Interazione fra processi: meccanismi di sincronizzazione e comunicazione

Processi interagenti

Classificazione

- ***processi interagenti/indipendenti***

  due processi sono indipendenti se l'esecuzione di ognuno non è in alcun modo influenzata dall'altro

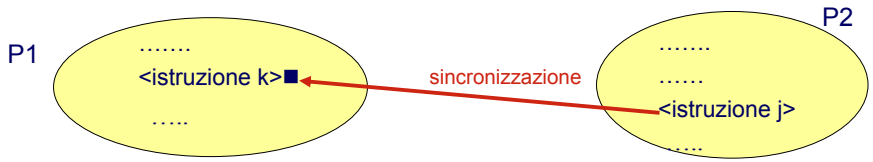
- ***processi interagenti***
  - **cooperanti**: i processi interagiscono ***volontariamente*** per raggiungere ***obiettivi comuni*** (fanno parte della stessa applicazione)
  - **in competizione**: i processi, in generale, non fanno parte della stessa applicazione, ma ***interagiscono indirettamente per l'acquisizione di risorse comuni***

Processi interagenti

L'interazione può avvenire mediante due meccanismi:

- ***Comunicazione***: scambio di informazioni tra i processi interagenti
- ***Sincronizzazione***: imposizione di ***vincoli temporali, assoluti o relativi,*** sull'esecuzione dei processi

  Ad esempio, l'istruzione k del processo P1 può essere eseguita ***soltanto dopo*** l'istruzione j del processo P2



Processi interagenti

Realizzazione dell'interazione: dipende dal modello di esecuzione per i processi

- ***modello ad ambiente locale***: non c'è condivisione di variabili (processo pesante)
  - ***comunicazione*** avviene attraverso ***scambio di messaggi***
  - ***sincronizzazione*** avviene mediante ***scambio di eventi (segnali)***
- **modello ad ambiente globale**: più processi possono condividere lo stesso spazio di indirizzamento => possibilità di condividere variabili (come nei *thread*)
  - ***variabili condivise e relativi strumenti di sincronizzazione*** (ad esempio, ***lock*** e ***semafori***)

Processi interagenti mediante scambio di messaggi

Facciamo riferimento al ***modello ad ambiente locale***:

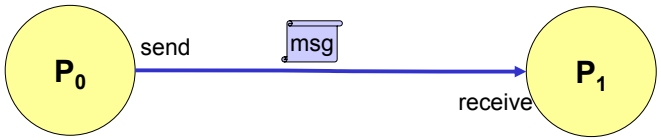
- ***non vi è memoria condivisa***
- i processi possono interagire mediante ***scambio di messaggi: comunicazione***

➢ ***spesso SO offre meccanismi a supporto della comunicazione tra processi (Inter Process Communication - IPC)***

Operazioni Necessarie

- ***send*: spedizione di messaggi da un processo ad altri**
- ***receive*: ricezione di messaggi**

Scambio di messaggi



Lo scambio di messaggi avviene mediante un **canale di comunicazione** tra i due processi

Caratteristiche del canale:

- monodirezionale, bidirezionale
- uno-a-uno, uno-a-molti, molti-a-uno, molti-a-molti
- capacità
- modalità di creazione: automatica, non automatica

Naming

In che modo viene specificata la destinazione di un messaggio?

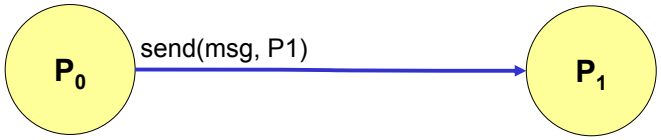
- **Comunicazione <u>diretta</u>** - al messaggio viene associato ***l'identificatore del processo destinatario*** (naming esplicito)

  send(Proc, msg)

- **Comunicazione <u>indiretta</u>** - il messaggio viene indirizzato a una mailbox (contenitore di messaggi) dalla quale il destinatario preleverà il messaggio

  send(Mailbox, msg)

Comunicazione diretta



Il canale è creato automaticamente tra i due processi che devono ***conoscersi reciprocamente***:

- canale punto-a-punto
- canale bidirezionale:

  p0: send(query, P1); p1: send(answ, P0)
- per ogni coppia di processi esiste un solo canale (<P0, P1>)

Esempio: produttore & consumatore

Processo produttore P:

```
pid C =....;
main()
{ msg M;
  do
  { produco(&M);
    ...
    send(C, M);
  }while(!fine);
}
```

Processo consumatore C:

```
pid P=....;
main()
{ msg M;
  do
  { receive(P, &M);
    ...
    consumo(M);
  }while(!fine);
}
```

Comunicazione simmetrica:

- destinatario deve fare ***naming*** esplicito del mittente

Comunicazione asimmetrica

Processo produttore P:

```
....
main()
{ msg M;
  do
  { produco(&M);
    ...
    send(C, M);
  }while(!fine);
}
```

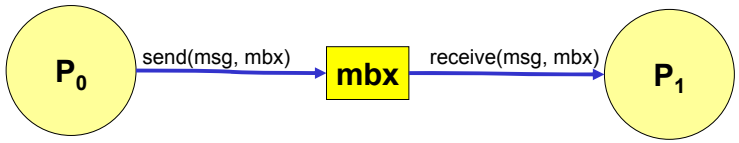
Processo consumatore C:

```
....
main()
{ msg M; pid id;
  do
  { receive(&id, &M);
    ...
    consumo(M);
  }while(!fine);
}
```

Comunicazione asimmetrica:

- destinatario ***non è obbligato a conoscere*** l'identificatore del ***mittente***

Comunicazione indiretta



I processi cooperanti ***non sono tenuti a conoscersi*** reciprocamente e si scambiano messaggi depositandoli/prelevandoli da una ***mailbox condivisa***

- ***mailbox (o porta)*** come ***risorsa astratta condivisibile*** da più processi, che funge da contenitore dei messaggi

Comunicazione indiretta

Proprietà

- il canale di comunicazione è rappresentato dalla mailbox (non viene creato automaticamente)
- il canale ***può essere associato a più di 2 processi***:
  - ✓ ***mailbox di sistema***: ***molti-a-molti*** (come individuare il processo destinatario di un messaggio?)
  - ✓ ***mailbox del processo destinatario: molti-a-uno***
- canale bidirezionale:

  p0: send(query, mbx)

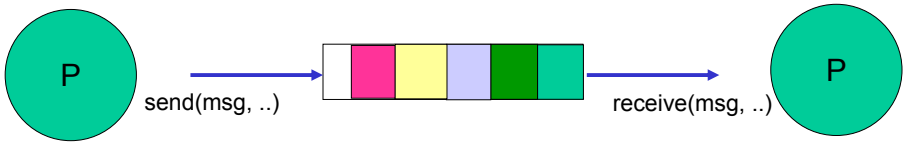
  p1: send(answ, mbx)
- per ogni coppia di processi possono esistere più canali (uno per ogni mailbox condivisa)

Buffering del canale

Ogni canale di comunicazione è caratterizzato da una ***capacità***: numero dei messaggi che è in grado di gestire contemporaneamente

Gestione usuale secondo politica **FIFO**:

- i messaggi vengono posti in una coda in attesa di essere ricevuti
- la lunghezza massima della coda rappresenta la capacità del canale



Buffering del canale

Caso semplificato con capacità nulla: non vi è accodamento perché il canale non è in grado di gestire messaggi in attesa

- processo mittente e destinatario devono ***sincronizzarsi all'atto di spedire (send)/ricevere (receive)*** il messaggio: ***comunicazione sincrona o rendez vous***
- ***send e receive*** possono essere (solitamente sono) ***sospensive***

Buffering del canale

- **Capacità limitata**: esiste un limite N alla dimensione della coda
  - se la coda ***non è piena***, un nuovo messaggio viene posto in fondo
  - se la coda ***è piena***: ***send è sospensiva***
  - se la coda ***è vuota: receive può essere sospensiva***
- **Capacità illimitata**: lunghezza della coda teoricamente infinita. L'invio sul canale non è sospensivo

Sincronizzazione tra processi

Si è visto che due processi possono interagire per

- **cooperare**: i processi interagiscono allo scopo di perseguire un ***obiettivo comune***
- **competere**:
  - i processi possono essere logicamente indipendenti,

    ma
  - necessitano della stessa **risorsa** (dispositivo, file, variabile, …) per la quale sono stati imposti dei vincoli di accesso. Ad esempio:
    - ✓ gli accessi di due processi a una risorsa ***devono escludersi mutuamente nel tempo***

➢ In entrambi i casi è necessario disporre di ***strumenti di sincronizzazione***

Sincronizzazione tra processi

Sincronizzazione permette di imporre vincoli temporali sulle operazioni dei processi interagenti

Ad esempio

nella cooperazione

- per imporre un particolare ***ordine cronologico alle azioni eseguite*** dai processi interagenti
- per garantire che le ***operazioni di comunicazione*** avvengano secondo un ***ordine prefissato***

nella competizione

- per garantire la ***mutua esclusione*** dei processi nell'accesso alla risorsa condivisa

Sincronizzazione tra processi nel modello ad ambiente locale

Mancando la possibilità di condividere memoria:

- Gli accessi alle risorse "condivise" vengono controllati e coordinati da SO
- La sincronizzazione avviene mediante meccanismi offerti da SO che consentono la ***notifica di "eventi" asincroni*** (di solito privi di contenuto informativo o con contenuto minimale) tra un processo ed altri
  - **segnali UNIX**

Sincronizzazione tra processi nel modello ad ambiente globale

Facciamo riferimento a processi che possono condividere variabili (***modello ad ambiente globale***, o a memoria condivisa) per descrivere alcuni strumenti di sincronizzazione tra processi

- **cooperazione**: lo ***scambio di messaggi*** avviene attraverso ***strutture dati condivise*** (ad es., ***mailbox***)
- **competizione**: le risorse sono rappresentate da ***variabili condivise*** (ad esempio, puntatori a file)

In entrambi i casi è necessario ***sincronizzare i processi per coordinarli nell'accesso alla memoria condivisa***:

problema della mutua esclusione

Esempio: comunicazione in ambiente globale con mailbox di capacità MAX

```
typedef struct {
        coda mbx;
        int num_msg; } mailbox;
```

Processo mittente:

```
shared mailbox M;
…
main()
{ <crea messaggio m>
   if (M.num_msg < MAX)
    /* send: */
   { inserisci(M.mbx,m);
     M.num_msg++;}
   /* fine send*/
…
}
```

Processo destinatario:

```
shared mailbox M;
…
main()
{  if (M.num_msg >0)
   /* receive: */
   { estrai(M.mbx,m);
     M.num_msg--;}
   /* fine receive*/
<consuma messaggio m>
…
}
```

Esempio: esecuzione

HP: a T_0 M.num_msg=1;

Processo mittente:

```
T0:<crea messaggio m>
T1: if (M.num_msg < MAX)
T2: inserisci(M.mbx,m);
```

Processo destinatario:

```
.
.
.
T3: if (M.num_msg > 0)
T4: estrai(M.mbx,m);
T5: M.num_msg--;
  …
```

Sbagliato! M.num_msg=0

- La correttezza della gestione della mailbox dipende dall'ordine di esecuzione dei processi
- È necessario imporre la ***mutua esclusione*** dei processi ***nell'accesso alla variabile M***

Il problema della mutua esclusione

In caso di ***condivisione di risorse (variabili)*** può essere necessario ***impedire accessi concorrenti*** alla stessa risorsa

Sezione critica

sequenza di istruzioni mediante la quale un processo accede e può aggiornare variabili condivise

Mutua esclusione

ogni processo esegue le ***proprie sezioni critiche*** in modo ***mutuamente esclusivo*** rispetto agli altri processi

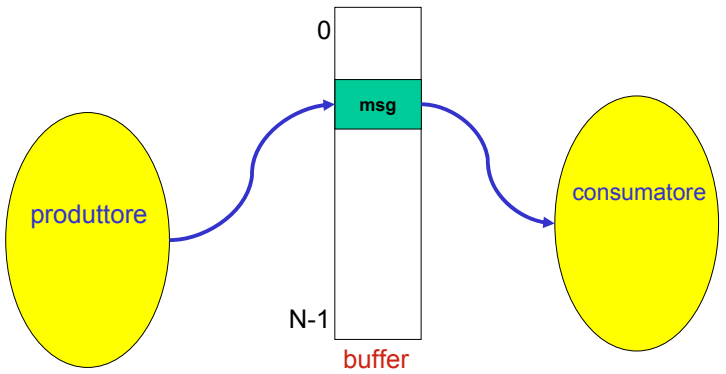
Mutua esclusione

In generale, per garantire la mutua esclusione nell'accesso a variabili condivise, ogni sezione critica è:

- ***preceduta da un prologo (entry section)***, mediante il quale il processo ottiene ***l'autorizzazione all'accesso*** in ***modo esclusivo***
- ***seguita da un epilogo (exit section)***, mediante il quale il processo ***rilascia la risorsa***

```
<entry section>
<sezione critica>
<exit section>
```


Esempio: produttore & consumatore



HP: ***buffer (mailbox) limitato*** di dimensione N

Esempio: produttore & consumatore

- Necessità di ***garantire la mutua esclusione*** nell'esecuzione delle ***sezioni critiche*** (accesso e aggiornamento del buffer)
- Necessità di ***sincronizzare i processi***:
  - quando il ***buffer è vuoto***, il consumatore non può prelevare messaggi)
  - quando il ***buffer è pieno***, il produttore non può depositare messaggi)

Produttore & consumatore: prima soluzione (attesa attiva)

```
Processo produttore:
....
shared int cont=0;
shared msg Buff [N];
main()
{ msg M;
  do
  { produco(&M);
    while (cont==N);
    inserisco(M, Buff);
    cont=cont+1;
  }while(true);
}
```

```
Processo consumatore:
....
shared int cont=0;
shared msg Buff [N];
main()
{ msg M;
  do
  { while (cont==0);
    prelievo(&M, Buff);
    cont=cont-1;
    consumo(M);
  }while(true);
}
```


Produttore&consumatore

Problema: finché non si creano le condizioni per effettuare l'operazione di inserimento/prelievo, ogni processo rimane in esecuzione all'interno di un ciclo

```
while (cont==N);
```

```
while (cont==0);
```

attesa *attiva*

- per migliorare l'efficienza del sistema, in alcuni SO è possibile utilizzare system call del tipo:
  - **dormo()** per ***sospendere*** il processo che la chiama (stato di waiting e spreco di CPU evitato)
  - **sveglia(P)** per ***riattivare un processo P sospeso*** (se P non è sospeso, non ha effetto e il segnale di risveglio viene perso)

Produttore & Consumatore: seconda soluzione

```
Processo produttore P:
....
shared msg Buff [N];
shared int cont=0;
main()
{msg M;
 do
 {produco(&M);
  if(cont==N) sleep();
  inserisco(M, Buff);
  cont = cont + 1;
  if (cont==1)
      wakeup(C);
 } while(true);
} …
```

```
Processo consumatore C:
....
shared msg Buff [N];
shared int cont=0;
main()
{ msg M;
  do
  { if(cont==0) sleep();
    prelievo(&M, Buff);
    cont=cont-1;
    if (cont==N-1)
       wakeup(P);
    consumo(M);
  }while(true);
} …
```

Produttore & Consumatore: seconda soluzione

Possibilità di blocco dei processi: ad esempio, consideriamo la sequenza temporale:

1. `cont=0` (buffer vuoto)
2. **C** legge cont, poi viene ***deschedulato prima di sleep*** (stato **pronto**)
3. **P** inserisce un messaggio, cont++ (cont=1)
4. **P** esegue una wakeup(C): C non è bloccato (è pronto), **il segnale è perso**
5. **C** verifica cont e **si blocca**
6. **P** continua a inserire Messaggi, fino a **riempire il buffer**

⇒ **blocco di entrambi i processi (*deadlock*)**

Soluzione: garantire la ***mutua esclusione*** dei processi nell'esecuzione delle ***sezioni critiche (accesso a `cont`, `inserisco` e `prelievo`)***

Possibile soluzione: semafori (Dijkstra, 1965)

Definizione di semaforo

- ***Tipo di dato astratto*** condiviso fra più processi al quale sono applicabili solo due operazioni (***system call a esecuzione non interrompibile***):
  - ***wait (s)***
  - ***signal (s)***
- A una variabile s di tipo *semaforo* sono associate:
  - **una variabile intera *s.value* non negativa con valore iniziale >= 0**
  - **una coda di processi *s.queue***

Semaforo può essere condiviso da 2 o più processi per risolvere problemi di sincronizzazione (es. mutua esclusione)

System call sui semafori: definizione

```
void wait(s)
{ if (s.value == 0)
   <processo viene sospeso e descrittore
   inserito in s.queue>
  else s.value = s.value-1;
}
```

```
void signal(s)
{ if (<esiste un processo in s.queue>)
   <descrittore viene estratto da s.queue e
   stato modificato in pronto>
  else s.value = s.value+1;
}
```


`wait()/signal()`

- `wait()`

  in caso di **s.value=0**, implica la ***sospensione del processo che la esegue*** (stato running->waiting**)** nella coda **s.queue** associata al semaforo

- `signal()`
  - non comporta concettualmente nessuna modifica nello stato del processo che l'ha eseguita, ma ***può causare il risveglio di un processo waiting nella coda s.queue***
  - la scelta del processo da risvegliare avviene secondo una politica FIFO (il primo processo della coda)

➢ `wait()` e `signal()` agiscono su variabili condivise e pertanto sono a loro volta **sezioni critiche!**

Atomicità di `wait()` e `signal()`

Affinché sia rispettato il vincolo di mutua esclusione dei processi nell'accesso al semaforo (mediante wait/signal), ***`wait()` e `signal()` devono essere operazioni indivisibili (azioni atomiche):***

- durante un'operazione sul semaforo (`wait()` o `signal()`) nessun altro processo può accedere al semaforo fino a che l'operazione non è **completa** o **bloccata** (sospensione nella coda)

➢ SO che mette a disposizione le primitive di Dijkstra deve realizzare `wait()` e `signal()` come operazioni non interrompibili (*system call*)

Esempio di mutua esclusione con semafori

Consideriamo due processi P1 e P2 che condividono una struttura dati D sulla quale vogliamo quindi imporre il ***vincolo di mutua esclusione***:

```
shared data D;
```

```
P1:
…
/*sezione critica: */
Aggiorna1(&D);
/*fine sez.critica: */
  …
```

```
P2:
…
/*sezione critica: */
Aggiorna2(&D);
/*fine sez.critica: */
  …
```

➢ ***Aggiorna1 e Aggiorna2 sono sezioni critiche*** e devono essere eseguite in modo mutuamente esclusivo

Esempio di mutua esclusione con semafori

Soluzione: uso di ***un semaforo (binario) `mutex`***, il cui valore è inizializzato a 1 (e può assumere soltanto due valori: 0 e 1)

```
shared data D;
semaphore mutex;
mutex.value=1;
```

```
P1:
…
wait(mutex);
Aggiorna1(&D);
signal(mutex);
…
```

```
P2:
…
wait(mutex)
Aggiorna2(&D);
signal(mutex);
 …
```

➢ la soluzione è sempre **corretta**, indipendentemente dalla sequenza di esecuzione dei processi (e dallo scheduling della CPU)

Mutua esclusione con semafori: esecuzione

Ad esempio, verifichiamo la seguente sequenza di esecuzione:

```
P1:

T3: wait(mutex)=> P1 sospeso
    sulla coda, Cambio di Contesto
    P1-> P2 [P1 waiting, P2
    running]

T7: <esecuzione di Aggiorna2>
T8: signal(mutex)=> mutex.value=1;
    ...
```

```
P2:
T0: wait(mutex)=> mutex.value=0;
T1: <inizio di Aggiorna2>
T2: Cambio di Contesto P2->P1
    [P2 ready, P1 running]

T4: <conclus. di Aggiorna2>
T5: signal(mutex) => risveglio
    di P1 [P1 ready, P2 running]
T6: P2 termina: Cambio di Contesto
    P2->P1 [P2 terminated, P1
    running]
...
```

Sincronizzazione di processi cooperanti

Mediante semafori possiamo anche imporre ***vincoli temporali*** sull'esecuzione di processi cooperanti. Ad esempio:

```
P1:
…
/*fase A : */
faseA(…);
/*fine fase A */ …
```

```
P2:
…
/*fase B: */
faseB(…);
/*fine fase B */ …
```

Obiettivo: vogliamo imporre che l'esecuzione della fase A (in P1) preceda sempre l'esecuzione della fase B (in P2)

Sincronizzazione di processi cooperanti

Soluzione: si introduce un ***semaforo `sync`, inizializzato a 0***

```
semaphore sync;
sync.value=0
```

```
P1:
…
faseA(…);
signal(sync);
…
```

```
P2:
…
wait(sync);
faseB(…);
…
```

- se P2 esegue la `wait()` prima della terminazione della fase A, P2 viene sospeso;
- quando P1 termina la fase A, può sbloccare P1, oppure portare il valore del semaforo a 1 (se P2 non è ancora arrivato alla **wait**)

Produttore & consumatore con semafori

- Problema di **mutua esclusione**
  - produttore e consumatore non possono accedere contemporaneamente al buffer
    - semaforo ***binario*** `mutex`, con valore iniziale a 1
- Problema di **sincronizzazione**
  - produttore non può scrivere nel buffer se pieno
    - semaforo `vuoto`, con valore iniziale a **N**;
      valore dell'intero associato a `vuoto` rappresenta il numero di elementi liberi nel buffer
  - consumatore non può leggere dal buffer se vuoto
    - semaforo `pieno`, con valore iniziale a **0**;
      valore dell'intero associato a `pieno` rappresenta il numero di elementi occupati nel buffer

Produttore & consumatore con semafori

```
shared msg Buff [N];
shared semaforo mutex; mutex.value=1;
shared semaforo pieno; pieno.value=0;
shared semaforo vuoto; vuoto.value=N;
```

```
/* Processo produttore P:*/

main()
{msg M;
 do
 {produco(&M);
  wait(vuoto);
  wait(mutex);
  inserisco(M, Buff);
  signal(mutex);
  signal(pieno);
 } while(true); }
…
```

```
/* Processo consumatore C:*/

main()
{msg M;
   do
   { wait(pieno);
     wait(mutex);
     prelievo(&M, Buff);
     signal(mutex);
     signal(vuoto);
     consumo(M);
   } while(true); }
…
```

Strumenti di sincronizzazione

Semafori:

- consentono una ***efficiente realizzazione di politiche di sincronizzazione***, anche complesse, tra processi
- correttezza della realizzazione ***completamente a carico del programmatore***

Alternative: esistono ***strumenti di più alto livello*** (costrutti di linguaggi di programmazione) che eliminano a priori il problema della mutua esclusione sulle variabili condivise

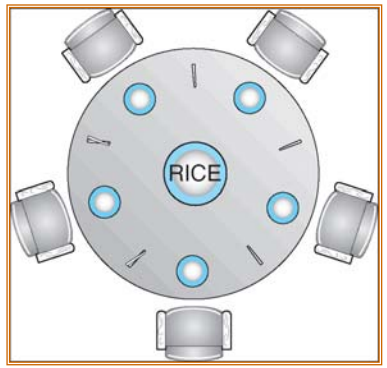
- Variabili condizione
- Monitor
- …
- Regioni critiche
- `synchronized` in Java

Problema dei dining-philosophers

Problema molto noto in letteratura

Risorse condivise:

- Ciotola di riso (data set)
- Semafori bastoncini[5] inizializzati a 1



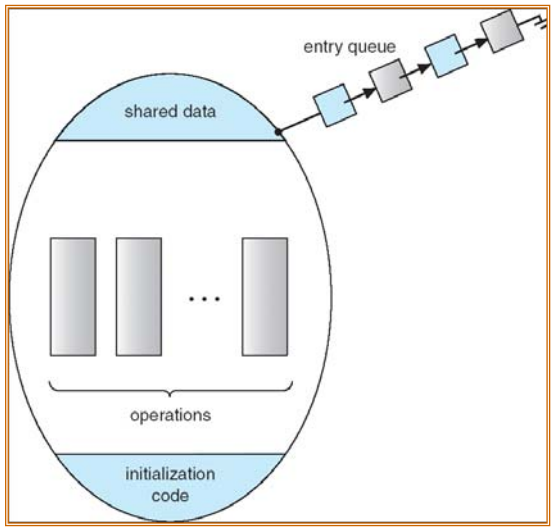
Provare a pensare a soluzioni di sincronizzazione mediante il solo uso di semafori e possibili problemi

Si possono verificare situazioni di blocco indefinito?

Meccanismi alternativi di sincronizzazione: monitor

Ve ne occuperete soprattutto in corsi successivi (in SO L-A solo esercizi d'esame piuttosto semplici…)

Coda di accesso ***regolata e disciplinata*** verso i dati condivisi, magari con priorità differenziate



Sincronizzazione tra processi UNIX: i segnali

Sincronizzazione tra processi

Processi interagenti possono avere bisogno di meccanismi di **sincronizzazione**

Ad esempio, abbiamo visto e rivedremo diffusamente il caso di ***processi pesanti UNIX*** che vogliano accedere allo ***stesso file in lettura/scrittura*** (***sincronizzazione di produttore e consumatore***)

UNIX: ***non c'è condivisione alcuna di spazio di indirizzamento tra processi***. Serve un meccanismo di sincronizzazione per modello ad ambiente locale

segnali

Sincronizzazione tra processi

Segnali

sono ***interruzioni software*** a un processo, che notifica un evento asincrono. Ad esempio segnali:

- generati da ***terminale*** (es. CTRL+C)
- generati da ***altri processi***
- generati dal ***kernel SO*** in seguito ad ***eccezioni HW*** (violazione dei limiti di memoria, divisioni per 0, …)
- generati dal ***kernel SO*** in seguito a ***condizioni SW*** (time-out, scrittura su pipe chiusa come vedremo in seguito, …)

Segnali UNIX

Un segnale può essere inviato

- dal kernel SO a un processo
- da un processo utente ad altri processi utente

(es. comando `kill`)

Quando un processo riceve un segnale, può comportarsi in ***tre modi diversi***

1. ***gestire il segnale*** con una funzione ***handler*** definita dal programmatore
2. ***eseguire un'azione predefinita*** dal SO (azione di ***default***)
3. ***ignorare il segnale*** (nessuna reazione)

Nei primi due casi, il processo ***reagisce in modo asincrono*** al segnale

1. interruzione dell'esecuzione
2. esecuzione dell'azione associata (***handler*** o ***default***)
3. ritorno alla prossima istruzione del codice del processo interrotto

Segnali UNIX

- Per ogni versione di UNIX esistono vari tipi di segnale (in Linux, 32 segnali), ognuno identificato da un intero
- Ogni segnale è ***associato a un particolare evento*** e prevede una ***specifica azione di default***
- È possibile riferire i segnali con identificatori simbolici (`SIGxxxx`):

  `SIGKILL, SIGSTOP, SIGUSR1`, ...
- L'associazione tra nome simbolico e intero corrispondente (che dipende dalla versione di UNIX) è specificata nell'header file `<signal.h>`

Segnali UNIX (Linux): signal.h

```
#define SIGHUP   1   /* Hangup (POSIX). Action: exit */
#define SIGINT   2   /* Interrupt (ANSI). CTRL+C. Action: exit */
#define SIGQUIT  3   /* Quit (POSIX). Action: exit, core dump */
#define SIGILL   4   /* Illegal instr (ANSI). Action: exit,
                        core dump */
...
#define SIGKILL  9   /* Kill, unblockable (POSIX). Action: exit */
#define SIGUSR1  10  /* User-def sig1 (POSIX). Action: exit */

#define SIGSEGV  11  /* Segm. violation (ANSI). Action: exit, core
                        dump */
#define SIGUSR2  12  /* User-def sig2 (POSIX). Action: exit */
#define SIGPIPE  13  /* Broken pipe (POSIX). Action: exit  */
#define SIGALRM  14  /* Alarm clock (POSIX). Action: exit */
#define SIGTERM  15  /* Termination (ANSI). Action: exit */
...
#define SIGCHLD  17  /* Chld stat changed (POSIX). Action: ignore  */
#define SIGCONT  18  /* Continue (POSIX). Action ignore  */
#define SIGSTOP  19  /* Stop, unblockable (POSIX). Action: stop */
...
```


Gestione dei segnali UNIX

Quando un processo riceve un segnale, può gestirlo in 3 modi diversi:

- gestire il segnale con una ***funzione handler definita dal programmatore***
- eseguire ***un'azione predefinita*** dal SO (azione di ***default***)
- ***ignorare*** il segnale

NB: non tutti i segnali possono essere gestiti in modalità scelta esplicitamente dai processi: **`SIGKILL`** e **`SIGSTOP`** non sono ***né intercettabili, né ignorabili***

➢ qualunque processo, alla ricezione di SIGKILL o SIGSTOP esegue sempre ***l'azione di default***

System call `signal`

Ogni processo può ***gestire esplicitamente un segnale utilizzando la system call*** ***`signal()`***:

```
typedef void (*handler_t)(int);
handler_t signal(int sig, handler_t handler);
```

- **`sig`** è l'intero (o il nome simbolico) che individua il segnale da gestire
- il parametro **`handler`** è un puntatore a una funzione che indica l'azione da associare al segnale. **`handler()`** può:
  - ✓ puntare alla routine di gestione dell'interruzione (***handler***)
  - ✓ valere **`SIG_IGN`** (nel caso di segnale ignorato)
  - ✓ valere **`SIG_DFL`** (nel caso di azione di default)
- ritorna un puntatore a funzione:
  - ✓ al precedente gestore del segnale
  - ✓ SIG_ERR(-1), nel caso di errore

Esempi di uso di `signal()`

```
#include <signal.h>
void gestore(int);
...
int main()
{...
signal(SIGUSR1, gestore); /*SIGUSR1 gestito */
...
signal(SIGUSR1, SIG_DFL); /*USR1 torna a default */
signal(SIGKILL, SIG_IGN); /*errore! SIGKILL non è
                            ignorabile */
...
}
```

Routine di gestione del segnale (*handler*)

Caratteristiche:

- ***handler*** prevede sempre ***un parametro formale*** di tipo ***`int`*** che rappresenta il ***numero del segnale effetivamente ricevuto***
- ***handler*** non restituisce alcun risultato

```
void handler(int signum)
{ ....
  ....
  return;
}
```


Gestione di segnali con handler

Non sempre ***l'associazione segnale/handler*** è ***durevole***:

- alcune implementazioni di UNIX (BSD, SystemV r3 e seguenti), prevedono che ***l'azione rimanga installata anche dopo la ricezione del segnale***
- in alcune realizzazioni (SystemV prime release), dopo l'attivazione, ***handler ripristina automaticamente l'azione di default***. In questi casi, occorre riagganciare il segnale all'handler:

```
int main()
{ ..
  signal(SIGUSR1, f);
     ...}
```

```
void f(int s)
{ signal(SIGUSR1, f);
  ....
}
```


Esempio: sfruttamento del parametro di handler

```
/* file segnali1.c */
#include <signal.h>
void handler(int);

int main()
{ if (signal(SIGUSR1, handler)== SIG_ERR)
       perror("prima signal non riuscita\n");
  if (signal(SIGUSR2, handler)== SIG_ERR)
       perror("seconda signal non riuscita\n");
  for (;;);
}

void handler (int signum)
{ if (signum == SIGUSR1) printf("ricevuto sigusr1\n");
  else if (signum == SIGUSR2) printf("ricevuto sigusr2\n");
}
```


Esempio: esecuzione & comando kill

```
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ vi segnali1.c
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ cc segnali1.c
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ a.out&
[1] 313
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ kill -SIGUSR1 313
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ ricevuto sigusr1

paolo@lab3-linux:~/esercizi$ kill -SIGUSR2 313
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ ricevuto sigusr2

paolo@lab3-linux:~/esercizi$ kill -9 313
paolo@lab3-linux:~/esercizi$
[1]+  Killed                  a.out
paolo@lab3-linux:~/esercizi$
```

Esempio: gestore del SIGCHLD

SIGCHLD è il segnale che il ***kernel SO invia a un processo padre quando uno dei suoi figli termina***

Tramite l'uso di segnali è possibile svincolare il padre da un'attesa esplicita della terminazione del figlio, mediante un'apposita funzione ***handler*** per la gestione di **SIGCHLD**:

- la funzione ***handler*** verrà attivata in modo asincrono alla ricezione del segnale
- ***handler chiamerà*** ***wait()*** con cui il padre potrà raccogliere ed eventualmente gestire lo stato di terminazione del figlio

Esempio: gestore del SIGCHLD

```
#include <signal.h>
void handler(int);

int main()
{ int PID, i;
   PID=fork();
   if (PID>0) /* padre */
   {    signal(SIGCHLD, handler);
        for (i=0; i<10000000; i++); /* attività del padre..*/
        exit(0); }
   else /* figlio */
   {    for (i=0; i<1000; i++); /* attività del figlio..*/
        exit(1); }
}
void handler (int signum)
{ int status;
  wait(&status);
  printf("stato figlio:%d\n", status>>8);}
```


Segnali & `fork()`

Le ***associazioni segnali-azioni*** vengono registrate in ***User Structure del processo***

Siccome:

- **`fork()`** copia ***User Structure*** del padre in quella del figlio
- padre e figlio condividono lo stesso codice

quindi

- il figlio eredita dal padre le informazioni relative alla gestione dei segnali:
  - ***ignora gli stessi segnali ignorati*** dal padre
  - ***gestisce con le stesse funzioni gli stessi segnali gestiti*** dal padre
  - ***segnali a default del figlio sono gli stessi del padre***

➢ ovviamente **`signal()`** del figlio successive alla **`fork()`** non hanno effetto sulla gestione dei segnali del padre

Segnali & `exec()`

Sappiamo che

- **`exec()`** sostituisce codice e dati del processo invocante
- ***User Structure*** viene mantenuta, tranne le informazioni legate al codice del processo (ad esempio, le funzioni di gestione dei segnali, che dopo **`exec()`** non sono più visibili)

quindi

- dopo **`exec()`**, un processo:
  - ignora gli stessi segnali ignorati prima di **`exec()`**
  - i segnali a default rimangono a default

ma

  - **i segnali che prima erano gestiti, vengono riportati a default**

Esempio

```
/* file segnali2.c */
#include <signal.h>

int main()
{

signal(SIGINT, SIG_IGN);
execl("/bin/sleep","sleep","30", (char *)0);
}
```

NB: il comando shell `sleep N` sospende il processo invocante per N secondi

Esempio: esecuzione

```
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ cc segnali2.c
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ a.out&
[1] 500
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ kill -SIGINT 500
paolo@lab3-linux:~/esercizi$ kill -9 500
paolo@lab3-linux:~/esercizi$
[1]+  Killed                  a.out
paolo@lab3-linux:~/esercizi$
```


System call `kill()`

I processi possono inviare segnali ad altri processi invocando la system call `kill()`

```
int kill(int pid, int sig);
```

- `sig` è l'intero (o il nome simbolico) che individua il segnale da inviare
- il parametro `pid` specifica il destinatario del segnale:
  - ✓ pid > 0: l'intero è il ***pid*** dell'unico processo ***destinatario***
  - ✓ pid = 0: il segnale è spedito a tutti i processi appartenenti al ***gruppo del mittente***
  - ✓ pid < -1: il segnale è spedito a tutti i processi con ***groupId*** uguale al valore assoluto di pid
  - ✓ pid == -1: vari comportamenti possibili (Posix non specifica)

Esempio di uso di `kill()`

```
#include <stdio.h>
#include <signal.h>
int cont=0;
void handler(int signo)
{  printf ("Proc. %d: ricevuti n. %d segnali %d\n",
   getpid(),cont++, signo);
}

int main ()
{int pid;
 signal(SIGUSR1, handler);
 pid = fork();
 if (pid == 0) /* figlio */

    for (;;);

 else /* padre */
   for(;;) kill(pid, SIGUSR1);
}
```

Segnali: altre system call

`sleep()`

```
unsigned int sleep(unsigned int N)
```

- provoca la sospensione del processo per N secondi (al massimo)
- se il ***processo riceve un segnale durante il periodo di sospensione, viene risvegliato prematuramente***
- restituisce 0, se la sospensione non è stata interrotta da segnali; se il risveglio è stato causato da un segnale al tempo `x`, `sleep()` restituisce il numero di secondi non utilizzati dell'intervallo di sospensione (`N-x`)

Esempio d'uso di `sleep()`

```
/* provasleep.c*/
#include <signal.h>
void stampa(int signo)
{ printf("sono stato risvegliato!!\n");
}
int main()
{       int k;
        signal(SIGUSR1, stampa);
        k=sleep(1000);
        printf("Valore di k: %d\n", k);
        exit(0);
}
```


Esempio d'uso di `sleep()`

```
bash-2.05$ gcc -o pr provasleep.c
bash-2.05$ pr&
[1] 2839
bash-2.05$ kill -SIGUSR1 2839
bash-2.05$ sono stato risvegliato!!
Valore di k: 987

[1]+  Done      pr
bash-2.05$
```


Segnali: altre system call

`alarm()`

```
unsigned int alarm(unsigned int N)
```

- imposta un timer che ***dopo N secondi invierà allo stesso processo il segnale*** ***`SIGALRM`***
- ritorna:
  - ✓ 0, se non vi erano time-out impostati in precedenza
  - ✓ il numero di secondi mancante allo scadere del time-out precedente

NB: ***comportamento di default*** associato a ricezione di SIGALRM è la terminazione

Segnali: altre system call

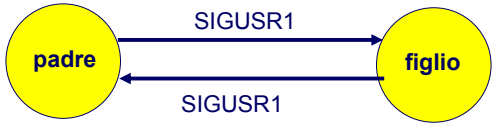
`pause()`

```
int pause(void)
```

- ***sospende il processo fino alla ricezione di un qualunque segnale***
- ritorna -1 (`errno = EINTR`)

Esempio

Due processi (padre e figlio) si sincronizzano alternativamente mediante il segnale SIGUSR1 (gestito da entrambi con la funzione *handler*):




```
int ntimes = 0;
void handler(int signo)
{printf ("Processo %d ricevuto #%d volte il segnale %d\n",
   getpid(), ++ntimes, signo);
}
```



```
int main ()
{int pid, ppid;
   signal(SIGUSR1, handler);
   if ((pid = fork()) < 0)  /* fork fallita */
        exit(1);
   else if (pid == 0)   /* figlio*/
   {    ppid = getppid(); /* PID del padre */
        for (;;)
        {       printf("FIGLIO %d\n", getpid());
                sleep(1);
                kill(ppid, SIGUSR1);
                pause();}
   }
   else /* padre */
        for(;;) /* ciclo infinito */
        {       printf("PADRE %d\n", getpid());
                pause();
                sleep(1);
                kill(pid, SIGUSR1); }}
```


Modello affidabile dei segnali

Aspetti:

- il gestore rimane **installato**?

  In caso negativo, è possibile comunque reinstallare il gestore all'interno dell'handler

```
void handler(int s)
{ signal(SIGUSR1, handler);
  printf("Processo %d: segnale %d\n", getpid(), s);
    ...}
```

Che cosa succede se qui arriva un nuovo segnale?

- che cosa succede se arriva il segnale durante l'esecuzione dell'handler?
  - ***innestamento delle routine di gestione?***
  - ***perdita del segnale?***
  - ***accodamento dei segnali*** (segnali ***reliable, BSD 4.2***)

Interrompibilità di system call

System call possono essere classificate in

- ***slow*** system call: possono richiedere ***tempi di esecuzione non trascurabili*** dovuti a periodi di attesa (es. lettura da un dispositivo di I/O lento)
- ***non-slow*** system call

- ***solo slow system call*** sono ***interrompibili da parte di segnali***. In caso di interruzione:
  - ✓ ritorna -1
  - ✓ `errno` vale EINTR
- possibilità di ri-esecuzione della system call:
  - ✓ automatica (BSD 4.3)
  - ✓ non automatica, ma comandata dal processo (in base al valore di `errno` e al valore restituito)

Comunicazione tra processi UNIX

Interazione tra processi UNIX

Processi UNIX non possono condividere memoria (***modello ad ambiente locale***)

Interazione tra processi può avvenire

- mediante la ***condivisione di file***
  - complessità: realizzazione della sincronizzazione tra i processi
- attraverso ***specifici strumenti di Inter Process Communication***:
  - tra processi **sulla stessa macchina**
    - ✓ `pipe` **(tra processi della stessa gerarchia)**
    - ✓ `fifo` **(qualunque insieme di processi)**
  - tra processi in nodi diversi della stessa **rete**:
    - ✓ `socket`

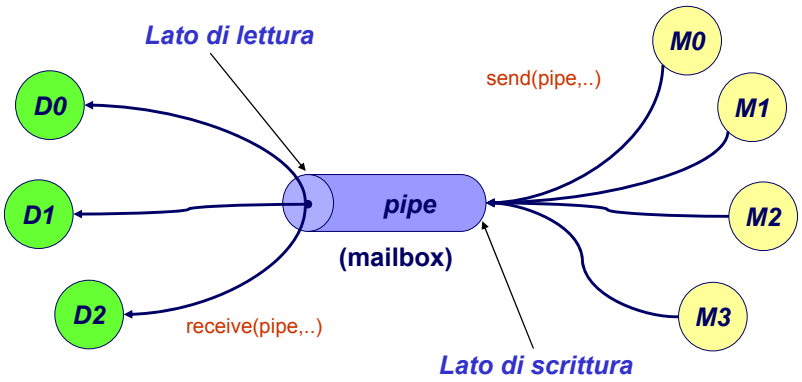
`pipe`

La pipe è un ***canale di comunicazione*** tra processi:

- ***unidirezionale***: accessibile mediante due estremi distinti, uno di lettura e uno di scrittura
- *(teoricamente)* ***molti-a-molti***:
  - più processi possono ***spedire messaggi*** attraverso la stessa pipe
  - più processi possono ***ricevere messaggi*** attraverso la stessa pipe
- **capacità limitata:**
  - in grado di gestire ***l'accodamento di un numero limitato di messaggi***, gestiti in modo FIFO. Limite stabilito dalla ***dimensione della pipe*** (es. 4096B)

Comunicazione attraverso `pipe`

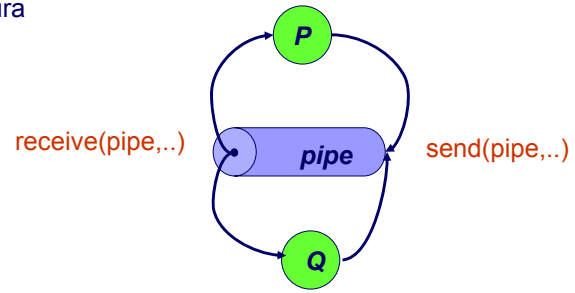
Mediante la pipe, la comunicazione tra processi è **indiretta** (senza naming esplicito): ***modello mailbox***



Pipe: unidirezionalità/bidirezionalità

Uno stesso processo può:

- sia ***depositare messaggi nella pipe*** (*send*), mediante il lato di scrittura
- sia ***prelevare messaggi dalla pipe*** (*receive*), mediante il lato di lettura



la pipe può anche consentire una ***comunicazione "bidirezionale"*** tra P e Q (ma il programmatore deve rigidamente disciplinarne l'uso per l'utilizzo corretto)

System call `pipe()`

Per creare una pipe:

```
int pipe(int fd[2]);
```

`fd` è un ***vettore di 2 file descriptor***, che verranno inizializzati dalla system call in caso di successo:

- `fd[0]` ***rappresenta il lato di lettura della pipe***
- `fd[1]` ***è il lato di scrittura della pipe***

la system call `pipe()` restituisce:

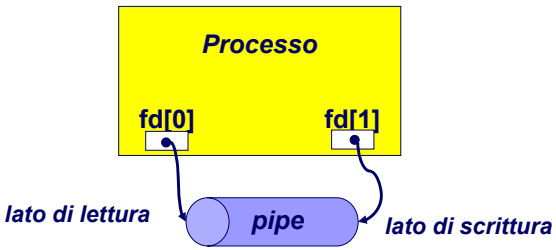
- un valore negativo, in caso di fallimento
- 0, se ha successo

Creazione di una pipe

Se `pipe(fd)` ha successo:

vengono allocati due nuovi elementi nella tabella dei file aperti del processo **e** i rispettivi file descriptor vengono assegnati a `fd[0]` e `fd[1]`

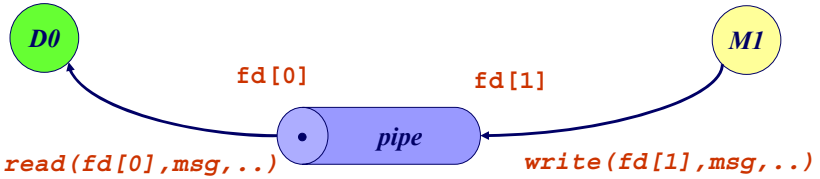
- `fd[0]`: lato di lettura (*receive*) della pipe
- `fd[1]`: lato di scrittura (*send*) della pipe



Omogeneità con i file

Ogni lato di accesso alla pipe è visto dal processo in ***modo omogeneo a qualunque altro file*** (file descriptor)

- si può accedere alla pipe mediante le system call di lettura/scrittura su file `read()`, `write()`



- `read()`: operazione di ricezione
- `write()`: operazione di invio

Sincronizzazione automatica delle pipe

Il canale (***pipe***) ha ***capacità limitata***. Come nel caso di produttore/consumatore è necessario sincronizzare i processi. ***Sincronizzazione automatica*** in UNIX:

- se la ***pipe è vuota***: un processo che ***legge si blocca***
- se la ***pipe è piena***: un processo che ***scrive si blocca***

- **Sincronizzazione automatica:** `read()` e `write()` sono implementate ***in modo sospensivo*** dal SO UNIX

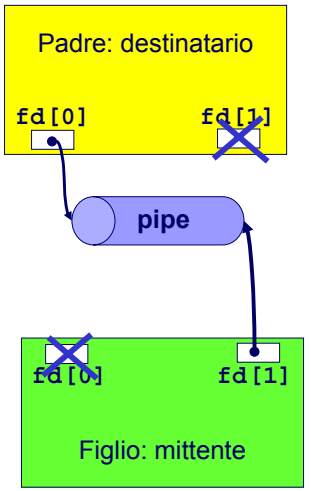
Quali processi possono comunicare mediante pipe?

Per mittente e destinatario ***il riferimento al canale di comunicazione è un array di file descriptor:***

- soltanto i ***processi appartenenti a una stessa gerarchia*** (cioè, che hanno un ***antenato*** in comune) possono scambiarsi messaggi mediante pipe. Ad esempio, possibilità di comunicazione:
  - **tra *processi fratelli*** (che **ereditano** la pipe dal processo padre)
  - **tra un processo *padre* e un processo *figlio***
  - **tra *nonno* e *nipote***
  - **...**

Esempio: comunicazione tra padre e figlio

```
int main()
{int pid;
 char msg[]="ciao babbo";
 int fd[2];
 pipe(fd);
 pid=fork();
 if (pid==0)
{/* figlio */
   close(fd[0]);
   write(fd[1], msg, 10);
   ...}
else /* padre  */
{ close(fd[1]);
   read(fd[0], msg, 10);
   ...
}}
```



Ogni processo chiude il lato pipe che non usa

Chiusura di pipe

Ogni processo può chiudere ***un estremo della pipe*** con la system call `close()`

- la comunicazione non è più possibile su di un estremo della pipe ***quando tutti i processi che avevano visibilità di quell'estremo*** hanno compiuto una `close()`

Se un processo P tenta:

- ***lettura da una pipe vuota il cui lato di scrittura è effettivamente chiuso***: `read` ritorna 0
- ***scrittura da una pipe il cui lato di lettura è effettivamente chiuso***: `write` ritorna -1, e il ***segnale SIGPIPE*** viene inviato a P (*broken* pipe)

Esempio

```
/* Sintassi: progr N
padre(destinatario) e figlio(mittente) si scambiano una
   sequenza di messaggi di dimensione (DIM) costante; la
   lunghezza della sequenza non  è nota a priori;
   destinatario interrompe sequenza di scambi di messaggi
   dopo N secondi */

#include <stdio.h>
#include <signal.h>
#define DIM 10

int fd[2];
void fine(int signo);
void timeout(int signo);
```


Esempio

```
int main(int argc, char **argv)
{int pid, N; char messaggio[DIM]="ciao ciao ";
  if (argc!=2)
  {   printf("Errore di sintassi\n");
      exit(1);}
  N=atoi(argv[1]);
  pipe(fd);
  pid=fork();
  if (pid==0) /* figlio */
  {    signal(SIGPIPE, fine);
       close(fd[0]);
       for(;;)
            write(fd[1], messaggio, DIM);
  }
```


Esempio

```
else if (pid>0) /* padre */
 {              signal(SIGALRM, timeout);
                close(fd[1]);
                alarm(N);
                for(;;)
                {       read(fd[0], messaggio, DIM);
                        write(1, messaggio, DIM);
                }
  }
}/* fine main */
```

Esempio

```
/* definizione degli handler dei segnali */
void timeout(int signo)
{ int stato;
  close(fd[0]); /* chiusura effettiva del lato di lettura*/
  wait(&stato);
  if ((char)stato!=0)
      printf("Termin invol figlio (segnale %d)\n",
                  (char)stato);
  else printf("Termin volont Figlio (stato %d)\n",
                  stato>>8);
   exit(0);
}

void fine(int signo)
{ close(fd[1]);
  exit(0);
}
```


System call `dup`

Per ***duplicare un elemento della tabella dei file aperti di processo***:

```
int dup(int fd)
```

- `fd` è il file descriptor del file da duplicare

L'effetto di `dup()` è copiare l'elemento `fd` della tabella dei file aperti nella ***prima posizione libera*** (quella con l'indice minimo tra quelle disponibili)

- Restituisce il ***nuovo file descriptor*** (del file aperto copiato), oppure -1 (in caso di errore)

Esempio: mediante `dup()` ridirigere `stdout` su pipe

```
int main()
{ int pid, fd[2]; char msg[3]="bye";
  pipe(fd);
  pid=fork();
  if (!pid) /* processo figlio */
  {   close(fd[0]); close(1);
      dup(fd[1]); /* ridirigo stdout sulla pipe */
      close(fd[1]);
      write(1,msg, sizeof(msg)); /*scrivo su pipe*/
      close(1);
}else /*processo padre
{ close(fd[1]);
  read(fd[0], msg, 3);
  close(fd[0]);}}
```

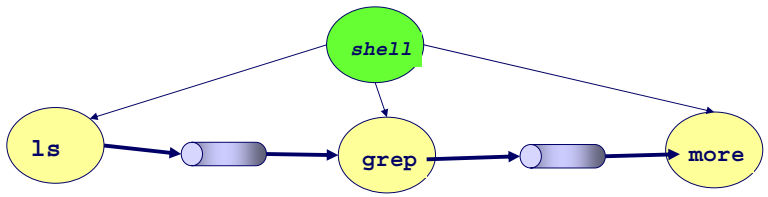

`dup()` & piping

Tramite `dup()` si può realizzare il piping di comandi. Ad esempio:

```
ls -lR | grep Jun | more
```

➔ Vengono creati 3 processi (uno per ogni comando), in modo che:

- stdout di `ls` sia ridiretto nello stdin di `grep`
- stdout di `grep` sia ridiretto nello stdin di `more`



Esempio: piping di 2 comandi senza argomenti

```
/* sintassi: programma com1 com2  significa:
   com1 | com2   */

int main(int argc, char **argv)
{ int pid1, pid2, fd[2],i, status;
  pipe(fd);
  pid1=fork();
  if (!pid1) /* primo processo figlio: com2 */
  {   close(fd[1]);
      close(0);
      dup(fd[0]); /* ridirigo stdin sulla pipe */
      close(fd[0]);
      execlp(argv[2], argv[2],(char *)0);
      exit(-1);
}
```



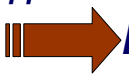
```
else /*processo padre
{  pid2=fork();
   if (!pid2) /* secondo figlio: com1 */
   {    close(fd[0]);
        close(1);
        dup(fd[1]);
        close(fd[1]);
        execlp(argv[1], argv[1], (char *)0);
        exit(-1);
   }
  for (i=0; i<2;i++)
   {    wait(&status);
        if((char)status!=0)
              printf("figlio terminato per segnale%d\n",
              (char)status);
   }
exit(0);
}
```


Pipe: possibili svantaggi

Il meccanismo delle pipe ha ***due svantaggi***:

- consente la comunicazione ***solo tra processi in relazione di parentela***
- ***non è persistente***: pipe viene distrutta quando terminano tutti i processi che hanno accesso ai suoi estremi

Per realizzare la comunicazione persistente tra una coppia di ***processi non appartenenti alla stessa gerarchia***?



FIFO

fifo

È una ***pipe con nome*** nel file system:

- Esattamente come le pipe normali, canale ***unidirezionale*** del tipo ***first-in-first-out***
- è ***rappresentata da un file*** nel file system: ***persistenza, visibilità*** potenzialmente globale
- ha un proprietario, un insieme di diritti e una lunghezza
- è creata dalla system call `mkfifo()`
- è aperta e acceduta con le stesse system call dei file

Per creare una fifo (pipe con nome):

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

- `pathname` è il nome della fifo
- `mode` esprime i permessi

restituisce 0, in caso di successo, un valore negativo, in caso contrario

Apertura/chiusura di fifo

Una volta creata, ***fifo può essere aperta*** (come tutti i file) mediante **`open()`**. Ad esempio, un processo destinatario di messaggi:

```
int fd;
fd=open("myfifo", O_RDONLY);
```

Per chiudere una fifo, si usa **`close()`**:

```
close(fd);
```

Per eliminare una fifo, si usa **`unlink()`**:

```
unlink("myfifo");
```


Accesso a fifo

Una volta aperta, ***fifo può essere acceduta*** (come tutti i file) mediante **`read()`**/**`write()`**. Ad esempio, un processo destinatario di messaggi:

```
int fd;
char msg[10];
fd=open("myfifo", O_RDONLY);
read(fd, msg,10);
```