Programmazione di sistema in Linux: System Call per le IPC (InterProcessCommunication)

E. Mumolo

Tipi di IPC

- PIPE
- FIFO
- Shared Memory
  - shm_open() + mmap(), shm_unlink(), munmap()
- Semafori
  - sem_open(), sem_close(), sem_unlink(), sem_post(), sem_wait(),
- Segnali
- Scambio di Messaggi
  - mq_open(), mq_close(), mq_send(), unlink(), mq_receive(), sem_init()
- Socket

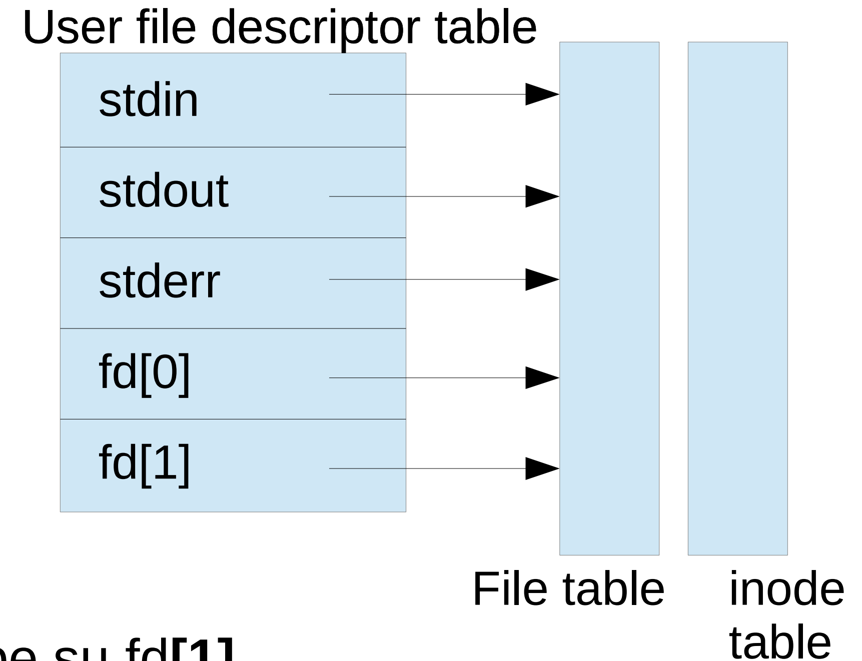
Pipe

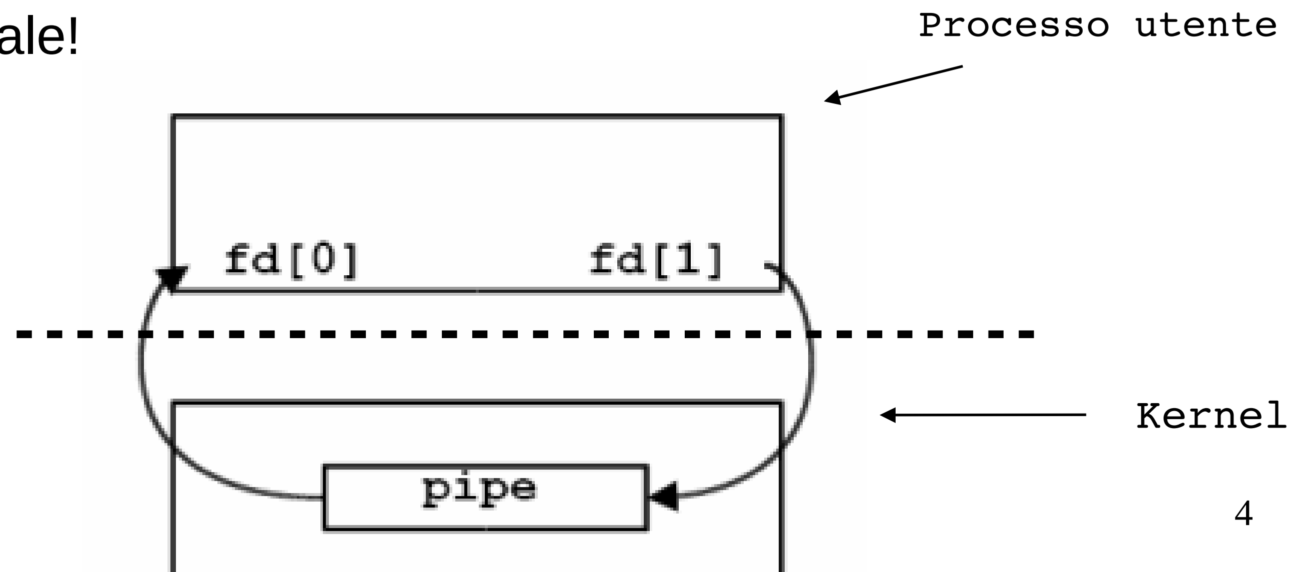
- **Cos'è un pipe?**
  - E' un canale di comunicazione che unisce due processi
- **Caratteristiche:**
  - La più vecchia e la più usata forma di interprocess communication (IPC) introdotta in Unix
- Limitazioni
  - Sono half-duplex (comunicazione in un solo senso)
  - **Utilizzabili solo tra processi con un "antenato" in comune**
- Come superare queste limitazioni?
  - Gli *stream pipe* sono full-duplex
  - *FIFO* (*named pipe*) possono essere utilizzati tra più processi
  - *named stream pipe* = stream pipe + FIFO

Pipe

```
#include <unistd.h>
int pipe(int fd[2]);
```

- Ritorna due descrittori di file attraverso l'argomento **fd**
  - **fd[0]** è aperto in lettura
  - **fd[1]** è aperto in scrittura
  - Leggo la pipe da fd**[0]**. Scrivo nella pipe su fd**[1]**
- La pipe è monodirezionale!
- Implementa il modello PRODUTTORE CONSUMATORE



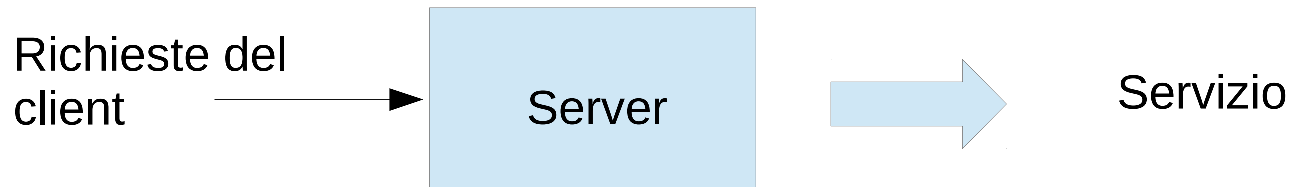


Comunicazione IPC client server con PIPE

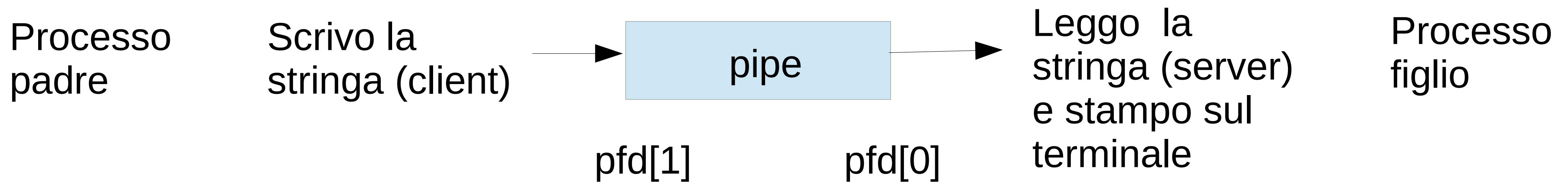
- Il client chiede un servizio
- Il server effettua il servizio
- Semplici servizi:
  - Stampa
  - File
  - Draw
  - …
- Comunicazioni tipiche tra client server:
  - Rete di comunicazione
  - Pipe
  - Fifo
  - ..

Comunicazione IPC client server con PIPE

- Modello:



- Con Pipe:



- Sincronizzazione produttore-consumatore

Codice

```
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#define MAXLINE 1024
//ipc-pipe-1.c
int main(int argc, char *argv[])
{
    int n, pfd[2];
    pid_t pid;
    char line[MAXLINE], msg[80];

    strcpy(msg,argv[1]);  /* copia la stringa data in linea */
    if (pipe(pfd) < 0) {perror("pipe"); exit(0);}
    if ( (pid = fork()) < 0) {perror("pipe"); exit(0);}
    else if (pid > 0) { /* client = padre */
        close(pfd[0]);
        printf("sono il padre. Sto scrivendo il messaggio nella pipe\n");
        sleep(2); /* aspetto a scrivere */
        write(pfd[1], msg, sizeof(msg));
        wait();
    } else { /* server = figlio */
        close(pfd[1]);
        printf("sono il processo figlio. Aspetto il messaggio\n");
        n = read(pfd[0], line, MAXLINE);
        printf("ricevuto: %s\n", line);
    }
    exit(0);
}
```

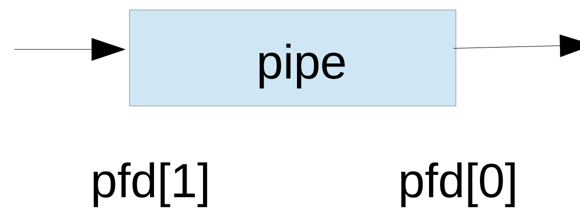
Chiudo I descrittori che non servono

La lettura della pipe aspetta che ci sia qualcosa dentro

Invio di un file con approccio client-server

Processo
padre

Scrivo il file
sulla pipe
(client)



Leggo il file
dalla pipe
(server)
e stampo sul
terminale

Processo
figlio

Invio di un file con approccio client-server

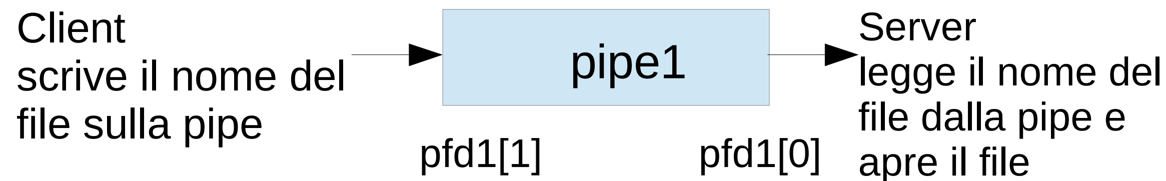
```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#define maxsize 1000

char buffer [maxsize];
int main(){
    int pfd[2], pid, status;

    pipe(pfd);
    pid=fork();
    if(pid>0)    {
        close(pfd[1]);
        server(pfd[0]);
        wait(&status);
        exit(0);
    }
    else    {
        close(pfd[0]);
        sleep(1); /* il client aspetta mentre il server legge la pipe */
        client(pfd[1]);
        exit(0);
    }

}
```

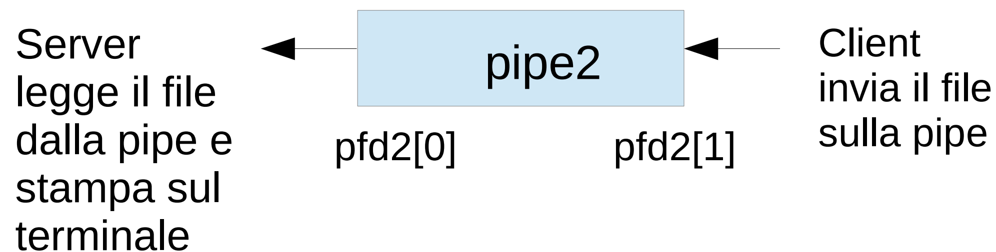
```
void server(int readfd){
   while (read(readfd,buffer,sizeof(buffer)) > 0)
        printf("%s",buffer);
   printf("\n");
}
```

```
void client(int writefd){
   FILE * fp;
   char line[1000];

   fp=fopen("/home/mumolo/testsmall.txt","r");
   while(fgets(line,sizeof(line),fp)!=NULL)
       write(writefd,line,sizeof(line));
}
```

Pipe bidirezionali

- La pipe è monodirezionale!
- L'unico modo per avere pipe bidirezionali è di averne due, una per ogni direzione
- Per esempio: scriviamo il nome del file che vogliamo leggere in una direzione
- Scriviamo il contenuto del file nell'altra direzione





Pipe bidirezionali

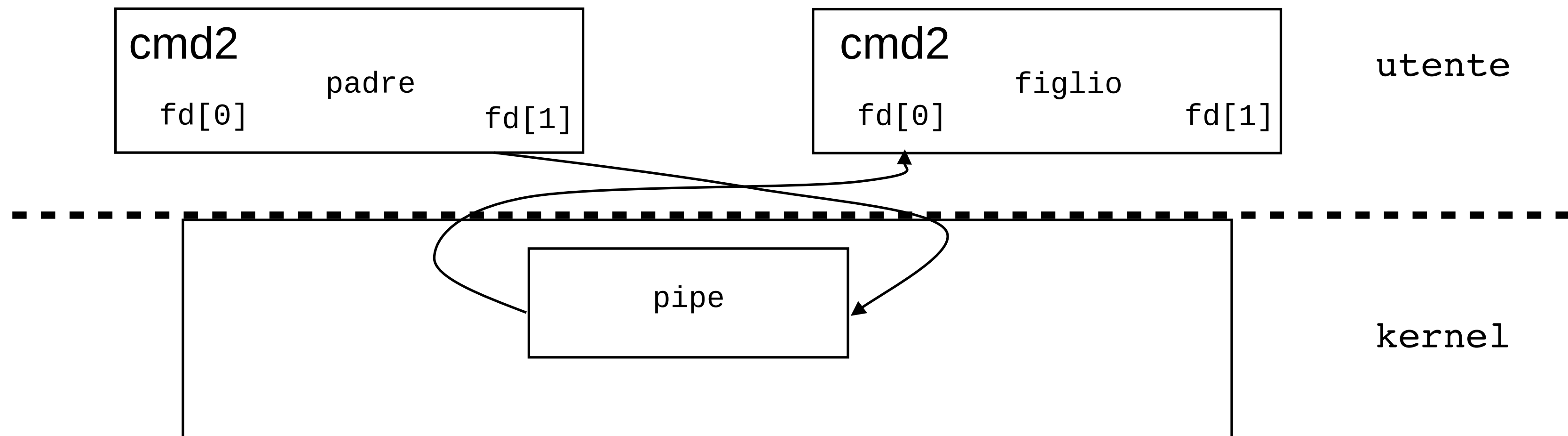
```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#define maxsize 1000
char buffer [maxsize];

int main()
{
    int pfd1[2],pfd2[2], pid, status;

    pipe(pfd1); pipe(pfd2);
    pid=fork();
    if(pid>0)
    {
        close(pdf1[0]); close(pdf2[1]);
        sleep(1); /* il client aspetta mentre il server legge la pipe */
        server(pfd2[0],pfd1[1]);
        wait(&status);
        exit(0);
    }
    else
    {
        close(pfd1[1]);  close(pfd2[0]);
        client(pfd1[0],pfd2[1]);
        exit(0);
    }
}
```

```
void server(int readfd,int writefd)
{
   printf ("dai il pathname: ");

   fgets (buffer, sizeof (buffer), stdin);

   write(writefd,buffer, sizeof (buffer));
   while (read(readfd,buffer,sizeof(buffer)) > 0)

        printf("%s",buffer);
   printf("\n");
}
```

```
void client(int readfd,int writefd)
{
   FILE * fp;
   char line[1000];

   read(readfd,buffer,sizeof(buffer));
   if (strchr (buffer, '\n'))
         *strchr(buffer, '\n') = '\0';
   fp=fopen(buffer,"r");

   while(fgets(line,sizeof(line),fp)!=NULL)
       write(writefd,line,sizeof(line));
}
```

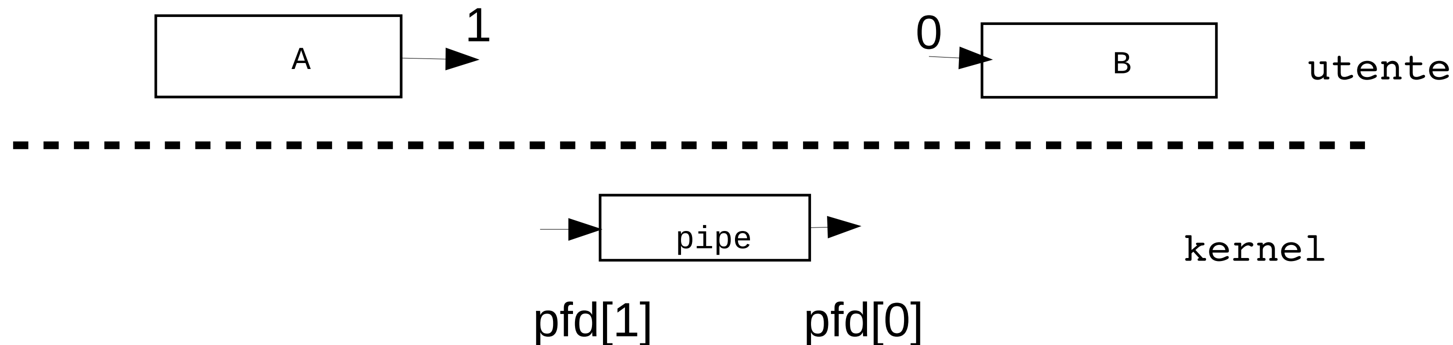
Comunicazione tra processi: cmd1 | cmd2

- **Come utilizzare le pipe?**
  - Gli eventuali figli, ereditano la UserFileDescriptorTable
  - I canali non utilizzati vanno chiusi
  - Redirezione standard input e output
- **Esempio: padre | figlio**
  - Il padre
    - Duplica **fd[1]** sulla 1
    - Chiude **fd[0]**
  - Il figlio
    - Duplica **fd[0]** sulla 0
    - Chiude **fd[1]**



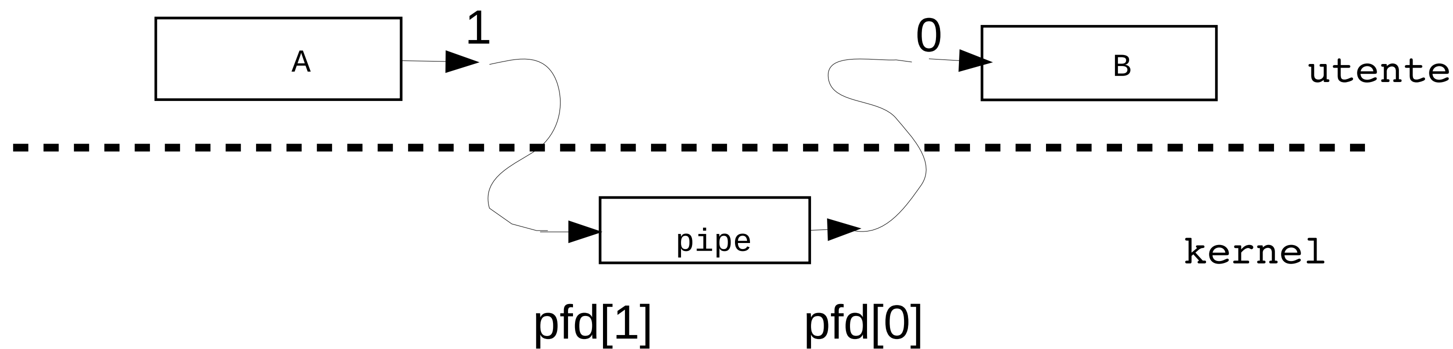
Comunicazione tra processi: cmd1 | cmd2

- Vediamo cosa succede quando scrivo $A | B
- A e B sono due programmi:
  - A scrive il suo output sullo standard output
  - B legge il suo input dallo standard input



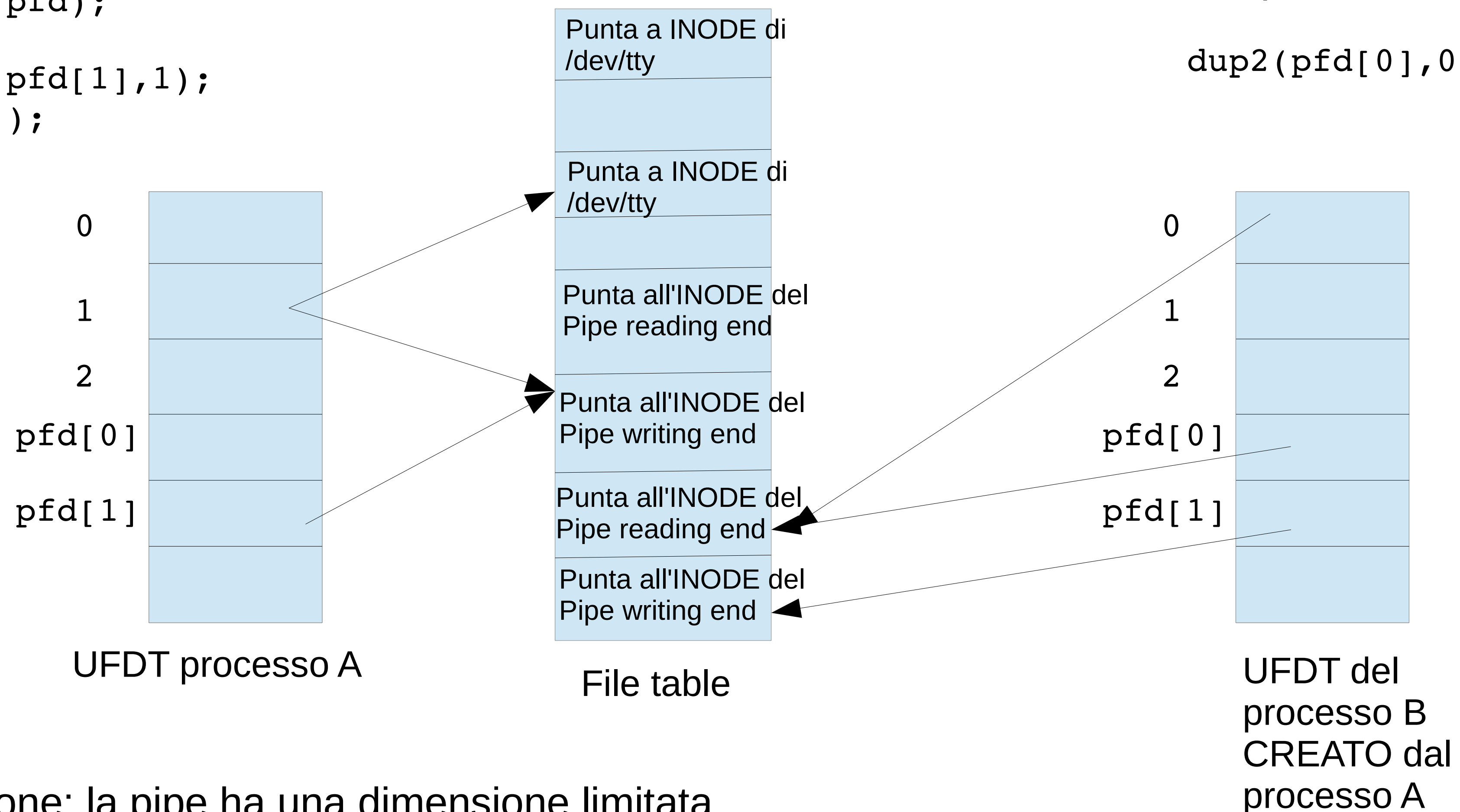
Comunicazione tra processi: cmd1 | cmd2

- La pipe realizza la comunicazione tra A e B creando un canale nel kernel e facendo in modo che:



- Come si realizza? Con la redirezione dei descrittori di file.
- Vediamolo in dettaglio:

Comunicazione tra processi: creazione e redirezione delle pipe



Attenzione: la pipe ha una dimensione limitata
La pipe funziona secondo il principio del produttore/consumatore

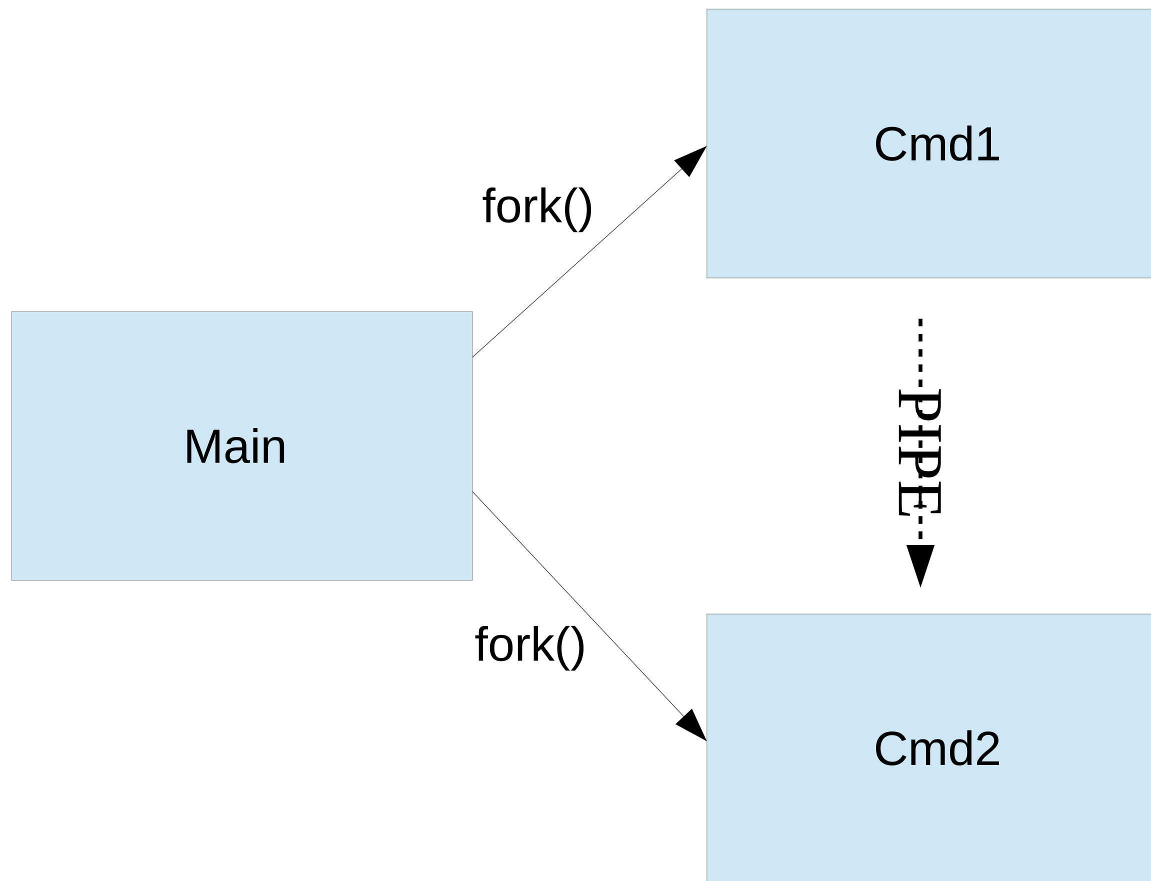
Il processo A scrive sullo standard output (1) in realtà scrive sul writing end della pipe!
Il processe B legge dallo standard input (0). In realtà legge dal reading end della pipe!

Come realizzo cmd1 | cmd2 ?

- Se cmd1 e cmd2 sono 2 processi, non posso fare exec(cmd) nel main:
  - Sovrascriverei tutto il codice
- Soluzione: creare processi concorrenti
- Chi crea I processi concorrenti?

Prima architettura di cmd1 | cmd2

- Il main crea I due processi concorrenti
- Ciascun processo esegue exec



Prima architettura di cmd1 | cmd2

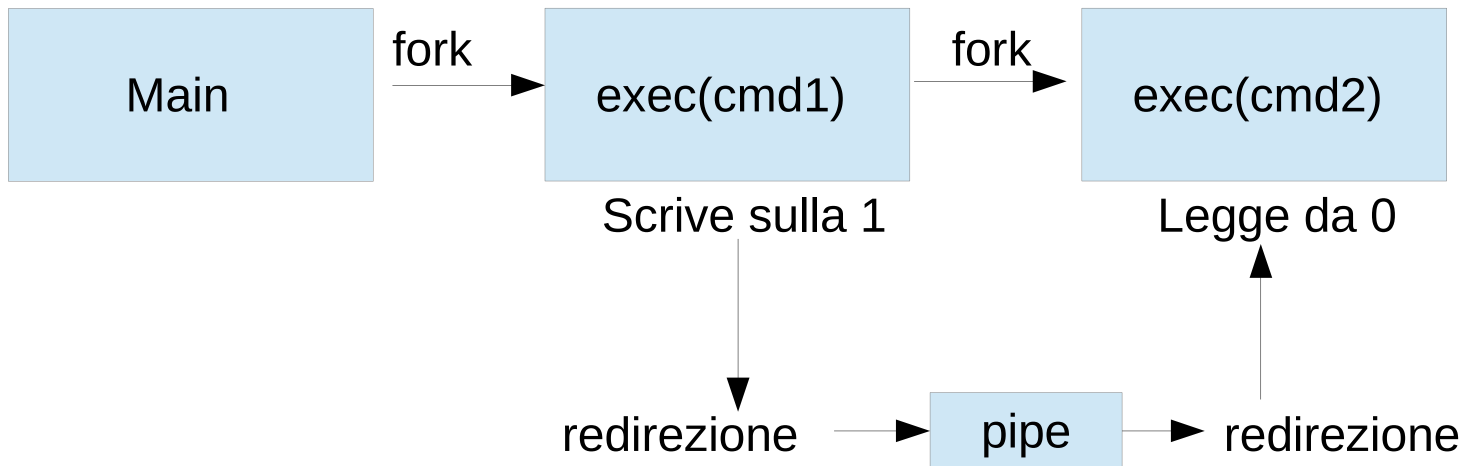
```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
//ipc-shell-1.c
main(){
     int pfd[2]; pipe(pfd);
     switch(fork()) {
          case -1:printf("error in fork");exit(1);

          case 0:   if (close(1) == -1) {
                         printf("error in close(1)");
                         exit(1);
                    }
                    dup(pfd[1]);
                    close(pfd[0]); close(pfd[1]);
                    execlp("who", "who", NULL);
                    printf("error in execl1");
                    exit(1);
     }

     switch(fork()) {
          case -1:printf("error in fork");exit(1);

          case 0:   if(close(0) == -1){
                         printf("error in close(0)");
                         exit(1);
                    }
                    dup(pfd[0]);
                    close(pfd[0]); close(pfd[1]);
                    execlp("wc", "wc", NULL);
                    printf("error in execl2");
                    exit(1);
     }
     close(pfd[0]); close(pfd[1]);
     wait(NULL) ;
}
```

Esempio: $who | wc

Nota: quale processo parte per primo? Irrilevante (pipe)

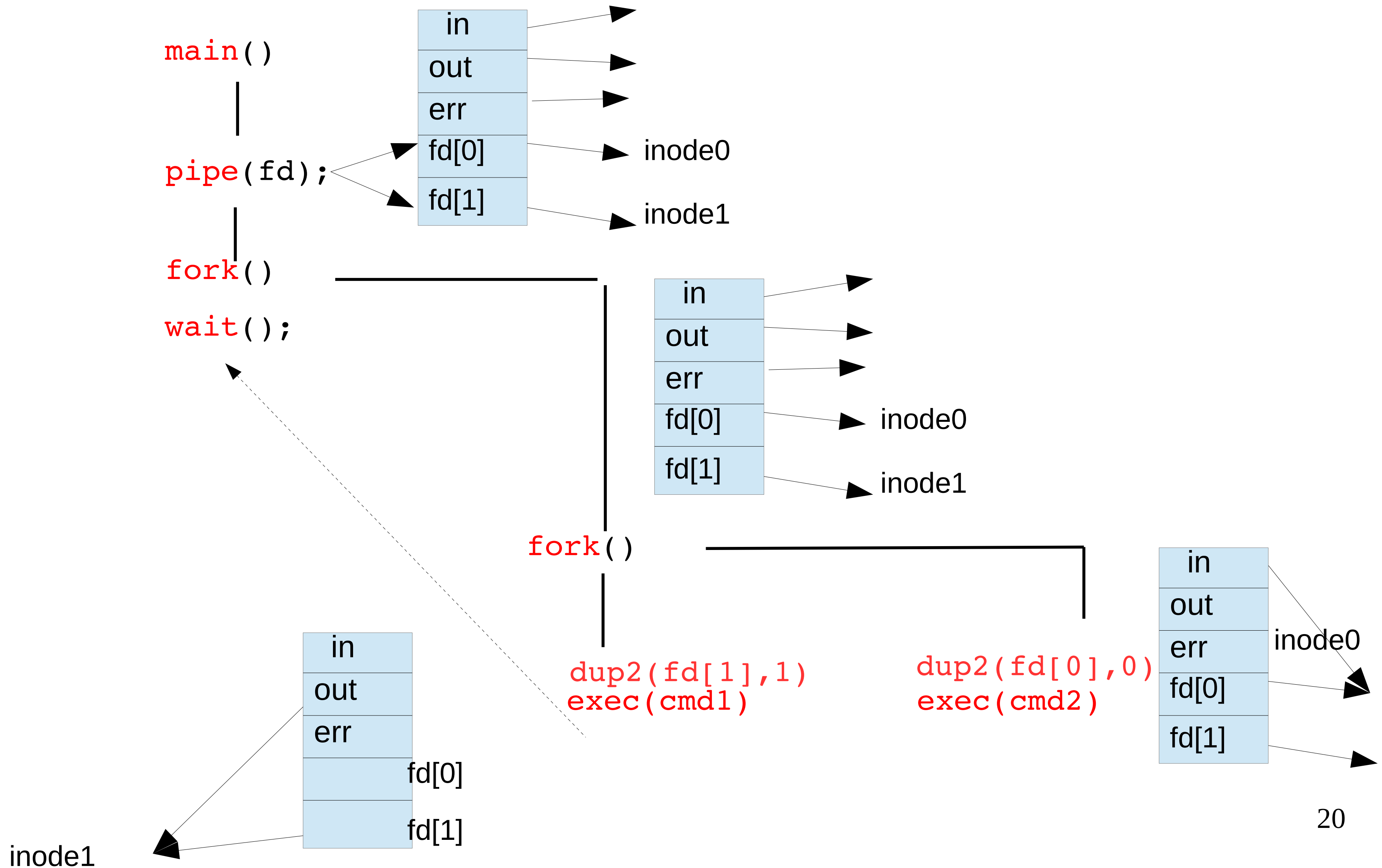
Seconda architettura cmd1 | cmd2

- Il main crea un processo concorrente
- Il processo crea un altro processo concorrente e poi esegue exec
- Dov'è generata la pipe? Nel Main



Seconda architettura cmd1 | cmd2

- Dettaglio delle redirezioni



Seconda Architettura

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
const char *cmd1[] = { "/bin/ps", "-e",  0 };
const char *cmd2[] = { "/usr/bin/wc", "-l",  0 };
int fd[2];
//ipc-shell-2.c
void runpipe()
{
     int pid;
     switch (pid = fork()) {
        case 0: dup2(fd[0], 0);
             close(fd[1]);
             execvp(cmd2[0], cmd2);
             perror(cmd2[0]);
        default: dup2(fd[1], 1);
              close(fd[0]);
              execvp(cmd1[0], cmd1);
              perror(cmd1[0]); break;
        case -1: perror("fork"); exit(1);
     }
}
int main()
{
     int pid, status;
     pipe(fd);
     switch (pid = fork()) {
        case 0:  runpipe(); exit(0);
        default: wait(); break;
        case -1: perror("fork"); exit(1);
     }
     exit(0);
}
```

Modello di interprete comandi (shell)

```
while(true){
    Stampa il prompt;
    Leggi la linea di comandi; //esempio ls | cut | wc > file
    Dividila in tokens; //parsing: 'ls', '|', 'cut', '|', 'wc', '>', 'file'
    Per ogni token
        Se il token e' un metacomando predisponi le chiamate di sistema;
        Se il token è un comando esegui exec(comando)
}
```

Struttura del secondo modello di shell

```
char buf[MAXLINE]; char *cmd1; char *cmd2; char *arg1[MAX]; char *arg1[MAX];

void main() {
    printf("%% ");                        /* prompt */

    while(fgets(buf, MAXLINE, stdin) != NULL) {   /* ciclo di letture */

        Parsing(); /*esamina la stringa di ingresso cmd1 <opz> | cmd2 <opz>
                     e la divide in:    cmd1 cmd2 arg1 arg2    */

        pid = fork();                          /* prima fork */
        if(pid == 0) {                         /* processo generato */
           pipe(pipeFd);                       /* creazione della pipe */
           if(fork() == 0) {
              close(pipeFd[0]);        /* chiusura della pipe in lettura */
              dup2(pipeFd[1], STDOUT_FILENO);    /* redirezione */
              execvp(cmd1, arg1); /* esecuzione del 1o comando */
           } else {
              close(pipeFd[1]);/* chiusura della pipe in scrittura */
              dup2(pipeFd[0], STDIN_FILENO);    /* redirezionw */
              execvp(cmd2, arg2);  /* esecuzione del 2o comando */
           }
        } else {
           waitpid(pid, &status, 0);    /* attesa della terminazione */
           printf("%% ");               /* prompt */
        }
    }
}
```

Fifo

- **Pipe "normali"**
  - possono essere utilizzate solo da processi che hanno un "antenato" in comune
  - motivo: unico modo per ereditare descrittori di file
- **Named pipe**
  - permette a processi non collegati di comunicare
  - utilizza il file system per "dare un nome" al pipe
  - chiamate **stat, lstat**
    - Utilizzando queste chiamate su pathname che corrisponde ad un fifo, la macro **S_ISFIFO** restituirà **true**)
  - la procedura per creare un fifo è simile alla procedura per creare file

Fifo

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
int mkfifo(const char *path, mode_t mode);
```

- crea un FIFO dal **pathname** specificato
- la specifica dell'argomento **mode** è identica a quella di **open (O_RDONLY, O_WRONLY, O_RDWR, etc)**

- **Come si usa un FIFO?**
  - una volta creato un FIFO, le normali chiamate **open**, **read**, **write**, **close**, possono essere utilizzate per leggere il FIFO
  - il FIFO può essere rimosso utilizzando **unlink**
  - le regole per i diritti di accesso si applicano come se fosse un file normale

Fifo

- **Chiamata open:**
  - File aperto senza flag O_NONBLOCK
    - Se il file è aperto in lettura, la chiamata si blocca fino a quando un altro processo non apre il FIFO in scrittura
    - Se il file è aperto in scrittura, la chiamata si blocca fino a quando un altro processo non apre il FIFO in lettura
  - File aperto con flag O_NONBLOCK
    - Se il file è aperto in lettura, la chiamata ritorna immediatamente
    - Se il file è aperto in scrittura, e nessun altro processo è stato aperto in lettura, la chiamata ritorna un messaggio di errore

Fifo

- **Chiamata write**
  - se nessun processo ha aperto il file in lettura viene generato un segnale **SIGPIPE**
    - ignorato/catturato: write ritorna **–1** e **errno**=**EPIPE**
    - azione di default: terminazione

- **Atomicità**
  - Quando si scrive su un pipe, la costante **PIPE_BUF** specifica la dimensione del buffer del pipe
  - Chiamate **write** di dimensione inferiore a **PIPE_BUF** vengono eseguite in modo atomico
  - Chiamate **write** di dimensione superiore a **PIPE_BUF** possono essere eseguite in modo non atomico
    - La presenza di scrittori multipli può causare interleaving tra chiamate **write** distinte

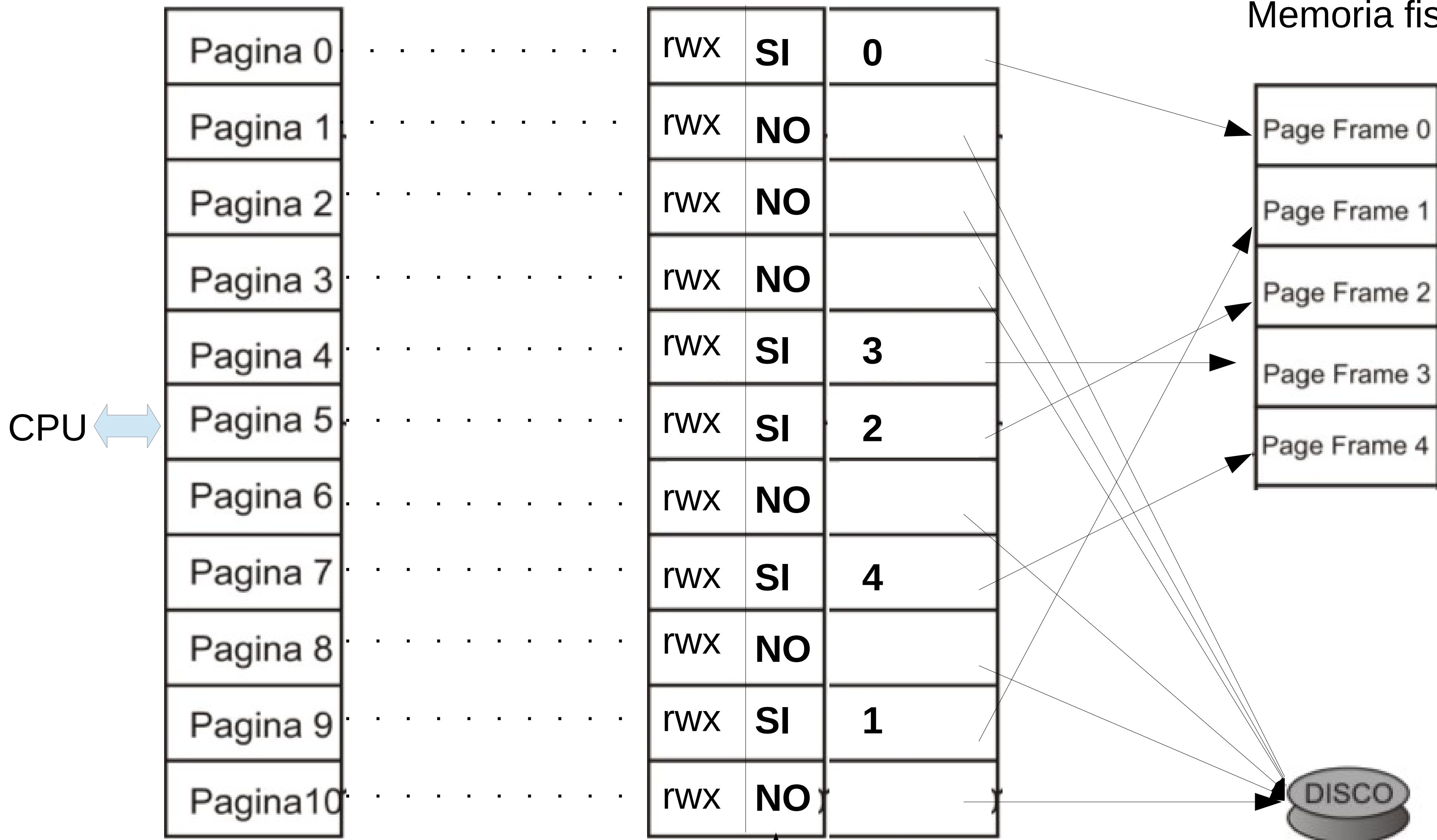
FIFO: comunicazione client-server

```
// SERVER
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>

#include <linux/stat.h>

#define FIFO_FILE   "MIA_FIFO"

int main(void)
{
    FILE *fp;
    char readbuf[80];

    /*crea la FIFO */
    umask(0);
    mknod(FIFO_FILE, S_IFIFO|0666, 0);

    while(1)
    {
        fp = fopen(FIFO_FILE, "r");
        fgets(readbuf, 80, fp);
        printf("messaggio ricevuto: %s\n", readbuf);
        fclose(fp);
    }

    return(0);
}
```

Client-server con FIFO

```
// CLIENT
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define FIFO_FILE   "MIA_FIFO"

int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE *fp;

    if ( argc != 2 ) {
        printf("USO: client [string]\n");
        exit(1);
    }

    if((fp = fopen(FIFO_FILE, "w")) == NULL) {
        perror("fopen");
        exit(1);
    }

    fputs(argv[1], fp);

    fclose(fp);
    return(0);
}
```

Shared memory: cenni di memoria virtuale

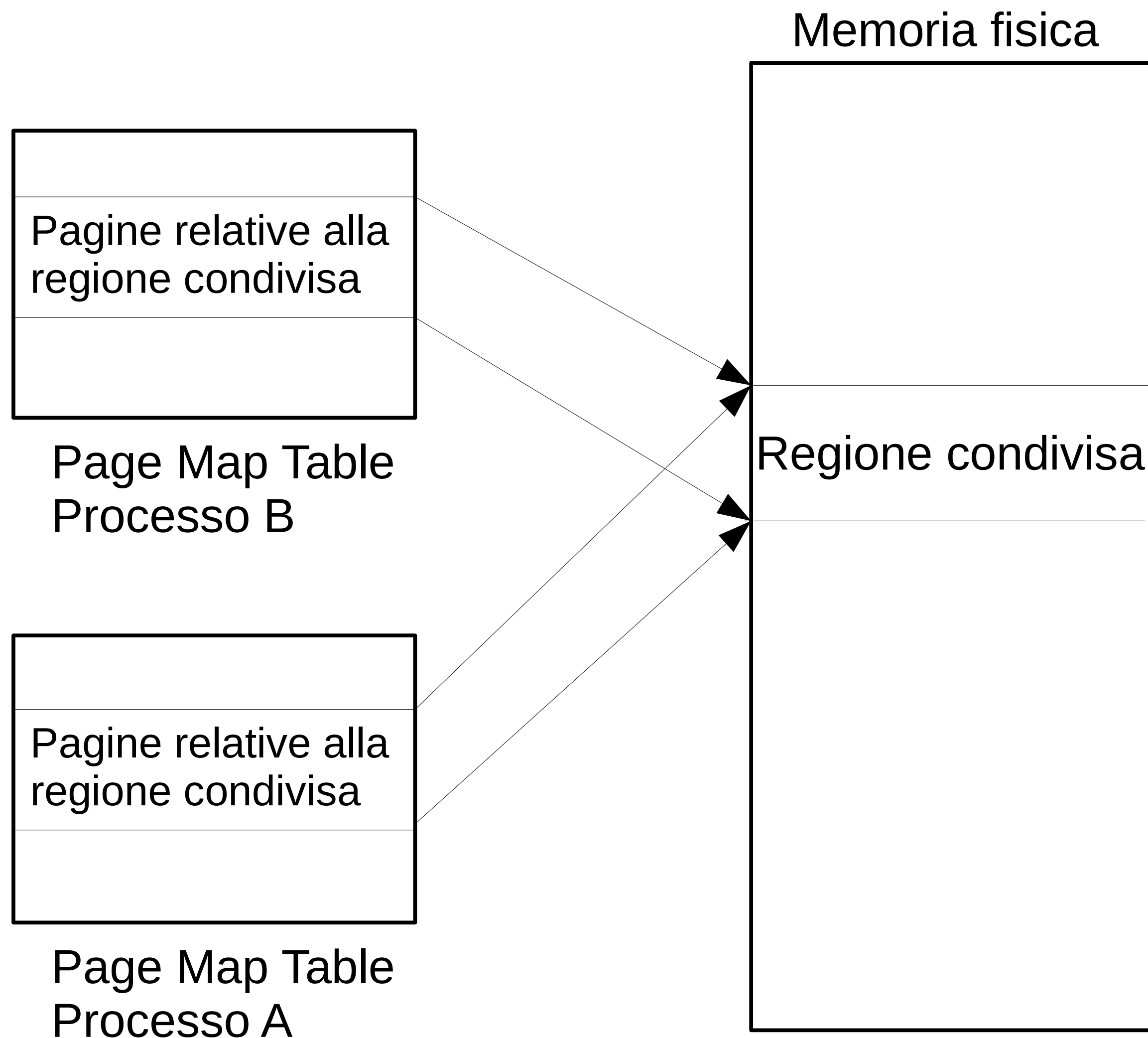


Esempio di spazio di indirizzamento di un processo = spazio virtuale

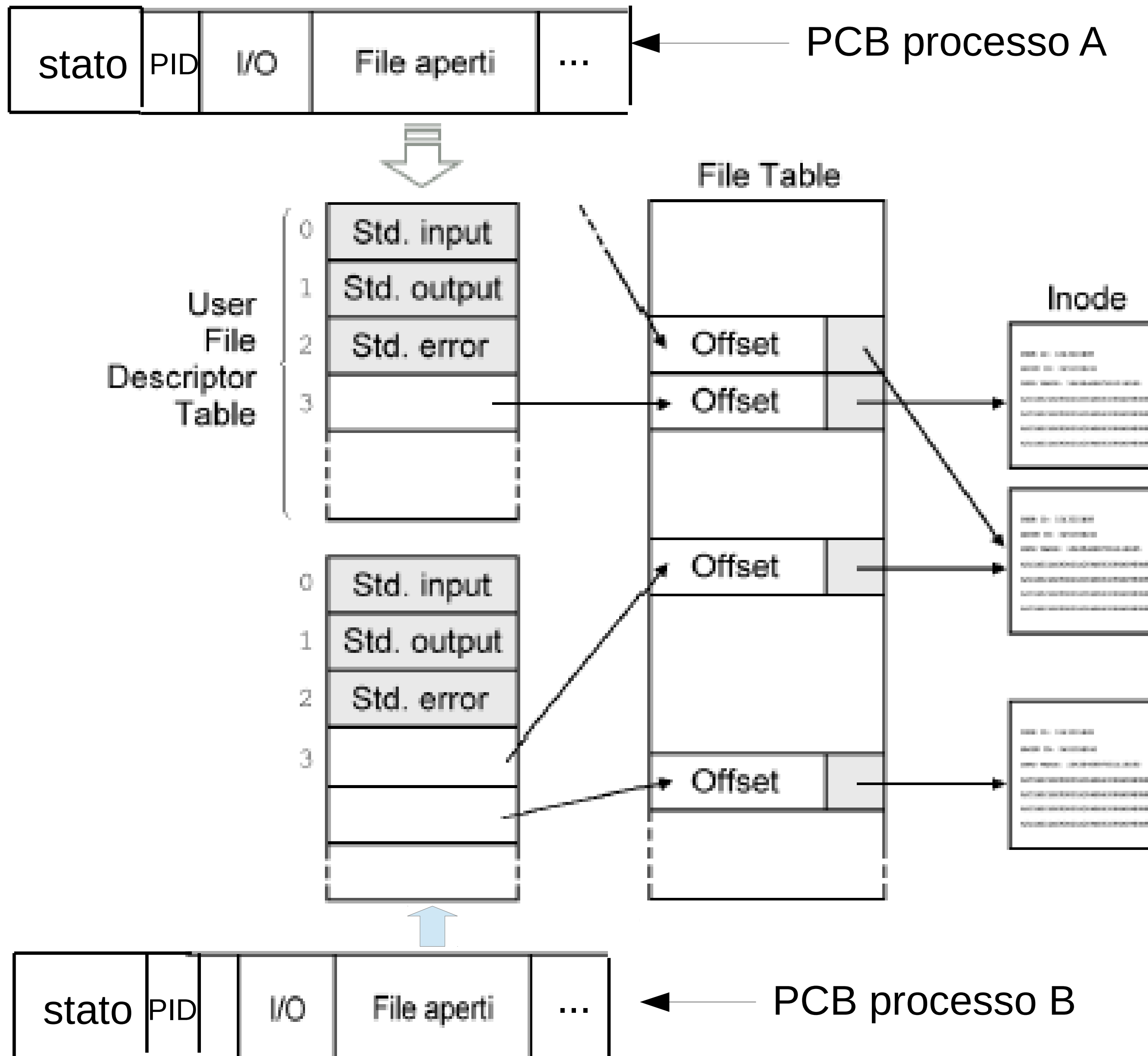
E' caricata in memoria fisica?

Shared memory

- E' una regione di memoria condivisa tra più processi

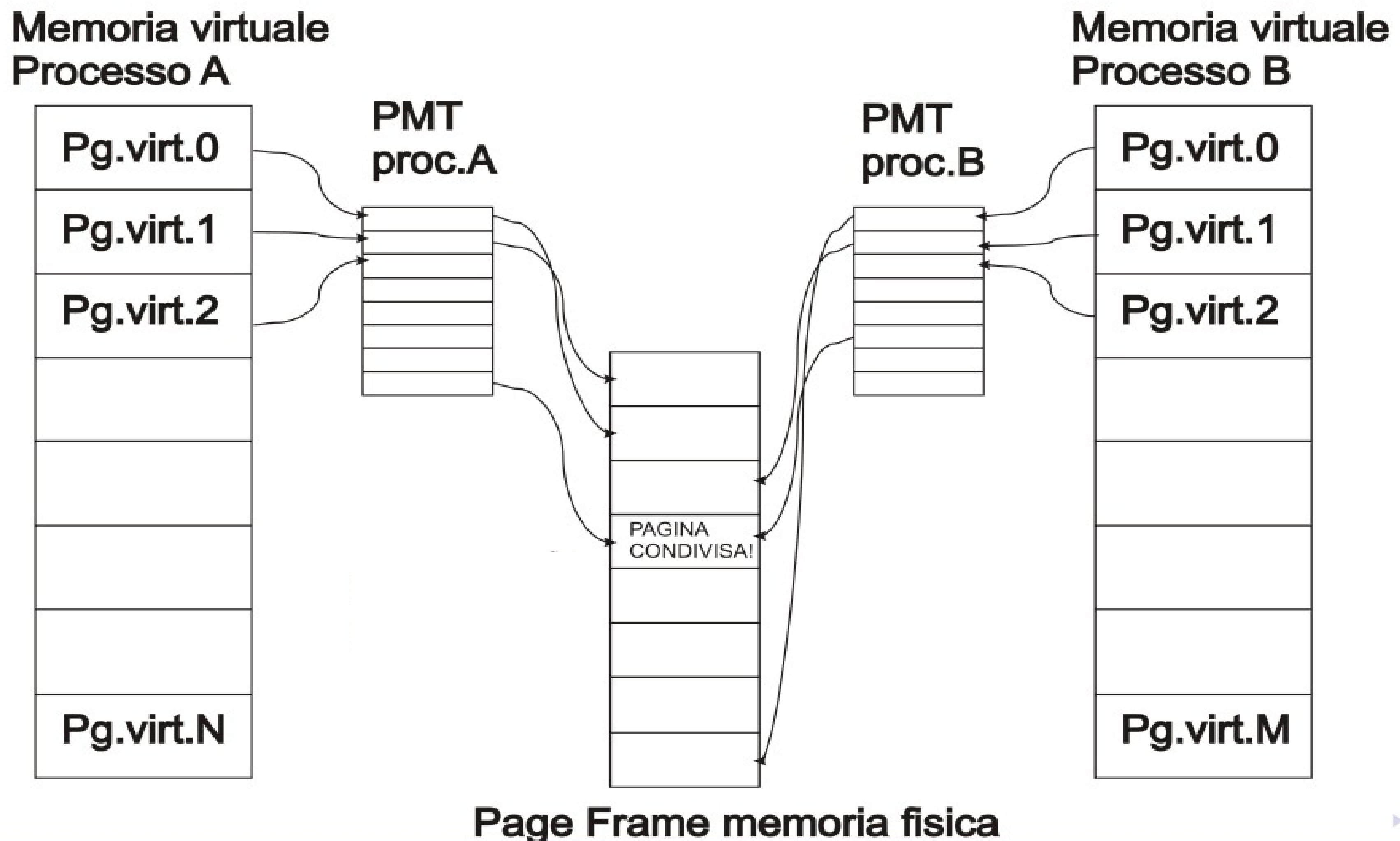


Visione d'insieme



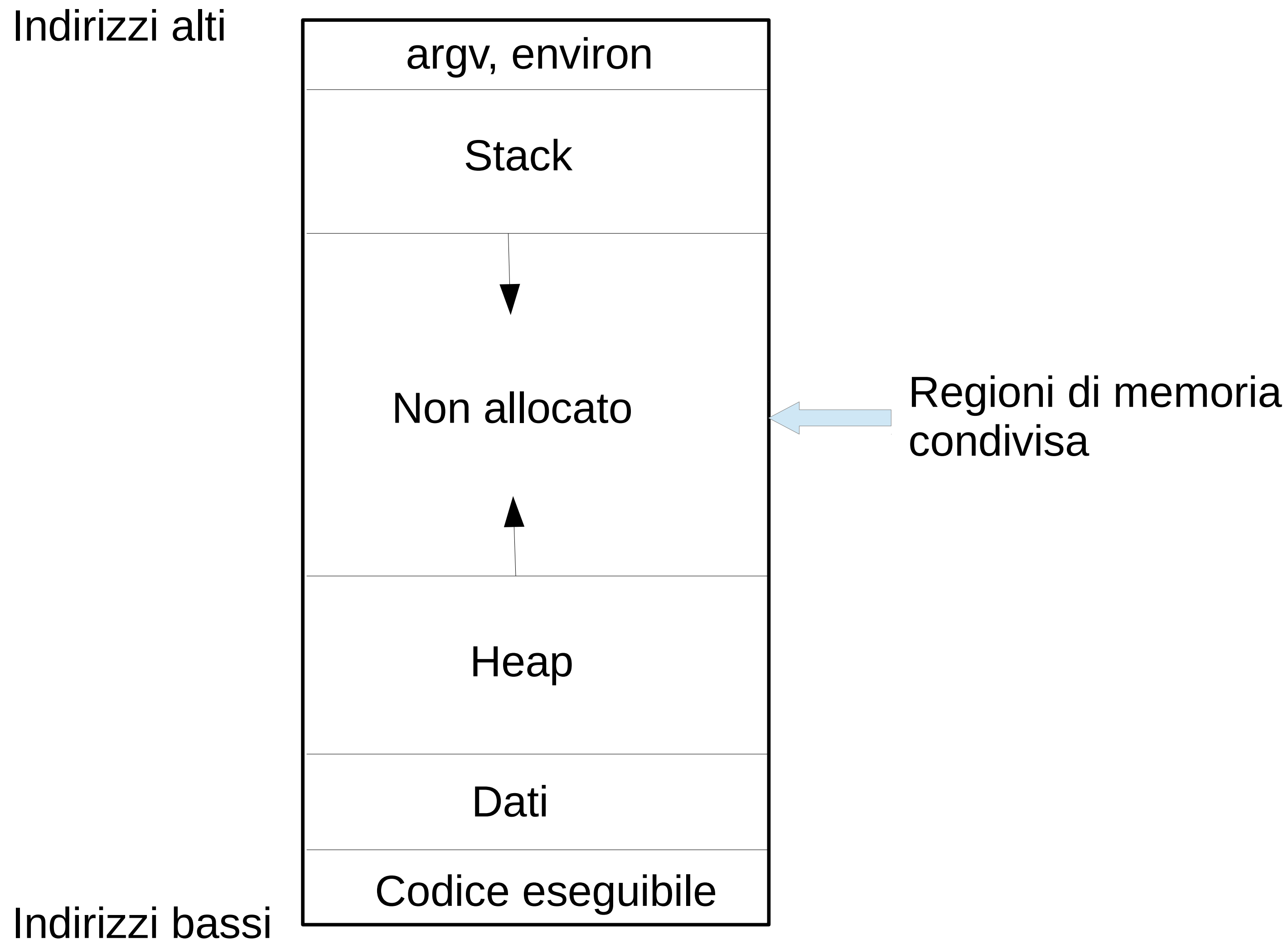
Visione d'insieme conShared memory

- Visione d'insieme



Spazio di indirizzamento di un processo in Linux

- E' uno spazio virtuale



Shared memory (Standard Posix)

- shm_open(): Crea una shared memory o si attacca ad una regione pre-esistente. Ritorna un descrittore numerico in UFDT.
- shm_unlink(): Cancella una shared memory descritta dal descrittore numerico. La regione rimane allocata finchè tutti I processi che la usano non terminano.
- mmap(): Mappa la shared memory nella memoria del processo. Ritorna un puntatore alla memoria
- munmap(): L'inverso di mmap().
- msync(): Sincronizza la shared memory con un file.

Shared memory (Standard Posix)

- Apertura di una memoria condivisa
- Creazione di una memoria condivisa

```
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>        /* mnemonici in mode */
#include <fcntl.h>           /* mnemonici in oflag */
int shm_open(const char *name, int oflag, mode_t mode);
```

S_IRUSR | S_IWUSR

→ permesso di lettura e scrittura

- Mnemonici di oflag:

```
O_RDONLY, O_RDWR,O_CREAT, O_EXCL, O_TRUNC
```

Se entrambi settati, shm_open non funziona se la regione esiste già

Se la regione esiste già, la tronca a zero byte

- Rimozione di una memoria condivisa

```
int shm_unlink(const char *name);
```

Shared memory (Standard Posix)

- Mappaggio della memoria condivisa nella memoria del processo

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

void *mmap(void *addr, size_t length, int prot, int flags,
           int fd, off_t offset);
```

- Se `addr` è zero, il kernel sceglie l'indirizzo
- La lunghezza in byte della memoria condivisa è `length`
- L'argomento `prot` può essere:
  - PROT_READ, PROT_WRITE, PROT_EXEC, PROT_ NONE

  cioè la pagina può essere letta, scritta, eseguita, non può essere acceduta
  Normalmente prot= PROT_READ|PROT_WRITE
- `flags` determina se I cambiamenti sono visibili o meno ad altri processi
  - MAP_ANONYMOUS, MAP_SHARED, MAP_PRIVATE
    Normalmente flags=MAP ANONYMOUS | MAP SHARED
- `fd, offset` sono usati per mappare la memoria su un file (vedi msync)

Shared memory (Standard Posix)

- Rimuove la mappatura e rende disponibile la memoria all'indirizzo addr

```
int munmap(void *addr, size_t length);
```

- La mappatura è rimossa anche quando il processo termina

- Sincronizzazione con il file indicato in mmap

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

int msync(void *addr, size_t length, int flags);
```

- Attenzione: queste chiamate di sistema richiedono la Realtime Extensions Library di POSIX.1b, cioè la librt. Per cui la compilazione è:

```
$gcc source.c -o source -lrt
```

Primo esempio d'uso della shared memory

Scrittura di numeri interi e float con delay per sincronizzazione

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/mman.h>
#define SIZE sizeof(int)
int main (void)
{       pid_t pid;
        float* shared_memory, scritto, letto ;
        int i_letto, i_scritto;

        shared_memory=mmap(0, SIZE, PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_ANONYMOUS|MAP_SHARED, -1, 0);
        pid = fork();
        if (pid==0){
                sleep(1); letto = *shared_memory; printf ("\tprocesso generato. Leggo = %f\n", letto);
                sleep(1); i_letto = *(int*)shared_memory;
                printf ("\tprocesso generato. Leggo = %d\n", i_letto);
                sleep(1); letto = *shared_memory; printf ("\tprocesso generato. Leggo = %f\n", letto);
        }
        else {
                scritto=20; *shared_memory = scritto ; printf ("Processo padre. Scrivo = %f\n", scritto );
                sleep(1);
                i_scritto=47; *(int *)shared_memory = i_scritto ;
                printf ("Processo padre. Scrivo = %d\n", i_scritto );
                sleep(1);
                scritto=13;     *shared_memory = scritto ; printf ("Processo padre. Scrivo = %f\n", scritto );
                sleep(1);
                wait(pid);
        }
        exit (0);
}
```

Condivisione di un array in shared memory

```
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/mman.h>
#define SIZE sizeof(int)

int main (void)
{       int i, pid;
        float* shared_memory;
        float* p;
        float* q;
```

```
        shared_memory=mmap(0, 5*SIZE, PROT_READ | PROT_WRITE,
                                        MAP_ANONYMOUS | MAP_SHARED, -1, 0);
        pid = fork();
        if (pid==0){
                sleep(1);  /* aspetta che il processo padre scriva gli elementi */
                p=shared_memory;
                printf("lettura:\n");
                for(i=0; i<5; i++)              printf ("\tarray[i] = %f\n", *p++);
        }
        else {
                q=shared_memory;
                for(i=0; i<5; i++)              *q++ = i*10;
                printf("scritto l'array!\n");
                wait(pid);
        }
        exit (0);
}
```

Condivisione di un array in shared memory tra processi diversi
Processo scrittore

```
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>        /* mnemonici in mode */
#include <fcntl.h>           /* mnemonici in oflag */
#define SIZE sizeof(int)

int main (void)
{       int fd,i, pid,size=5*sizeof(float);
        float* shared_memory;
        float* p;
        float* q;

        fd = shm_open("mymem",  O_CREAT | O_EXCL |O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);

        ftruncate(fd,size);

        shared_memory = mmap(NULL ,size,PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED ,fd, 0);

        sleep(1);

        q=shared_memory;
        for(i=0; i<5; i++)
                *q++ = i*10;
        printf("scritto l'array!\n");
}
```

Condivisione di un array in shared memory tra processi diversi
Processo lettore

```
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>        /* mnemonici in mode */
#include <fcntl.h>           /* mnemonici in oflag */

int main (void)
{
        int fd,i, pid,size=5*sizeof(float);
        float* shared_memory;
        float* p;
        float* q;

        fd = shm_open("mymem",  O_EXCL |O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);
        shared_memory = mmap(NULL ,size,PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED ,fd, 0);

        p=shared_memory;

        printf("lettura array:\n");
        for(i=0; i<5; i++)
                printf ("\tarray[i] = %f\n", *p++);
        exit (0);
}
```