Università di Roma Tor Vergata
Corso di Laurea triennale in Informatica

# Sistemi operativi e reti

A.A. 2019-2020

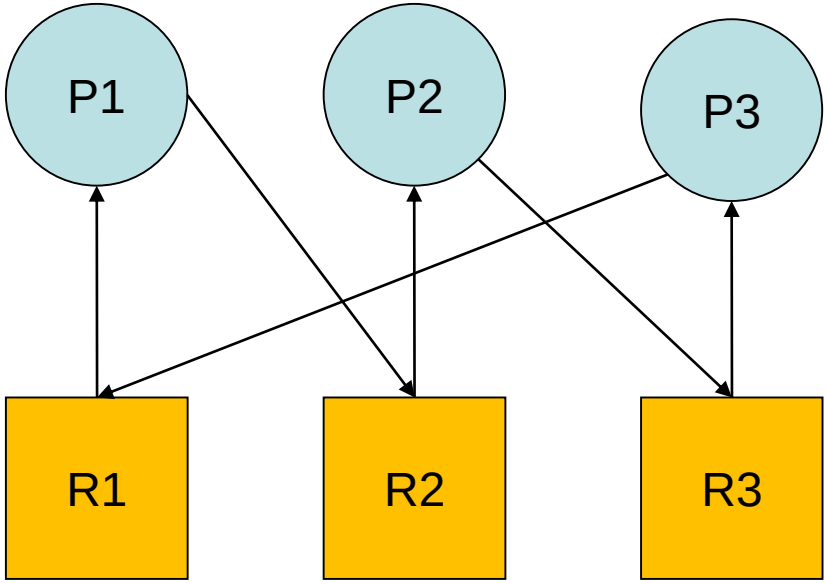
Pietro Frasca

## Lezione 15

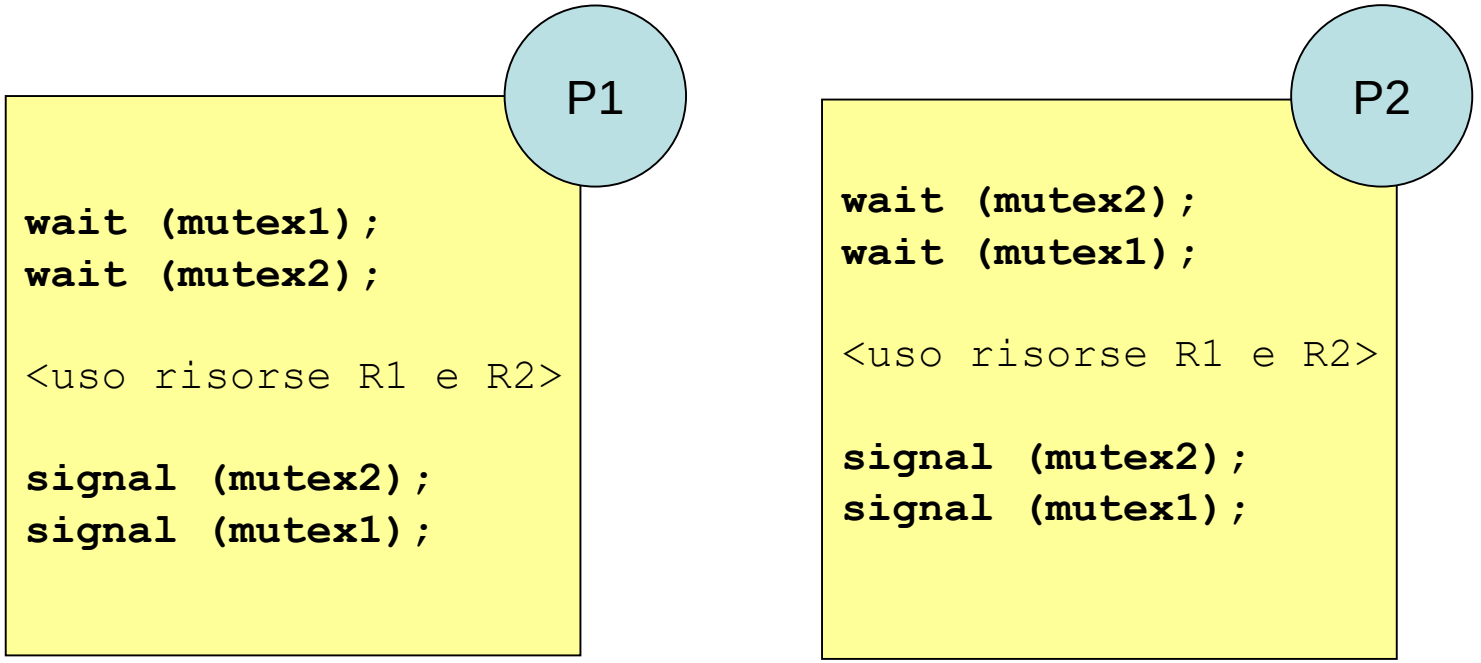
Martedì 26-11-2019

# Esempio di situazione di stallo

- Il seguente grafo di allocazione delle risorse mostra che ciascun processo non può continuare la propria esecuzione in quanto ciascuno è  in attesa di una risorsa che è allocata da un altro processo bloccato.

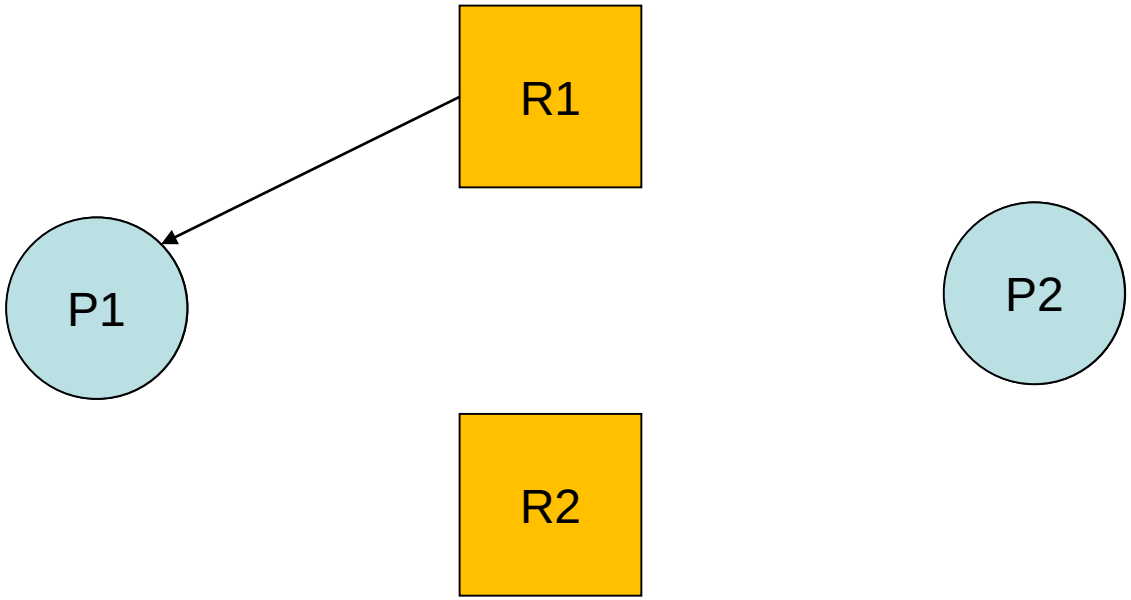


- In certi casi, la situazione di stallo dipende dalla ***velocità relativa*** di esecuzione dei processi.
- Consideriamo ad esempio il caso di due processi **P1** e **P2** che richiedono due risorse **R1** e **R2** nell'ordine mostrato nella figura seguente.



- Se i due processi P1 e P2 eseguono la seguente sequenza di operazioni nel tempo:

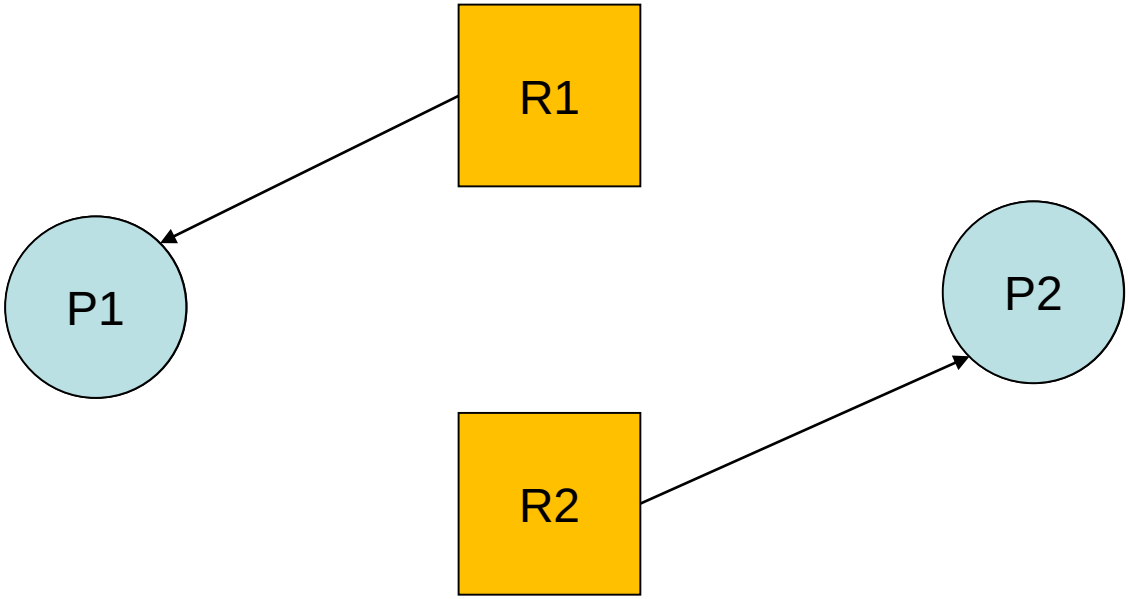
  **T0: P1 esegue wait(mutex1)  (acquisisce la risorsa R1)**



- Se i due processi P1 e P2 eseguono la seguente sequenza di operazioni nel tempo:

  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (acquisisce la risorsa R1)

  **T1: P2 esegue wait(mutex2)  (acquisisce la risorsa R2)**

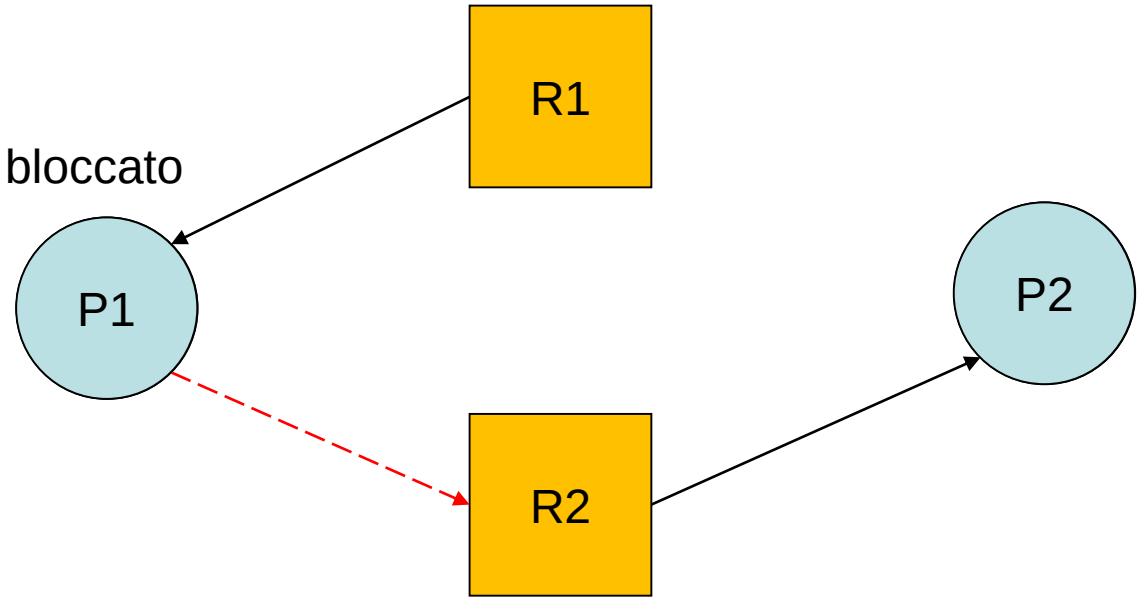


- Se i due processi P1 e P2 eseguono la seguente sequenza di operazioni nel tempo:

  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (acquisisce la risorsa R1)

  T1: P2 esegue wait(mutex2)  (acquisisce la risorsa R2)

  **T2: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 si blocca)**



- Se i due processi P1 e P2 eseguono la seguente sequenza di operazioni nel tempo:

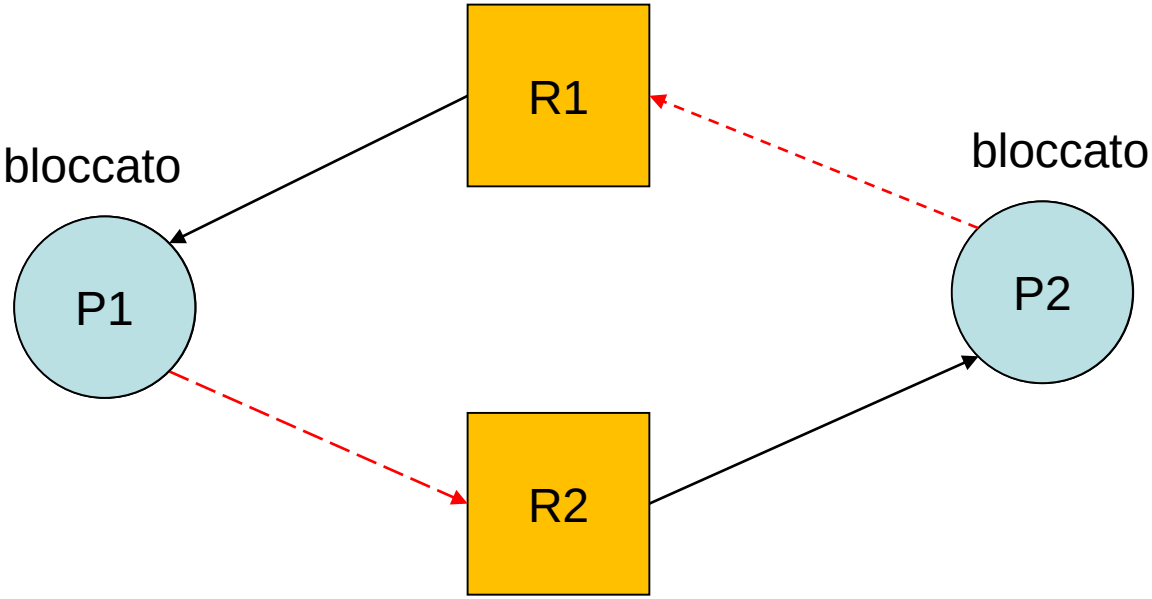
  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (acquisisce la risorsa R1)

  T1: P2 esegue wait(mutex2)  (acquisisce la risorsa R2)

  T2: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 si blocca)

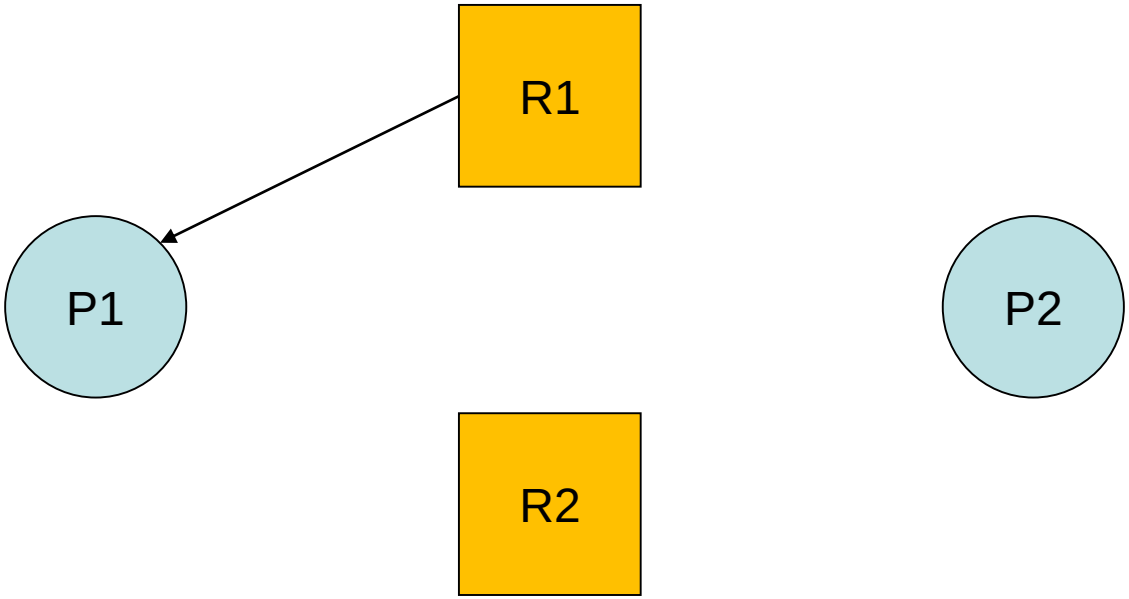
  **T3: P2 esegue wait(mutex1)  (P2 si blocca)**

  **i due processi P1 e P2 si bloccano rispettivamente sui semafori mutex2 e mutex1 e non possono uscire dalla situazione di stallo.**



- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

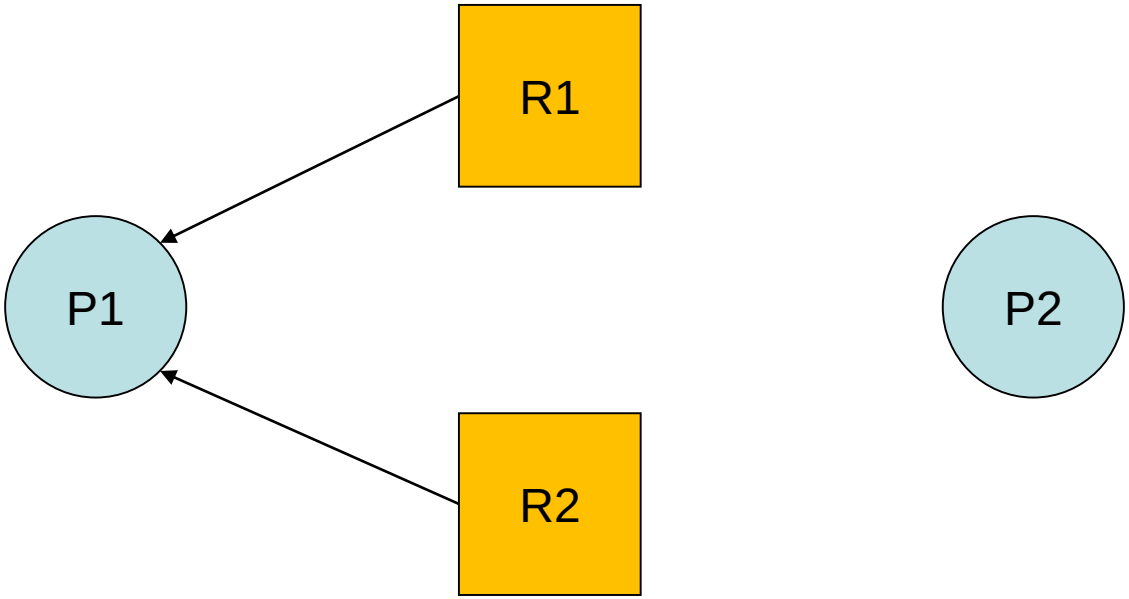
  **T0: P1 esegue wait(mutex1)  (P1 alloca la risorsa R1)**



- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (P1 alloca la risorsa R1)

  **T1: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 alloca la risorsa R2)**

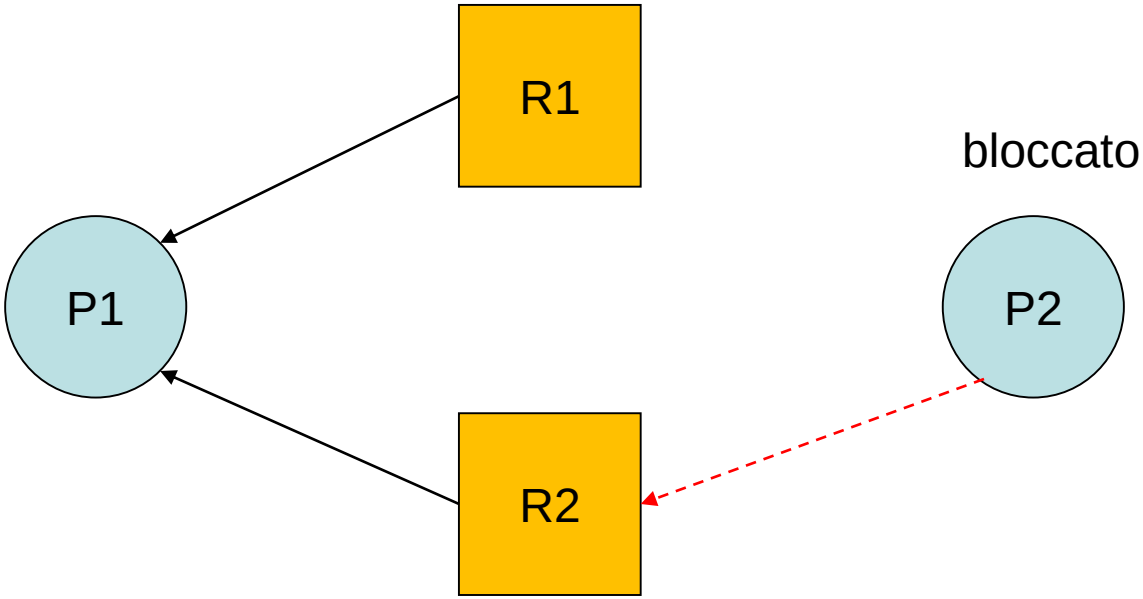


- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (P1 alloca la risorsa R1)

  T1: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 alloca la risorsa R2)

  **T2: P2 esegue wait(mutex2)  (P2 si blocca su mutex2)**



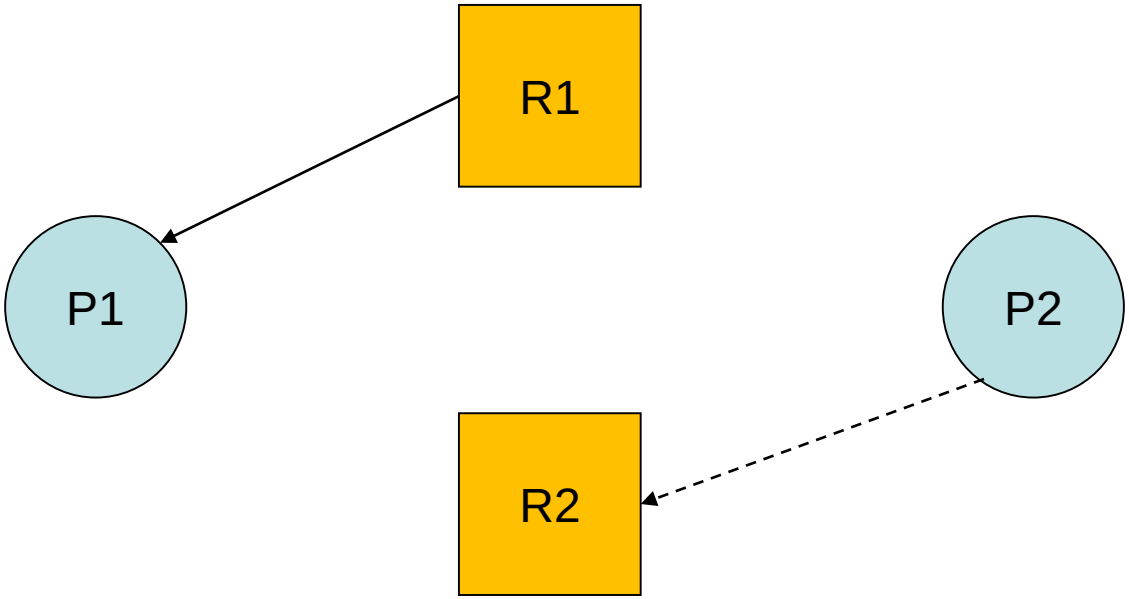
- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (P1 alloca la risorsa R1)

  T1: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 alloca la risorsa R2)

  T2: P2 esegue wait(mutex2)  (P2 si blocca su mutex2)

  **T3: P1 esegue signal(mutex2) (P1 sblocca il mutex2 e risveglia P2)**



- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

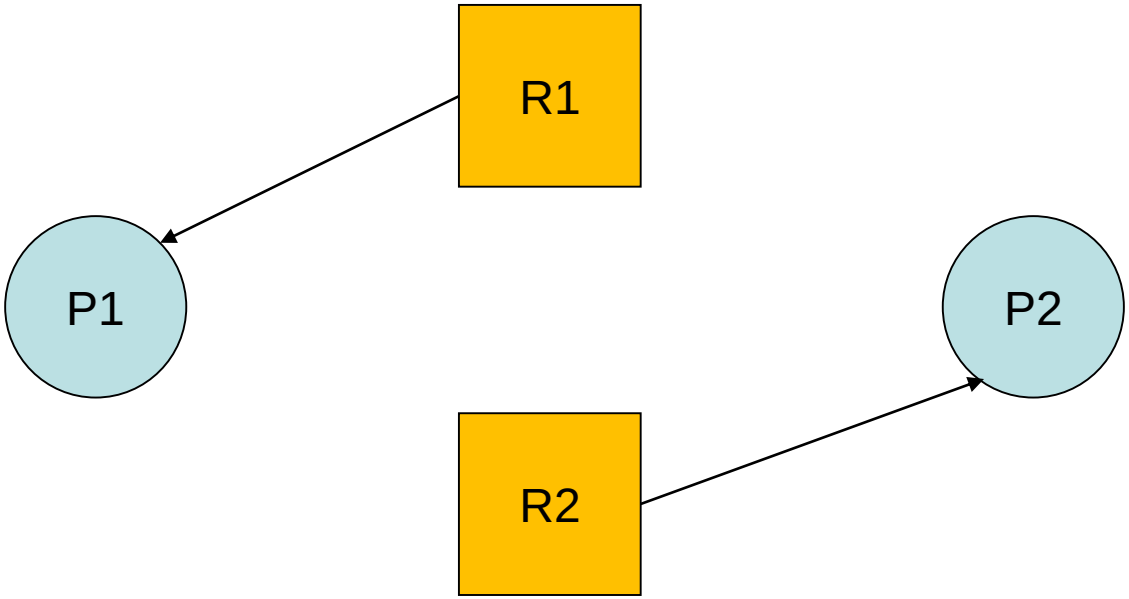
  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (P1 alloca la risorsa R1)

  T1: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 alloca la risorsa R2)

  T2: P2 esegue wait(mutex2)  (P2 si blocca su mutex2)

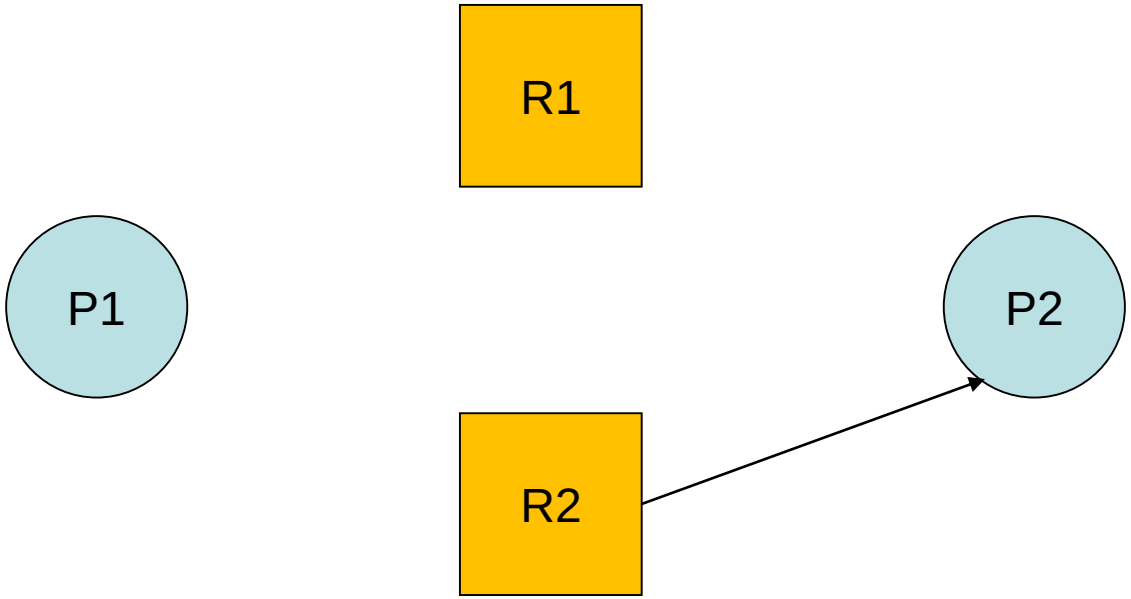
  T3: P1 esegue signal(mutex2) (P1 sblocca il mutex1 e risveglia P2)

  **T4: P2 alloca la risorsa R2**



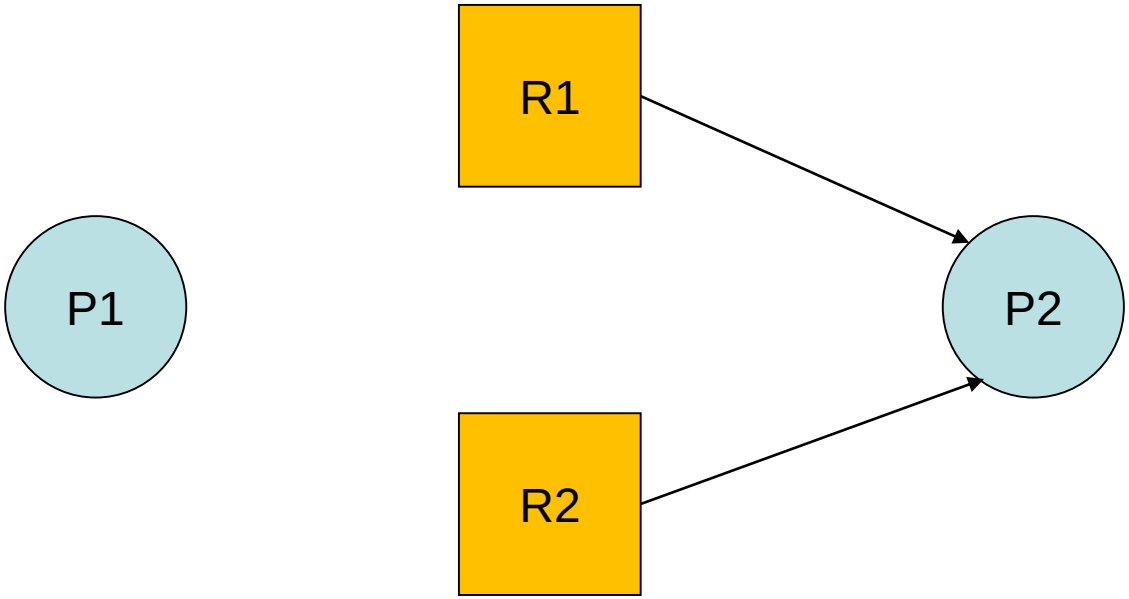
- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (P1 alloca la risorsa R1)
  T1: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 alloca la risorsa R2)
  T2: P2 esegue wait(mutex2)  (P2 si blocca su mutex2)
  T3: P1 esegue signal(mutex2) (P1 sblocca il mutex1 e risveglia P2)
  T4: P2 alloca la risorsa R2
  **T5: P1 esegue signal(mutex1) (P1 rilascia R1)**



- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

  T0: P1 esegue wait(mutex1)  (P1 alloca la risorsa R1)
  T1: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 alloca la risorsa R2)
  T2: P2 esegue wait(mutex2)  (P2 si blocca su mutex2)
  T3: P1 esegue signal(mutex2) (P1 sblocca il mutex1 e risveglia P2)
  T4: P2 alloca la risorsa R2
  T5: P1 esegue signal(mutex1) (P1 rilascia R1)
  **T6: p2 esegue wait(mutex1)  (P2 alloca R1)**



- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

  T1: P1 esegue wait(mutex2)  (P1 alloca la risorsa R2)

  T2: P2 esegue wait(mutex2)  (P2 si blocca su mutex2)

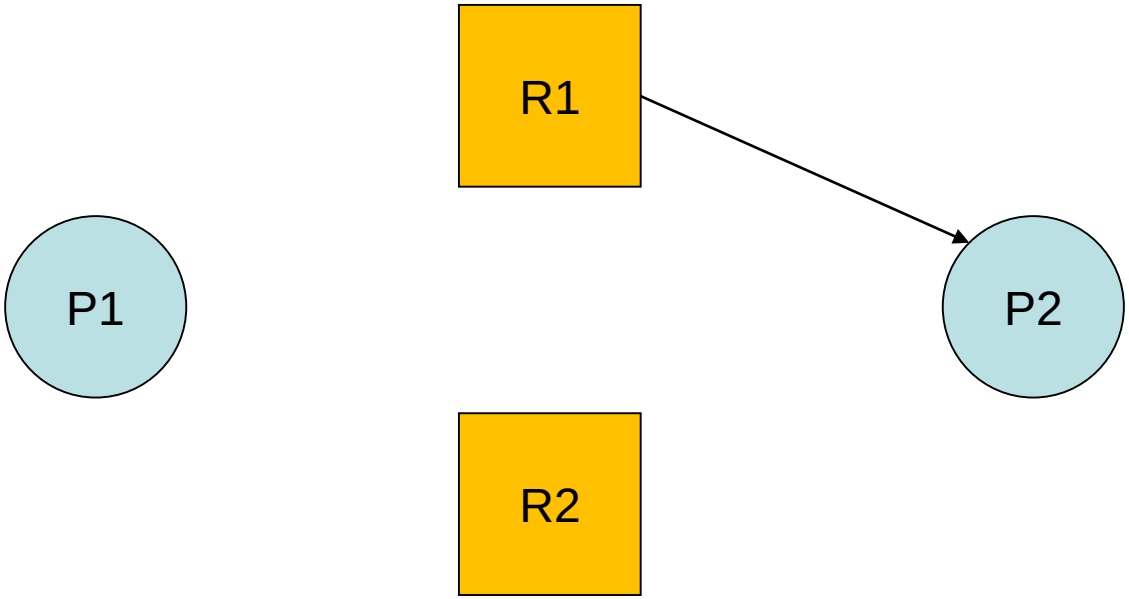
  T3: P1 esegue signal(mutex2) (P1 sblocca il mutex1 e risveglia P2)

  T4: P2 alloca la risorsa R2

  T5: P1 esegue signal(mutex1) (P1 sblocca R1)

  T6: P2 esegue wait(mutex1)  (P2 alloca R1)

  **T7: P2 eseque signal(mutex2) (P2 rilascia R2)**



- Quest’altra condizione di velocità relativa non avrebbe portato allo stallo:

  T2: P2 esegue wait(mutex2)  (P2 si blocca su mutex2)

  T3: P1 esegue signal(mutex2) (P1 sblocca il mutex1 e risveglia P2)

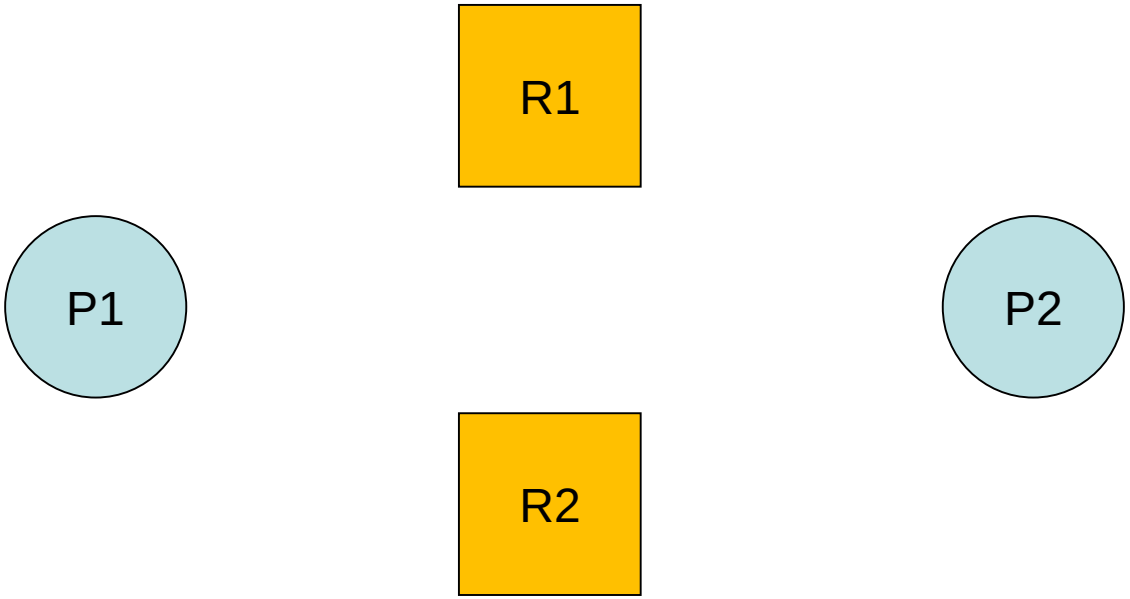
  T4: P2 alloca la risorsa R2

  T5: P1 esegue signal(mutex1) (P1 rilascia R1)

  T6: P2 esegue wait(mutex1)  (P2 alloca R1)

  T7: P2 esegue signal(mutex2) (P2 rilascia R2)

  **T8: P2 esegue signal(mutex1) (P2 rilascia R1)**

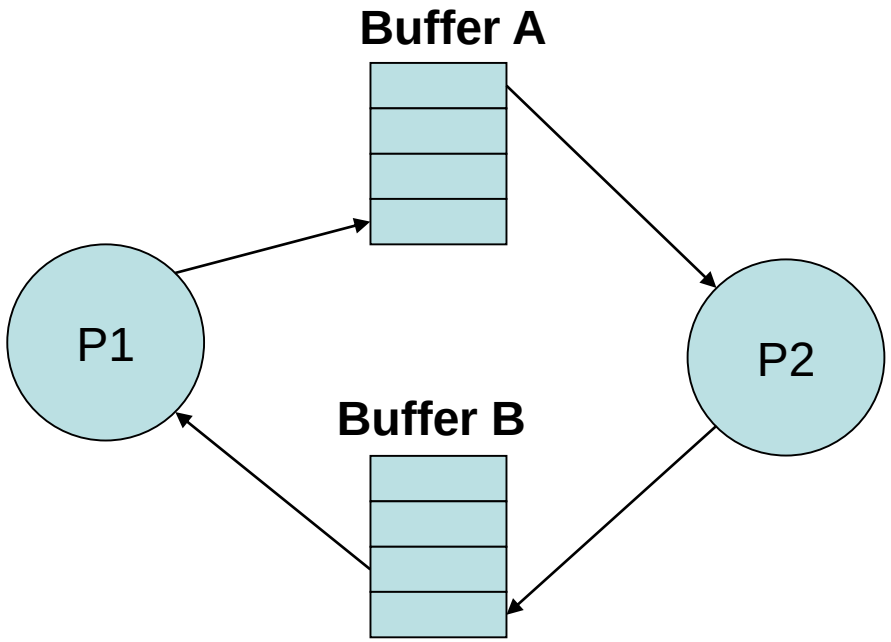


# Risorse riusabili, consumabili e condivisibili

- Una risorsa è detta ***riusabile*** quando può essere usata da un processo alla volta e non viene distrutta dopo l'uso. Esempi di risorse riusabili sono risorse hardware come i dischi, i lettori DVD, le stampanti, scanner, etc. e risorse software come file, tabelle, etc.
- Una risorsa è detta ***non riusabile*** o ***consumabile***, quando non può essere riusata. Esempi di risorse consumabili sono i messaggi, i segnali e le interruzioni. Anche l'utilizzo di tali risorse può portare a situazioni di stallo.
- Una risorsa **è condivisibile** quando è riusabile e può essere usata senza ricorrere alla mutua esclusione. Un esempio di risorsa condivisibile è il file con accesso in sola lettura.

# Blocco critico con risorse consumabili

- Consideriamo l'esempio in figura in cui i processi P1 e P2 si comportano rispettivamente da produttore e consumatore rispetto al buffer **A** e consumatore e produttore rispetto al buffer **B**.
- Se **i due buffer sono pieni**, P1 non può inserire il suo messaggio nel buffer A e quindi si blocca in attesa che intervenga P2, il quale a sua volta può essere bloccato in quanto impossibilitato ad inserire il messaggio nel buffer B.



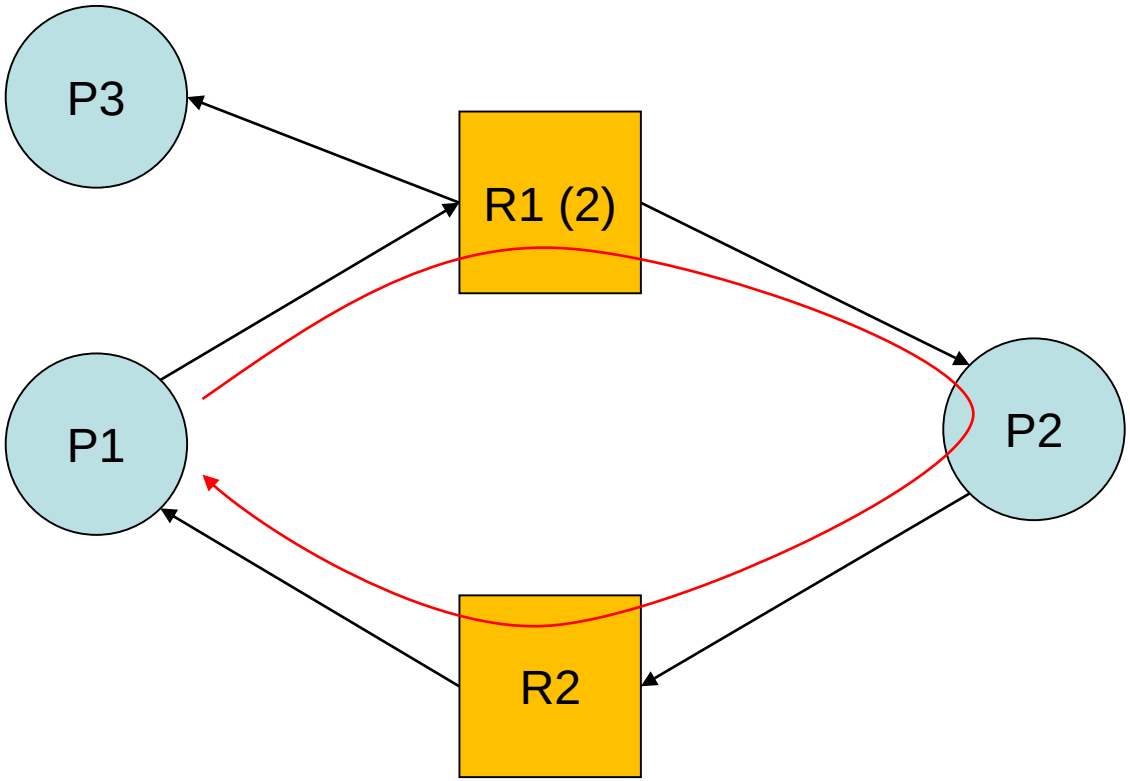
# Condizioni per lo stallo

- Considerato un insieme di **N** processi *{P1, P2..PN}* e un insieme di **M** tipi di risorse *{R1, R2,..RM}* **si può verificare** una condizione di stallo se risultano vere **contemporaneamente** tutte le seguenti condizioni:

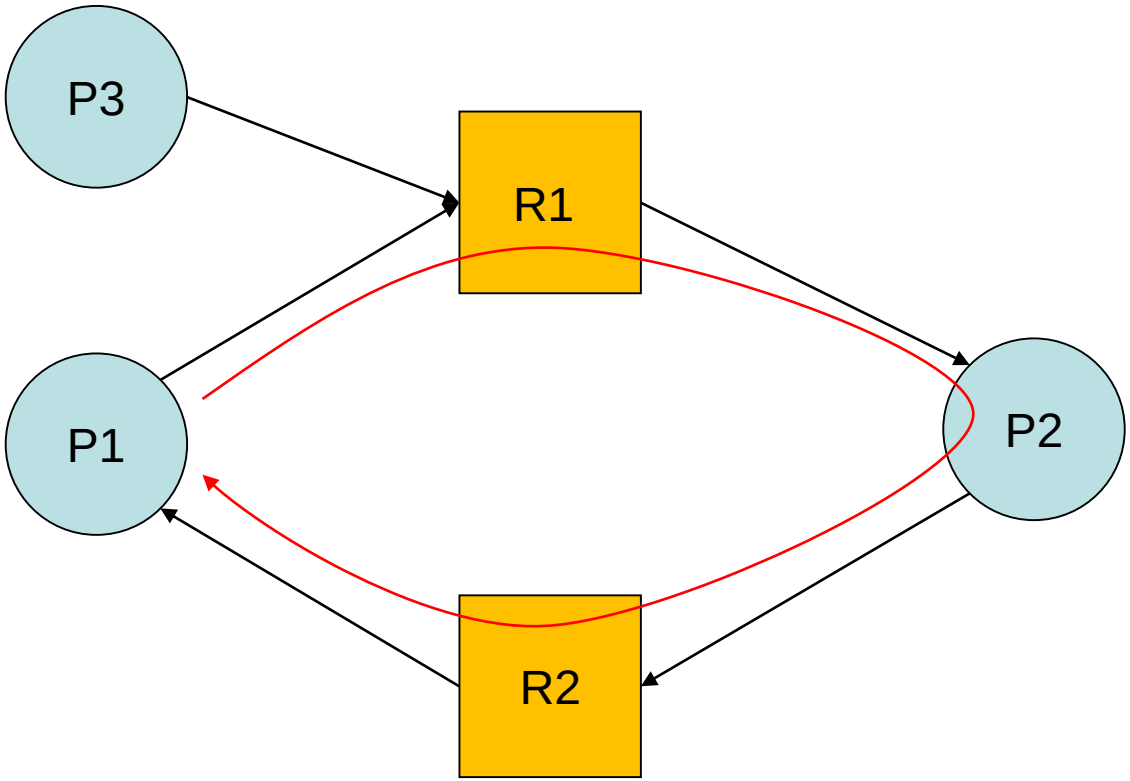
1. **Mutua esclusione**. Le risorse possono essere utilizzate da un solo processo alla volta;
2. **Possesso e attesa**. I processi non rilasciano le risorse che hanno già acquisito e per continuare la loro esecuzione ne richiedono altre;
3. **Mancanza di pre-rilascio**. Le risorse che sono state già assegnate ai processi non possono essere revocate;
4. **Attesa circolare**. Esiste un insieme di processi {Pi, Pi+1,…,Pk}, tali che Pi è in attesa di una risorsa acquisita da Pi+1, Pi+1 è in attesa di una risorsa acquisita da Pi+2,… Pk è in attesa di una risorsa acquisita da Pi.

Le prime tre condizioni sono necessarie ma non sufficienti affinché si verifichi lo stallo. La quarta condizione diventa sufficiente solo nel caso in cui che per ogni tipo di risorsa condivisa esista **solo un'unità.**

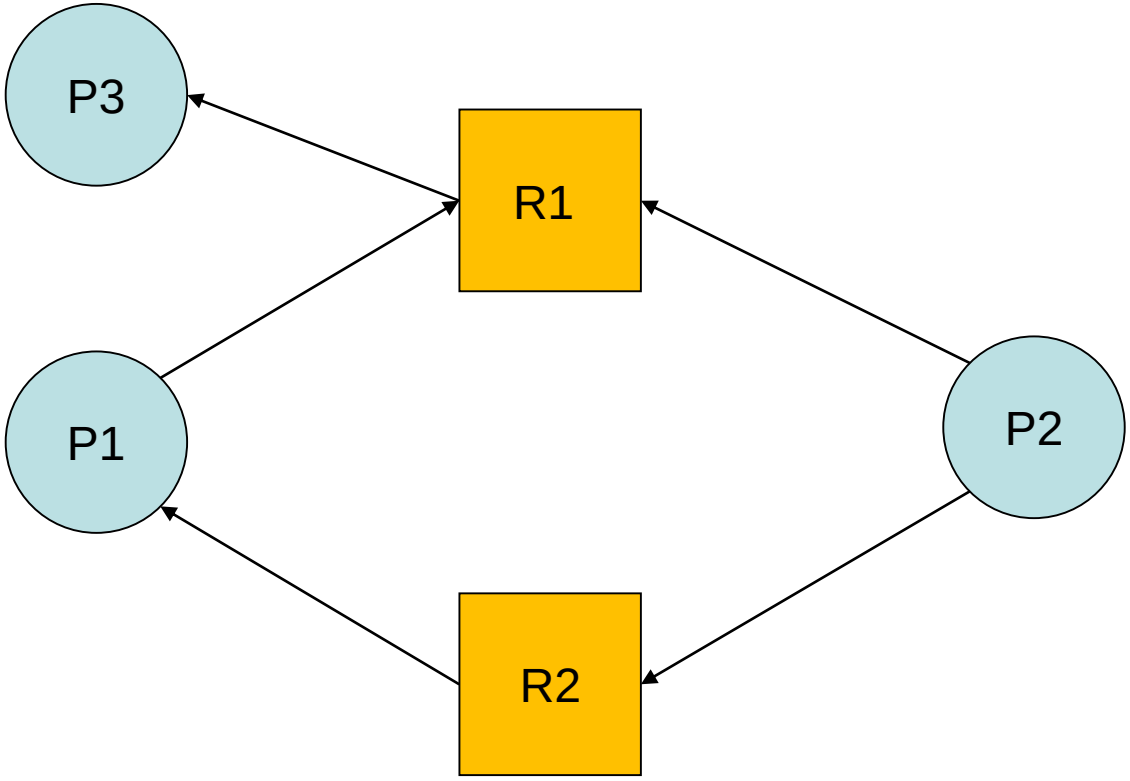
- L’esempio in figura mostra un caso in cui esistono 2 unità della risorsa R1. Il percorso circolare P1-R1-P2-R2 non porta ad una situazione di stallo in quanto il processo P3, dopo aver usato una copia di R1, la può rilasciare e quindi potrà essere allocata al processo P1, eliminando il percorso circolare.



- Questo secondo esempio mostra un caso in cui c'è solo un'unità della risorsa R1. In questo caso il percorso circolare P1-R1-P2-R2 porta ad una situazione di stallo in quanto P1 e P3 sono bloccati in attesa di R1 e P2 è bloccato in attesa di R2.



- In questo terzo  caso non è presente un percorso circolare P1-R1-P2-R2 e il sistema non si trova in stallo.
- Tuttavia se successivamente, nel momento in cui P3 libera la risorsa R1 e questa venisse  allocata a P2, si formerebbe un percorso circolare P1-R1-P2-R2 e quindi il sistema andrebbe in stallo. Se invece R1 venisse allocata a P1 non si verificherebbe una situazione di stallo.



# Metodi per il trattamento dello stallo

- Il problema del blocco critico si può risolvere adottando tecniche di prevenzione:
  - **prevenzione statica**
  - **prevenzione dinamica**

## Prevenzione statica

- Consiste nello **scrivere adeguatamente i programmi**, in modo tale che almeno una delle quattro condizioni necessarie non si verifichi. Non considerando la condizione di mutua esclusione, che è fondamentale per l'uso delle risorse condivise, si può intervenire sulle restanti tre condizioni: **possesso e attesa, mancanza di pre-rilascio, attesa circolare.**
- Le tecniche di prevenzione statica sono basate su vincoli sull'acquisizione delle risorse, che possono provocare un uso non efficiente delle risorse ed un rallentamento dei processi.

# Prevenzione dinamica

- Le tecniche di prevenzione dinamica si basano su algoritmi in grado di verificare, in base allo stato corrente di allocazione delle risorse e alle richieste dei processi, se l'assegnazione di risorse dovute ad una nuova richiesta da parte di un processo può portare a una situazione di stallo.
- Un noto algoritmo di prevenzione dinamica, ideato da Dijkstra, è l'**algoritmo del banchiere** (per una certa analogia al comportamento del banchiere) .
- L'algoritmo risulta molto riduttivo per essere usato nei SO di uso generale in quanto è basato sui seguenti vincoli:
  1. il sistema operativo può gestire un numero fisso di processi e un numero fisso di risorse. Inoltre i processi devono dichiarare inizialmente il numero massimo di risorse di cui hanno bisogno durante la loro esecuzione.
  2. I processi possono richiedere nuove risorse mantenendo le unità già in loro possesso.
  3. Tutte le risorse assegnate a un processo sono rilasciate quando il processo termina la sua esecuzione.

- Gli algoritmi di prevenzione dinamica si basano sul concetto di ***stato sicuro***.
- Lo stato del sistema si dice ***sicuro*** se è possibile trovare una sequenza **Ph-Pj..Pk** con cui assegnare le risorse ai processi, detta **sequenza sicura**, in modo tale che tutti i processi possano usare le risorse che richiedono e terminare.
- Se, in un determinato istante, le risorse che un processo **Pi** richiede non sono disponibili, allora **Pi** si blocca  fino a che tutti i processi che lo precedono nella sequenza liberino un numero sufficiente di risorse necessarie a **Pi**.
- Se non esiste una sequenza sicura allora lo stato del sistema è detto ***non è sicuro***. Uno stato non sicuro **può portare** a una condizione di deadlock.
- L'algoritmo deve quindi consentire l'allocazione delle risorse ai processi solo quando le allocazioni portano a stati sicuri.

- Consideriamo, ad esempio, il caso di un sistema con tre processi P1, P2, P3 in cui siano disponibili 15 unità di **un solo tipo** di risorsa e che sia noto il massimo numero di risorse che ciascun processo può richiedere: 12 per P1, 3 per P2 e 11 per P3. Lo **stato iniziale** del sistema può essere così rappresentato:

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 0 |
| P2 | 0 |
| P3 | 0 |

Risorse allocate

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 12 |
| P2 | 3 |
| P3 | 11 |

Risorse richieste

| **R1** |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| **R1** |
|---|
| 15 |

Risorse libere

- Se dopo un certo periodo di tempo sono state assegnate 8 unità a p1, 2 a p2 e 11 a P3, lo stato in cui il sistema si trova può essere così descritto:

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 8 |
| P2 | 2 |
| P3 | 3 |

Risorse allocate

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 4 |
| P2 | 1 |
| P3 | 8 |

Risorse richieste

| **R1** |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| **R1** |
|---|
| 2 |

Risorse libere

- Vediamo se questo **stato è sicuro,** verificando se, a partire da questo stato, esiste una sequenza sicura.

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 8 |
| P2 | 2 |
| P3 | 3 |

Risorse allocate

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 4 |
| P2 | 1 |
| P3 | 8 |

Risorse richieste

| **R1** |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| **R1** |
|---|
| 2 |

Risorse libere

- Si può notare che:
  1. il processo **P2** può allocare la risorsa richiesta, potendo quindi completare la sua esecuzione e liberare le sue 3 risorse che aveva allocato, portando quindi a 4 le risorse disponibili.

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 8 |
| **P2** | **3** |
| P3 | 3 |

Risorse allocate

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 4 |
| **P2** | **0** |
| P3 | 8 |

Risorse richieste

| **R1** |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| **R1** |
|---|
| 1 |

Risorse libere

- Quindi quando P2 termina la stato di allocazione è il seguente:

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 8 |
| P2 | 0 |
| P3 | 3 |

Risorse allocate

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 4 |
| P2 | 0 |
| P3 | 8 |

Risorse richieste

| **R1** |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| **R1** |
|---|
| 4 |

Risorse libere

2. A questo punto, il processo **P1** può ora ottenere tutte le 4 risorse ancora necessarie e terminare, portando a 12 le risorse disponibili che consentono al processo **P3** di terminare.

- Lo stato indicato è quindi uno ***stato sicuro*** in quanto partendo da esso esiste la ***sequenza sicura*** **(P2, P1, P3).**

- Altre sequenze potrebbero far passare il sistema da uno stato sicuro a uno stato non sicuro.

| | R1 |
|---|---|
| P1 | 8 |
| P2 | 2 |
| P3 | 3 |

Risorse allocate

| | R1 |
|---|---|
| P1 | 4 |
| P2 | 1 |
| P3 | 8 |

Risorse richieste

| R1 |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| R1 |
|---|
| 2 |

Risorse libere

- Se, ad esempio, il processo **P3** chiede e otteniene una risorsa, il sistema in questo caso passerebbe in **uno stato che non è sicuro**.

| | R1 |
|---|---|
| P1 | 8 |
| P2 | 2 |
| **P3** | **4** |

Risorse allocate

| | R1 |
|---|---|
| P1 | 4 |
| P2 | 1 |
| **P3** | **7** |

Risorse richieste

| R1 |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| R1 |
|---|
| 1 |

Risorse libere

- Infatti, l'unica  risorsa rimasta libera può soddisfare soltanto la richiesta del processo P2 consentendogli di terminare l'esecuzione e liberare le 3 risorse in suo possesso.

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 8 |
| **P2** | **3** |
| P3 | 4 |

Risorse allocate

| | **R1** |
|---|---|
| P1 | 4 |
| **P2** | **0** |
| P3 | 7 |

Risorse richieste

| **R1** |
|---|
| 15 |

Risorse totali

| **R1** |
|---|
| 0 |

Risorse libere

- A questo punto nessun altro processo può terminare: P1 non può ottenere le 4 risorse di cui ha bisogno non essendo queste disponibili e quindi deve essere sospeso; analogamente P3 non può ottenere le 7 risorse e quindi anche esso viene sospeso. Si giunge quindi ad una **situazione di stallo**.

Nell’esempio, per evitare lo stallo, a partire dal precedente stato sicuro, la risorsa richiesta da P3 non deve essere ad esso allocata anche se disponibile.

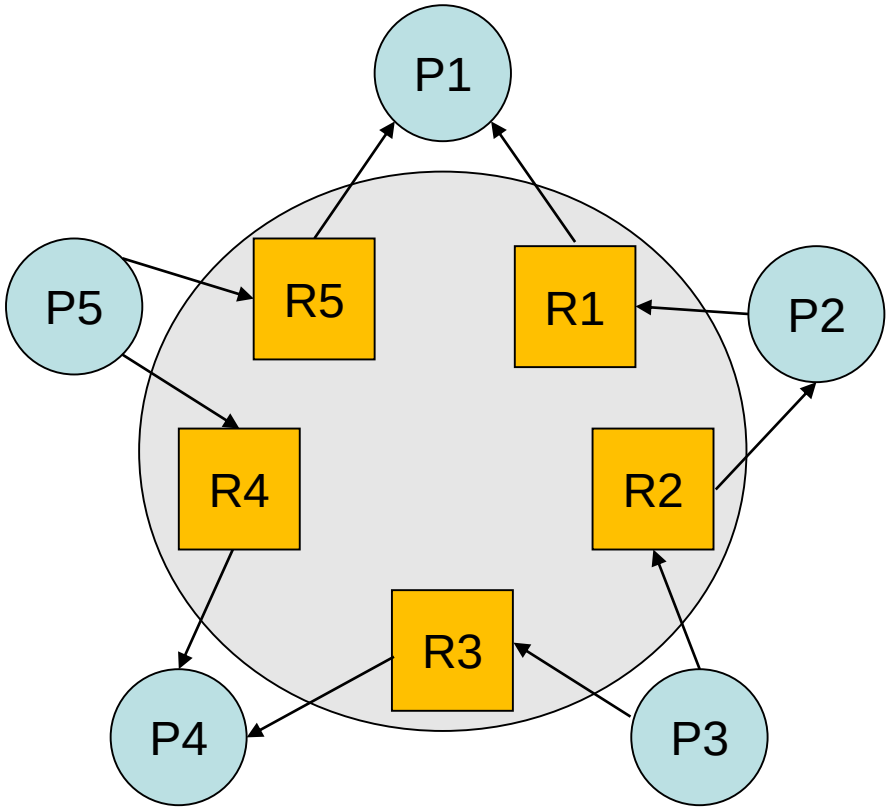
# Rilevamento dei blocchi critici

- Se non si prendono adeguati provvedimenti di prevenzione statica o dinamica è possibile che si verifichino situazioni di stallo, coinvolgendo un certo numero di processi e di risorse.
- Spesso si ricorre solo alla rilevazione e alla eliminazione del blocco critico, senza ricorrere ad alcuna tecnica di prevenzione, come nel caso di Windows e Unix.
- L'algoritmo di **rilevazione** viene eseguito dal SO periodicamente con una frequenza che dipende dal tipo di applicazioni o quando ad esempio il grado d'uso della CPU scende sotto una certa soglia in quanto una condizione di blocco critico può rendere inefficienti le prestazioni del sistema.
- L'eliminazione dello stallo si può ottenere con differenti tecniche, la più semplice ed estrema consiste nel fare terminare tutti i processi coinvolti.

- Una soluzione meno drastica  consiste nel far terminare uno alla volta i processi coinvolti e liberando via via le risorse da esso allocate, fino a giungere all'eliminazione dello stallo. In questo caso è possibile usare politiche di selezione dei processi da far terminare, basate ad esempio sulla priorità, sul tempo di cpu utilizzato, sul numero di risorse allocate, etc.
- L'implementazione di tali strategie può portare ad un alto overhead per il SO, in quanto dopo ogni terminazione forzata occorre verificare di nuovo se c'è ancora una situazione di stallo.

# Problema dei cinque filosofi

- Il problema dei 5 filosofi a cena è un esempio che mostra un problema di sincronizzazione tra thread (o processi). Cinque filosofi stanno cenando in un tavolo rotondo. Ciascun filosofo ha il suo piatto di spaghetti e una bacchetta a destra e un bacchetta a sinistra che condivide con i vicini. Ci sono quindi solo cinque bacchette e per mangiare ne servono 2 per ogni filosofo. Immaginiamo che durante la cena, un filosofo trascorra periodi in cui mangia e periodi in cui pensa, e che ciascun filosofo abbia bisogno di due bacchette per mangiare, e che le bacchette siano prese una alla volta. Quando possiede due bacchette, il filosofo mangia per un po' di tempo, poi lascia le bacchette, una alla volta, e ricomincia a pensare.
- Il problema consiste nel trovare un algoritmo che eviti sia lo stallo (deadlock) che l'attesa indefinita (starvation).
- Lo stallo può verificarsi se ciascuno dei filosofi acquisisce una bacchetta senza mai riuscire a prendere l'altra. Il filosofo F1 aspetta di prendere la bacchetta che ha in mano il filosofo F2, che aspetta la bacchetta che ha in mano il filosofo F3, e così via (condizione di attesa circolare).


P1
P5
R5
R1
P2
R4
R2
R3
P4
P3

La situazione di starvation può verificarsi indipendentemente dal deadlock se uno dei filosofi non riesce mai a prendere entrambe le bacchette.

- La soluzione qui riportata evita il verificarsi dello stallo evitando la condizione di attesa circolare, imponendo che i filosofi con indice dispari prendano prima la bacchetta alla loro destra e poi quella alla loro sinistra; viceversa, i filosofi con indice pari (considerando 0 pari) prendano prima la bacchetta che si trova alla loro sinistra e poi quella alla loro destra.

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
```

```
#define NUMFILOSOFI 5
#define CICLI 100

typedef struct{
    int id;
    pthread_t thread_id;
    char nome[20];
  } Filosofo;

/* Le bacchette sono risorse condivise, quindi ne gestiamo
   l'accesso in mutua esclusione mediante l'uso di mutex*/
pthread_mutex_t bacchetta[NUMFILOSOFI];

/* sospende per un intervallo di tempo random l'esecuzione del
   thread chiamante */
void tempoRnd(int min, int max) {
  sleep(rand()%(max-min+1) + min);
}
```

```
void *filosofo_th(void *id){
  Filosofo fil=*(Filosofo *)id;
  int i;
  for (i=0; i<CICLI; i++){
    printf("Filosofo %d: %s sta pensando \n",fil.id+1,fil.nome);
    tempoRnd(3, 12);
    printf("Filosofo %d: %s ha fame\n", fil.id+1,fil.nome);
    /* condizione che elimina l'attesa circolare */
    if (fil.id % 2){
      pthread_mutex_lock(&bacchetta[fil.id]);
      printf("Filosofo %d: %s prende la bacchetta destra (%d)\n",
        fil.id+1,fil.nome,fil.id+1);
      tempoRnd(1,2);
      pthread_mutex_lock(&bacchetta[(fil.id+1)%NUMFILOSOFI]);
      printf("Filosofo %d: %s prende la bacchetta sinistra
        (%d)\n", fil.id+1, fil.nome,(fil.id+1)%NUMFILOSOFI+1);
     }
```

```
    else{
      pthread_mutex_lock(&bacchetta[(fil.id+1) % NUMFILOSOFI]);
      printf("Filosofo %d: %s prende la bacchetta sinistra
       (%d)\n", fil.id+1, fil.nome,(fil.id+1)%NUMFILOSOFI+1);
      tempoRnd(1,2);
       pthread_mutex_lock(&bacchetta[fil.id]);
       printf("Filosofo %d: %s prende la bacchetta destra
        (%d)\n",fil.id+1,fil.nome,fil.id+1);
    }
    printf("Filosofo %d: %s sta mangiando \n", fil.id+1,
      fil.nome);
    tempoRnd(3, 10);
    pthread_mutex_unlock(&bacchetta[fil.id]);

    printf("Filosofo %d: %s posa la bacchetta destra (%d)\n",
      fil.id+1, fil.nome,fil.id+1);
    pthread_mutex_unlock(&bacchetta[(fil.id+1) % NUMFILOSOFI]);

    printf("Filosofo %d: %s posa la bacchetta sinistra (%d)\n",
      fil.id+1, fil.nome, (fil.id+1)%NUMFILOSOFI+1);
  } //ciclo for

}
```

```
int main(int argc, char *argv[]){
  int i;
  char nome[][20]={"Socrate","Platone","Aristotele","Talete",
   "Pitagora"};
  Filosofo filosofo[NUMFILOSOFI];
  srand(time(NULL));

  /* inizializza i mutex */
  for (i=0; i<NUMFILOSOFI; i++)
    pthread_mutex_init(&bacchetta[i], NULL);

  /* crea e avvia i threads */
  for (i=0; i<NUMFILOSOFI; i++){
    filosofo[i].id=i;
    strcpy(filosofo[i].nome,nome[i]);
    if (pthread_create(&filosofo[i].thread_id, NULL, filosofo_th,
       &filosofo[i]))
      perror("errore pthread_create");
    }
```

```
/* il thread main attende che i filosofi terminino */
  for (i=0; i<NUMFILOSOFI; i++)
    if (pthread_join(filosofo[i].thread_id, NULL))
      perror("errore pthread_join");
  return 0;
}
```