Modulo extra: Inter Process Communication (IPC)

Laboratorio di Sistemi Operativi I
Anno Accademico 2005-2006

Francesco Pedullà
(Tecnologie Informatiche)

Massimo Verola
(Informatica)

Sommario

- segnali
- pipe
- named pipe

Introduzione - I

- **I segnali sono interrupt software a livello di processo**
  - Permetto la gestione di eventi asincroni che interrompono il normale funzionamento di un processo
- **Segnali – breve storia**
  - Versione "non affidabile" introdotti dalle prime versioni di Unix
    - I segnali potevano essere persi
  - Unix 4.3BSD e SVR3 introducono segnali affidabili
    - Si evita la possibilità che un segnale vada perso
  - POSIX.1 standardizza la gestione dei segnali

Introduzione - II

- **Caratteristiche dei segnali**
  - Ogni segnale ha un identificatore
    - Identificatori di segnali iniziano con i tre caratteri SIG
    - Es. **`SIGABRT`** è il segnale di abort
  - Numero segnali: 15-40, a seconda della versione di UNIX
    - POSIX: 18
    - Linux: 38
  - I nomi simbolici corrispondono ad un intero positivo
    - Definizioni di costanti in **`signal.h`**
    - Il numero 0 è utilizzato per un caso particolare
- **I segnali sono eventi asincroni**
  - La gestione avviene tramite *signal handler*

Condizioni che possono generare segnali - I

- **Pressione di tasti speciali sul terminale**
  - Es: Premere il tasto **`Ctrl-C`** genera il segnale **`SIGINT`**
- **Eccezioni hardware**
  - Divisione per 0 (**`SIGFPE`**)
  - Riferimento non valido a memoria (**`SIGSEGV`**)
  - L'interrupt viene generato dall'hardware, e catturato dal kernel; questi invia il segnale al processo in esecuzione
- **System call `kill`**
  - Permette di spedire un segnale ad un altro processo
  - Limitazione: uid del processo che esegue **`kill`** deve essere lo stesso del processo a cui si spedisce il segnale, oppure 0 (root)

Condizioni che possono generare segnali - II

- **Comando `kill`**
  - Interfaccia shell alla system call **`kill`**
- **Condizioni software**
  - Eventi asincroni generati dal software del sistema operativo, non dall'hardware della macchina
  - Esempi:
    - terminazione di un child (**`SIGCHLD`**)
    - generazione di un alarm (**`SIGALRM`**)

Azioni associate

- **Ignorare il segnale**
  - Alcuni segnali che non possono essere ignorati: **`SIGKILL`** e **`SIGSTOP`**
    - Motivo: permettere al superutente di terminare processi
    - Segnali hardware: comportamento non definito in POSIX se ignorati
- **Esecuzione dell'azione di default**
  - Per molti segnali "critici", l'azione di default consiste nel terminare il processo
  - Può essere generato un file di core, eccetto quando:
    - bit set-user-id e set-group-id settati e uid/gid diversi da owner/group;
    - mancanza di permessi in scrittura per la directory;
    - core file troppo grande

Azioni associate

- **Catturare ("catch") il segnale:**
  - Il kernel informa il processo chiamando una funzione specificata dal processo stesso (signal handler)
  - Il signal handler gestisce il problema nel modo più opportuno
- **Esempio:**
  - nel caso del segnale **`SIGCHLD`** (terminazione di un child)
    → possibile azione: eseguire **`waitpid`**
  - nel caso del segnale **`SIGTERM`** (terminazione standard)
    → possibili azioni: rimuovere file temporanei, salvare file

Alcuni dei segnali più importanti - I

- **SIGABRT (Terminazione, core)**
  - Generato da system call **abort()**; terminazione anormale
- **SIGALRM (Terminazione)**
  - Generato da un timer settato con la system call **alarm** o la funzione **setitimer**
- **SIGBUS (Non POSIX; terminazione, core)**
  - Indica un hardware fault (definito dal s.o.)
- **SIGCHLD (Default: ignore)**
  - Quando un processo termina, **SIGCHLD** viene spedito al processo parent
  - Il processo parent deve definire un signal handler che chiami **wait** o **waitpid**
- **SIGFPE (Terminazione, core)**
  - Eccezione aritmetica, come divisioni per 0
- **SIGHUP (Terminazione)**
  - Inviato ad un processo se il terminale viene disconnesso

Alcuni dei segnali più importanti - II

- **SIGILL (Terminazione, core)**
  - Generato quando un processo ha eseguito un'azione illegale
- **SIGINT (Terminazione)**
  - Generato quando un processo riceve un carattere di interruzione (`Ctrl-C`) dal terminale
- **SIGIO (Non POSIX; default: terminazione, ignore)**
  - Evento I/O asincrono
- **SIGKILL (Terminazione)**
  - Maniera sicura per uccidere un processo
- **SIGPIPE (Terminazione)**
  - Scrittura su pipe/socket in cui il lettore ha terminato/chiuso
- **SIGSEGV (Terminazione, core)**
  - Generato quando un processo esegue un riferimento di memoria non valido

Alcuni dei segnali più importanti - III

- **`SIGSYS` (Terminazione, core)**
  - Invocazione non valida di system call
  - Esempio: parametro non corretto
- **`SIGTERM` (Terminazione)**
  - Segnale di terminazione normalmente generato dal comando kill
- **`SIGURG` (Non POSIX; ignora)**
  - Segnala il processo che una condizione urgente è avvenuta (dati out-of-bound ricevuti da una connessione di rete)
- **`SIGUSR1`, `SIGUSR2` (Terminazione)**
  - Segnali non definiti utilizzabili a livello utente
- **`SIGSTP` (Default: stop process)**
  - Generato quando un processo riceve un carattere di suspend (`Ctrl-Z`) dal terminale

Funzione signal - I

- **Funzione**

```
void (*signal(int signo, void (*func)(int)))(int);
```

- **Descrizione:**
  - **`signo`**: l'identificatore del segnale che si vuole catturare
  - **`func`**: l'azione che vogliamo che sia eseguita
    - **`SIG_IGN`**: ignora il segnale (non applicabile a **`SIGKILL`** e **`SIGSTOP`**)
    - **`SIG_DFL`**: azione di default
    - l'indirizzo del signal handler: quando si vuole catturare il segnale (non applicabile a **`SIGKILL`** e **`SIGSTOP`**)
  - valore di ritorno:
    - il valore del precedente signal handler se ok
    - SIG_ERR in caso di errore

Funzione signal - II

- **Funzione**
  `void (*signal(int signo, void (*func)(int)))(int);`
- **Definizione alternativa:**

```
typedef void sighandler_t(int);

sighandler_t *signal(int, sighandler_t*);
```

- **Definizione delle costanti (tipica) in `signal.h`:**
  - Queste costanti possono essere utilizzate come "puntatori a funzioni che prendono un intero e non ritornano nulla"
  - I valori devono essere tali che non possano essere assegnati a signal handler

```
#define SIG_ERR (void (*)())-1;

#define SIG_DFL (void (*)())0;

#define SIG_IGN (void (*)())1;
```

Generazione dei segnali - I

- **System call:** `int kill(pid_t pid, int signo);`
  - La funzione `kill` spedisce un segnale ad un processo oppure a un gruppo di processi
  - Argomento `pid`:
    - `pid > 0` spedito al processo identificato da pid
    - `pid == 0` spedito a tutti i processi appartenenti allo stesso gruppo del processo che invoca kill
    - `pid < -1` spedito al gruppo di processi identificati da –pid
    - `pid == -1` non definito
  - Argomento `signo`:
    - Numero di segnale spedito

Generazione dei segnali - II

- **System call:** `int kill(pid_t pid, int signo);`
  - Permessi:
    - Il superutente può spedire segnali a chiunque
    - Altrimenti, il real uid o l'effective uid della sorgente deve essere uguale al real uid o l'effective uid della destinazione
  - POSIX.1 definisce il segnale 0 come il *null signal*
  - Se il segnale spedito è null, **`kill`** esegue i normali meccanismi di controllo errore senza spedire segnali
    - Esempio: verifica dell'esistenza di un processo; spedizione del null signal al processo (nota: i process id vengono riciclati)
- **System call:** `int raise(int signo);`
  - Spedisce il segnale al processo chiamante

Generazione dei segnali - III

- **System call:** `unsigned int alarm(unsigned int sec);`
  - Questa funzione permette di creare un allarme che verrà generato dopo il numero specificato di secondi
  - Allo scadere del tempo, il segnale **`SIGALRM`** viene generato
  - Attenzione: *il sistema non è real-time*
    - Garantisce che la pausa sarà almeno di **`sec`** secondi
    - Il meccanismo di scheduling può ritardare l'esecuzione di un processo
  - Esiste un unico allarme per processo
    - Se un allarme è già settato, il numero di secondi rimasti prima dello scadere viene ritornato da alarm
    - Se **`sec`** è uguale a zero, l'allarme preesistente viene generato

Generazione dei segnali - IV

- **System call:** `unsigned int alarm(unsigned int sec);`
  - L'azione di default per **`SIGALRM`** è di terminare il processo
  - Ma normalmente viene definito un signal handler per il segnale
- **System call:**
  - `int getitimer(int which, struct itimerval *value);`
  - `int setitimer(int which, const struct itimerval *value, struct itimerval *ovalue);`
  - Permettono un controllo più completo
- **System call:** `int pause();`
  - Questa funzione sospende il processo fino a quando un segnale non viene catturato (ritorna –1 e setta **`errno`** a **`EINTR`**)

Esempio

- **Esempio: sigusr.c**
  - Cattura i segnali definiti dall'utente e stampa un messaggio di errore
- **Output:**

```
$ a.out &
[1]      235
$ kill -USR1 235   # spedisci segnale SIGUSR1 a 235
received SIGUSR1   # catturato
$ kill -USR2 235   # spedisci segnale SIGUSR1 a 235
received SIGUSR2   # catturato
$ kill 235         # spedisci segnale SIGTERM
[1] + Terminated   a.out &
```

System call - I

- **System call:**

```
unsigned int sleep(unsigned int seconds);
```

  - questa system call causa la sospensione del processo fino a quando:
    - l'ammontare di tempo specificato trascorre
      - return value: 0
    - un segnale viene catturato e il signal handler effettua un return
      - return value: tempo rimasto prima del completamento della sleep
  - nota:
    - la sleep può concludersi dopo il tempo richiesto
    - la sleep può essere implementata utilizzando alarm(), ma spesso questo non accade per evitare conflitti

System call - II

- **System call: `void abort();`**
  - questa system call spedisce il segnale **`SIGABRT`** al processo
  - comportamento in caso di:
    - **`SIG_DFL`**: terminazione del processo
    - **`SIG_IGN`**: non ammesso
    - signal handler: il segnale viene catturato
  - nel caso che il segnale venga catturato, il signal handler:
    - può eseguire return
    - può invocare **`exit`** o **`_exit`**
  - in entrambi i casi, il processo viene terminato
  - motivazioni per il catching: cleanup

Startup

- **Quando un programma esegue una system call `fork`:**
  - I signal catcher settati nel parent vengono copiati nel figlio
- **Quando un programma viene eseguito tramite `exec`**
  - Se il signal catcher per un certo segnale è default o ignore, viene lasciato inalterato nel child
  - Se il signal catcher è settato ad una particolare funzione, viene cambiato a default nel child
    - Motivazione: la funzione settato può non esistere più nel figlio
- **Casi particolari**
  - Quando un processo viene eseguito in background
    - Segnali **`SIGINT`** e **`SIGQUIT`** vengono settati a ignore
    - In che momento / da chi questa operazione viene effettuata?

Funzioni *reentrant* - I

- **Quando un segnale viene catturato**
  - la normale sequenza di istruzioni viene interrotta
  - vengono eseguite le istruzioni del signal handler
  - quando il signal handler ritorna (invece di chiamare `exit`) la normale sequenza di istruzioni viene ripresa
- **Problemi:**
  - Cosa succede se un segnale viene catturato durante l'esecuzione di una `malloc` (che gestisce lo heap), e il signal handler invoca una chiamata a `malloc`?
  - In generale, può succedere di tutto…
  - Normalmente, ciò che accade è un segmentation fault…

Funzioni reentrant - II

- **POSIX.1 garantisce che un certo numero di funzioni siano reentrant**
  - `_exit`, `access`, `alarm`, `chdir`,`chmod`, `chown`, `close`, `creat`, `dup`, `dup2`, `execle`, `execve`, `exit`, `fcntl`, `fork`, `fstat`, `get*id`, `kill`, `link`, `lseek`, `mkdir`, `mkfifo`, `open`, `pathconf`, `pause`, `pipe`, `read`, `rename`, `rmdir`, `set*id`, `sig*`, `sleep`, `stat`, `sysconf`, `time`, `times`, `umask`, `uname`, `unlink`, `utime`, `wait`, `waitpid`, `write`
- **Se una funzione manca...**
  - perché utilizza strutture dati statiche
  - perché chiama `malloc` e `free`
  - perché fa parte della libreria standard di I/O

Funzioni reentrant - III

- **In ogni caso:**
  - Le funzioni reentrant listate in precedenza possono modificare la variabile `errno`
  - Un signal handler che chiama una di quelle funzioni dovrebbe salvare il valore di `errno` prima della funzione e ripristinarlo dopo
- **Esempio: reenter.c**
  - Utilizzo (errato) di `printf` nel signal handler
  - Utilizzo (errato) di `getpwnam` (analizza il `passwd` file)
  - Può generare segmentation fault

Standard POSIX - I

- **Nelle prime versioni di UNIX**
  - I segnali non erano affidabili
    - Potevano andare persi (un segnale viene lanciato senza che un processo ne sia al corrente)
    - Problema derivante in parte dal fatto che una volta catturato, il signal catcher deve essere ristabilito

```
signal(SIGINT, sig_int);
void sig_int() {
signal(SIGINT, sig_int);
/* process the signal */
}
```

    - Race condition tra **`signal`** la gestione del segnale e la signal all'interno di **`sig_int()`**

Standard POSIX - II

- **Cosa succede se un processo riceve un segnale durante una system call?**
  - normalmente, l'eventuale azione associata viene eseguita solo dopo la terminazione della system call
  - in alcune system call "lente", le prime versioni di Unix potevano interrompere la system call
    - la quale ritornava –1 come errore e errno viene settata a EINT

Standard POSIX - III

- **Motivazioni:**
  - in assenza di interruzioni da segnali:
    - una lettura da terminale resta bloccata per lunghi periodi di tempo
    - un segnale di interruzione non verrebbe mai consegnato
  - poiché il processo ha catturato un segnale, c'è una buona probabilità che sia successo qualcosa di significativo

Standard POSIX - IV

- **System call "lente":**
  - operazioni **`read`** su file che possono bloccare il chiamante per un tempo indeterminato (terminali, pipe, connessioni di rete)
  - operazione **`write`** su file che possono bloccare il chiamante per un tempo indeterminato prima di accettare dati
  - **`pause`**, **`wait`**, **`waitpid`**
  - certe operazioni **`ioctl`**
  - alcune system call per la comunicazione tra processi
- **Problemi:**
  - bisognerebbe gestire esplicitamente l'errore dato dalle interruzioni

Standard POSIX - V

- **Esempio gestione:**

```
while ( (n= read(fd, buff, BUFFSIZE)) < 0) {
  if (errno != EINTR)
    break;
}
```

- **Restart automatico di alcune system call:**
  - Alcune system call possono ripartire in modo automatico:
    - per evitare questa gestione
    - perché in alcuni casi non è dato sapere se il file su cui si opera può bloccarsi indefinitamente
  - System call con restart: **`ioctl`**, **`read`**, **`write`**
    - solo quando operano su file descriptor che possono bloccarsi indefinitamente
  - System call senza restart: **`wait`**, **`waitpid`**
    - sempre

Standard POSIX - VI

- **POSIX e S.O. moderni:**
  - Capacità di bloccare le system call: standard
  - I signal handler rimangono installati: standard
  - Restart automatico delle system call: non specificato
    - In realtà, in molti S.O. moderni è possibile specificare se si desidera il restart automatico oppure no
- **POSIX specifica un meccanismo per segnali affidabili:**
  - E' possibile gestire ogni singolo dettaglio del meccanismo dei segnali
    - quali bloccare
    - quali gestire
    - come evitare di perderli, etc.

Segnali affidabili - I

- **Alcune definizioni:**
  - Diciamo che un segnale è *generato* per un processo quando accade l'evento associato al segnale
    - Esempio: riferimento memoria non valido ⇒ **`SIGSEGV`**
    - Quando il segnale viene generato, viene settato un flag nel process control block del processo
  - Diciamo che un segnale è *consegnato* ad un processo quando l'azione associata al segnale viene intrapresa
  - Diciamo che un segnale è *pendente* nell'intervallo di tempo che intercorre tra la generazione del segnale e la consegna

Segnali affidabili - II

- **Bloccare i segnali**
  - Un processo ha l'opzione di bloccare la consegna di un segnale per cui l'azione di default non è *ignore*
  - Se un segnale bloccato viene generato per un processo, il segnale rimane pending fino a quando:
    - il processo sblocca il segnale
    - il processo cambia l'azione associata al segnale ad ignore
  - E' possibile ottenere la lista dei segnali pending tramite la funzione **`sigpending`**
- **Cosa succede se un segnale bloccato viene generato più volte prima che il processo sblocchi il segnale?**
  - POSIX non specifica se i segnali debbano essere accodati oppure se vengano consegnati una volta sola

Segnali affidabili - III

- **Cosa succede se segnali diversi sono pronti per essere consegnati ad un processo?**
  - POSIX non specifica l'ordine in cui devono essere consegnati
  - POSIX suggerisce che segnali importanti (come `SIGSEGV`) siano consegnati prima di altri
- **Maschera dei segnali:**
  - Ogni processo ha una maschera di segnali che specifica quali segnali sono attualmente bloccati
  - E' possibile pensare a questa maschera come ad un valore numerico con un bit per ognuno dei possibili segnali
  - E' possibile esaminare la propria maschera utilizzando la system call `sigprocmask`

Gestione segnali - I

- **System call:** `int sigpending(sigset_t *set);`
- **Descrizione:**
  - Ritorna l'insieme di segnali che sono attualmente pending per il processo corrente
- **Esempio:**

```
void pr_mask() {
   sigset_t  sigset;
   int errno_save = errno;
   if (sigpending(&sigset) < 0)
       perror("sigpending error");
   if (sigismember(&sigset, SIGINT))   printf("SIGINT ");
   if (sigismember(&sigset, SIGQUIT))  printf("SIGQUIT ");
       /* remaining signals can go here */
   printf("\n");
   errno = errno_save;
}
```

Gestione segnali - II

- **System call**

```
int sigaction(int signo, struct sigaction
        *newact, struct sigaction *oldact);
```

  - Questa system call permette di esaminare e/o modificare l'azione associata ad un segnale
  - Versione più completa di **`signal`**; nei sistemi moderni, **`signal`** è implementata utilizzando **`sigaction`**
  - Argomento:
    - **`signo`** segnale considerato
    - **`newact`** se diverso da **`NULL`**, struttura dati contenente informazioni sulla nuova azione
    - **`oldact`** se diverso da **`NULL`**, struttura dati contenente informazioni sulla vecchia azione

Gestione segnali - III

- **Struttura `sigaction`:**

```
struct sigaction {
   void (*sa_handler)();  /* signal handler */
   sigset_t sa_mask;      /* addit.block mask */
   int sa_flags;             /* options */
}
```

- **Descrizione:**
  - **`sa_handler`** è il puntatore all'azione per il segnale (un signal handler, **`SIG_IGN`** o **`SIG_DFL`**)
  - **`sa_mask`** è un insieme addizionale di segnali da bloccare quando un segnale viene catturato da un signal handler
  - **`sa_flags`** descrive flag addizionali per vincolare il comportamento del sistema

Gestione segnali - IV

- **Utilizzo di `sa_mask`**
  - All'inizio dell'esecuzione di un signal handler:
    - il valore corrente della **`procmask`** viene salvato
    - alla **`procmask`** vengono aggiunti
      - i segnali specificati in **`sa_mask`**
      - il segnale specificato da **`signo`**
  - Al termine dell'esecuzione di un signal handler:
    - la **`procmask`** viene ripristinata al valore salvato
- **Alcuni valori per `sa_flag` (non standard POSIX):**
  - **`SA_RESTART`** forza automatic restart per system call interrotte da questo segnale
  - **`SA_INTERRUPT`** elimina automatic restart per system call interrotte da questo segnale

Gestione segnali - V

- **System call:**

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

  - La procmask viene posta uguale al valore puntato da **`sigmask`**
  - Il processo è sospeso fino a quando:
    - un segnale viene catturato
    - un segnale causa la terminazione di un processo
  - Ritorna sempre –1 con **`errno`** uguale a **`EINTR`**

Esercizio: Sincronizzazione tramite segnali - I

- **Descrizione**
  - realizzare un meccanismo basato su segnali per risolvere il problema produttore / consumatore
    - processo padre: produttore
      - produce numeri interi consecutivi
      - stampa il proprio pid e il numero prodotto
    - processo figlio: consumatore,
      - consuma i numeri prodotti dal padre
      - stampa il proprio pid e il numero consumato
  - il processo padre e figlio utilizzano un buffer di dimensione 1, realizzato con un file condiviso

Esercizio: Sincronizzazione tramite segnali - II

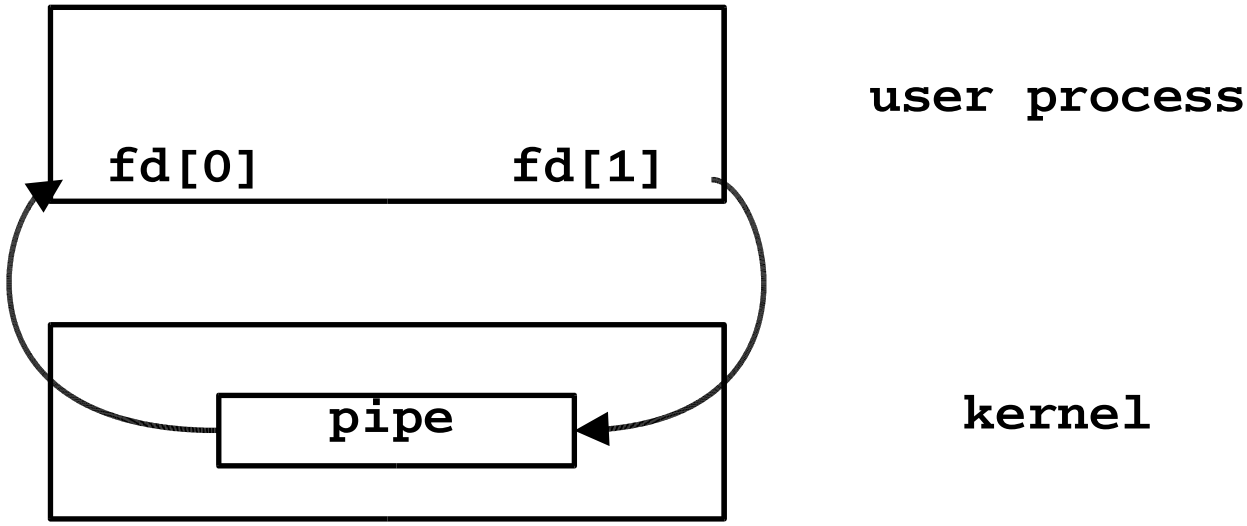
- **Descrizione**
  - processo padre:
    - apre il file condiviso in scrittura
    - utilizza lseek per scrivere sempre all'inizio
    - scrive i 4 byte che rappresentano un int
  - processo figlio:
    - apre il file condiviso in lettura
    - utilizza lseek per leggere sempre all'inizio
    - legge i 4 byte che rappresentano un int

Definizione e caratteristiche di un 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 utilizzata 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

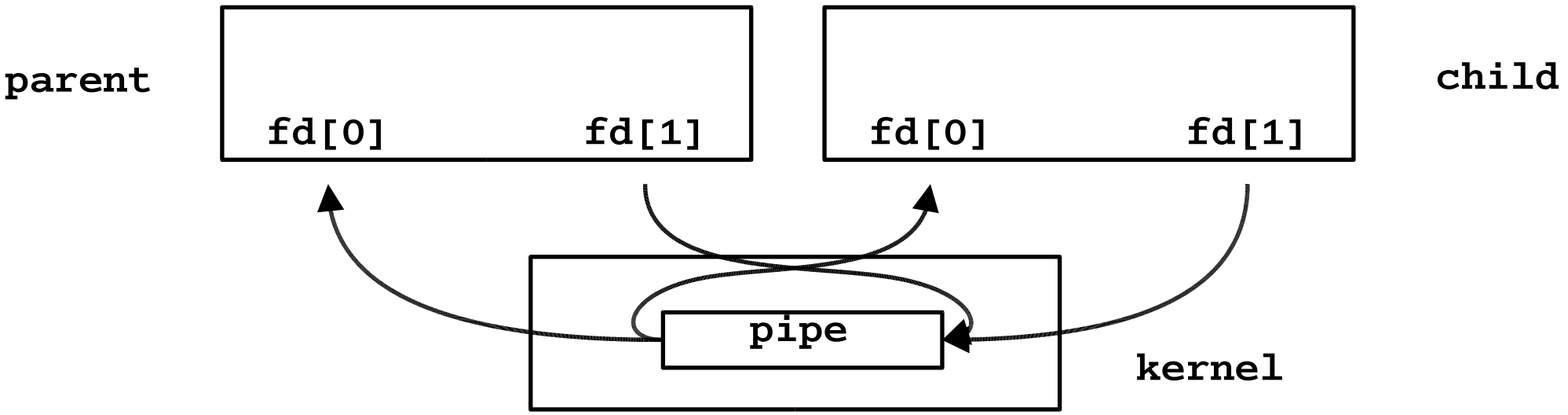
System call *pipe* e file descriptor

- **System call: `int pipe(int filedes[2]);`**
  - Ritorna due descrittori di file attraverso l'argomento **`filedes`**
    - **`filedes[0]`** è aperto in lettura
    - **`filedes[1]`** è aperto in scrittura
  - L'output di **`filedes[1]`** è l'input di **`filedes[0]`**



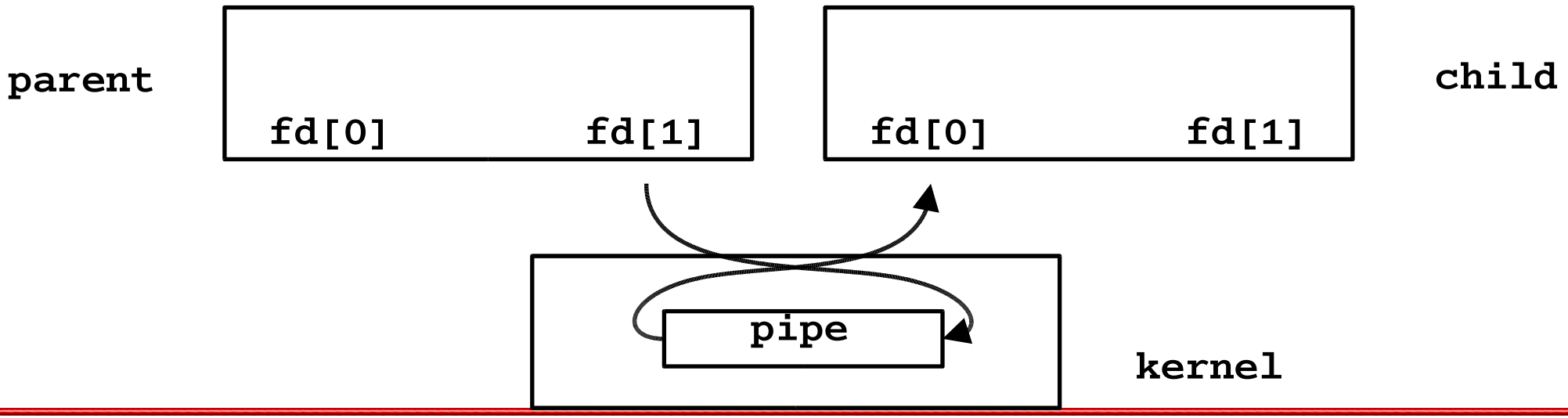
Utilizzo di pipe - I

- **Come utilizzare i pipe?**
  - I pipe in un singolo processo sono completamente inutili
  - Normalmente:
    - il processo che chiama pipe chiama **`fork`**
    - i descrittori vengono duplicati e creano un canale di comunicazione tra parent e child o viceversa



Utilizzo di pipe - II

- **Come utilizzare i pipe?**
  - Cosa succede dopo la `fork` dipende dalla direzione dei dati
  - I canali non utilizzati vanno chiusi
- **Esempio: parent → child**
  - Il parent chiude l'estremo di input (`close(fd[0]);`)
  - Il child chiude l'estremo di output (`close(fd[1]);`)



Utilizzo di pipe - III

- **Come utilizzare i pipe?**
  - Una volta creati, è possibile utilizzare le normali chiamate `read`/`write` sugli estremi
- **La chiamata `read`**
  - se l'estremo di ouput è aperto
    - restituisce i dati disponibili, ritornando il numero di byte
    - successive chiamate si bloccano fino a quando nuovi dati non saranno disponibili
  - se l'estremo di output è stato chiuso
    - restituisce i dati disponibili, ritornando il numero di byte
    - successive chiamate ritornano 0

Utilizzo di pipe - IV

- **La chiamata `write`**
  - se l'estremo di input è aperto
    - i dati in scrittura vengono bufferizzati fino a quando non saranno letti dall'altro processo
  - se l'estremo di input è stato chiuso
    - viene generato un segnale **`SIGPIPE`**
      - ignorato/catturato: write ritorna `-1` e **`errno=EPIPE`**
      - azione di default: terminazione
- **Esempio: pipe1.c**
  - Due processi: parent e child
  - Il processo parent comunica al figlio una stringa, e questi provvede a stamparla

Utilizzo di pipe - V

- **Chiamata `fstat`**
  - Se utilizziamo **`fstat`** su un descrittore aperto su un pipe, il tipo del file sarà descritto come fifo (macro **`S_ISFIFO`**)
- **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

Esercizio

- **Consideriamo un programma che vuole mostrare il proprio output una pagina alla volta**
  - Aggiungere al programma la funzionalità di more, less
  - Scrivere uno script che metta il programma in pipe con more
  - Scrivere un programma che crei un pipe con more
- **Procedura**
  - si crea un pipe
  - si chiama fork
  - si chiudono nel padre e nel figlio gli opportuni descrittori
  - il figlio usa dup2 per duplicare l'estremo di input del pipe sullo standard input
    - attenzione; bisogna verificare che il descrittore non abbia già il valore scelto
  - Nota: cerca in una variabile di ambiente PAGER

popen - I

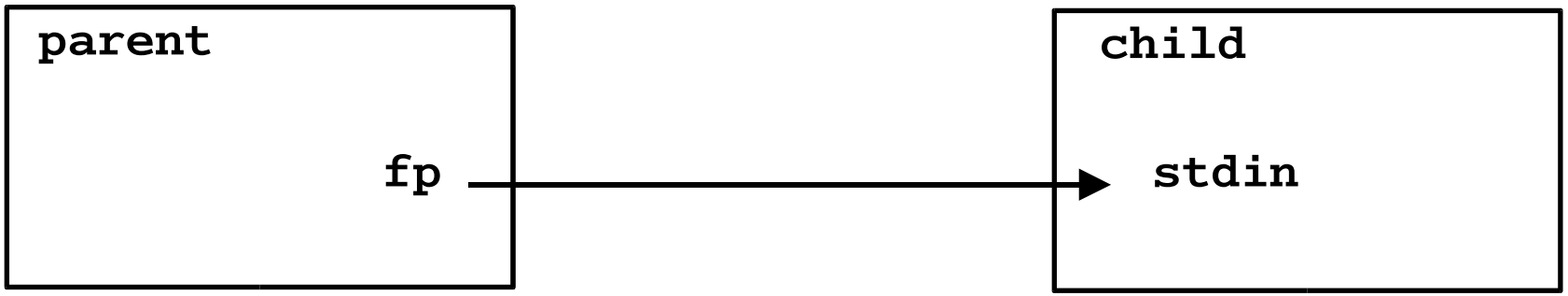
- **Funzioni:**

```
FILE *popen(char *cmdstring, char *type);
int pclose(FILE *fp);
```

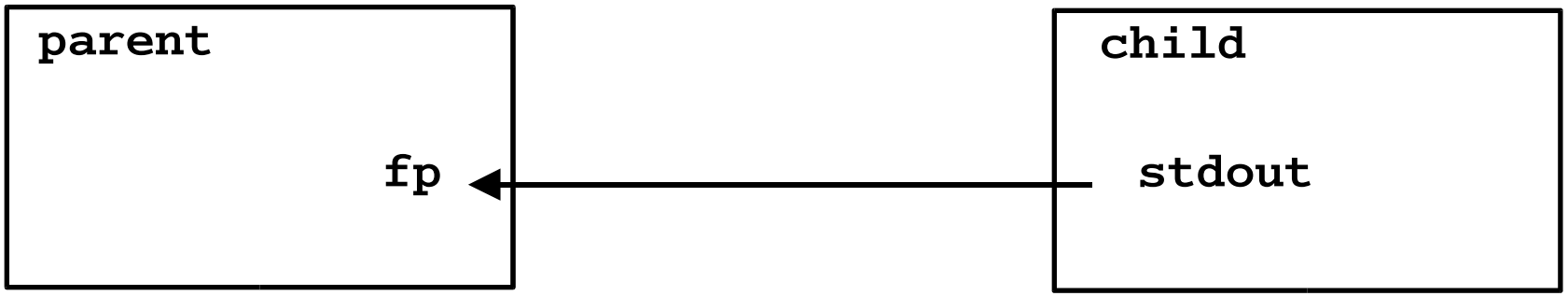
- **Descrizione di `popen`:**
  - crea un nuovo processo per eseguire **`cmdstring`**
  - crea un pipe con questo processo
  - chiude le parti non usate dei pipe
  - redireziona
    - lo standard output del nuovo processo sul pipe **`(type = "r")`**
    - lo standard input dal nuovo processo sul pipe **`(type = "w")`**
- **Descrizione di `pclose`**
  - Attende con **`wait`** la terminazione del comando
  - Restituisce l'exit status

popen - II

- `type = "w"`



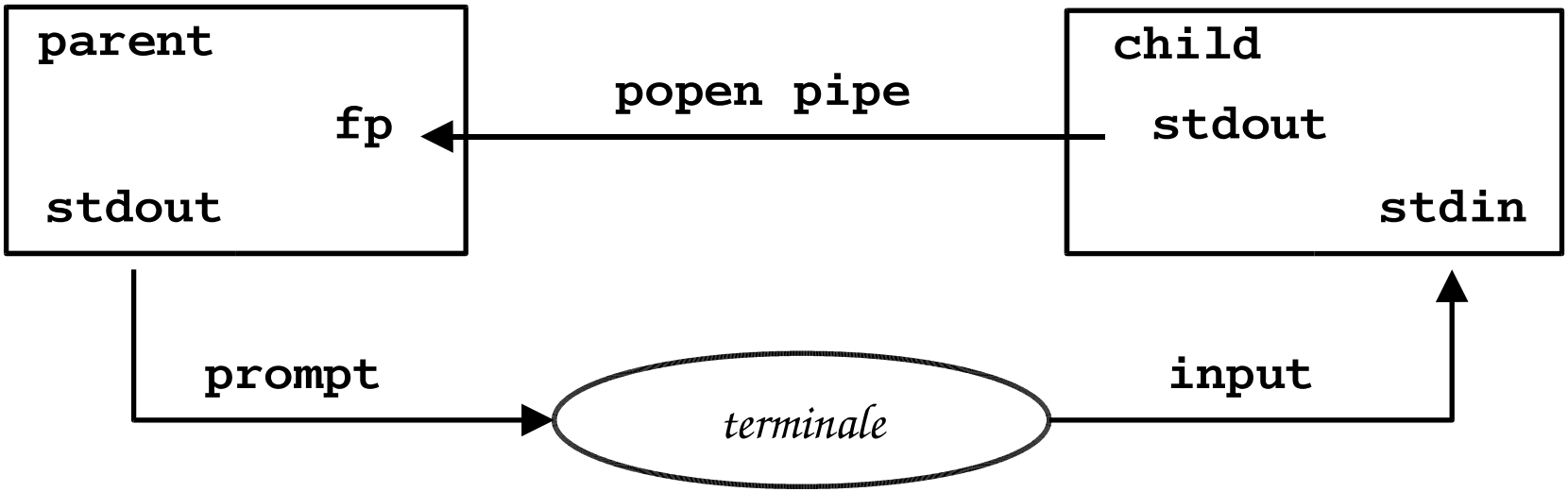
- `type = "r"`



- **Nota: `cmdstring` è eseguita tramite `"/bin/sh -c"`**

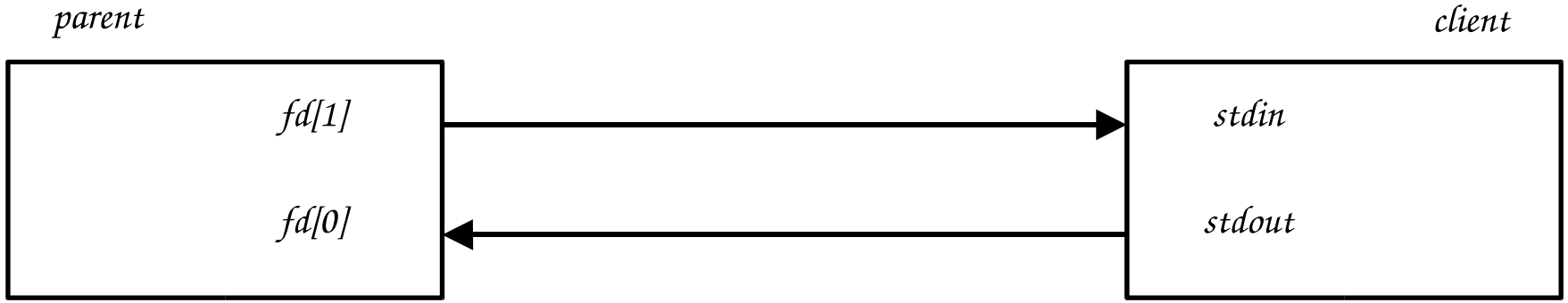
popen - esempio

- **Esempio:**
  - Si consideri un'applicazione che scrive un prompt su standard output e legge una linea da standard input
  - Vogliamo inserire un "filtro" sullo standard input



Coprocessi

- **Cos'è un coprocesso?**
  - Un filtro UNIX è un processo che legge da stdin e scrive su stdout
  - Normalmente i filtri UNIX sono connessi linearmente in una pipeline
  - Se lo stesso processo legge da stdin e scrive su stdout si parla di coprocesso



Pipe e named pipe

- **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 - I

- **System call:**

```
int mkfifo(char* pathname, 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 funziona 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 - II

- **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

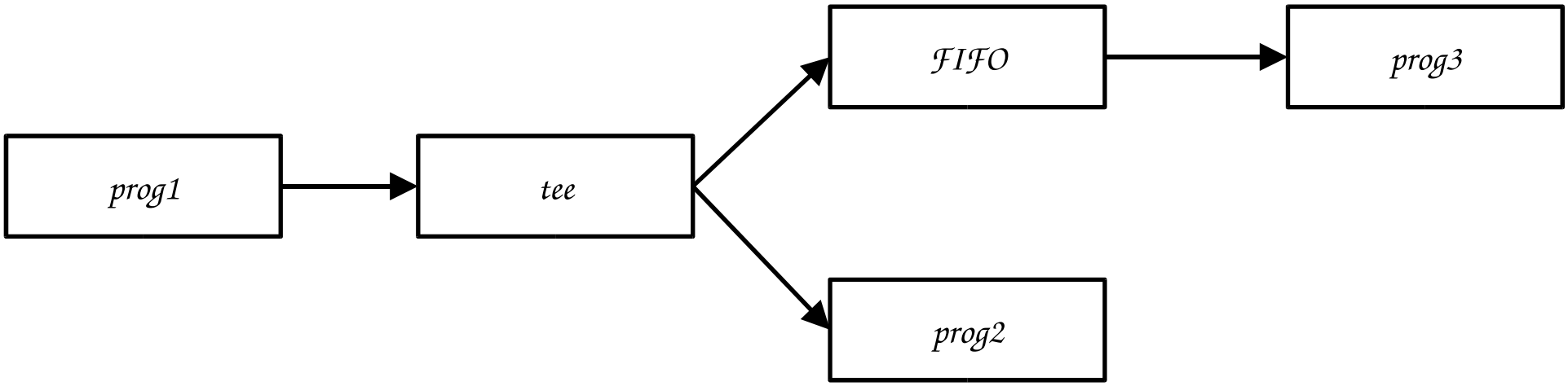
FIFO - III

- **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

Named pipe - I

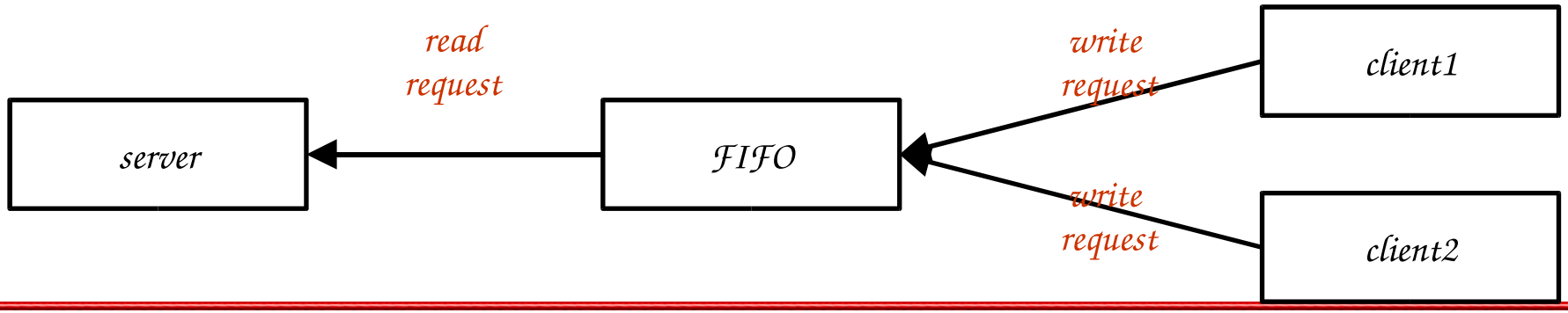
- **Utilizzazioni dei FIFO**
  - Utilizzati dai comandi shell per passare dati da una shell pipeline ad un'altra, senza passare creare file intermedi
- **Esempio:**

```
mkfifo fifo1
prog3 < fifo1 &
prog1 | tee fifo1 | prog2
```



Named pipe - II

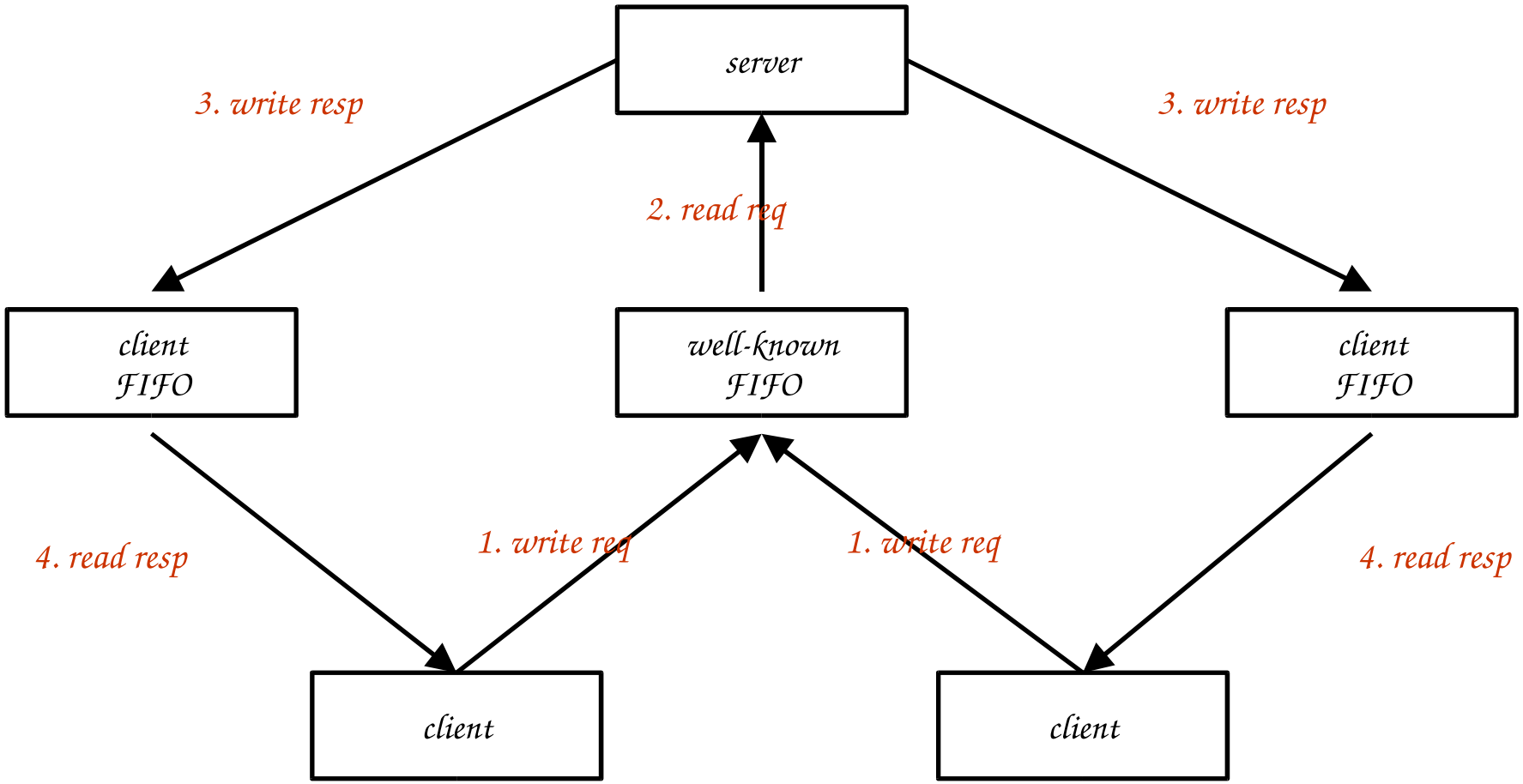
- **Utilizzazioni dei FIFO**
  - Utilizzati nelle applicazioni client-server per comunicare
- **Esempio:**
  - Comunicazioni client → server
    - il server crea un FIFO
    - il pathname di questo FIFO deve essere "well-known" (ovvero, noto a tutti i client)
    - i client scrivono le proprie richieste sul FIFO
    - il server leggere le richieste dal FIFO



Named pipe - III

- **Problema: come rispondere ai client?**
  - Non è possibile utilizzare il "well-known" FIFO
    - I client non saprebbero quando leggere le proprie risposte
  - Soluzione:
    - i client spediscono il proprio process id al server
    - i client creano un FIFO per la risposta, il cui nome contiene il process ID, e lo aprono in lettura
    - il server aprono in scrittura il client FIFO
    - il server scrive sul canale FIFO
  - Problemi:
    - Il server deve catturare SIGPIPE
      - il client può andarsene prima di leggere la risposta
    - Il server deve aprire in lettura il proprio FIFO
      - altrimenti, quando l'ultimo client termina, il server leggerà EOF

Named pipe - IV



Esercizio

- **Descrizione**
  - riscrivere l'esercizio produttore-consumatore utilizzando una named pipe
  - utilizzare la pipe come buffer
  - il produttore scrive interi sulla pipe
  - il consumatore li stampa
  - utilizzare più produttori