Inter Process Communications

Most slides have been adapted from
«The Linux Programming interface: A Linux and UNIX® System Programming Handbook», Michael Kerrisk

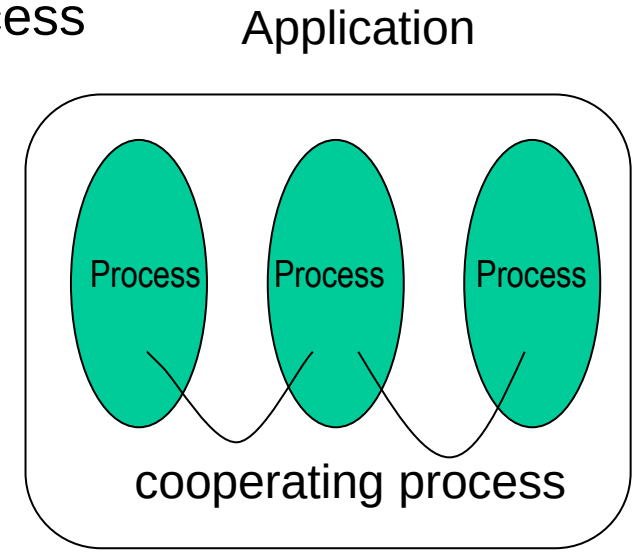
Sistemi di Calcolo 2
Riccardo Lazzeretti

Process Address Space

- A process can only access its address space
- Each process has its own address space
- Kernel can access everything

Cooperating Processes and the need for Interprocess Communication

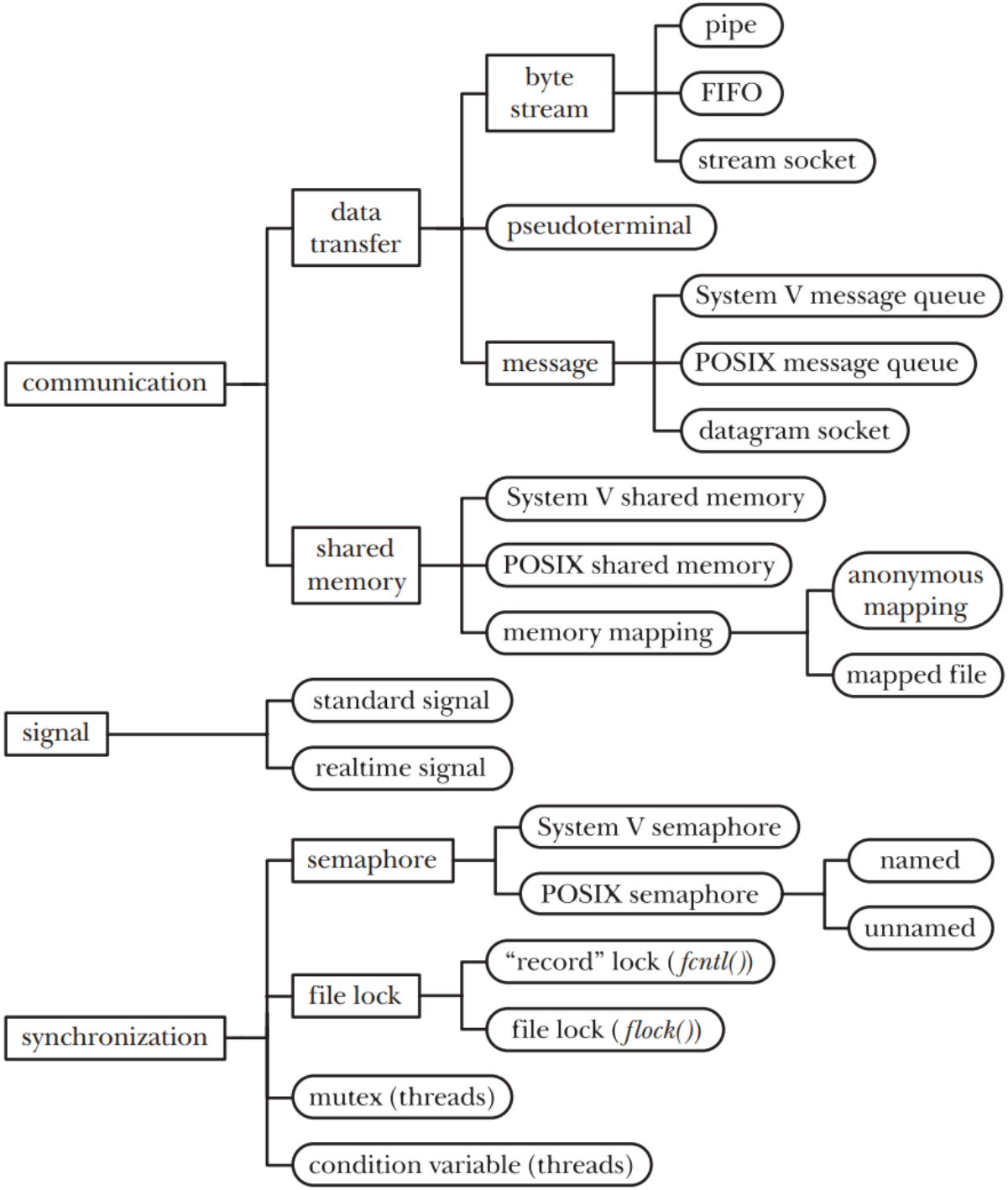
- Processes within a system may be **independent** or **cooperating**
  - **Independent** process cannot affect or be affected by the execution of another process
  - **Cooperating** process can affect or be affected by the execution of another process
- Reasons for process cooperation
  - Information **sharing**
  - Computation **speed-up**
  - **Modularity** (application will be divided into modules/sub-tasks)
  - **Convenience** (may be better to work with multiple processes)



The overall application is designed to consist of cooperating processes

Inter-process Communication (IPC)

Mechanism for processes to communicate and to synchronize their actions.


communication
data transfer
byte stream
pipe
FIFO
stream socket
pseudoterminal
message
System V message queue
POSIX message queue
datagram socket
shared memory
System V shared memory
POSIX shared memory
memory mapping
anonymous mapping
mapped file
signal
standard signal
realtime signal
synchronization
semaphore
System V semaphore
POSIX semaphore
named
unnamed
file lock
"record" lock (fcntl())
file lock (flock())
mutex (threads)
condition variable (threads)

IPC Mechanisms

- Cooperating processes require a facility/mechanism for inter-process communication (IPC)

- There are two basic IPC models provided by most systems:

  1) Shared memory model

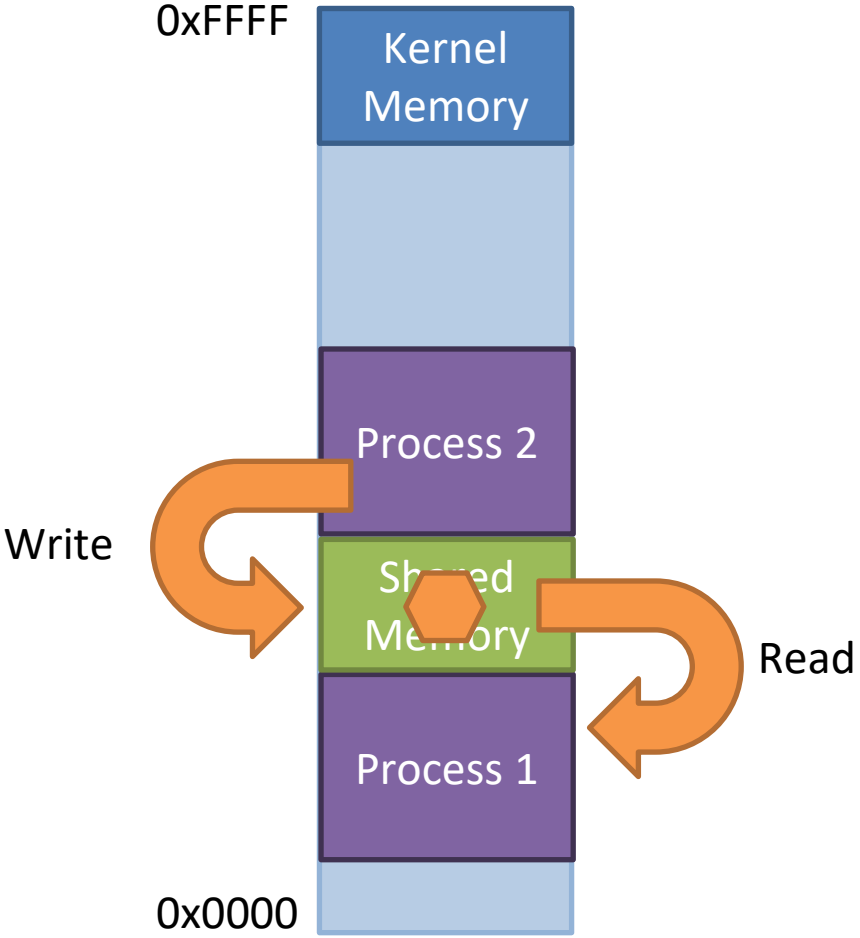
     processes use a shared memory to exchange data

  2) Message passing model

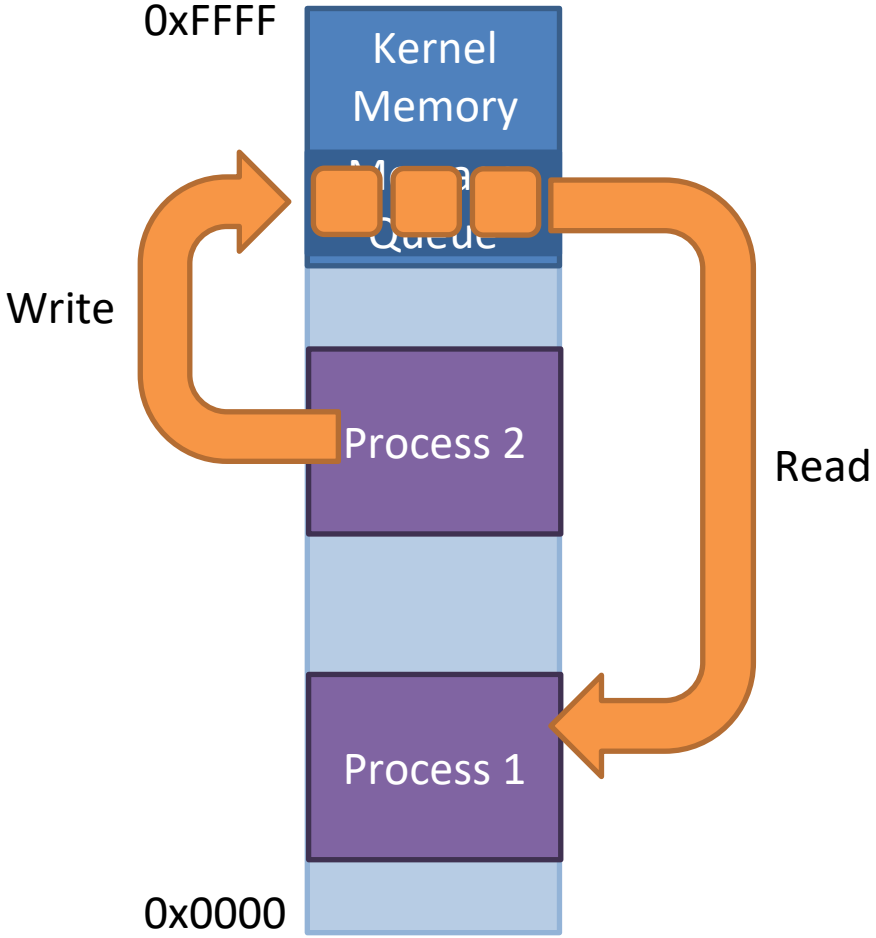
     processes send messages to each other through the kernel

Communication models

Shared Memory

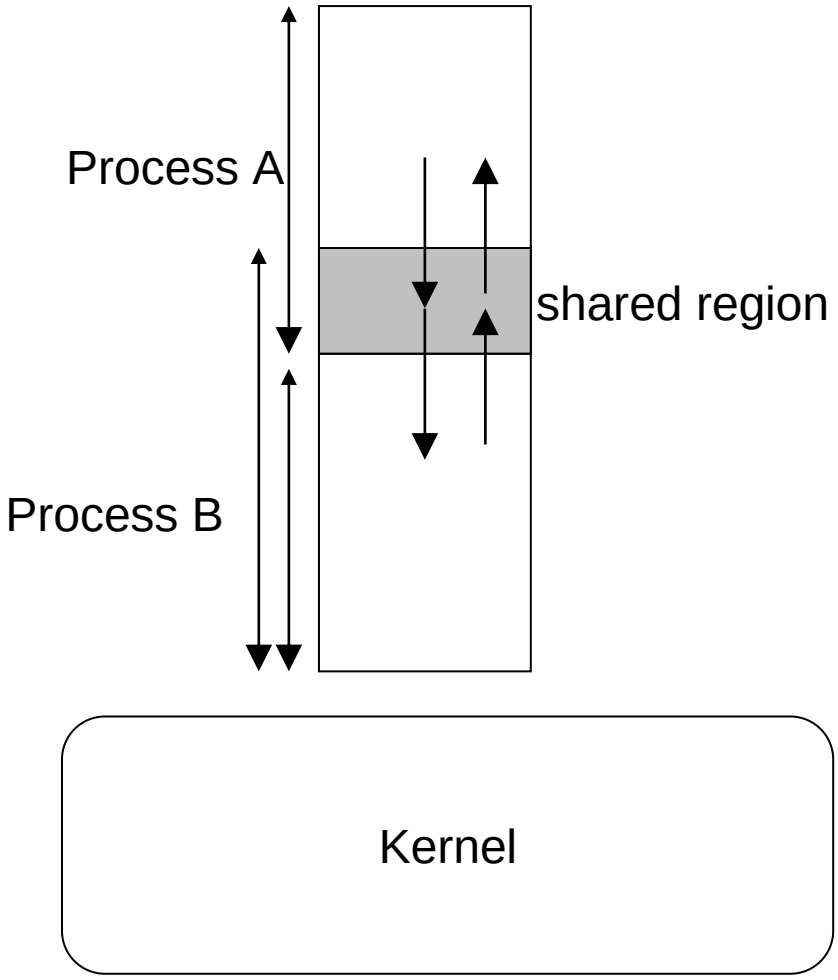


Message Passing



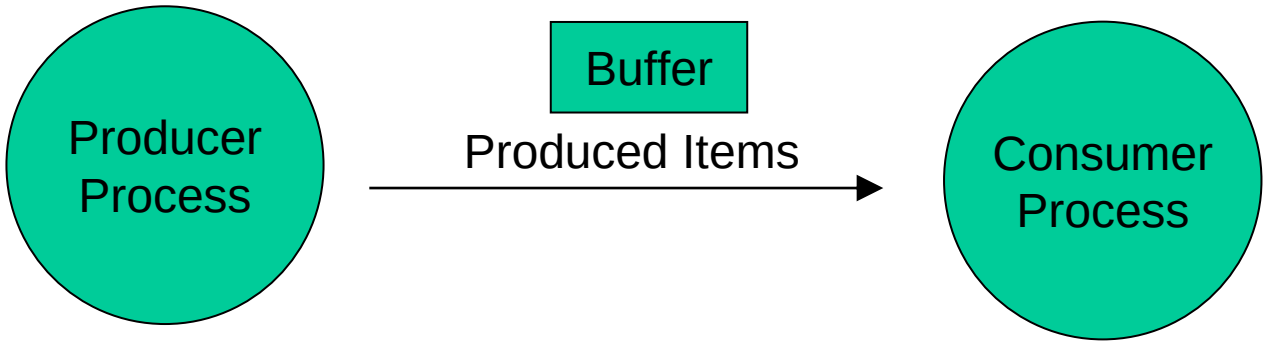
Shared Memory IPC Mechanism

- A **region of shared memory** is established between (among) two or more processes.
  - via the help of the operating system kernel (i.e. **system calls**).
- Processes can **read** and **write** shared memory region (segment) directly as ordinary memory access (**pointer** access)
  - During this time, kernel is not involved.
  - Hence it is fast



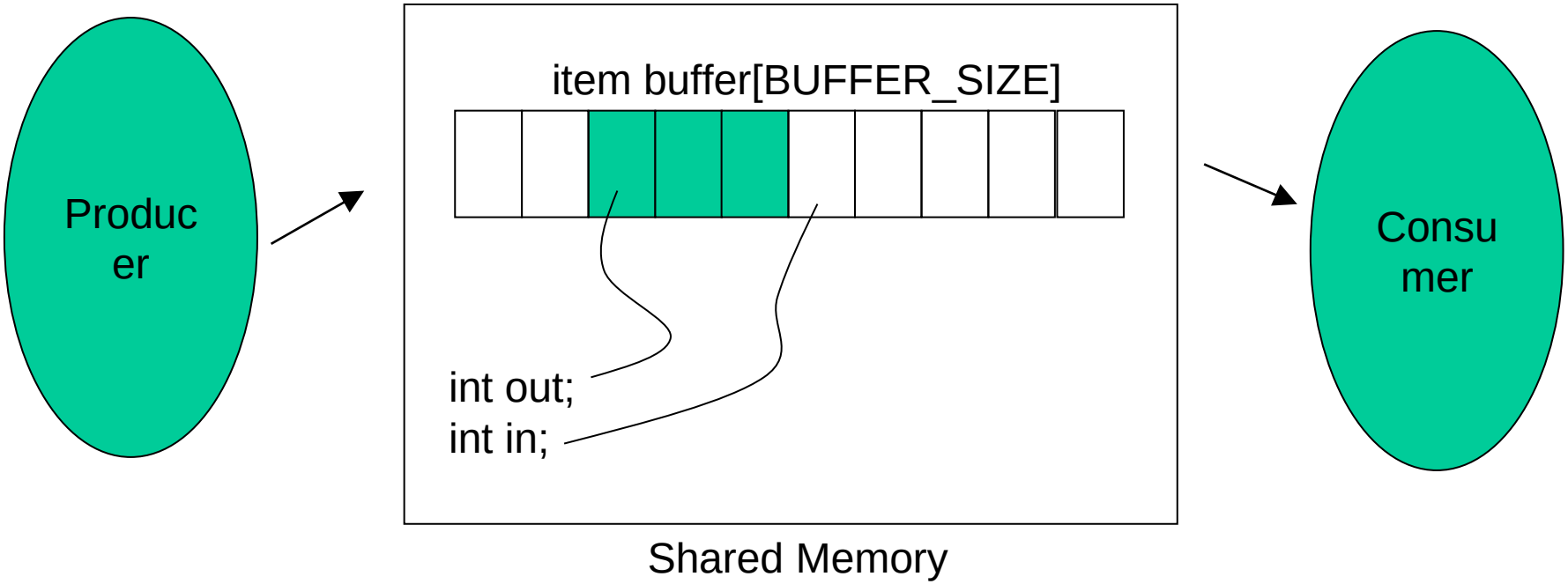
Shared Memory IPC Mechanism

- To illustrate use of an IPC mechanism, a general model problem, we use the **producer-consumer problem with bounded buffer**



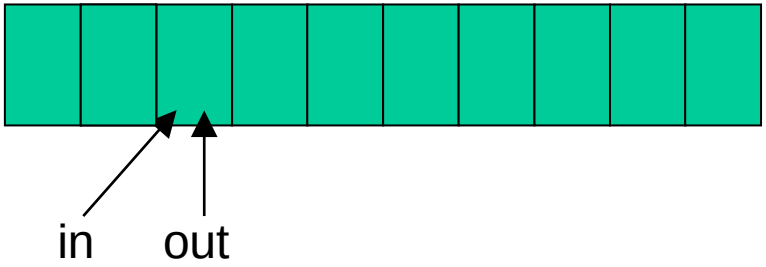
We can solve this problem via shared memory IPC mechanism

Buffer State in Shared Memory



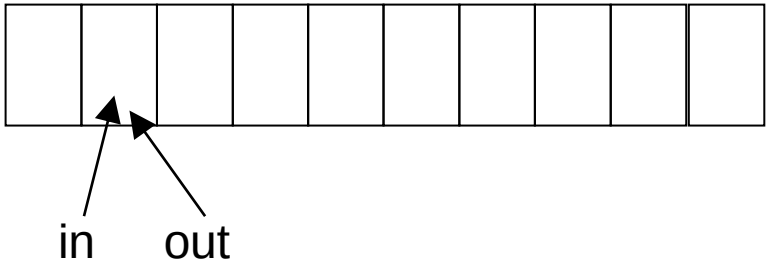
Buffer State in Shared Memory

Buffer Full



in == out; sem_empty.val == 0; sem_filled.val == BUFFER_SIZE

Buffer Empty

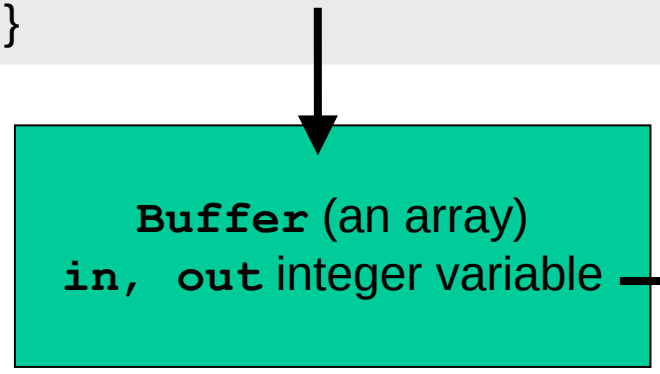


in == out; sem_empty.val == BUFFER_SIZE; sem_filled.val == 0

Bounded-Buffer – Producer and Consumer Code

Producer

```
while (true) {
        /* Produce an item */
        sem_wait(sem_empty); %named semaphores
        sem_wait(sem_cs);
        writeToBuffer (ITEM);
        in = (in+1) % BUFFER_size;
        sem_signal(sem_cs);
        sem_signal(sem_filled);
}
```



Shared Memory

Consumer

```
while (true) {
        sem_wait(sem_filled);
        sem_wait(sem_cs);
        readFromBuffer (ITEM);
        out = (out +1) % BUFFER_size;
        sem_signal(sem_cs);
        sem_signal(sem_empty);
        /* Consume the item */
   }
```

Posix Shared Memory API

- shm_open() – create and/or open a shared memory page
  - Returns a file descriptor for the shared page
  - We can create a private shared memory
    - Only child processes can access the SHM too
- ltrunc() or ftruncate() – limit the size of the shared memory page
- mmap() – map the memory page into the processes address space
  - Now you can read/write the page using a pointer
- close() – close a file descriptor
- shm_unlink() – remove a shared page
  - Processes with open references may still access the page

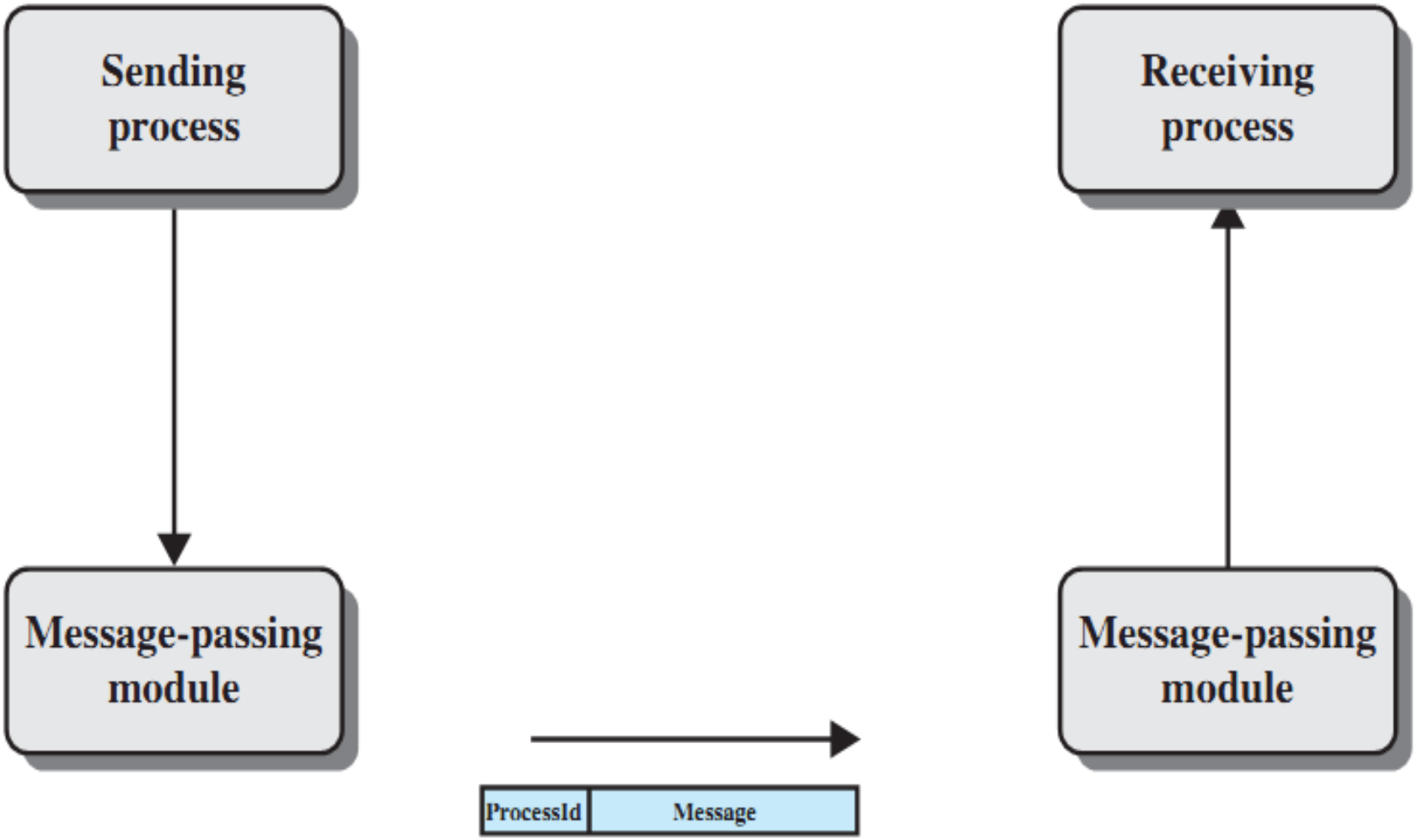
```
/* Program to write some data in shared memory */
int main() {
        const int SIZE = 4096;

        const char * name = “MY_PAGE”;
        const char * msg = “Hello World!”;
        int shm_fd;
        char * ptr;

        shm_fd = shm_open(name, O_CREAT | O_RDWR, 0666);
        ftruncate(shm_fd, SIZE);
        ptr = (char *) mmap(0, SIZE, PROT_WRITE,
                MAP_SHARED, shm_fd, 0);
        sprintf(ptr, “%s”, msg);
        close(shm_fd);
        return 0;
}
```

```
/* Program to read some data from shared memory */
int main() {
        const int SIZE = 4096;

        const char * name = “MY_PAGE”;
        int shm_fd;
        char * ptr;

        shm_fd = shm_open(name, O_RDONLY, 0666);
        ptr = (char *) mmap(0, SIZE, PROT_READ,
                MAP_SHARED, shm_fd, 0);
        printf(“%s\n”, ptr);
        close(shm_fd);
        shm_unlink(shm_fd);
        return 0;
}
```

Message Passing IPC Mechanisms

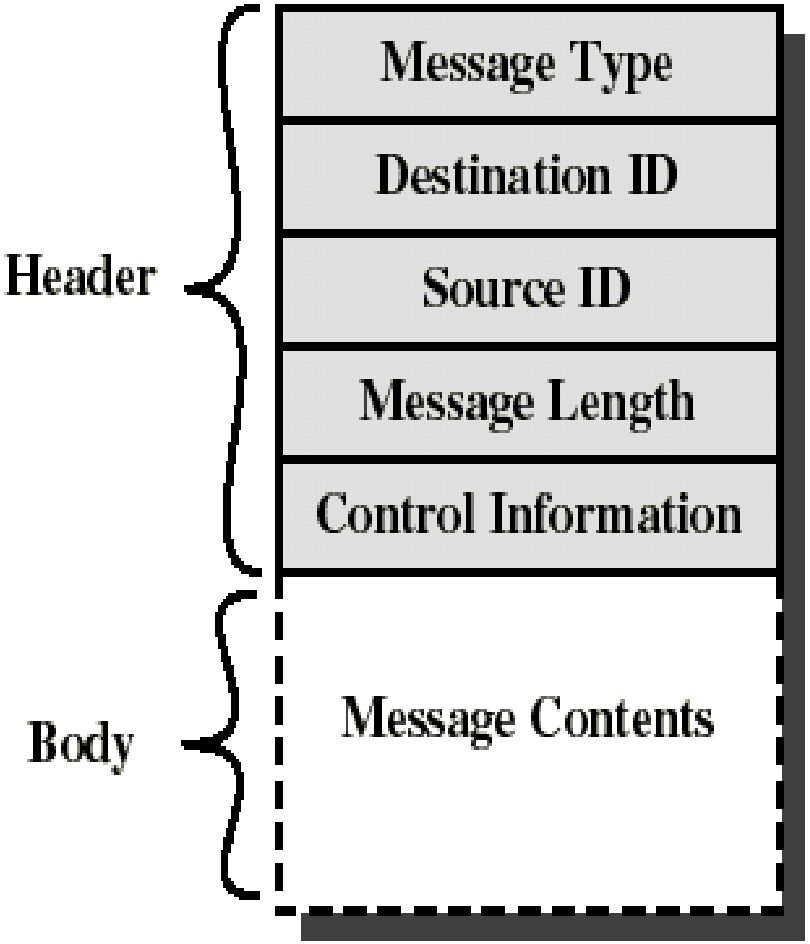
- Message system – processes communicate with each other without resorting to shared variables.
- We have at least two primitives:
  - **send**(*destination*, *message*) or **send**(*message*)
  - **receive**(*source, message*) or **receive**(*message*)
- Message size is fixed or variable.

Basic Message-passing Primitives



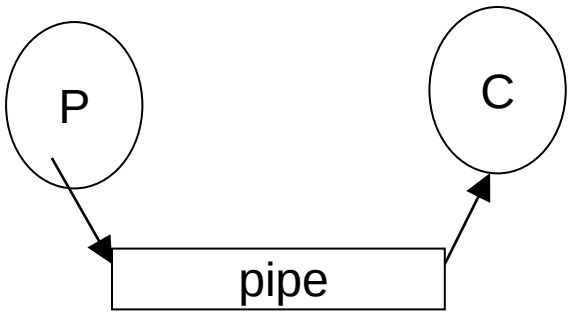
Message format

- Consists of header and body of message.
- In Unix: no ID, only message type.
- Control info:
  - what to do if run out of buffer space.
  - sequence numbers.
  - priority.
- **Queuing discipline: usually FIFO but can also include priorities.**



Message Passing: pipes

- Piped and Named-Pipes (FIFOs)
- In Unix/Linux:
  - A **pipe** enables one-way communication between a parent and child
  - It is easy to use.
  - When process terminates, pipe is removed automatically
  - **pipe()** system call



Concetti di base sulle PIPE (1/2)

- permettono a più processi di comunicare come se stessero accedendo a dei file sequenziali
- il termine “pipe” significa tubo in Inglese, e la comunicazione avviene in modo monodirezionale
- una volta lette, le informazioni spariscono dalla PIPE e non possono più ripresentarsi
  - a meno che non vengano riscritte all'altra estremità del tubo
- a livello di OS, le PIPE non sono altro che buffer di dimensione più o meno grande (solitamente 4096 byte)
  - quindi è possibile che un processo venga bloccato se tenta di scrivere su una PIPE piena

Concetti di base sulle PIPE (2/2)

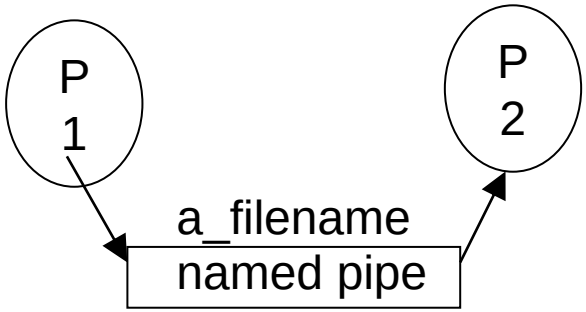
- i processi che usano una PIPE devono essere “relazionati” come conseguenza di operazioni fork()
- le named PIPE (FIFO) permettono la comunicazione anche tra processi non relazionati
- in sistemi UNIX l’uso delle PIPE avviene attraverso la nozione di descrittore

IPC methods: Pipes

- File-like abstraction for sending data between processes
  - Can be read or written to, just like a file
  - Permissions controlled by the creating process
- Two types of pipes
  - Named pipe: any process can attach as long as it knows the name
    - Typically used for long lived IPC
  - Unnamed/anonymous pipe: only exists between a parent and its children
- Full or half-duplex
  - Can one or both ends of the pipe be read?
  - Can one or both ends of the pipe be written?

IPC methods: named-pipes (FIFOs)

- A **named-pipe** is called FIFO.
- It has a name
- When processes terminate, it is not removed automatically
- No need for parent-child relationship
- birectional
- Any two process can create and use named pipes.



PIPE nei Sistemi UNIX

int pipe(int fd[2])

Descrizione invoca la creazione di una PIPE

Argomenti fd: puntatore ad un buffer di due interi
- fd[0] : descrittore di lettura dalla PIPE
- fd[1]: descrittore di scrittura sulla PIPE

Restituzione -1 in caso di fallimento, 0 altrimenti

fd[0] è un canale aperto in lettura che consente ad un processo di leggere dati da una PIPE

fd[1] è un canale aperto in scrittura che consente ad un processo di immettere dati sulla PIPE

fd[0] e fd[1] possono essere usati come normali descrittori di file tramite le chiamate read() e write()

Lettura e scrittura

- Un processo che provi a leggere da una pipe vuota rimane bloccato finché non ci sono dati disponibili
- Un processo che provi a scrivere su una pipe piena rimane bloccato finché un altro processo non ha letto (e rimosso) abbastanza dati da permettere la scrittura
- Una pipe ha una dimensione massima equivalente a 16 pagine di memoria in linux
    - 65,536 byte in un sistema con una page size di 4096 byte

- E’ possibile rendere la lettura e la scrittura non bloccanti (non in questo corso)
- E’ possibile cambiare la dimensione della pipe

Attenzione alle scritture!!!

- Una scrittura di n<=PIPE_BUF byte è atomica
  - PIPE_BUF = 4096 byte
  - Si blocca se non ci sono n byte disponibili
- Una scrittura di n>PIPE_BUF byte si potrebbe inframezzare con altre write()
  - Il processo rimane bloccato finchè non sono stati scritti tutti gli n byte

- Nel caso di write non bloccanti
  - Se n<=PIPE_BUF ma non ci sono n byte disponibili write() fallisce e setta errno
  - Se n>PIPE_BUF potrebbe risultare in una scrittura parziale (ma non in un errore)

Avvertenze

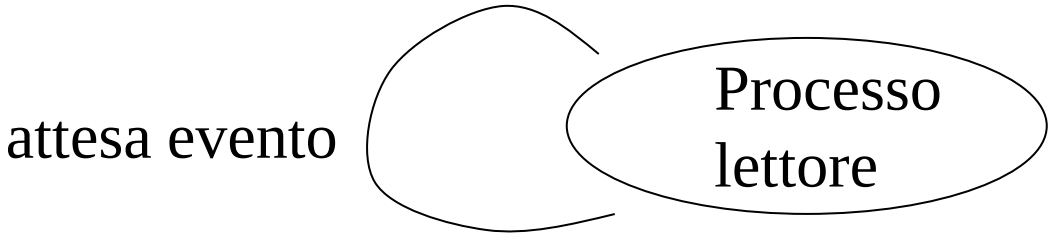
- le PIPE non sono dispositivi fisici, ma logici, pertanto viene spontaneo chiedersi come un processo sia in grado di vedere la fine di un “file” su una PIPE
- per convenzione, ciò avviene quando tutti i processi scrittori che condividevano il descrittore fd[1] lo hanno chiuso
- in questo caso la chiamata read() effettuata da un lettore restituisce zero come notifica dell'evento che tutti gli scrittori hanno terminato il loro lavoro
- allo stesso modo, un processo scrittore che tenti di scrivere sul descrittore fd[1] quando tutte le copie del descrittore fd[0] siano state chiuse (non ci sono lettori sulla PIPE), riceve il segnale SIGPIPE, altrimenti detto «Broken pipe»

PIPE e deadlock

Per fare in modo che tutto funzioni correttamente e non si verifichino situazioni di deadlock, è necessario che tutti i processi chiudano i descrittori di PIPE che non gli servono, usando una normale close()

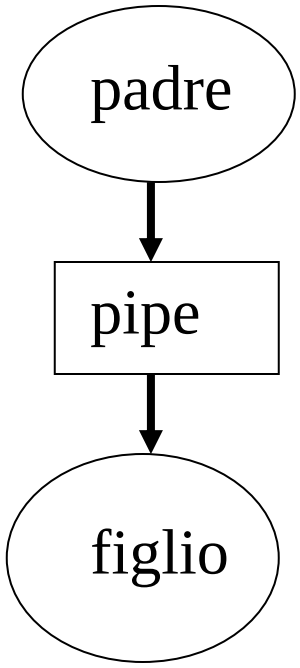
Si noti che ogni processo lettore che erediti la coppia (fd[0],fd[1]) deve chiudere la propria copia di fd[1] prima di mettersi a leggere da fd[0] dichiarando così di non essere uno scrittore

Se così non facesse, l'evento "tutti gli scrittori hanno terminato" non potrebbe mai avvenire se il lettore è impegnato a leggere,
e si potrebbe avere un deadlock



Un esempio: trasferimento stringhe tramite PIPE

```
#include <stdio.h>
#define Errore_(x) { puts(x); exit(1); }

int main(int argc, char *argv[]) {
    char messaggio[30];   int  pid, status, fd[2];

    ret = pipe(fd); /* crea una PIPE */
    if ( ret == -1 )
        Errore_("Errore nella creazione pipe");

    pid = fork(); /* crea un processo figlio */
    if ( pid == -1 ) Errore_("Errore nella fork");

    if ( pid == 0 ) { /* processo figlio: lettore */
        close(fd[1]); /* il lettore chiude fd[1] */
        while( read(fd[0], messaggio, 30) > 0 )
            printf("letto messaggio: %s", messaggio);
        close(fd[0]);
        _exit();
    }
```



……continua

```
    /* processo padre: scrittore */
    else {

        close(fd[0]);
        puts("digitare testo da trasferire (quit per
terminare):");

        do {
            fgets(messaggio,30,stdin);
            write(fd[1], messaggio, 30);
            printf("scritto messaggio: %s", messaggio);
        } while( strcmp(messaggio,"quit\n") != 0 );

        close(fd[1]);
        wait(&status);
    }

}
```

Named PIPE (FIFO) in Sistemi UNIX

int mkfifo(char *name, int mode)

Descrizione invoca la creazione di una FIFO

Argomenti 1) *name: nome della FIFO da creare
2) mode: specifica i permessi di accesso alla FIFO

Restituzione -1 in caso di fallimento, 0 altrimenti

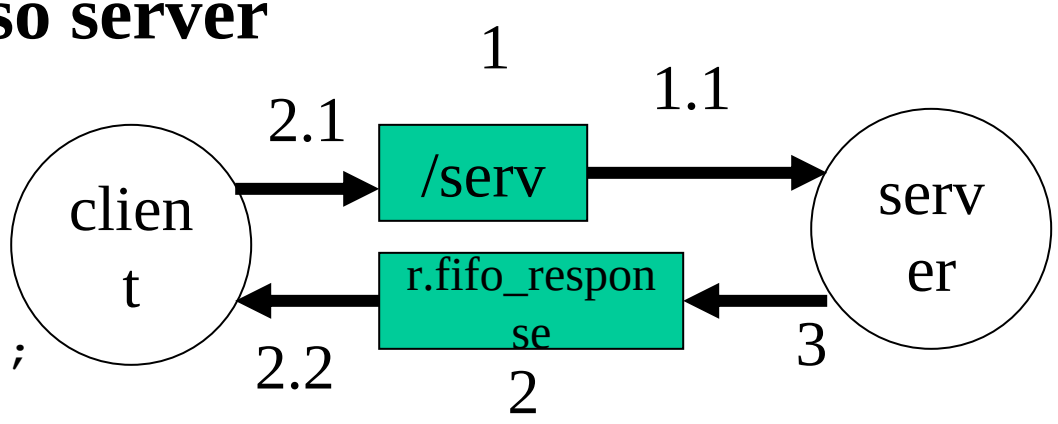
La rimozione di una FIFO dal file system avviene mediate la chiamata di sistema unlink()

Avvertenze

- normalmente, l’apertura di una FIFO è bloccante, nel senso che il processo che tenti di aprirla in lettura (scrittura) viene bloccato fino a quando un altro processo non la apre in scrittura (lettura)
- se si vuole inibire questo comportamento è possibile aggiungere il flag O_NONBLOCK al valore del parametro mode passato alla system call open() su di una FIFO
- ogni FIFO deve avere sia un lettore che uno scrittore: se un processo tenta di scrivere su una FIFO che non ha un lettore esso riceve il “segnale SIGPIPE” da parte del sistema operativo

Un esempio: client/server tramite FIFO

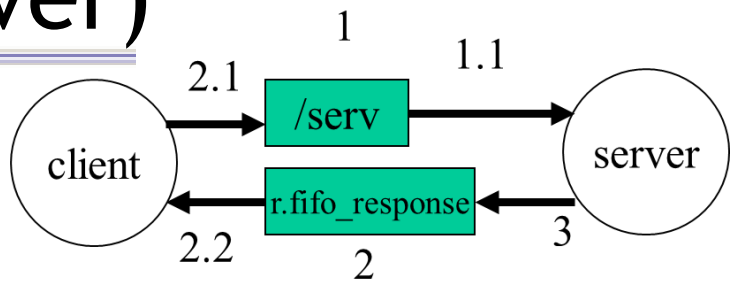
Processo server




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

typedef struct {
    long type;
    char fifo_response[20];
} request;

int main(int argc, char *argv[]){
    char  *response = "fatto";
    int pid, fd, fdc, ret;
    request r;

    ret = mkfifo(“/serv", 0666);
    if ( ret == -1 ) {
        printf("Errore nella chiamata mkfifo\n");
        exit(1);
    }
```

1

.....continua (Processo Server)

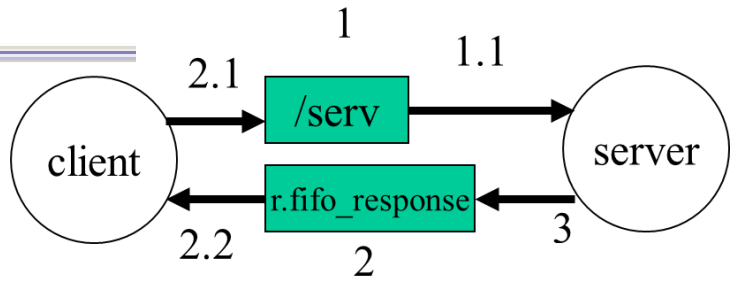



```
    fd = open("/serv",O_RDONLY);

    while(1) {
        ret = read(fd, &r, sizeof(request));
        if (ret != 0) {
              printf("Richiesto un servizio (fifo di restituzione = %s)\n",
                    r.fifo_response);
              /* switch sul tipo di servizio */
              sleep(10); /* emulazione di ritardo per il servizio */
              fdc = open(r.fifo_response,O_WRONLY);
              write(fdc, response, 20);
              close(fdc);
              exit(0);
        } /* end if (ret != 0) */

    }
}
```

1.1

3

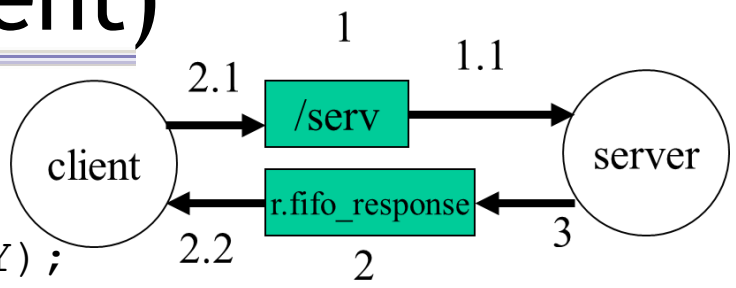
Processo client




```
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
typedef struct { long type; char fifo_response[20]; } request;

int main(int argc, char *argv[]) {
    int pid, fd, fdc, ret;   request r;   char response[20];

    printf("Selezionare un carattere alfabetico minuscolo: ");
    scanf("%s",r.fifo_response);
    if (r.fifo_response[0] > 'z' || r.fifo_response[0] < 'a' ) {
        printf("carattere selezionato non valido, ricominciare operazione\n");
        exit(1);
    }
    r.fifo_response[1] = '\0';
    ret = mkfifo(r.fifo_response, 0666);
    if ( ret == -1 ) {
        printf("\n servente sovraccarico - riprovare \n");
        exit(1);
    }
```

2

.....continua (Processo Client)




```
fd = open("/serv",O_WRONLY);
if ( fd == -1 ) {
    printf("\n servizio non disponibile \n");
    ret = unlink(r.fifo_response);
    exit(1);
}

write(fd, &r, sizeof(request));
close(fd);

fdc = open(r.fifo_response,O_RDONLY);
read(fdc, response, 20);
printf("risposta = %s\n", response);

close(fdc);
unlink(r.fifo_response);
}
```

2.1

2.2

Confronto tra pipe e FIFO

- L’apertura di una pipe comporta ottenere sia il descrittore per la lettura che quello per la scrittura
    - Bisogna poi chiudere quello che non viene usato
- L’apertura di una FIFO avviene in lettura o in scrittura
- Nella gestione si differenziano solo nella fase di apertura e chiusura
    - Lettura e scrittura avvengono nello stesso modo