int type, int protocol);
```

Una socket viene creata nel dominio di comunicazione `domain` (detto anche *protocol family* o *address family*)

Domini principali:

- PF_UNIX dominio per una comunicazione locale
- PF_INET dominio per una comunicazione su TCP/IP (IPv4)
- PF_INET6 dominio per una comunicazione su TCP/IP (IPv6)

`type` indica il tipo di socket che si vuole creare (ad. es. `SOCK_STREAM` oppure `SOCK_DGRAM`) ; `protocol` indica lo specifico protocollo utilizzato tra quelli disponibili nel dominio (se ne esiste uno solo vale zero)

Viene restituito un descrittore da utilizzare sia per la lettura (ricezione) che la scrittura (invio) di messaggi

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int bind(int sockfd, struct sockaddr *my_addr, socklen_t
addrlen);
```

Una socket può venire legata ad un indirizzo (nome)

`bind` assegna un nome ad una socket per renderla designabile (indirizzabile) da parte di un processo intenzionato a comunicare con il processo che ha creato la socket

L'interfaccia è generica (`my_addr, addrlen`) in quanto i diversi domini di comunicazione prevedono indirizzi di forma diversa:

- PF_UNIX indirizzo= un percorso nel file system (ad es. /tmp/.X11-unix/X0)
- PF_INET indirizzo= (indirizzo IP del nodo, numero porta)

Nel dominio PF_INET

indirizzo socket = (indirizzo IP del nodo, numero porta)

Ad esempio

indirizzo socket = (160.78.28.27, 22)

Indirizzo IP del nodo	Porta assegnata
doncarlos.ce.unipr.it	al servizio sshd

È l'indirizzo della socket utilizzata dal servizio sshd su doncarlos.ce.unipr.it

Se l'indirizzo specificato in una `bind` è già assegnato ad un'altra socket (la porta non è libera) la `bind` fallisce

Se il numero di porta contenuto nell'indirizzo specificato nella bind è zero, viene restituita una porta a caso tra quelle libere

- numeri di porta < 1024 riservati ai servizi di rete di sistema (root)
- numeri di porta >= 1024 utilizzabili liberamente dagli utenti

Porte riservate ai servizi di rete di sistema (/etc/services)

```
tcpmux          1/tcp                           # TCP port service multiplexer
echo            7/tcp
echo            7/udp
discard         9/tcp           sink null
discard         9/udp           sink null
systat          11/tcp          users
daytime         13/tcp
daytime         13/udp
netstat         15/tcp
qotd            17/tcp          quote
msp             18/tcp                          # message send protocol
msp             18/udp                          # message send protocol
chargen         19/tcp          ttytst source
chargen         19/udp          ttytst source
ftp-data        20/tcp
ftp             21/tcp
fsp             21/udp          fspd
ssh             22/tcp                          # SSH Remote Login Protocol
ssh             22/udp                          # SSH Remote Login Protocol
telnet          23/tcp
# 24 - private
smtp            25/tcp          mail
# 26 - unassigned
time            37/tcp          timserver
time            37/udp          timserver
rlp             39/udp          resource        # resource location
nameserver      42/tcp          name            # IEN 116
whois           43/tcp          nicname
re-mail-ck      50/tcp                          # Remote Mail Checking Protocol
re-mail-ck      50/udp                          # Remote Mail Checking Protocol
domain          53/tcp          nameserver      # name-domain server
…
```

https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml

Network byte order

- Ogni CPU ha una sua convenzione per rappresentare in memoria variabili che sono multipli di un byte (ad es. 16 bit come il numero di porta o 32 bit come l'indirizzo IP)
- I processori x86 (Intel e compatibili) usano la convenzione **Little Endian**

$Valore_{16}$ = BytePiùSignificativoByteMenoSignificativo, ad es. 0x1234,
0x12 byte più significativo, 0x34 byte meno significativo

Memoria[indirizzo] = 0x34 (byte meno significativo)
Memoria[indirizzo + 1] = 0x12 (byte più significativo)

- Altri processori e i protocolli TCP/IP (**Network Byte Order**) usano invece l'altra convenzione **Big Endian**

Memoria[indirizzo] = 0x12 (byte più significativo)
Memoria[indirizzo + 1] = 0x34 (byte meno significativo)

Socket

Nel dominio AF_INET le strutture dati utilizzate da `bind` e dalle altre primitive sono:

```
struct sockaddr_in {
   sa_family_t     sin_family; /* address family: AF_INET */
   u_int16_t       sin_port;   /* port in network byte order */
   struct in_addr  sin_addr;  /* internet address */
   };
```

Network byte order corrisponde alla convenzione big-endian : i byte più significativi sono all'indirizzo più basso

⇒ utilizzare sempre la macro `htons(numeroporta)` che effettua (se necessario) la conversione

```
/* Internet address. */
struct in_addr {
  u_int32_t  s_addr;  /* address in network byte order */
};
```

L'indirizzo Internet può essere ricavato dal nome simbolico del nodo (ad es. www.unipr.it) utilizzando la funzione `gethostbyname`

Chiusura di una socket e successiva bind per lo stesso indirizzo

```
close(sock);
```

Se la socket è di tipo SOCK_STREAM, il protocollo TCP attende un tempo tra 1 e 4 minuti (nello stato TIME_WAIT) prima di rimuoverla effettivamente, al fine di assicurarsi che eventuali pacchetti duplicati vaganti siano consegnati al destinatario

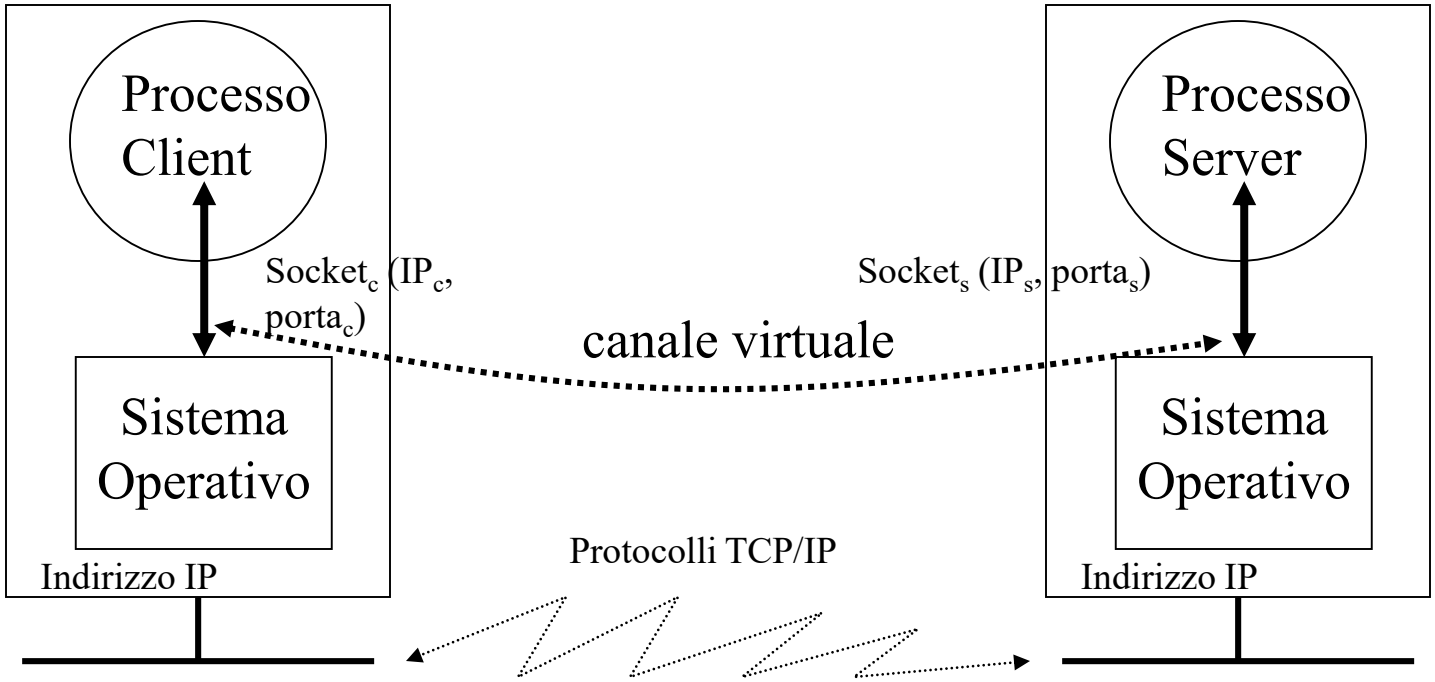
In alcuni casi questo ritardo può essere evitabile senza conseguenze, come nel caso del debug di un server che deve essere frequentemente terminato e rilanciato.

Si utilizza la `setsockopt` per forzare il riuso dell'indirizzo nel bind che quindi non fallirà anche se esiste già una socket in fase di chiusura con lo stesso indirizzo

```
int on = 1;
ret = setsockopt(sock, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, &on, sizeof(on));
…
bind(…);
```

SOCK_STREAM nel dominio AF_INET

Prima di effettuare il trasferimento dati deve essere creata una connessione (protocollo TCP di TCP/IP)



Completata con successo la fase di creazione della connessione (socket "connessa") è sufficiente inoltrare i messaggi lungo la connessione perché raggiungano la destinazione

Creazione della connessione

Un **cliente** inizia una connessione sulla propria socket specificando l'indirizzo della socket del server:

```
connect(int cli_sockfd, ...);
/* bloccante */
```

sincronizzazione

Il **server** dichiara al S.O. la sua disponibilità a ricevere connessioni sulla propria socket:

```
listen( int serv_sockfd,...) ;
/* non bloccante */
```

Il **server** attende richieste di connessioni sulla propria socket e riceve un nuovo descrittore (conn_sockfd) per ogni nuova connessione:

```
conn_sockfd=accept(int serv_sockfd,...);
/* bloccante */
```

Su socket connesse

```
write(cli_sockfd, …) ;
```

```
read(cli_sockfd, …) ;
```

```
read(conn_sockfd, …) ;
```

```
write(conn_sockfd, …) ;
```

Se la read ritorna 0 significa che la connessione è stata chiusa dal partner

Socket

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int connect(int sockfd, const struct sockaddr *serv_addr,
socklen_t addrlen);

#include <sys/socket.h>

int listen(int s, int backlog);
```

`backlog` specificava la dimensione massima della coda delle richieste di connessione pendenti (non ancora accettate)

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int accept(int s, struct sockaddr *addr, socklen_t *addrlen);
```

`s` è il descrittore della socket di controllo, in `addr` (se non è NULL viene memorizzato l'indirizzo del cliente che si è connesso). Un valore di uscita positivo identifica il descrittore della socket connessa che è utilizzata per comunicare con il cliente

Server NON concorrente (… non una grande idea…)

- Un server su SOCK_STREAM che dopo l'accept gestisce (read/write) direttamente la connessione con il nuovo cliente
- Il server serializza (serve una dopo l'altra) le richieste dei clienti che si connettono, ed eventuali ritardi di un client (ad es. dell'utente al terminale) o tempi elevati di elaborazione fanno attendere i clienti in coda per il proprio turno di servizio

```
do
 { /* Attesa di una connessione */
 if((msgsock= accept(sock,(struct sockaddr *)&client,(socklen_t *)&len))<0) {
        perror("accept"); exit(-1); }
 else  {
        printf("Serving connection from %s, port %d\n",
            inet_ntoa(client.sin_addr), ntohs(client.sin_port));

        myservice(msgsock); /* Servizio specifico del server attraverso
                        la server connessa */
        close(msgsock); /* La socket connessa può essere rimossa */
                  }
    }
while(1);
```

Server concorrente

- Normalmente un **server su SOCK_STREAM (cfr. i servizi TCP, ad es. ftp) crea un nuovo server figlio dedicato a gestire una nuova connessione da un cliente** mentre il server padre continua ad attendere nuove connessioni
- In questa soluzione i clienti in coda vengono serviti al più presto da un servitore dedicato, ed eventuali ritardi di un client non hanno effetto sul servizio agli altri

```
do
 { /* Attesa di una connessione */
 if((msgsock= accept(sock,(struct sockaddr *)&client,(socklen_t *)&len))<0) {
         perror("accept"); exit(-1); }
 else  {
    if(fork()==0) {
       /* Server figlio  */
         printf("Serving connection from %s, port %d\n",
             inet_ntoa(client.sin_addr), ntohs(client.sin_port));

         close(sock); /* Non interessa la socket di controllo */
         myservice(msgsock); /* Servizio specifico del server attraverso
                        la server connessa */
         close(msgsock); /* La socket connessa può essere rimossa */
         exit(0);
         }
    else /* Server padre */
         close(msgsock); /* Non interessa la socket connessa : si
                        ritorna in accept */
         }
    }
while(1);
```

Server concorrente

Un server concorrente è estremamente utile nei casi in cui il servizio erogato a ciascun cliente può essere erogato contemporaneamente ai client connessi, ovvero non è necessario alcun coordinamento o sincronizzazione tra i server figli :

- download/upload file
- servizi il cui risultato **è** funzione unicamente dell'input del client, ad es. risultato prodotto da funzioni dei dati ricevuti dal client

E' diverso il caso in cui sia necessario coordinare o sincronizzare l'attività tra i server figli, come per

- gestione di una risorsa condivisa (ad es. contatore, conto bancario, bacheca messaggi, etc.)
- servizi il cui risultato **non è** funzione unicamente dell'input del client, ad es. risultato prodotto da funzioni dei dati ricevuti dai clienti anche in precedenza

Per realizzare un server concorrente con questo requisito non è possibile memorizzare la risorsa nella memoria di un processo (server padre e/o figli) in quanto i **processi UNIX tradizionali non condividono la memoria** e ogni modifica alla memoria di un processo è visibile solo ai processi figli che esso genera

Sono quindi possibili sostanzialmente due approcci

1. **incapsulare la risorsa in processo gestore lato server** con il quale i server figli interagiscono inviando richieste e ricevendo risposte: è la soluzione tipica per i sistemi a scambio di messaggi

2. **simulare una "struttura dati condivisa" tramite un messaggio che viene inserito e prelevato in/da una pipe** accessibile ai server padre e figli in modo atomico grazie all'atomicità delle primitive `read` e `write`

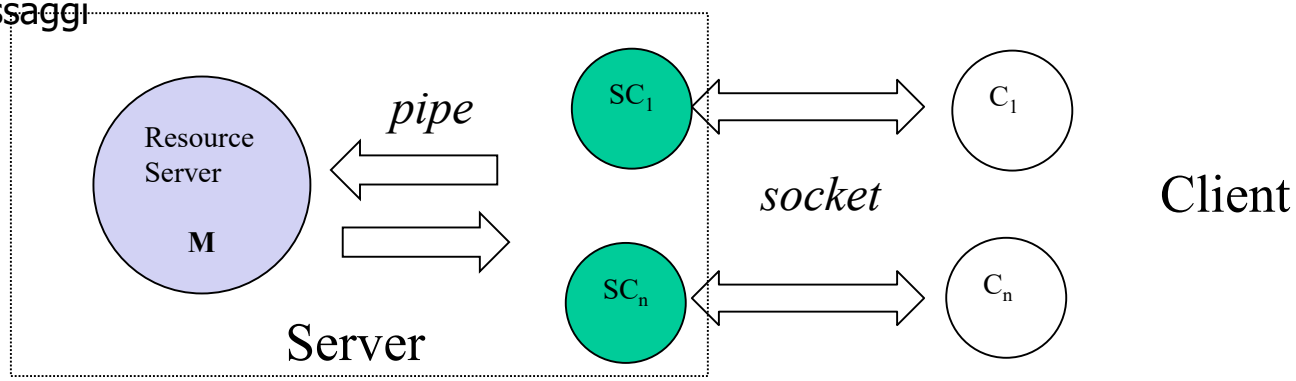
Server concorrente con stato condiviso: l'approccio errato

```
int M; // deve essere incrementato sulla base delle richieste dei client

do
 { /* Attesa di una connessione */
 if((msgsock= accept(sock,(struct sockaddr *)&client,(socklen_t *)&len))<0) {
        perror("accept"); exit(-1); }
 else  {
    if(fork()==0) {
       /* Server figlio  */
        printf("Serving connection from %s, port %d\n",
            inet_ntoa(client.sin_addr), ntohs(client.sin_port));

        close(sock);

        read(msgsock,clientMessage,sizeof clientMessage);
        M = M + atoi(clientMessage);
        // La modifica avviene solo nella memoria del processo,
        // non è visibile dagli altri processi figli che servono altri client,
        // e se ne perde ogni traccia dopo la terminazione del processo

        close(msgsock);
        exit(0);
        }
    else /* Server padre */
        close(msgsock);
        }
    }
while(1);
```

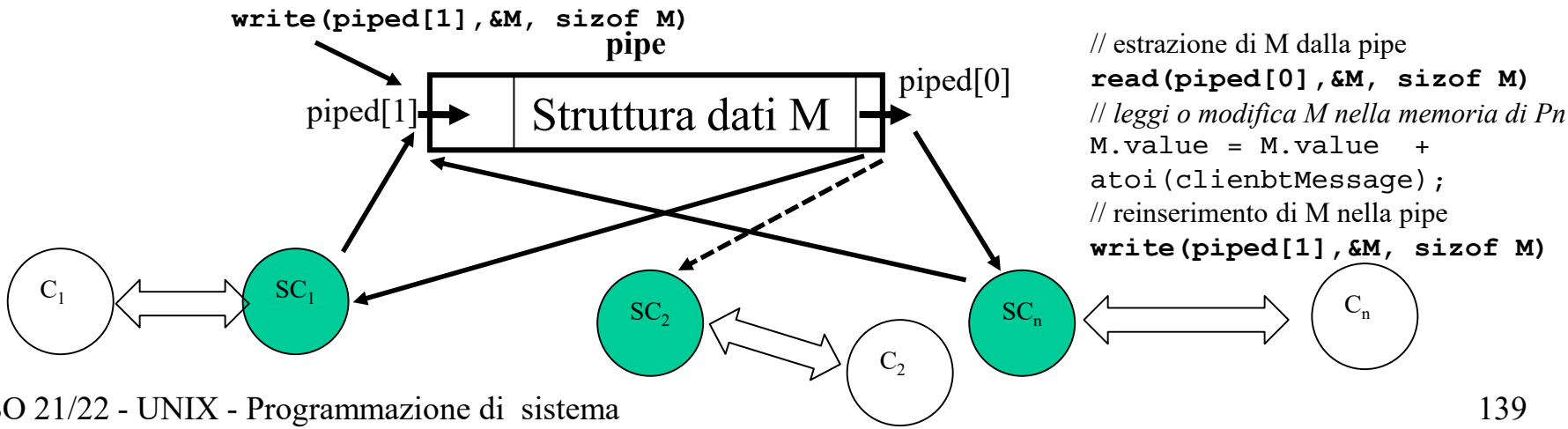
i processi UNIX tradizionali non condividono la memoria
(se non con le primitive shm* che non vedremo in questo corso)

Server concorrente con stato condiviso: gli approcci corretti

- **incapsulare la risorsa in un processo gestore lato server** con il quale i server figli interagiscono inviando richieste e ricevendo risposte : è la soluzione tipica del modello di interazione a scambio di messaggi



- **simulare una "struttura dati condivisa" tramite un messaggio che viene inserito e prelevato in/da una pipe** accessibile ai server padre e figli in modo atomico grazie all'atomicità delle primitive `read` e `write`



Pre-forked Server: un server concorrente più efficiente

- Nel caso di un flusso elevato (<2000) di richieste, la creazione di un processo figlio per ogni connessione è troppo dispensiosa → è più efficiente creare inizialmente un numero prefissato (ad es. in base al numero di core disponibili) di processi (worker) che si divideranno le richieste dei client
- I processi figli si contendono la connessione dei client chiamando tutti **`accept`** sulla stessa socket : alla connessione di un client il kernel Linux risveglierà un solo processo (evitando così il problema del *Thundering Herd*) che servirà il client mentre gli altri rimarranno in attesa di altre connessioni nell' **`accept`**

```
// Processo padre
for(i=0;i<numeroProcessiFigli;i++) {

if (fork() == 0)
     server_loop(sock);
     // Non ritorna
     }

while(1)
     sigsuspend(&zeromask);
```

```
// Processi figli

server_loop(int sock) {
   int msgsock;
   do {
   /* Attesa di una connessione */
   if((msgsock= accept(sock,(struct sockaddr
            *)&client,(socklen_t *)&len))<0) {
   perror("accept"); exit(1); }

   printf("Serving connection from %s, port %d\n",
            inet_ntoa(client.sin_addr), ntohs(client.sin_port));

   myservice(msgsock);
   /* si ritorna in accept */
close(msgsock);
            }
   while(1);
```

Per carichi maggiori (>2000) la soluzione più efficiente richiede l'utilizzo dell'API `epoll`

Datagram

Non vi alcun stato di connessione (protocollo UDP di TCP/IP)

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int  sendto(int  s,  const  void *msg, size_t len, int flags,
const struct sockaddr *to, socklen_t tolen);
```

Invio di un messaggio con designazione esplicita del destinatario (indirizzo specificato in `to`)

```
int recvfrom(int s, void *buf, size_t len, int flags, struct
sockaddr *from, socklen_t *fromlen);
```

Ricezione di un messaggio

L'indirizzo del mittente del messaggio viene posto in `from` (se diverso da `NULL`)

Esempio n. 1

```
/*************************************************************************

                Semplice interazione su socket di tipo STREAM

                        S    E    R    V  E    R

Utilizzo:                server [numeroporta]

*************************************************************************/

#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#define DEFAULTPORT    1520
#define BYTES_NR        8192
#define MSG_NR          64
```

Esempio n. 1 (server cont.)

```
main(int argc, char  *argv[])
{
  int           sock,length;
  struct        sockaddr_in    server;
  int           s,msgsock,rval;
  struct        hostent *hp,*gethostbyname();
  char          buf[BYTES_NR];
  int           myport;

  if(argc == 2)
    myport = atoi(argv[1]);
  else
    myport = DEFAULTPORT;

  if((myport < 1024  && myport != 0)|| myport > 65535)
    {
      fprintf(stderr, "Il numero di porta puo essere 0 (per ottenerne
una libera)\noppure deve essere compresa tra 1024 e 65535\n");
      exit(1);
    }
```

Esempio n. 1 (server cont.)

```
/* Crea la  socket STREAM */
sock= socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);
if(sock<0)
  {   perror("creazione stream socket");
  exit(2);
  }

server.sin_family =  AF_INET;
/* La socket viene legata a tutti gli indirizzi IP del server
(un indirizzo per ciascuna interfaccia di rete):
il server otterrà i pacchetti ricevuti su qualunque interfaccia.
Con INADDR_ANY non serve conoscere l'indirizzo IP del nodo su cui
esegue il server */
server.sin_addr.s_addr= INADDR_ANY;
server.sin_port = htons(myport);

if (bind(sock,(struct sockaddr *)&server,sizeof server)<0)
  {
    perror("bind su stream socket");
    exit(3);
  }
```

Esempio n. 1 (server cont.)

```
  /* Chiede conferma dell'indirizzo assegnato alla socket  */
  length= sizeof server;
  if(getsockname(sock,(struct sockaddr *)&server,&length)<0)
    { perror("getsockname"); exit(1); }

  printf("Porta (della socket) del server =
                      #%d\n",ntohs(server.sin_port));

  /* Il server e' pronto ad accettare connessioni */
  if(listen(sock,2) <0)
   { perror("listen"); exit(2); }

do
    {
    /* Attesa di una richiesta di connessione: l'indirizzo della socket
       del mittente viene in questo caso ignorato (NULL) */

    if((msgsock= accept(sock,(struct sockaddr *)NULL,(int *)NULL)) < 0)
       {
       perror("accept");
       exit(4);
       }
    else  // SERVER NON CONCORRENTE !!!
```

Esempio n. 1 (server cont.)

```
do // SERVER NON CONCORRENTE !!!
  {
    s = 0;
    /* Ricezione del messaggio  */
    do {
/* Il messaggio può essere stato frammentato dal protocollo TCP :
    il numero di read potrà essere superiore al numeri di write.
    Occorre effettuare read multiple fino a quando saranno BYTES_NR
    i byte letti (che sono stati inviati con un'unica write) */

      if((rval = read(msgsock,&buf[s],sizeof buf))<0)
            {
            perror("read su  stream message");
            exit(5);
            }
      s+= rval;
      printf("r=%d(%d) byte letti\n",rval,s);
    }
    while((s!=BYTES_NR) && rval !=0);

    if(rval == 0)
      printf("Termine della connessione\n");
    else
      {
```

Esempio n. 1 (server cont.)

```
        /* Invio della risposta */

        if((rval = write(msgsock,buf,sizeof buf))<0)
          {
          perror("writing on stream socket");
          exit(6);
          }

        printf("w=%d byte scritti\n",rval);
          }

      } while(rval !=0);
       close (msgsock);
    }
  while(1); /* ^C o un altro segnale per terminare il server */

  exit(0);
}
```

Esempio n. 1

```
/*************************************************************************

                Semplice interazione su socket di tipo STREAM

                            C  L  I  E  N  T

Utilizzo:               client nomeserver portaserver

*************************************************************************/

#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#define BYTES_NR        8192
#define MSG_NR          64
```

Esempio n. 1 (client cont.)

```
main(int argc, char *argv[])
  {
  int           i,s,sock,rval;
  struct        sockaddr_in server;
  struct        hostent *hp,*gethostbyname();
  char  buf[BYTES_NR];


  if(argc != 3)
    {
      fprintf(stderr,"Uso: %s nomeserver portaserver\n\n",argv[0]);
      exit(1);
    }

  /* Crea una  socket di tipo STREAM per il dominio TCP/IP */

  if((sock= socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0)) <0)
    {
      perror("creazione stream socket");
      exit(2);
    }
```

Esempio n. 1 (client cont.)

```
/* Ottiene l'indirizzo IP del server */
  server.sin_family=  AF_INET;
  hp=  gethostbyname(argv[1]);

  if(hp==NULL)
    {
      fprintf(stderr,"%s: server sconosciuto",argv[1]);
      exit(3);
    }

  memcpy( (char *)&server.sin_addr, (char *)hp->h_addr ,hp->h_length);

  /* La porta è sulla linea di comando */
  server.sin_port= htons(atoi(argv[2]));

  /* Tenta di realizzare la connessione */
  printf("Connessione in corso...\n");
  if(connect(sock,(struct sockaddr *)&server,sizeof server) <0)
    {
      perror("connect su stream socket");
      exit(4);
    }
```

Esempio n. 1 (client cont.)

```
  printf("…connesso.\n");

  rval=BYTES_NR;

  /* Invio/Ricezione di MSG_NR messaggi */
  for(i=0;i<MSG_NR;i++)
    {
      if((rval = write(sock,buf,sizeof buf))<0)
        perror("write su stream socket");

      printf("w=%d byte scritti\n",rval);

      s=0 ;
      do
{ /* Il messaggio puo` essere stato frammentato dal protocollo TCP */
          if((rval = read(sock,&buf[s],sizeof buf))<0)
            perror("reading stream message");

          s+= rval;
          printf("r=%d(%d) byte letti\n",rval,s);
        }
      while((s!=BYTES_NR) && rval !=0);
    }

  close(sock);
  exit(0);
}
```

Esempio n. 2 (header file)

```
/*************************************************************
            FTP-like CLIENT-SERVER su socket di tipo STREAM

                        ftpdefines.h
*************************************************************/
#define BYTES_NR       8192
#define MSG_NR         64

#define SOL_TCP         pp->p_proto

#define RICHMSG_MAXPATHNAME 256

typedef struct _RICHIESTA_MSG {
  char filename[RICHMSG_MAXPATHNAME];
} RICHIESTA_MSG;

typedef struct _RISPOSTA_MSG {
  int result;
  char errmsg[512];
  int filesize;
} RISPOSTA_MSG;
```

Esempio n. 2 (server)

```
/*************************************************************
              FTP-like CLIENT-SERVER su socket di tipo STREAM

                        S    E   R   V  E   R
*************************************************************/
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/timeb.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>
#include "ftpdefines.h"

char    buf[BYTES_NR];

/***********************************************
Utilizzo:    ftpserver   # opera alla porta 1520
***********************************************/
```

Esempio n. 2 (server - cont.)

```
main()
{
  int           sock,length;
  struct        sockaddr_in    server,client;
  char          buff[512];
  int           s,msgsock,rval,rval2,i;
  struct        hostent *hp,*gethostbyname();

  /* Crea la  socket STREAM */
  sock= socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);
  if(sock<0)
    {   perror("opening stream socket");
    exit(1);
    }
  server.sin_family =  AF_INET;
  server.sin_addr.s_addr= INADDR_ANY;
  server.sin_port = htons(1520);
  if (bind(sock,(struct sockaddr *)&server,sizeof server)<0)
    {
      perror("binding stream socket");
      exit(2);
    }
```

Esempio n. 2 (server - cont.)

```
length= sizeof server;
if(getsockname(sock,(struct sockaddr *)&server,&length)<0)
  {
    perror("getting socket name");
    exit(3);
  }

printf("Socket port #%d\n",ntohs(server.sin_port));

/* Pronto ad accettare connessioni */
listen(sock,2);

do  {
    /* Attesa di una connessione */
    msgsock= accept(sock,(struct sockaddr *)&client,(int *)&length);

    if(msgsock ==-1)
              { perror("accept"); exit(4);
    else
        {// SERVER CONCORRENTE
          if(fork()==0)    {
              printf("Serving connection from %s, port %d\n",
                  inet_ntoa(client.sin_addr), ntohs(client.sin_port));
```

Esempio n. 2 (server - cont.)

```
                close(sock);
                ftpserv(msgsock);
                close(msgsock);
                exit(0);
              }
            else
              close(msgsock);
          }
    } while(1);
}

ftpserv(int sock)
{
int             s,rval,nread, fd;
struct stat     fbuf;
RICHIESTA_MSG   rich_mesg;
RISPOSTA_MSG    risp_mesg;

s = 0;
 /* Ricezione del comando GET  */

 if((rval=read(sock,&rich_mesg,sizeof(RICHIESTA_MSG)))<0)
   {
     perror("reading client request");
```

Esempio n. 2 (server - cont.)

```
        exit(-1); }

 if((fd= open(rich_mesg.filename,O_RDONLY))<0)
   { fprintf(stderr,"Non riesco ad aprire il file %s (%s)...uscita
              !\n",rich_mesg.filename,strerror(errno));
     risp_mesg.result = -1;
     strcpy(risp_mesg.errmsg,strerror(errno));
   }
 else  {
   risp_mesg.result= 0;
   fstat(fd,&fbuf); /* Ottiene la dimensione del file */
   risp_mesg.filesize= fbuf.st_size;
   }
 /* Invio della risposta */
if((rval = write(sock,&risp_mesg,sizeof(RISPOSTA_MSG)))<0)
  perror("writing on stream socket");

if(risp_mesg.result  != 0)  return -1;

 do {
   if((nread = read(fd,buf,sizeof buf))<0)
          perror("reading from file");
   if (nread >0)
        if((rval = write(sock,buf,nread))<0)
                 perror("writing on stream socket");
 }
 while(nread > 0);
}
```

Esempio n. 2 (client)

```
/*****************************************************************
            FTP-like CLIENT-SERVER su socket di tipo STREAM

                        C   L   I   E   N   T
*****************************************************************/

#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <sys/timeb.h>
#include <fcntl.h>

#include "ftpdefines.h"

struct protoent *pp;

char    buf[BYTES_NR];

/************
Utilizzo:  ftpclient nomeserver portaserver nomefile
************/
```

Esempio n. 2 (client - cont.)

```
main(argc,argv)
int     argc;char *argv[];
{
int                     i,s,fd,sock,rval,rval2;
struct  sockaddr_in     server;
struct  hostent         *hp,*gethostbyname();
char                    copiafilename[RICHMSG_MAXPATHNAME+16];
RICHIESTA_MSG           rich_mesg;
RISPOSTA_MSG            risp_mesg;

if(argc != 4) {
    fprintf(stderr,"Uso: %s servername porta nomefile\n\n",argv[0]);
    exit(-1);
  }

/* Crea una  socket di tipo STREAM per il dominio TCP/IP */
sock=   socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);

if(sock<0)
        {
        perror("opening stream socket");
        exit(1);
        }
```

Esempio n. 2 (client - cont.)

```
/* Ottiene l'indirizzo del server */
server.sin_family=    AF_INET;

hp=     gethostbyname(argv[1]);
if(hp==0){
        fprintf(stderr,"%s: unknown host",argv[1]);
        exit(2);
        }
memcpy( (char *)&server.sin_addr, (char *)hp->h_addr ,hp->h_length);

/* La porta e' sulla linea di comando */
server.sin_port= htons(atoi(argv[2]));

/* Tenta di realizzare la connessione */
printf("Connecting to the server %s...\n",argv[1]);
if(connect(sock,(struct sockaddr *)&server,sizeof server) <0)
        {
        perror("connecting stream socket");
        exit(3);
        }

printf("Connected to the server.\n");
```

Esempio n. 2 (client - cont.)

```
strncpy(rich_mesg.filename,argv[3],RICHMSG_MAXPATHNAME);

/* Invio comando RICHIESTA (GET) */
write(sock,&rich_mesg,sizeof(RICHIESTA_MSG));

/* Riceve la  RISPOSTA dal server */
 if((rval = read(sock,&risp_mesg,sizeof(RISPOSTA_MSG)))<0)
   perror("reading server answer");

if(risp_mesg.result !=0) {
    fprintf(stderr,"OOPS il server risponde %d (%s)...uscita
!\n",risp_mesg.result,risp_mesg.errmsg);
    close(sock);
    exit(0);
  }

strcpy(copiafilename,"copia.");
strcat(copiafilename, rich_mesg.filename);

if((fd= open(copiafilename,O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC,0644))<0) {
       fprintf(stderr,"Non posso aprire il file copia %s ...uscita
!\n",copiafilename);
       close(sock);
```

Esempio n. 2 (client - cont.)

```
        exit(0);
        }
s=0;
do
  {
    if((rval = read(sock,buf,sizeof buf))<0)
      perror("reading stream message");

    if(rval >0)
      {
       write(fd,buf,rval);
       putchar('.');
       s += rval;
      }
  }
 while(rval !=0);

printf("\nTrasferimento completato di %s completato - ricevuti %d
                        byte (dimensione sul server
%d\n",rich_mesg.filename,s, risp_mesg.filesize);

close(sock);
close(fd);
exit(0);
}
```

Esempio n. 3

```
/*****************************************************************

            Semplice ping-pong su socket di tipo DATAGRAM

                    S    E    R    V    E    R

Utilizzo:              server [numeroporta]

*****************************************************************/
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/timeb.h>
#include <string.h>

#define BYTES_NR       512
#define MSG_NR         32

#define DEFAULTPORT 3001
 char   buf[BYTES_NR];
```

Esempio n. 3 (server - cont)

```
main(argc,argv)
     int argc;char *argv[];
{
 int           sock,length;
 struct        sockaddr_in    server,client;
 int           msgsock,rval,i;
 struct hostent *hp,*gethostbyname();
 int myport;

if(argc >2)
  {
    fprintf(stderr,"Uso: %s [portaserver]\n",argv[0]);
    exit(1);
  }

  if(argc == 2)
    myport = atoi(argv[1]);
  else
    myport = DEFAULTPORT;

  if((myport < 1024  && myport != 0)|| myport > 65535)
    {
      fprintf(stderr, "Il numero di porta puo essere 0 (per ottenerne
una libera)\noppure deve essere compresa tra 1024 e 65535\n");
      exit(2);
    }
```

Esempio n. 3 (server - cont)

```
/* Crea la socket DGRAM */
sock=   socket(AF_INET,SOCK_DGRAM,0);
if(sock<0)
        {
        perror("open sulla socket dgram");
        exit(3);
        }

/* Name socket using wildcards */
server.sin_family =    AF_INET;
server.sin_addr.s_addr= INADDR_ANY;
server.sin_port = htons(myport);

if (bind(sock,(struct sockaddr *)&server,sizeof server)<0)
        {
        perror("bind sulla socket dgram");
        exit(4);
        }

/* Find out assigned port and print out */
length= sizeof server;
if(getsockname(sock,(struct sockaddr *)&server,&length)<0)
        {
        perror("getsockname");
        exit(5);
        }
```

Esempio n. 3 (server - cont)

```
printf("Server attivo sulla porta #%d\n",ntohs(server.sin_port));

while(1)
  {
    bzero(buf,sizeof buf);
    if((rval = recvfrom(sock,buf,sizeof buf, 0, (struct sockaddr* )
               &client, (socklen_t *)&length ))<0)
      {
       perror("recvfrom sulla socket dgram");
       exit(6);
      }

    printf("Messaggio ricevuto dal client IP=%s porta=%d: rispedisco il
messaggio\n",inet_ntoa(client.sin_addr), ntohs(client.sin_port));
    strcat(buf,"*");
    if(sendto(sock,buf,sizeof buf,0,(struct sockaddr *)&client,sizeof
client)<0)
      {
       perror("recvfrom sulla socket dgram");
       exit(7);
      }
  } /* ^C o un altro segnale per farlo terminare */

}
```

Esempio n. 3 (client)

```
/*************************************************************************

                Semplice ping-pong su socket di tipo DATAGRAM

                        C   L   I   E   N   T

Utilizzo:               client nomeserver portaserver

*************************************************************************/

#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <netdb.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#include <sys/time.h>
#include <unistd.h>

#define BYTES_NR        512
#define MSG_NR          32
```

Esempio n. 3 (client - cont)

```
char    buf[BYTES_NR];
char    buf2[BYTES_NR];

char    msg[MSG_NR][BYTES_NR];
char    answ[MSG_NR][BYTES_NR];

struct timeval xstime[MSG_NR];
struct timeval xftime[MSG_NR];

main(argc,argv)
int     argc;char *argv[];
{
int                     i,sock,rval,length;
unsigned long           delay;
struct  sockaddr_in     server,client;
struct  hostent         *hp,*gethostbyname();

if(argc !=3)
  {
    fprintf(stderr,"Uso: %s nomeserver portaserver\n",argv[0]);
    exit(1);
  }
```

Esempio n. 3 (client - cont)

```
/* Prepara i messaggi da inviare al server  */
for(i=0;i<MSG_NR;i++)
        {
        sprintf(&msg[i][0],"%d",i);
        }

/* Crea la socket DGRAM */
sock=   socket(AF_INET,SOCK_DGRAM,0);
if(sock<0)
        {
        perror("opening stream socket");
        exit(2);
        }

client.sin_family=     AF_INET;
client.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
client.sin_port = htons(0);

if (bind(sock,(struct sockaddr *)&client,sizeof client) <0)
        {
        perror("bind su socket dgram");
        exit(3);
        }
```

Esempio n. 3 (client - cont)

```
length= sizeof client;
if(getsockname(sock,(struct sockaddr *)client,&length)<0)
        {
        perror("getsockname");
        exit(4);
        }
// Eventuale visualizzazione dell'indirizzo della socket del client
/* Ottiene l'indirizzo IP del server */
hp = gethostbyname(argv[1]);
if (hp == 0)
        {
        fprintf(stderr,"%s : nodo sconosciuto",argv[1]);
        exit(5);
        }
bcopy( (char *)hp ->h_addr, (char *)&server.sin_addr,hp ->h_length);
server.sin_family = AF_INET;
server.sin_port = htons(atoi(argv[2]));

for(i=0;i<MSG_NR;i++)
        {
        strcpy(buf,msg[i]);
        /* Ottiene il tempo corrent (prima della send)  */
        gettimeofday(&xstime[i],NULL);
```

Esempio n. 3 (client - cont)

```
        if(sendto(sock,buf,sizeof buf,0,(struct sockaddr
                        *)&server,sizeof server)<0)
                perror("sendto sulla socket dgram");
        if((rval = recvfrom(sock,buf2,sizeof buf2, 0, (struct sockaddr
                *)NULL, (socklen_t *)NULL))<0)
          {
            perror("recvfrom sulla socket dgram");
            exit(6);
      }
        strcpy(answ[i],buf2);
        /* Ottiene il tempo corrente (dopo la recvfrom)  */
        gettimeofday(&xftime[i],NULL);
        }
 close(sock);

 printf("Ping-pong con %s con datagrammi da %d
                bytes\n",inet_ntoa(server.sin_addr),BYTES_NR);
 for(i=0;i<MSG_NR;i++)
        {
        /* Calcolo del ritardo  */
        delay= (xftime[i].tv_sec-xstime[i].tv_sec)
                *1000000.+(xftime[i].tv_usec-xstime[i].tv_usec);
        printf("msg n.%d [%s]: %0.3f ms\n",i,answ[i],delay/1000.);
        }
exit(0);
}
```

Select

```
#include <sys/time.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

int select(int n, fd_set *readfds, fd_set *writefds,
           fd_set *exceptfds, struct timeval *timeout);
```

La primitiva `select` permette di attendere una variazione di stato per i file descriptor (riferiti a file, pipe, socket, ...) all'interno di tre distinti insiemi di file descriptor (tipo fd_set):

- si attende la disponibilità di dati in lettura per i fd contenuti in `readfds`
- si attende la possibilità di scrittura immediata sui fd contenuti in `writefds`
- si attende la presenza di eccezioni per i fd contenuti in `exceptfds`

`n` è il valore del descrittore più alto nei tre insiemi, aumentato di 1

L'attesa può essere limitata superiormente da un `timeout`

Select

Il valore di uscita è il numero di descrittori che sono variati di stato (zero significa che è scaduto l'intervallo di timeout)

Gli `fd_set` sono modificati in uscita dalla `select` in modo che contengano i soli fd che hanno variato di stato

Macro utili per la manipolazione di variabili fd_set

`FD_ZERO(fd_set *set)`	azzera un fd_set
`FD_CLR(int fd, fd_set *set)`	rimuove un fd da un fd_set
`FD_SET(int fd, fd_set *set)`	inserisce un fd in un fd_set
`FD_ISSET(int fd, fd_set *set)`	predicato che verifica se un certo fd è membro di un fd_set

Esempio: processo lettore su due pipe

```
int                     max_fd;
fd_set                  rpipe_fds;
struct timeval          tv;
…
if(pipe(pipea) < 0) …
if(pipe(pipeb) < 0) …

if(fork() == 0) {
/* I descrittori di lettura delle pipe sono inseriti nel
fd_set di lettura) */

FD_ZERO(&rpipe_fds);
FD_SET(pipea[0], &rpipe_fds);
FD_SET(pipeb[0], &rpipe_fds);

/* Attesa al massimo di 5 secondi */
tv.tv_sec= 5 ; tv.tv_usec= 0 ;

max_fd = pipeb[0]+1;
```

Esempio

```
/* Il processo si blocca in attesa della lettura su pipea e/o
su pipeb o del timeout */
retval= select(max_fd, &rpipe_fds, NULL, NULL, &tv) ;

if(retval>0) /* C'e' almeno un descrittore pronto per la
lettura : rpipe_fds ora contiene i descrittori pronti */
       {
       /* Occorre verificare quale descrittore sia pronto */
       if(FD_ISSET(pipea[0], &rpipe_fds)
              read(pipea[0], buffer, sizeof message);

       if(FD_ISSET(pipeb[0], &rpipef_fds)
              read(pipeb[0], buffer, sizeof message);
       }
else if(!retval)
       {/* retval vale 0 */
       printf("Timeout !\n");
       }
else {perror("Errore select"}; exit(1);
}
```

UNIVERSITÀ DI PARMA
il mondo che ti aspetta
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

UNIX – Alcuni esercizi di esame

prof. Francesco Zanichelli