

IPC: FIFO

Laboratorio Sistemi Operativi

Antonino Staiano
Email: antonino.staiano@uniparthenope.it

Pipe con nome: FIFO

- Fin qui siamo stati in grado di scambiare i dati tra processi legati tra loro:
 - Tali processi sono avviati da un antenato comune
 - Questa è una limitazione poiché talvolta è necessario che processi tra loro non in relazione siano in grado di scambiarsi i dati
- Questo è possibile farlo con l'uso delle pipe con nome o FIFO
 - Le FIFO sono pipe che possono connettere due (o più) processi qualsiasi
 - Una FIFO è un tipo speciale di file che si comporta come le pipe senza nome
 - La creazione di una FIFO è simile alla creazione di un file
 - Il pathname di una FIFO esiste all'interno del file system

Pipe con nome: mkfifo()

- Possiamo creare una FIFO dalla linea di comando o da programma

- Dalla linea di comando:

- `$ mkfifo filename`

- Da programma:

```
#include <sys/stat.h>
int mkfifo(const char *filename, mode_t mode);
/* restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

Pipe con nome: mkfifo()

- La funzione `mkfifo()` implica `O_CREAT|O_EXCL`
 - Crea una nuova FIFO o restituisce un errore `EEXIST` se la FIFO già esiste
 - Se non è desiderata la creazione di una nuova FIFO, è necessario invocare `open()` anziché `mkfifo()`
 - Per aprire una FIFO esistente o creare una nuova FIFO se questa non esiste
 1. Si invoca `mkfifo()`
 2. Si controlla un eventuale errore `EEXIST` e, se questo si verifica, si invoca `open()`

Esempio: mkfifo()

```
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
int main(){
    int res = mkfifo("/tmp/my_fifo", 0777);
    if (res == 0)
        printf("FIFO creata\n");
    exit(0);
}
```

Esempio: mkfifo() (cont.)

- Il programma usa la funzione `mkfifo()` per creare un file speciale
- Sebbene impostiamo i permessi 0777 questi sono filtrati dalla maschera dell'utente (`umask`), così come avviene nella normale creazione di file
 - I permessi risultanti saranno 755 se, ad esempio, `umask` è 022
- Possiamo rimuovere la FIFO come un file convenzionale usando il comando `rm` o usando la system call `unlink()` da programma
- Dopo aver eseguito il programma:

```
$ ls -lF /tmp/my_fifo
prwxr-xr-x  1 staiano  staiano 0 April 3  14:55 /tmp/my_fifo
```

Accedere ad una FIFO

- Una caratteristica utile delle pipe con nome è che risiedendo nel file system le possiamo usare in comandi dove normalmente utilizziamo nomi di file
 - Proviamo a leggere dalla FIFO (vuota)
`$ cat < /tmp/my_fifo`
- Ora scriviamo nella FIFO (usando un altro terminale, infatti il primo comando si sospende in attesa di dati scritti nella FIFO)
`$ echo "sdsdfasd" > /tmp/my_fifo`
Si vedrà l'output apparire dal comando `cat`. Se non si invia alcun dato alla FIFO, il comando `cat` si sospenderà fino a che non lo si interrompe (Ctrl-C)
- Possiamo fare entrambe le cose ponendo il primo comando in background
`$ cat < /tmp/my_fifo &`
`[1] 1316`
`$ echo "sdsdfasd" > /tmp/my_fifo`
`sdsdfasd`

Accedere ad una FIFO

- Poiché non ci sono dati nella FIFO, il programma `cat` si blocca, in attesa di qualche dato in arrivo
- Nell'ultimo caso (`cat` in background), il processo `cat` inizialmente è bloccato ed in background
- Quando `echo` rende disponibili dei dati, il comando `cat` legge i dati e li stampa sullo standard output
- Osserviamo che il programma `cat`, poi, esce senza aspettare altri dati
 - Esso non si blocca perché la FIFO sarà chiusa quando il secondo comando che immette i dati nella FIFO ha finito

Aprire una FIFO con open()

- Abbiamo appena visto come si comporta una FIFO quando vi accediamo usando la riga di comando
- Vediamo ora il comportamento da programma quando vi accediamo in lettura e scrittura
- La principale restrizione quando si apre una FIFO è che un programma non può aprirla per leggere e scrivere nella modalità `O_RDWR`
 - In tal caso il risultato è indefinito
 - Questa è una restrizione relativa, poiché usiamo le FIFO per passare i dati in una singola direzione e dunque non c'è necessità di aprirla in modalità `O_RDWR`
- Un'operazione di scrittura su una FIFO aggiunge sempre i dati in coda e un'operazione di lettura restituisce sempre ciò che si trova all'inizio della FIFO

Aprire una FIFO con open() (cont.)

- Un'altra differenza nell'aprire una FIFO rispetto ad un file regolare, è l'uso dell'argomento `oflag` (il secondo parametro di `open`) con l'opzione `O_NONBLOCK`
 - L'utilizzo di questa modalità di apertura non solo cambia il modo in cui la chiamata ad `open` viene elaborata, ma cambia anche il modo in cui sono elaborate le richieste di lettura e scrittura sul descrittore di file restituito
 - Ci sono 4 combinazioni consentite di `O_RDONLY`, `O_WRONLY` e `O_NONBLOCK`

Aprire una FIFO con open() (cont.)

- `open(const char *path, O_RDONLY);`
in questo caso, la chiamata ad `open` si bloccherà; non ritorna fino a che un processo apre la stessa FIFO per scrittura
- `open(const char *path, O_RDONLY | O_NONBLOCK);`
la chiamata ad `open` ha successo e ritorna immediatamente, anche se la FIFO non è stata aperta in scrittura da alcun processo
- `open(const char *path, O_WRONLY);`
la chiamata ad `open` si bloccherà fino a che un processo apre la stessa FIFO in lettura
- `open(const char *path, O_WRONLY | O_NONBLOCK);`
ritorna sempre immediatamente, ma se nessun processo ha la FIFO aperta in lettura, `open` ritornerà un errore, -1, e la FIFO non sarà aperta. Se un processo ha aperto la FIFO in lettura, il descrittore di file restituito può essere usato per scrivere al suo interno

Esempio

```
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#define FIFO_NAME "/tmp/my_fifo"
int main(int argc, char *argv[]){
    int res;
    int open_mode = 0;
    int i;
    if (argc < 2) {
        printf("Uso: %s <combinazioni di O_RDONLY O_WRONLY\n", argv[0]);
        exit(1);
    }
}
```

Esempio (cont.)

```
/* Impostiamo il valore di open_mode dagli argomenti. */
for(i = 1; i < argc; i++) {
    if (strncmp(++argv, "O_RDONLY", 8)==0) open_mode |= O_RDONLY;
    if (strncmp(*argv, "O_WRONLY", 8)==0) open_mode |= O_WRONLY;
    if (strncmp(*argv, "O_NONBLOCK", 10)==0) open_mode |= O_NONBLOCK;
}
/* Se la FIFO non esiste la creiamo. Poi viene aperta */
if (access(FIFO_NAME, F_OK) == -1) {
    res = mkfifo(FIFO_NAME, 0777);
    if (res != 0) {
        printf("Non posso creare la FIFO %s\n", FIFO_NAME);
        exit(1);
    }
}
```

```
#include <unistd.h>
int access(const char *pathname, int mode);
/* Restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
Verifica l'accessibilità del real user
Mode può essere R_OK, W_OK, X_OK, F_OK.
```

Esempio (cont.)

```
printf("Processo %d apre la FIFO\n", getpid());
res = open(FIFO_NAME, open_mode);
printf("Risultato processo %d: %d\n", getpid(), res);
sleep(5);
if (res != -1) close(res);
printf("Processo %d terminato\n", getpid());
exit(0);
}
```

Esempio

- Il programma ci consente di specificare da linea di comando la combinazione di **O_RDONLY**, **O_WRONLY** e **O_NONBLOCK** che vogliamo usare
- Il programma usa la chiamata di sistema **access()** per verificare se il file FIFO esiste già, creandolo se necessario
- Non cancelliamo la FIFO, poiché non abbiamo modo di dire se un altro programma ha già la FIFO in uso

O_RDONLY e O_WRONLY **senza** O_NONBLOCK

```
$ ./a.out O_RDONLY &
[1] 152
Processo 152 apre la FIFO
$ ./a.out O_WRONLY
Processo 153 apre la FIFO
Risultato processo 152: 3
Risultato processo 153: 3
Processo 152 terminato
Processo 153 terminato
```

- Consente al processo lettore di iniziare e di aspettare la chiamata ad **open** dello scrittore
 - poi consente ad ambo i programmi di continuare quando il secondo programma apre la FIFO
- Osserviamo che entrambi i processi lettore e scrittore si sono sincronizzati alla chiamata di **open()**

O_RDONLY e O_WRONLY con O_NONBLOCK

```
$ ./a.out O_RDONLY O_NONBLOCK &  
[1] 160
```

Processo 160 apre la FIFO

Risultato processo 160: 3

```
$ ./a.out O_WRONLY
```

Processo 161 apre la FIFO

Risultato processo 161: 3

Processo 160 terminato

Processo 161 terminato

- In questo caso, il processo lettore esegue la chiamata ad `open` e continua immediatamente, anche se non è presente alcun processo scrittore
- Lo scrittore anch'esso continua immediatamente dopo la chiamata ad `open()` poiché la FIFO è già aperta in lettura

Leggere e scrivere in una FIFO bloccante

- Se la FIFO è aperta in modalità **bloccante**
 - Una `read()` su una FIFO vuota
 - aspetterà fino a che è disponibile qualche dato da leggere, se la FIFO è aperta in scrittura
 - Restituisce 0, se la FIFO non è aperta in scrittura
 - Una `write()` su una FIFO
 - Aspetterà fino a che i dati possono essere scritti, se la FIFO è aperta in lettura
 - Genera un segnale **SIGPIPE** se la FIFO non è aperta in lettura

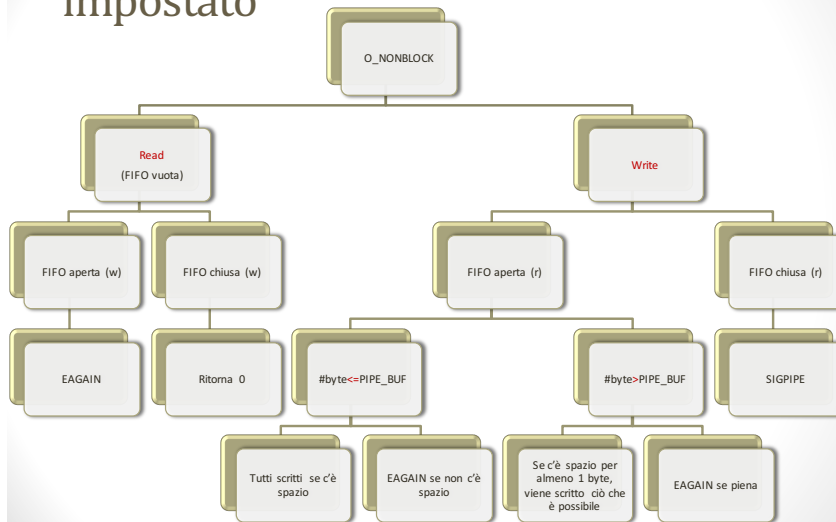
Leggere dalle FIFO non bloccanti

- L'utilizzo della modalità **O_NONBLOCK** influisce sul comportamento delle chiamate `read()` sulle FIFO
 - Una `read()` su una FIFO vuota **non bloccante**
 - Restituisce un errore (**EAGAIN**) se la FIFO è aperta in scrittura
 - Restituisce 0, se la FIFO non è aperta in scrittura

Scrivere sulle FIFO non bloccanti

- L'utilizzo della modalità **O_NONBLOCK** influisce sul comportamento delle chiamate `write()` sulle FIFO
 - Una `write()` su una FIFO non bloccante
 - Genera un segnale **SIGPIPE** se la FIFO non è aperta in lettura
 - Se la FIFO è aperta in lettura
 - Se il numero di byte da scrivere è \leq di **PIPE_BUF**
 - Se c'è spazio per il numero di byte specificato, sono trasferiti tutti i byte
 - Se non c'è spazio per tutti i byte specificati la `write()` ritorna immediatamente con un errore (**EAGAIN**)
 - Se il numero di byte è $>$ **PIPE_BUF**
 - Se c'è spazio per almeno 1 byte nella FIFO, il kernel trasferisce tanti byte quanto spazio c'è nella FIFO e la `write()` restituisce il numero di byte scritti
 - Se la FIFO è piena, ritorna immediatamente con l'errore **EAGAIN**

Lettura e scrittura con O_NONBLOCK impostato



Esempio: comunicazione tra due processi con FIFO (produttore-consumatore)

Produttore (fifo1.c): crea una FIFO se richiesto, poi vi scrive i dati quanto prima.

```
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <limits.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#define FIFO_NAME "/tmp/my_fifo"
#define BUFFER_SIZE PIPE_BUF
#define TEN_MEG (1024 * 1000 * 10)
int main(){
    int pipe_fd;
    int res;
    int open_mode = O_WRONLY;
    int bytes_sent = 0;
    char buffer[BUFFER_SIZE];
    if (access(FIFO_NAME, F_OK) == -1) {
        res = mkfifo(FIFO_NAME, 0777);
        if (res != 0) {
            printf("Could not create fifo %s\n", FIFO_NAME);
            exit(-1);
        }
    }
```

Esempio (cont.)

```
printf("Process %d opening FIFO O_WRONLY\n", getpid());
pipe_fd = open(FIFO_NAME, open_mode);
printf("Process %d result %d\n", getpid(), pipe_fd);
if (pipe_fd != -1) {
    while(bytes_sent < TEN_MEG) {
        // supponiamo che buffer sia riempito altrove
        res = write(pipe_fd, buffer, BUFFER_SIZE);
        if (res == -1) {
            printf("Write error on pipe\n");
            exit(1);
        }
        bytes_sent += res;
    }
    close(pipe_fd);
} else {
    exit(1);
}
printf("Process %d finished\n", getpid());
exit(1);
}
```

Esempio (cont.)

Consumatore (fifo2.c): legge ed elimina i dati dalla FIFO

```
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <limits.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#define FIFO_NAME "/tmp/my_fifo"
#define BUFFER_SIZE PIPE_BUF
int main(){
    int pipe_fd;
    int res;
    int open_mode = O_RDONLY;
    char buffer[BUFFER_SIZE];
    int bytes_read = 0;
    printf("Process %d opening FIFO O_RDONLY\n", getpid());
    pipe_fd = open(FIFO_NAME, open_mode);
    printf("Process %d result %d\n", getpid(), pipe_fd);
```

Esempio (cont.)

```
if (pipe_fd != -1) {
    do {
        res = read(pipe_fd, buffer, BUFFER_SIZE);
        bytes_read += res;
    } while (res > 0);
    close(pipe_fd);
}
else {
    exit(-1);
}
printf("Process %d finished,%d bytes read\n",getpid(),bytes_read);
exit(0);
}
```

Esempio (cont.)

```
$ ./fifo1 &
[1] 375
Process 375 opening FIFO O_WRONLY
$ ./fifo2
Process 377 opening FIFO O_RDONLY
Process 375 result 3
Process 377 result 3
Process 375 finished
Process 377 finished, 10485760 byte read
```

Esempio (cont.)

- Entrambi i programmi usano la FIFO in modo bloccante
- Iniziamo *fifo1* (lo scrittore/produttore) per primo, che si blocca, in attesa di un lettore che apra la FIFO
- Quando *fifo2* (il consumatore) è avviato, lo scrittore è sbloccato ed avvia la scrittura dei dati nella pipe
 - Nello stesso tempo, il lettore inizia a leggere i dati dalla pipe

Comunicazione Client-Server con FIFO

- Un utilizzo delle FIFO consiste nell'inviare i dati tra un client ed un server
 - Se abbiamo un server che è contattato da numerosi client, ogni client può scrivere la sua richiesta ad una FIFO che il server crea
 - Poiché possono esserci multipli scrittori per la FIFO, le richieste inviate dai client al server devono essere minori di `PIPE_BUF` byte di dimensione
- Previene intrecci delle scritture dei client

Comunicazione Client-Server con FIFO

- Vogliamo un singolo processo server che accetta richieste, le elabora, e restituisce i dati risultanti alla parte richiedente (il client)
- Vogliamo consentire a processi client multipli di inviare dati al server
 - Per semplicità assumiamo che i dati da elaborare siano spezzati in blocchi, ciascuno più piccolo di `PIPE_BUF` byte
- Poiché il server elaborerà solo un blocco di informazione per volta, consideriamo un'unica FIFO che è letta dal server e scritta da ciascun client
 - Aprendo la FIFO in modo bloccante, il server ed i client saranno automaticamente sincronizzati come richiesto
- Restituire i dati ai client è leggermente più difficile
 - Abbiamo bisogno di organizzare una seconda pipe, una per client, per i dati ritornati
 - Passando l'identificatore di processo (PID) del client nei dati originali inviati al server, entrambe le parti possono usarlo per generare il nome unico per la FIFO di ritorno

Esempio: client-server

- In primis, abbiamo bisogno di definire un file header **client.h** che definisce i dati comuni ai programmi client e server.

```
/* client.h */
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <limits.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#define SERVER_FIFO_NAME "/tmp/serv_fifo"
#define CLIENT_FIFO_NAME "/tmp/cli_%d_fifo"
#define BUFFER_SIZE 20
struct data_to_pass_st {
    pid_t client_pid;
    char some_data[BUFFER_SIZE];
};
```

/* server.c */

```
#include "client.h"
#include <ctype.h>
int main(){
    int server_fifo_fd, client_fifo_fd;
    struct data_to_pass_st my_data; // struttura da leggere e restituire
    int read_res;
    char client_fifo[256]; // per il nome della FIFO del client
    char *tmp_char_ptr;
    mkfifo(SERVER_FIFO_NAME, 0777);
    server_fifo_fd = open(SERVER_FIFO_NAME, O_RDONLY);
    if (server_fifo_fd == -1) {
        printf("Server fifo failure\n");
        exit(1);
    }
    sleep(10); // accodiamo i client per scopi dimostrativi
    do {
        read_res = read(server_fifo_fd, &my_data, sizeof(my_data));
        if (read_res > 0) {
            /* In questa prossima fase, eseguiamo qualche operazione sui dati appena
            letti dal client. Convertiamo tutti i caratteri in lettere maiuscole e
            combiniamo il CLIENT_FIFO_NAME con il pid del client ricevuto. */
```

/* server.c */ (cont.)

```
tmp_char_ptr = my_data.some_data;
while (*tmp_char_ptr) {
    *tmp_char_ptr = toupper(*tmp_char_ptr);
    tmp_char_ptr++;
}
sprintf(client_fifo, CLIENT_FIFO_NAME, my_data.client_pid);
```


/* server.c */ (cont.)

```
/* Poi restituiamo i dati elaborati aprendo la pipe del
client in sola scrittura e modalità bloccante. Infine
arrestiamo la FIFO del server chiudendo il file e
facendo l'unlink della FIFO. */
client_fifo_fd = open(client_fifo, O_WRONLY);
if (client_fifo_fd != -1) {
    write(client_fifo_fd, &my_data, sizeof(my_data));
    close(client_fifo_fd);
}
}
while (read_res > 0); /* chiude il do */
close(server_fifo_fd);
unlink(SERVER_FIFO_NAME);
exit(0);
}
```

33

/* client.c */

```
#include "client.h"
#include <ctype.h>
int main(){
    int server_fifo_fd, client_fifo_fd;
    struct data_to_pass_st my_data;
    char client_fifo[256];
    server_fifo_fd = open(SERVER_FIFO_NAME, O_WRONLY);
    if (server_fifo_fd == -1)
    { fprintf(stderr, "Sorry, no server\n");
      exit(1);
    }
    my_data.client_pid = getpid();
    sprintf(client_fifo, CLIENT_FIFO_NAME, my_data.client_pid);
    if (mkfifo(client_fifo, 0777) == -1)
    {
        fprintf(stderr, "Sorry, can't make %s\n", client_fifo);
        exit(1);
    }
    /* I dati dei client sono inviati al server.
    Successivamente è aperta la FIFO client (sola lettura,
    modalità bloccante) ed i dati sono letti dal client.
    Infine, la FIFO del server è chiusa e la FIFO client
    rimossa dalla memoria. */
```

34

/* client.c */ (cont.)

```
sprintf(my_data.some_data, "Hello from %d", my_data.client_pid);
printf("%d sent %s, ", my_data.client_pid, my_data.some_data);
write(server_fifo_fd, &my_data, sizeof(my_data));
client_fifo_fd = open(client_fifo, O_RDONLY);
if (client_fifo_fd != -1) {
    if (read(client_fifo_fd, &my_data, sizeof(my_data)) > 0)
        printf("received: %s\n", my_data.some_data);
    close(client_fifo_fd);
}
close(server_fifo_fd);
unlink(client_fifo);
exit(0);
}
/* sprintf identica a printf tranne per il fatto che l'output
viene inserito nell'array puntato da my_data.some_data
invece che su stdout */
```

35

Client-Server in esecuzione

- Per testare l'applicazione, eseguiamo una copia singola del server e più copie dei client
- Per avviarli e chiuderli tutti nello stesso tempo usiamo i seguenti comandi di shell

```
$ server &
$ for i in 1 2 3 4 5
do
client &
done
$
```

36

Client-server in esecuzione (2)

- Partono 1 processo server e 5 processi client

```
531 sent Hello from 531, received: HELLO FROM 531
532 sent Hello from 532, received: HELLO FROM 532
529 sent Hello from 529, received: HELLO FROM 529
530 sent Hello from 530, received: HELLO FROM 530
533 sent Hello from 533, received: HELLO FROM 533
```

- Le diverse richieste dei client sono intrecciate (interleaved) ed ogni client riceve gli opportuni dati ad esso restituiti

Client-server

- Il server crea la sua FIFO in modalità a sola lettura e si blocca
 - Ciò avviene fino a che il primo client si connette aprendo la stessa FIFO in scrittura
 - A quel punto, il processo del server si sblocca ed è eseguita una **sleep** in modo che le scritture dei client si accodano (la **sleep** non è usata nelle applicazioni reali)
 - Nel frattempo, dopo che il client ha aperto la FIFO del server, esso crea la propria FIFO identificata univocamente per leggere i dati provenienti dal server
 - Solo allora il client scrive i dati al server (bloccandosi se la pipe è piena) e dopo si blocca su una lettura della propria FIFO, in attesa della risposta

Client-server (cont.)

- Ricevendo i dati dal client, il server li elabora, apre la FIFO del client per la scrittura e scrive i dati
 - Ciò sblocca il client
 - Quando il client è sbloccato, esso può leggere dalla sua FIFO i dati scritti in essa dal server
- L'intero processo si ripete fino a che l'ultimo client chiude la pipe del server, provocando un fallimento della lettura del server (restituisce 0) poiché nessun processo ha la pipe del server aperta in scrittura
- Se questo fosse un processo server reale che necessita di aspettare altri client, dovremmo modificarlo per:
 - Aprire la propria FIFO in scrittura, in modo che la lettura si blocca sempre piuttosto che ritornare 0, oppure
 - Chiudere e riaprire la FIFO del server quando **read()** restituisce 0 byte, così il processo server si blocca con la open in attesa di un client

Esercizio 1

- Scrivere un programma che gestisce il comportamento di un padre e due figli (fpari e fdispari); il padre legge numeri positivi da tastiera fino a che non arriva un numero negativo
 - se il numero è pari lo manda al figlio pari
 - altrimenti lo manda al figlio dispari
- I figli effettuano le somme parziali, quindi rimandano le somme al padre che calcola la somma totale e la stampa a video

Esercizio 2

- Un processo padre crea N (N numero pari) processi figli. Ciascun processo figlio P_i e' identificato da una variabile intera i ($i=0,1,2,3,\dots,N-1$).
- E' necessario gestire due casi, sulla base di un argomento da riga di comando:
 1. Se $\text{argv}[1]$ è uguale ad 'a' ogni processo figlio P_i , con i pari, manda un segnale (SIGUSR1) al processo P_{i+1} ;
 2. Se $\text{argv}[1]$ è uguale a 'b' ogni processo figlio P_i con $i < N/2$ manda un segnale (SIGUSR1) al processo $P_{i + N/2}$