Interazione tra Processi

Processi interagenti

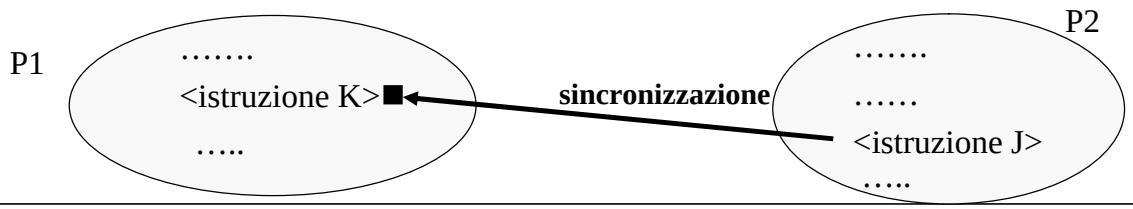
Classificazione:

- **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 della stessa applicazione, ma interagiscono indirettamente, per l'acquisizione di risorse comuni.**

Processi Interagenti

- L’interazione puo` avvenire mediante due meccanismi:
  - **Comunicazione:** scambio di informazioni tra i processi interagenti.
  - **Sincronizzazione:** imposizione di vincoli temporali sull’esecuzione dei processi.

    Ad esempio, l’istruzione K del processo P1 puo` essere eseguita soltanto dopo l’istruzione J del processo P2



Processi Interagenti

- **<u>Realizzazione dell'interazione</u>**:dipende dal modello di processo:
  - **modello ad ambiente locale**: non c'è condivisione di variabili (processo pesante):
    - la comunicazione avviene attraverso scambio di messaggi
    - la sincronizzazione avviene attraverso scambio di eventi (*segnali*)
  - **modello ad ambiente globale**: più processi possono condividere lo stesso spazio di indirizzamento => possibilità di condividere variabili (es. threads):
    - variabili condivise e strumenti di sincronizzazione (es.*semafori*)

Processi interagenti mediante scambio di messaggi

Facciamo riferimento al modello ad ambiente locale:

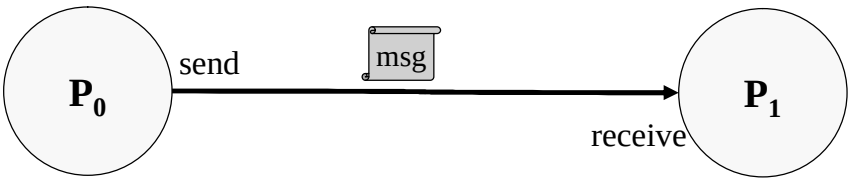
- **non vi è memoria condivisa**
- **i processi possono interagire (*cooperano*/*competono*) mediante scambio di messaggi: *comunicazione***

➢ **Il Sistema Operativo offre meccanismi a supporto della comunicazione tra processi (*Inter Process Communication*, o 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

Meccanismi di comunicazione tra processi

Aspetti caratterizzanti:

- caratteristiche del canale
- caratteristiche del messaggio:
  - dimensione
  - tipo
- tipo della comunicazione:
  - diretta o indiretta
  - simmetrica o asimmetrica
  - bufferizzata o no
  - ...

Naming

In che modo viene specificata la destinazione di un messaggio?

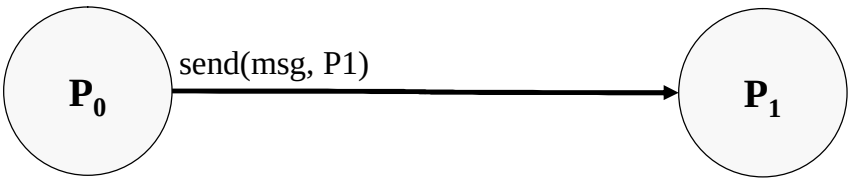
- **Comunicazione <u>diretta</u>**: al messaggio viene associato l'identificatore del processo destinatario (naming esplicito)

  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:

- il destinatario fa il ***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:

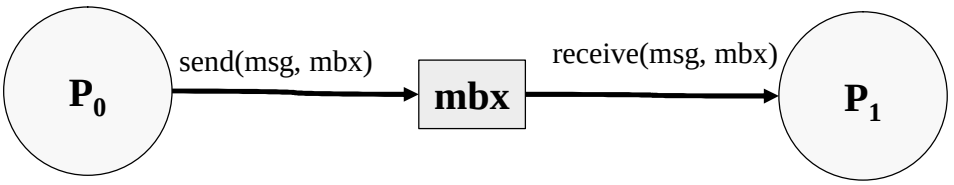
- il destinatario non è obbligato a conoscere l'identificatore del mittente: la variabile **`id`** raccoglie l'identificatore del mittente.

Comunicazione diretta

Problema:

- **scarsa modularità**:
  - la modifica del nome di un processo implica la revisione di tutte le operazioni di comunicazione
  - difficoltà di riutilizzo
  - utilità di servizi di directory (name server)

Comunicazione indiretta



- I processi cooperanti non sono tenuti a conoscersi reciprocamente e si scambiano messaggi depositandoli/prelevandoli da una mailbox *condivisa*.
- La **mailbox** (o ***porta***) è una risorsa astratta condivisibile da più processi che funge da contenitore dei messaggi.

Comunicazione indiretta

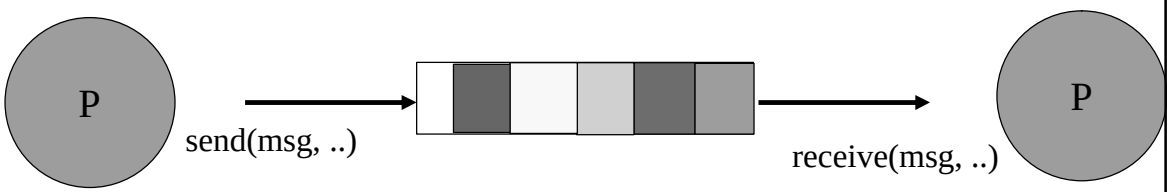
Proprietà:

- 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:

  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 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

- **Capacità nulla**: non vi è accodamento perchè 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 **sospensive:**

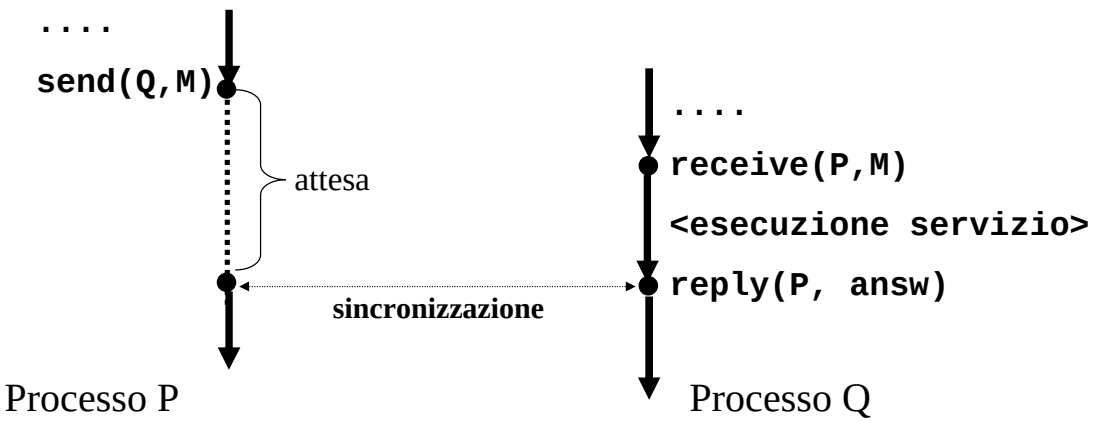
Buffering del canale

- **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**: la send è sospensiva
  - se la coda **è vuota**: la receive può essere sospensiva

- **Capacità illimitata**: lunghezza della coda teoricamente infinita: non c'è possibilità di sospensione.

Remote Procedure Call (RPC)

- È un tipo di comunicazione sincrona, in cui il mittente si sospende fino a che il destinatario non restituisce una risposta (***reply***)al messaggio inviato:
  - il messaggio potrebbe richiedere l'esecuzione di un **servizio**



Caratteristiche della comunicazione tra processi Unix

- Due meccanismi di comunicazione:
  - **pipe**: comunicazione locale (nell'ambito della stessa gerarchia di processi)
  - **socket**: comunicazione in ambiente distribuito (tra processi in esecuzione su nodi diversi di una rete)
- **Pipe**:comunicazione
  - ✓ **indiretta** (senza naming esplicito)
  - ✓ canale **unidirezionale** molti-a-molti
  - ✓ **bufferizzata** (capacità limitata): possibilità di sospensione sia per mittenti che per destinatari.

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, ecc.) per la quale sono stati dei vincoli di accesso: ad esempio:
    - ✓ gli accessi dei due processi alla risorsa devono escludersi mutuamente nel tempo (***Mutua Esclusione*** nell'accesso alla risorsa)

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

Sincronizzazione tra processi

La sincronizzazione permette di imporre vincoli 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

In questo ambiente non vi e` la possibilita` di condividere memoria:

- **Gli accessi alle risorse "condivise" vengono controllati e coordinati dal sistema operativo.**
- **La sincronizzazione avviene mediante meccanismi offerti dal sistema operativo che consentono la notifica di “eventi” asincroni (privi di contenuto informativo) tra un processo ed altri:**
  - **segnali**

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.

In questo ambiente:

- **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 capacita` 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

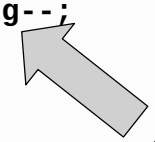
inizialmente `M.num_msg=1;`

- **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!
- E` 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 (*variabile*).

Sezione critica:

è la sequenza di istruzioni mediante le quali un processo accede e può aggiornare variabili condivise.

Mutua esclusione:

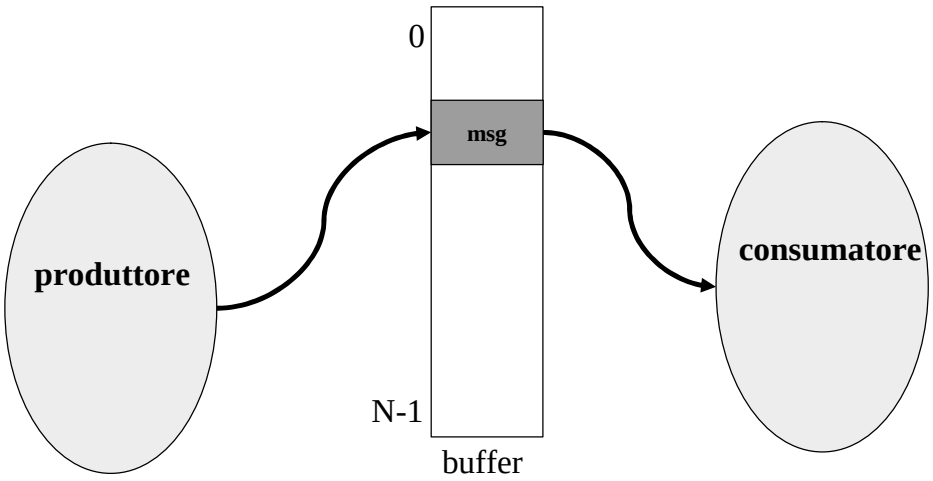
ogni processo esegue le proprie sezioni critiche in modo mutuamente esclusivo rispetto agli altri processi

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

produttore&consumatore

- Necessita` 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 contatore=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**: finchè 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 sistemi operativi e` possibile utilizzare le primitive:
  - **sleep():** per sospendere il processo che la chiama
  - **wakeup(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: consideriamo la sequenza temporale:

1. `cont=0` (buffer vuoto)
2. **C** legge cont, poi viene deschedulato (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**

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

Produttore e consumatore

- È necessario garantire la mutua esclusione dei processi quando aggiornano le variabili condivise (**`Buff`** e **`cont`**), cioè nelle **sezioni critiche**

Soluzione: uso dei **semafori**

Semafori (Dijkstra, 1965)

Definizione di Semaforo:

- **E` un tipo di dato astratto al quale sono applicabili solo due operazioni (*primitive*):**
  - ***wait (s)***
  - ***signal (s)***
- **Al semaforo s sono associate:**
  - **una variabile intera *s.value* non negativa con valore iniziale >= 0.**
  - **una coda di processi *s.queue***

> **Il semaforo puo` essere condiviso da 2 o più processi per risolvere problemi di sincronizzazione (es.mutua esclusione)**

Operazioni sui semafori: definizione

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

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

wait/signal

- **Wait:**
  - la **wait(s),** 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:**
  - l'esecuzione della **signal (s)** non comporta concettualmente nessuna modifica nello stato del processo che l'ha eseguita, ma può causare il risveglio a 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

Affinchè 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 è completata o bloccata.

- Il Sistema Operativo realizza **`wait`** e **`signal`** come operazioni non interrompibili (ad es. system call).

Mutua esclusione con semafori: Esempio

- 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.

Mutua esclusione con semafori: Esempio

- **Soluzione:** uso di un semaforo (binario) **`mutex`**, il cui valore e` inizializzato a 1.

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

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

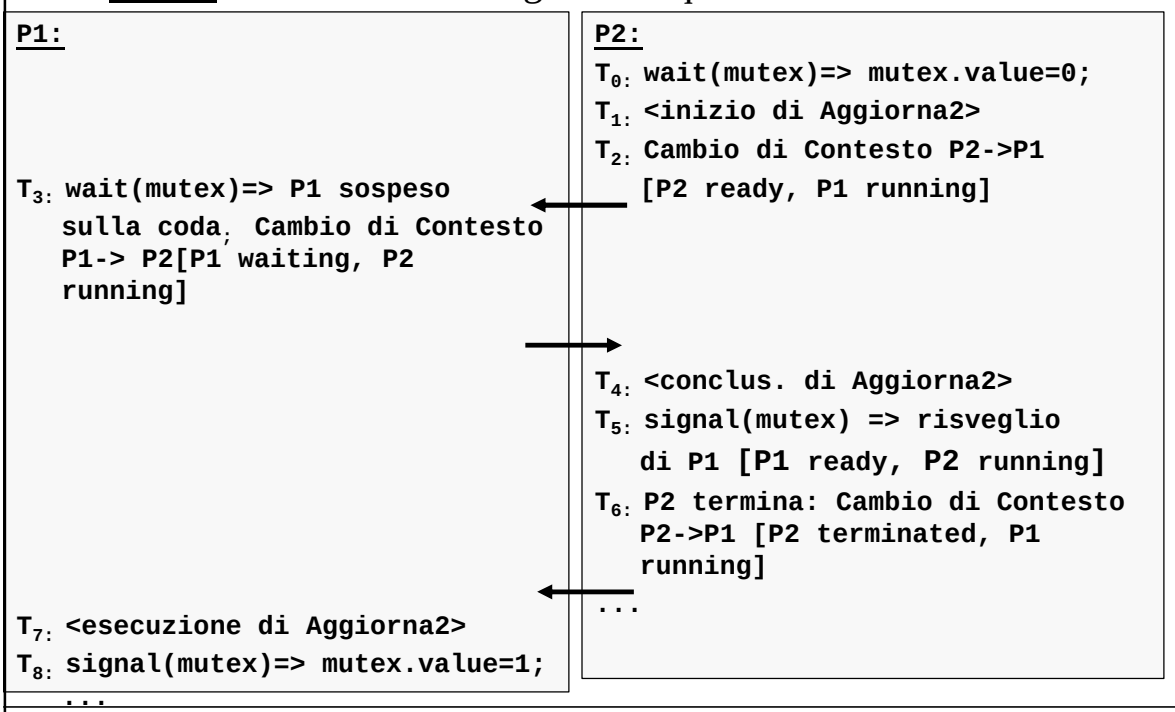
```
P2:
…
wait(mutex)
Aggiorna2(&D);
signal(mutex);
 …
```

- Il valore del semaforo `mutex` può assumere soltanto due valori (0,1): semaforo ***binario***

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

Mutua esclusione con semafori: esecuzione

- **Ad es:** verifichiamo la seguente sequenza di esecuzione:



Sincronizzazione di processi cooperanti

- Mediante i semafori possiamo imporre **vincoli temporali** sull'esecuzione di processi cooperanti.

Ad esempio:

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

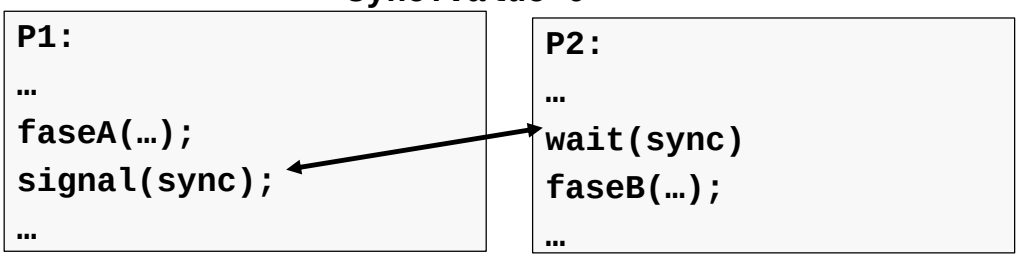
```
P2:
…
/*fase B: */
faseB(…);
/*fine fase B */ …
```

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:** introduco un semaforo **sync**, inizializzato a 0.

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



• se P2 esegue la **wait** prima della terminazione della fase A, P2 viene sospeso;

• quando P1 termina la fase A, puo`:

- Sbloccare P1, oppure
- Portare il valore del semaforo a 1 (se P2 non e` ancora arrivato alla **wait**).

Produttore & Consumatore con semafori

- Problema di mutua esclusione:
  - produttore e consumatore non possono accedere contemporaneamente al buffer:
    - introduciamo il semaforo *binario* **`mutex`**, con valore iniziale a 1;

- Problema di sincronizzazione:
  - il produttore non può scrivere nel buffer se questo è pieno:
    - introduciamo il semaforo **`vuoto`**, con valore iniziale a N;
  - il consumatore non può leggere dal buffer se questo è vuoto:
    - introduciamo il semaforo **`pieno`**, con valore iniziale a 0;

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 tra processi
  - La correttezza della realizzazione e` completamente a carico del programmatore
- **Alternative:** esistono strumenti di piu` alto livello (costrutti di linguaggi di programmazione) che eliminano a priori il problema della mutua esclusione sulle variabili condivise
  - Variabili Condizione
  - Regioni critiche
  - Monitor
  - …