LabSO 2025

Laboratorio Sistemi Operativi - A.A. 2024-2025

Michele Grisafi - michele.grisafi@unitn.it

Pipe su shell

Piping

Il piping connette l'output (stdout e stderr) di un comando all'input (stdin) di un altro comando, consentendo dunque la comunicazione tra i due. Esempio:

```
ls . | sort -R      #stout -> stdin
ls nonExistingDir |& wc       #stdout e stderr -> stdin
cat /etc/passwd | wc | less   #out -> in, out-> in
```

I processi sono eseguiti in **<u>concorrenza</u>** utilizzando un buffer:

- Se pieno lo scrittore (left) si sospende fino ad avere spazio libero
- Se vuoto il lettore (right) si sospende fino ad avere i dati

Esempio

```
$ gcc src.c -o pip.out
$ (sleep 2 ; echo “hi how are you”) | ./pip.out
```

```c
#define MAXBUF 10                                   //pip.c
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main() {
    char buf[MAXBUF];
    printf("This is the output of pip\n");
    fgets(buf, sizeof(buf), stdin); // may truncate!
    printf("Read ‘%s’\n", buf);
    return 0;
}
```

Cosa succede se il secondo programma termina prima? → SIGPIPE!

Example

```
$ gcc src.c -o inv.out
$ ls /tmp | ./inv.out
```

```c
#include <stdio.h>      //inv.c

int main() {
    int c, d;
    // loop into stdin until EOF (as CTRL+D)
    // read from stdin
    while ((c = getchar()) != EOF) {
        d = c;
        if (c >= 'a' && c <= 'z') d -= 32;
        if (c >= 'A' && c <= 'Z') d += 32;
        putchar(d); // write to stdout
    };
    return (0);
}
```

Esempio di una semplice applicazione che legge da stdin e stampa su stdout, invertendo i caratteri minuscoli con quelli maiuscoli.

Esempio

```
// output.out
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(){
  for (int i = 0; i<3; i++) {
    sleep(2);
    fprintf(stdout,
    "Written in buffer");
    fflush(stdout);
  };
};
```

```
// input.out
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main() {
  char msg[50]; int n=3;
  while((n--)>0){
    int c = read(0,msg,49);
    if (c>0) {
        msg[c]=0;
        fprintf(stdout,
        "Read: '%s' (%d)\n",msg,c);
    };
  };
};
```

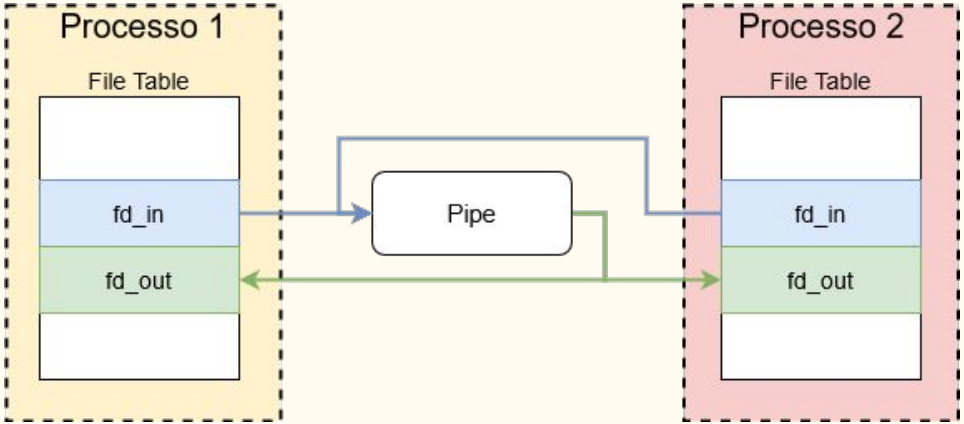
```
$ ./output.out | ./input.out
```

Pipe anonime

Pipe anonime

Le pipe anonime, come quelle usate su shell, ‘uniscono’ due processi aventi un antenato comune (oppure tra padre-figlio). Il collegamento è unidirezionale ed avviene utilizzando un buffer di dimensione finita.

Per interagire con il buffer (la pipe) si usano due file descriptors: uno per il lato in scrittura ed uno per il lato in lettura. Visto che i processi figli ereditano i file descriptors, questo consente la comunicazione tra i processi.



Creazione pipe

```
int pipe(int pipefd[2]); //fd[0] lettura, fd[1] scrittura
```

L'array passato come argomento sarà popolato con due nuovi file descriptors (i primi due disponibili). Il primo elemento sarà usato per la lettura della pipe, il secondo per la scrittura.

Normalmente un processo usa il lato in lettura, ed un altro processo usa il lato in scrittura **(unidirezionale!)**

Esempio creazione pipe

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(){
    int fd[2];
    pipe(fd) //Create unnamed pipe using 2 file descriptors
    int isChild = !fork();
    if(isChild){
        //Use one side of the pipe
    }else{
        //use the other side of the pipe
    }
}
```

Esempio limite creazione pipe

```c
#include <stdio.h>                                          //pipe.c
#include <unistd.h>
int main(){
    int fd[2], cnt = 0;
    while(pipe(fd) == 0){ //Create unnamed pipe using 2 file descriptors
        cnt++;
        printf("%d,%d,",fd[0],fd[1]);
    }
    printf("\n Opened %d pipes, then error\n",cnt);
    int op = open("/tmp/tmp.txt",O_CREAT|O_RDWR,S_IRUSR|S_IWUSR);
    printf("File opened with fd %d\n",op);
}
```

Lettura pipe: `int read(int fd[0],char * data, int num)`

Legge al massimo `num` bytes di dati dalla pipe identificata dal file descriptor `fd[0]`, salvandoli in `data`. La lettura della pipe tramite il comando read restituisce valori differenti a seconda della situazione:

- In caso di successo, restituisce il numero di bytes effettivamente letti.
- Se il lato di scrittura è stato chiuso (da ogni processo) e la pipe è vuota, viene restituito 0 e non viene letto nulla.
- Se il lato di scrittura è stato chiuso ma la pipe contiene dei dati, vengono letti i dati presenti.
- Se il buffer è vuoto ma il lato di scrittura è ancora aperto (in qualche processo) il processo si sospende fino alla disponibilità dei dati o alla chiusura.
- Se si provano a leggere più bytes (`num`) di quelli disponibili, vengono recuperati solo quelli presenti.

Scrittura: `int write(int fd[1],char * data, int num)`

La scrittura della pipe tramite il comando write restituisce il numero di bytes scritti. Tuttavia, se il lato in lettura è stato chiuso viene inviato un segnale `SIGPIPE` allo scrittore (default handler quit) e la chiamata restituisce -1.

In caso di scrittura, se vengono scritti meno bytes di quelli che ci possono stare (`PIPE_BUF`) la scrittura è “atomica” (tutto assieme), in caso contrario non c’è garanzia di atomicità e la scrittura sarà bloccata (in attesa che il buffer venga svuotato) o fallirà se il flag `O_NONBLOCK` viene usato.

Inviare stringhe ed interi

Le pipe non inviano necessariamente stringhe, ma delle sequenze di bytes. Si possono inviare anche interi o altri tipi

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(){
    int fd[2];
    pipe(fd);
    int intero = 4;
    write(fd[1], &intero, sizeof(intero));
    int rcv;
    read(fd[0], &rcv, sizeof(rcv));
    printf("Read %\n,", rcv);
}
```

Esempio

```c
#include <stdio.h> <unistd.h> <fcntl.h>    //pipeRead.c
int main(void){
  int fd[2]; char buf[50];
  int esito = pipe(fd); //Create unnamed pipe
  if(esito == 0){
     write(fd[1],"writing",8); // Writes to pipe
     int r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
     printf("Last read %d. Received: '%s'\n",r,buf);
     close(fd[1]); // hangs when commented
     r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
     printf("Last read %d.\n",r);
  }
}
```

Esempio

```c
#include <stdio.h>                          //pipeReadWhenClosed.c
#include <unistd.h>
int main(void){
  int fd[2]; char buf[50];
  int esito = pipe(fd); //Create unnamed pipe
  write(fd[1],"writing",8); // Writes to pipe
  close(fd[1]); // close the write end of the pipe
  int r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe which has already been closed but has some data
  printf("Last read %d. \n",r);
}
```

Esempio

```
#include <unistd.h><stdio.h><signal.h><errno.h><stdlib.h> /pipeWriteError.c
void handler(int signo){
    printf("SIGPIPE received\n");   perror("Error in handler");
}
int main(void){
    signal(SIGPIPE,handler);
    int fd[2]; char buf[50];
    int esito = pipe(fd); //Create unnamed pipe
    close(fd[0]); //Close read side
    printf("Attempting write\n");
    int numOfWritten = write(fd[1],"writing",8);
    printf("I've written %d bytes\n",numOfWritten);
    perror("Error after write");
}
```

Pipe non bloccanti

Per modificare le proprietà di una pipe, possiamo usare la system call `fnctl`, la quale manipola i file descriptors. È per esempio possibile impostare la pipe come non bloccante:

```
int fcntl(int fd, F_SETFL, O_NONBLOCK);
```

```c
#include <stdio.h> <unistd.h> <fcntl.h>
int main(void){
  int fd[2]; char buf[50];
  int esito = pipe(fd);
  fcntl(fd[0], F_SETFL, O_NONBLOCK);
}
```

Una pipe non bloccante:

- Write → restituisce errore se non c'è spazio
- Read → restituisce errore se non è già aperta in scrittura

Esempio

```c
#include <stdio.h> <unistd.h> <fcntl.h>              //pipeReadNonBlocking.c
int main(void){
  int fd[2]; char buf[50];
  int esito = pipe(fd); //Create unnamed pipe
  fcntl(fd[0], F_SETFL, O_NONBLOCK);  //Set READ side non Blocking
  if(esito == 0){
     int r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
     printf("Last read %d.'\n",r);   //THIS WILL PRINT -1
     write(fd[1],"writing",8); // Writes to pipe
     close(fd[1]);
     r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
     printf("Last read %d. Received: '%s'\n",r,buf);
  }
}
```

Esempio

```c
#define _GNU_SOURCE
#include <stdio.h>   <unistd.h> <fcntl.h> <string.h> <error.h>  //pipeWriteNonBlocking.c
int main(){
  int fd[2], cnt = 0, tmp = 0;
  char * str = "stringa da scrivere!";
  pipe(fd);
  printf("Pipe size: %d\n", fcntl(fd[0], F_GETPIPE_SZ)); //Get pipe size
  fcntl(fd[0], F_SETPIPE_SZ, 4096);
  printf("New pipe size: %d\n", fcntl(fd[0], F_GETPIPE_SZ)); //Get pipe size
  fcntl(fd[1], F_SETFL, O_NONBLOCK);
  do{
    tmp = write(fd[1],str,strlen(str));
    printf("Written %d",tmp);
    cnt+=tmp;
  } while(tmp > 0);
  printf("\nWritten %d chars, then error\n",cnt);
}
```

Esempio comunicazione unidirezionale

Un tipico esempio di comunicazione unidirezionale tra un processo scrittore P1 ed un processo lettore P2 è il seguente:

- P1 crea una `pipe()`
- P1 esegue un `fork()` e crea P2
- P1 chiude il lato lettura: `close(fd[0])`
- P2 chiude il lato scrittura: `close(fd[1])`
- P1 e P2 chiudono l'altro fd appena finiscono di comunicare.

Esempio unidirezionale

```c
#include <stdio.h> <unistd.h> <sys/wait.h>          //pipeUni.c
int main(){
    int fd[2]; char buf[50];
    pipe(fd); //Create unnamed pipe
    int p2 = !fork();
    if(p2){
        close(fd[1]);
        int r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
        close(fd[0]); printf("Buf: ‘%s’\n",buf);
    }else{
        close(fd[0]);
        write(fd[1],"writing",8); // Write to pipe
        close(fd[1]);
    }
    while(wait(NULL)>0);
}
```

Esempio comunicazione bidirezionale

Un tipico esempio di comunicazione bidirezionale tra un processo scrittore P1 ed un processo lettore P2 è il seguente:

- P1 crea due `pipe()`, *pipe1* e *pipe2*
- P1 esegue un `fork()` e crea P2
- P1 chiude il lato lettura di *pipe1* ed il lato scrittura di *pipe2*
- P2 chiude il lato scrittura di *pipe1* ed il lato lettura di *pipe2*
- P1 e P2 chiudono gli altri fd appena finiscono di comunicare.

Esempio bidirezionale

```
#include <stdio.h> <unistd.h> <sys/wait.h>   #define READ 0 #define WRITE 1      //bi.c
int main(){
     int pipe1[2], pipe2[2]; char buf[50];
     pipe(pipe1); pipe(pipe2); //Create two unnamed pipe
     int p2 = !fork();
     if(p2){
          close(pipe1[WRITE]); close(pipe2[READ]);
          int r = read(pipe1[READ],&buf,50); //Read from pipe
          close(pipe1[READ]); printf("P2 received: ‘%s’\n",buf);
          write(pipe2[WRITE],"Msg from p2",12); // Writes to pipe
          close(pipe2[WRITE]);
     }else{
          close(pipe1[READ]); close(pipe2[1]);
          write(pipe1[WRITE],"Msg from p1",12); // Writes to pipe
          close(pipe1[WRITE]);
          int r = read(pipe2[READ],&buf,50); //Read from pipe
          close(pipe2[READ]); printf("P1 received: ‘%s’\n",buf);
     }
     while(wait(NULL)>0);
}
```

Esercizi

- Impostare una comunicazione bidirezionale tra due processi con due livelli di complessità:
  - Alternando almeno due scambi (P1 → P2, P2 → P1, P1 → P2, P2 → P1)
  - Estendendo il caso a mo' di "ping-pong", fino a un messaggio convenzionale di "fine comunicazione"

Gestire la comunicazione

Per gestire comunicazioni complesse c'è bisogno di definire un "protocollo". Esempio:

- Messaggi di lunghezza fissa (magari inviata prima del messaggio)
- Marcatore di fine messaggio (per esempio con carattere NULL o newline)

Più in generale occorre definire la sequenza di messaggi attesi.

Esempio: redirige lo stdout di cmd1 sullo stdin di cmd2

```
#include <stdio.h> <unistd.h> #define READ 0 #define WRITE 1    //pipeRedirect.c
int main (int argc, char *argv[]) {
    int fd[2];
    pipe(fd); // Create an unnamed pipe
    if (fork() != 0) { // Parent, writer
        close(fd[READ]); // Close unused end
        dup2(fd[WRITE], 1); // Duplicate used end to stdout
        close(fd[WRITE]); // Close original used end
        execlp(argv[1], argv[1], NULL); // Execute writer program
        perror("error"); // Should never execute
    } else { // Child, reader
        close(fd[WRITE]); // Close unused end
        dup2(fd[READ], 0); // Duplicate used end to stdin
        close(fd[READ]); // Close original used end
        execlp(argv[2], argv[2], NULL); // Execute reader program
        perror("error"); // Should never execute
    }
}
```

Pipe con nome/FIFO

FIFO

Le pipe con nome, o FIFO, sono delle pipe che corrispondono a dei file speciali nel filesystem grazie ai quali i processi, senza vincoli di gerarchia, possono comunicare. Un processo può accedere ad una di queste pipe se ha i permessi sul file corrispondente ed è vincolato, ovviamente, dall'esistenza del file stesso.

Le FIFO sono interpretate come dei file, perciò si possono usare le funzioni di scrittura/lettura dei file viste nelle scorse lezioni. Restano però delle pipe, con i loro vincoli e le loro capacità. NB: non sono dei file effettivi, quindi lseek non funziona, il loro contenuto è sempre vuoto e non vi ci si può scrivere con un editor!

Normalmente aprire una FIFO blocca il processo finchè anche l'altro lato non è stato aperto. Le differenze tra pipe anonime e FIFO sono solo nella loro creazione e gestione.

Creare una FIFO

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

Crea una FIFO (un file speciale), solo se non esiste già, con il nome `pathname`. Il parametro `mode` può definire i privilegi del file nella solita maniera.

```
#include <sys/stat.h><sys/types.h><unistd.h><fcntl.h><stdio.h>  //fifo.c
int main(void){
    char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
    perror("Created?");
}
```

```
$ ls -la /tmp | grep fifo1
prw-------  1 michele michele   0  2 apr 09.55 fifo1
```

Aprire una FIFO

Una volta creata, per essere usata la fifo deve essere aperta con `open()`, usando le flag `O_RDONLY` o `O_WRONLY` per gestire il lato di apertura. L'apertura è bloccante finchè anche l'altro lato non è stato aperto. In genere un processo apre il lato in scrittura e l'altro il lato in lettura, ed entrambi aspettano che l'altro lato sia aperto!

Se si apre in modalità `O_RDWR` od usando anche il flag `O_NONBLOCK`, l'apertura non si bloccherà. Attenzione all'effetto che ha quando usata con altri processi!

`O_RDWR` → consente entrambe le operazioni. Se viene chiusa dopo, un altro processo non troverà più i dati! (vedere prossime slides)
`O_WRONLY | O_NONBLOCK` → errore a meno che non sia già aperta in lettura
`O_RDONLY | O_NONBLOCK` → viene aperta a prescindere dal lato di scrittura

```c
#include <sys/stat.h> <sys/types.h> <unistd.h> <fcntl.h> <stdio.h> <string.h>  //fifoCom.c
int main (int argc, char *argv[]) {
  int fd;
  char buf[80],  * fifoName = "/tmp/fifo1", * str2 = "Hello!";
  mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if doesn't exist
  if(fork()==0){
     fd = open(fifoName , O_RDONLY); // Open FIFO for read only
     printf("Pipe opened in READONLY\n");
     int r = read(fd, buf, 80); // read from FIFO
     buf[r] = '\0'; // Null terminate the string
     printf("Reader has read '%d': '%s'\n", r, buf);
  }else{
     fd = open(fifoName , O_WRONLY); // Open FIFO for write only
     printf("Pipe opened in WRONLY\n");
     write(fd, str2, strlen(str2)); // Write and close
     printf("Writer has written: '%s'\n", str2);
  }
  close(fd);
}
```

```c
#include <sys/stat.h><sys/types.h> <unistd.h><fcntl.h><stdio.h>    //fifoReadNonBlock.c
void main(){
  int fd;
  char * fifoName = "/tmp/fifo1";
  mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
  if (fork() == 0){ //Child
     fd = open(fifoName,O_RDONLY | O_NONBLOCK );
     if(fd != -1) printf("Open read\n");
     char buffer[10];
     int bytesRead = read(fd,buffer,10);
     printf("Read %d bytes: '%s'\n",bytesRead,buffer); //Will return 0!
  }else{
     sleep(2);
     printf("Opening write\n");
     fd = open(fifoName,O_WRONLY); //Open pipe in write only
     write(fd,"Hello",5);
  }
  close(fd);
}
```

```c
#include <sys/stat.h>  <sys/types.h> <unistd.h> <fcntl.h> <stdio.h>    //fifoRDWR.c

void main(){
  char buffer[10], * fifoName = "/tmp/fifo1";
  int fd;
  mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
  fd = open(fifoName,O_RDWR); //Open pipe in readwrite
  printf("Open write %d\n",fd);
  write(fd,"Hello",5);
  int bytesRead = read(fd,buffer,10);
  printf("Read %d bytes: %s\n",bytesRead,buffer);
  close(fd);
}
```

```c
#include <sys/stat.h> <sys/types.h> <unistd.h> <fcntl.h>  <stdio.h>    //fifoRDWR3.c
void main(){
  char buffer[10], * fifoName = "/tmp/fifo1";
  int fd;
  mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
  if (fork() == 0){ //Child
     fd = open(fifoName,O_RDWR); //Open pipe in readwrite
     printf("Open write %d\n",fd);
     write(fd,"Hello",5);
  }else{
     sleep(2);
     fd = open(fifoName,O_RDONLY | O_NONBLOCK); //We need nonblock
     if(fd != -1){
        printf("Open read\n");
        int bytesRead = read(fd,buffer,10);
        printf("Read %d bytes: %s\n",bytesRead,buffer); //We will read 0 because there is no write-side opened and the read-side
was opened after the write side was closed!
     }
  }
  close(fd);
}
```

```c
#include <sys/stat.h> <sys/types.h> <unistd.h> <fcntl.h>  <stdio.h>    //fifoRDWR3.c
void main(){
  char buffer[10], * fifoName = "/tmp/fifo1";
  int fd;
  mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
  if (fork() == 0){ //Child
     fd = open(fifoName,O_RDWR); //Open pipe in readwrite
     printf("Open write %d\n",fd);
     write(fd,"Hello",5);
  }else{
    fd = open(fifoName,O_RDONLY | O_NONBLOCK); //We need nonblock
    sleep(2);
     if(fd != -1){
        printf("Open read\n");
        int bytesRead = read(fd,buffer,10);
        printf("Read %d bytes: %s\n",bytesRead,buffer); //We will read the data because even if there is no write-side opened, the
read-side was opened before the write side was closed!
     }
  }
  close(fd);
}
```

Comunicazione bloccata

```
#include <sys/stat.h><sys/types.h><unistd.h><fcntl.h><stdio.h>
//fifoBlocked.c
int main(void){
    char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
    perror("Created?");
    if (fork() == 0){ //Child
        printf("Trying to open read\n");
        open(fifoName,O_RDONLY); //Open READ side of pipe...stuck!
        printf("Open read\n");
    }else{
        sleep(3);
        open(fifoName,O_WRONLY); //Open WRITE side of pipe
        printf("Open write\n");
    }
}
```

Esempio comunicazione: writer (1/2)

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

//fifoWriter.c
int main (int argc, char *argv[]) {
    int fd;   char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    char str1[80], * str2 = "I'm a writer";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
    fd = open(fifoName, O_WRONLY); // Open FIFO for write only
    write(fd, str2, strlen(str2)+1); // write and close
    close(fd);
    fd = open(fifoName, O_RDONLY); // Open FIFO for Read only
    read(fd, str1, sizeof(str1)); // Read from FIFO
    printf("Reader is writing: %s\n", str1);
    close(fd);
}
```

Esempio comunicazione: reader (2/2)

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

//fifoReader.c
int main (int argc, char *argv[]) {
    int fd; char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if doesn't exist
    char str1[80], * str2 = "I'm a reader";
    fd = open(fifoName , O_RDONLY); // Open FIFO for read only
    read(fd, str1, 80); // read from FIFO and close it
    close(fd);
    printf("Writer is writing: %s\n", str1);
    fd = open(fifoName , O_WRONLY); // Open FIFO for write only
    write(fd, str2, strlen(str2)+1); // Write and close
    close(fd);
}
```

Comunicazione sul terminale

È possibile usare le FIFO da terminale, leggendo e scrivendo dati tramite gli operatori di redirezione.

```
echo “message for pipe” > /path/nameOfPipe
```

```
cat /path/nameOfPipe
```

NB: non si possono scrivere dati usando editor di testo! Una volta consumati i dati, questi non sono più presenti sulla fifo. Inoltre, entrambi i comandi chiudono la pipe una volta completata l’operazione.

Pipe anonime vs FIFO

	pipe	**FIFO**
Rappresentazione	Buffer	Buffer
Riferimento	anonimo	File
Accesso	2 File descriptors	1 File descriptor
Persistenza	Eliminata alla terminazione di tutti i processi	Esiste finchè esiste il file
Vincoli accesso	Antenato comune	Permessi sul file
Creazione	pipe()	mkfifo()
Apertura	Automatica con pipe()	open()
Max bytes per atomicità	PIPE_BUF = 4096 on Linux, minimo 512 Bytes POSIX	

Esercizi

- Impostare una comunicazione bidirezionale tra due processi con due livelli di complessità:
  - Alterna due scambi (P1 → P2, P2 → P1, P1 → P2, P2 → P1)
  - Mantenendo una comunicazione fino alla ricezione di un carattere di terminazione (da decidere)
- Creare un programma che prenda come argomento 'n' il numero di figli da generare. Ogni figlio creato comunicherà al genitore (tramite pipe) un numero casuale e il genitore calcolerà la somma di tutti questi numeri, inviandola a stdout.

CONCLUSIONI

PIPE e FIFO (“named pipes”) sono sistemi di comunicazione tra processi (“parenti”, tipicamente padre-figlio, nel primo caso e in generale nel secondo caso) che consentono scambi di informazioni (messaggi) e sincronizzazione (grazie al fatto di poter essere “bloccanti”).