

Programmazione concorrente nel Modello ad Ambiente Globale

Interazione nel modello ad Ambiente Globale (Memoria Comune)

Se la macchina concorrente e` organizzata secondo il modello ad ambiente globale (o modello a memoria comune):

- **PROCESSO=THREAD**
- Comunicazione attraverso dati/risorse (**oggetti**) condivisi
- Necessita` di sincronizzare gli accessi agli oggetti condivisi

- Il linguaggio concorrente offre **costrutti** per esprimere la soluzione a problemi di sincronizzazione (es: semafori, regioni critiche, monitor ecc.)
- Il nucleo realizza **meccanismi** di sincronizzazione

Processi & risorse

- Ogni applicazione concorrente puo` essere rappresentata come un insieme di componenti, suddiviso in due sottoinsiemi disgiunti:
 - **processi** (componenti attivi)
 - **risorse** (componenti passivi).

Risorsa: Qualunque oggetto, fisico o logico, di cui un processo necessita per portare a termine il suo compito.

- Le risorse sono raggruppate in **classi**; ogni classe identifica l'insieme di *tutte e sole* le operazioni che un processo può eseguire per operare su risorse di quella classe.
- Il termine *risorsa* si identifica con quello di *struttura dati* allocata nella memoria comune.

Risorsa privata di un processo P (o locale a P): P è il solo processo che può eseguire operazioni sulla risorsa.

Risorsa comune (o globale): è una risorsa su cui più processi possono operare.

- Nel modello a memoria comune i processi interagiscono esclusivamente operando su *risorse comuni* (competizione e cooperazione).
- **Meccanismo di controllo degli accessi:** è necessario definire quali processi ed in quali istanti possono correttamente accedere alla risorsa.

Gestore di una risorsa

- **Allocatore o gestore di una risorsa R:** è l'entità che ha il compito di definire in ogni istante t l'insieme $SR(t)$ dei processi che possono accedere ad R in quell'istante.
- In base alla cardinalità di $SR(t)$, diremo che R è:
 - Una Risorsa **dedicata**, se $Sr(t)$ contiene al più un processo
 - Una Risorsa **condivisa**, se esiste t : $Sr(t)$ contiene più processi

Allocazione delle risorse

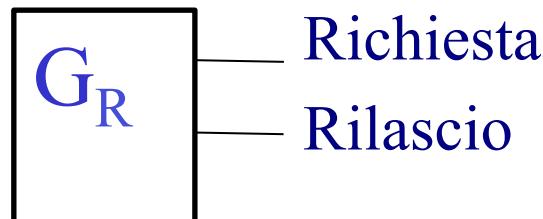
Risorsa allocata staticamente.

- Il gestore di R definisce l'insieme SR all'istante T_0 (istante iniziale dell'elaborazione) senza modificarlo durante l'elaborazione $\Rightarrow \forall t, SR(t)=SR(T_0)$
- Il gestore della risorsa è il *programmatore* che in base alle *scope rules* del linguaggio stabilisce quali processi possano vedere e quindi elaborare la risorsa.
- Il compito di controllare gli accessi è svolto dal *compilatore* che, secondo le regole di visibilità, assicura che *soltanto* i processi ai quali la risorsa è stata allocata possano accedervi.

Allocazione delle Risorse

Risorsa allocata dinamicamente

- L'insieme SR è variabile nel tempo:
 - a) Risorsa **dedicata**. $Sr(t)$ contiene al più un processo
 - b) Risorsa **condivisa**. $Sr(t)$ contiene più processi contemporaneamente
- Il gestore della risorsa R opera a *tempo di esecuzione*. Nel modello a memoria comune il gestore è una *risorsa G_R* (nel modello a scambio di messaggi è un *processo*):



- $Sr(t)$ è inizialmente vuoto. Per operare sulla risorsa il processo deve chiedere il permesso al gestore:
GR.Richiesta();
- Il gestore può accettare, ritardare o rifiutare la richiesta .

Allocazione delle Risorse

- Schema logico seguito da ogni processo che vuole accedere a una risorsa:
- 1) richiesta della risorsa,
 - 2) uso
 - 3) rilascio del diritto di accedere.

G_R .Richiesta();
<uso della Risorsa R>
 G_R .Rilascio();

	risorsa dedicata	risorsa condivisa
risorsa allocata staticamente	privata	comune ai processi cui la risorsa è allocata
risorsa allocata dinamicamente	comune	comune

Una risorsa allocata staticamente e dedicata ad un solo processo è una *risorsa privata*.

In tutti gli altri casi le risorse sono *comuni*, o perché condivise tra più processi o perché dedicate, ma *dinamicamente*, a processi diversi in tempi diversi.

Il problema del deadlock

Quando due o più processi competono per l'uso di risorse comuni, è possibile incorrere in situazioni di stallo (**deadlock**, o blocco critico)

Definizione

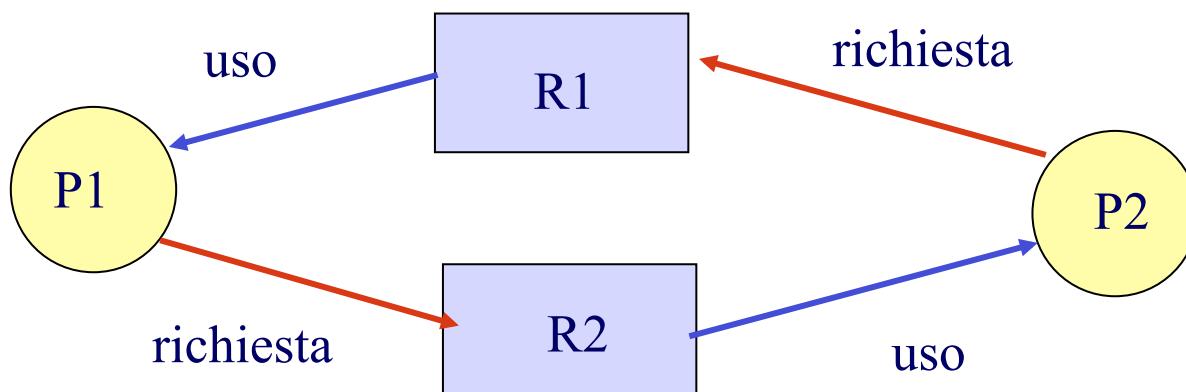
un insieme di processi è in **deadlock** se **ogni processo dell'insieme** è in attesa di un evento che può essere causato solo da un altro processo dell'insieme.

Esempio

Si considerino due processi P1 e P2 che condividono le stesse risorse R1 e R2, da accedere in **mutua esclusione**; se contemporaneamente:

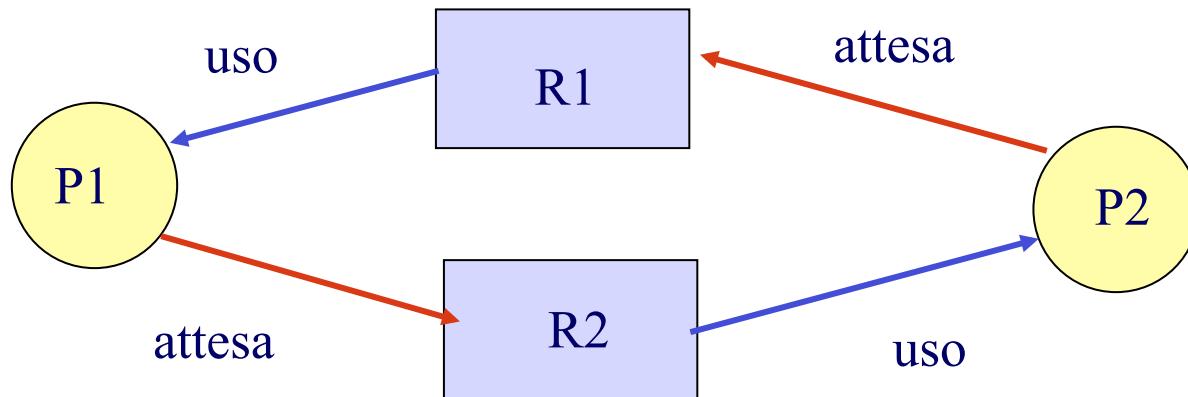
- P1 sta usando R1 e richiede R2
- P2 sta usando R2 e richiede R1

→ P1 e P2 sono bloccati indefinitamente: **blocco critico!**



Grafo di allocazione delle risorse

Deadlock



P1:

<richiesta R1>
<richiesta R2>●
<uso di R1 e R2>
<rilascio R2>
<rilascio R1>

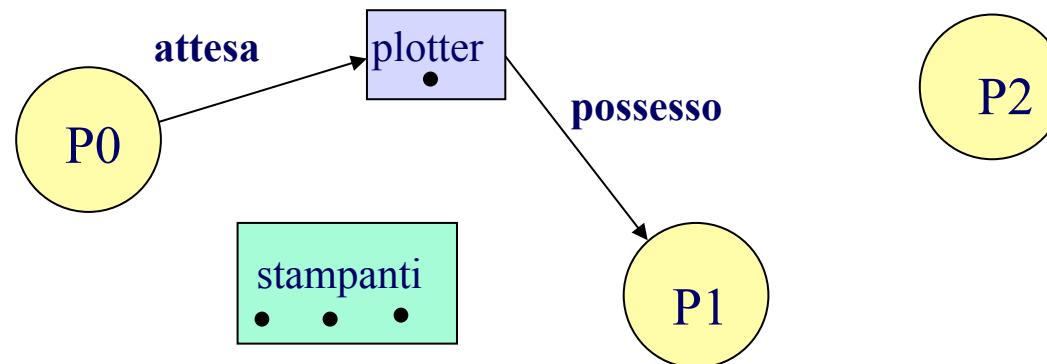
P2:

<richiesta R2>
<richiesta R1>●
<uso di R1 e R2>
<rilascio R1>
<rilascio R2>

Modello di riferimento

Per descrivere il deadlock, si utilizzano i grafi di allocazione delle risorse:

- processi
- risorse:
 - » classi (ad esempio: stampanti, dischi, etc.)
 - » istanze (stampante1, stampante2,...)
- archi:
 - » **risorsa -> processo** : allocazione (*possesso*)
 - » **processo -> risorsa** : *attesa* della risorsa

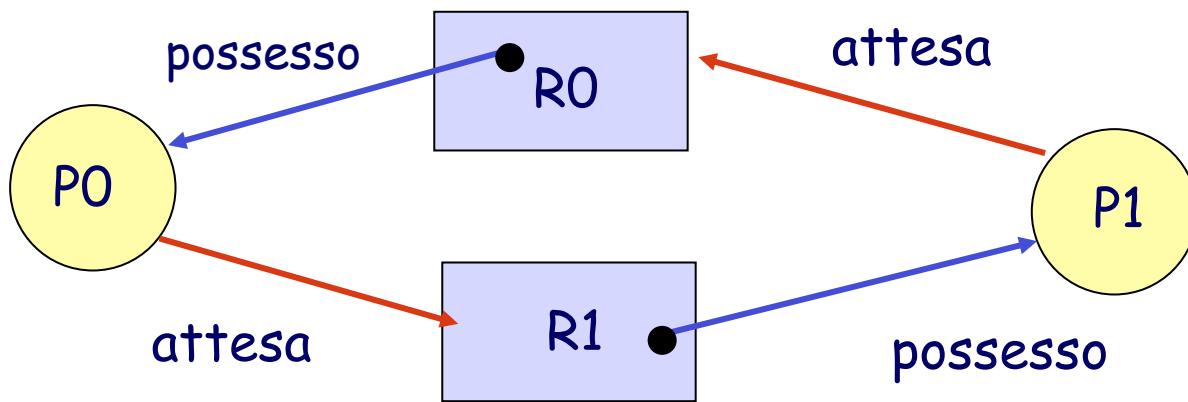


Condizioni necessarie per il blocco critico

Dato un insieme di processi, essi si trovano in uno stato di **deadlock** se e solo se sono verificate le seguenti 4 condizioni:

- 1 **mutua esclusione**: le risorse sono utilizzate in modo mutuamente esclusivo.
 - 2 **possesso e attesa**: ogni processo che possiede una risorsa può richiederne un'altra.
 - 3 **impossibilità di prelazione**: una volta assegnata ad un processo, una risorsa non può essere sottratta al processo (*no preemption*).
 - 4 **attesa circolare**: esiste un gruppo di processi $\{P_0, P_1..P_N\}$ in cui P_0 attende una risorsa posseduta da P_1 , P_1 attende una risorsa posseduta da P_2 ,.. e P_N attende una risorsa posseduta da P_0 .
- **Condizioni necessarie e sufficienti**: se almeno una delle 4 condizioni non è verificata, non c'è deadlock!

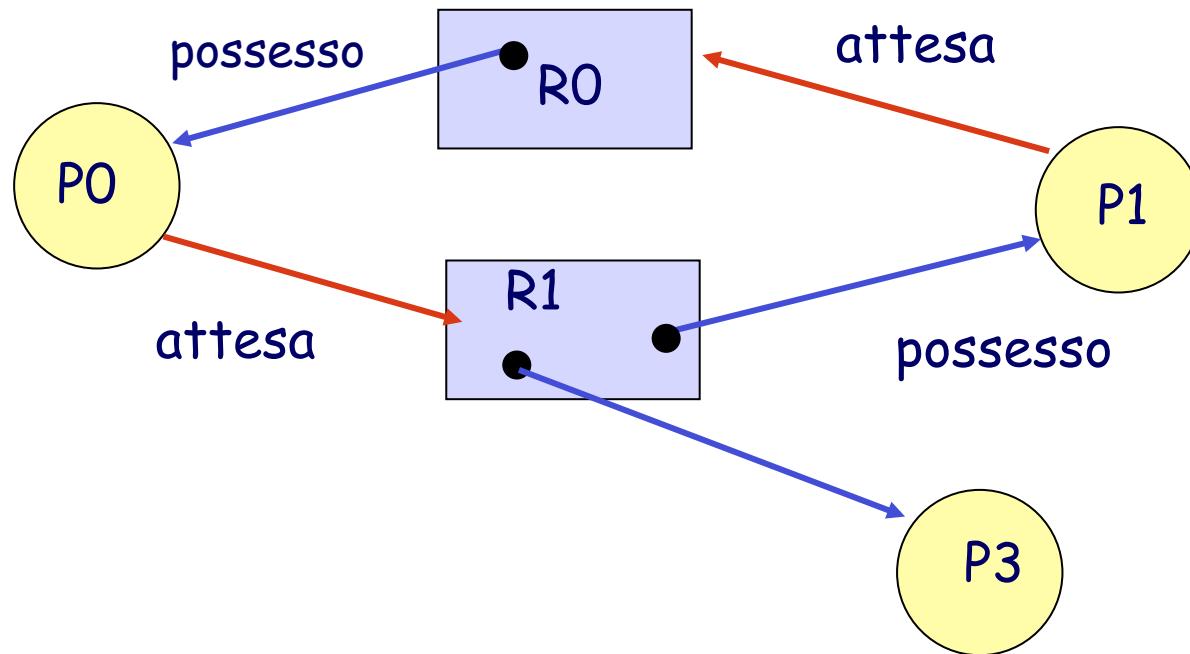
Esempio



HP: mutua esclusione, no preemption

Se ogni risorsa ha una sola istanza, la presenza di un ciclo nel diagramma di allocazione, indica **deadlock**.

Esempio



HP: mutua esclusione, no preemption, R1 ha 2 istanze.

-> in questo caso non c'è **deadlock**.

Trattamento del blocco critico

Le situazioni di blocco critico vanno evitate o risolte.

Approcci:

1. **prevenzione**: si evita *a-priori* il verificarsi di situazioni di blocco critico:
 - **prevenzione statica**: si impongono vincoli sulla struttura dei programmi, garantendo *a priori* che almeno una delle condizioni necessarie per il deadlock non sia verificata
 - **prevenzione dinamica (deadlock avoidance)**: la prevenzione è attuata in modo dinamico: quando un processo P richiede una risorsa R , il sistema operativo verifica se l'allocazione di R a P può portare a situazioni di blocco critico:
 - » possibilità di deadlock (sequenza non salva): attesa del processo.
 - » altrimenti (sequenza salva): allocazione della risorsa R a P.
2. **rilevazione/ripristino del deadlock**: non c'è prevenzione, ma il S.O. rileva la presenza di deadlock -> algoritmo di **ripristino**

Prevenzione statica

Si impone che almeno 1 delle 4 condizioni necessarie non sia verificata:

1. mutua esclusione: utilizzare risorse condivisibili (in certi casi non è possibile, dipende dalla natura della risorsa)
2. possesso e attesa:
 - si impedisce ad ogni processo di possedere una risorsa mentre ne richiede un'altra (uso di una risorsa alla volta)
 - richiesta di tutte le risorse necessarie nella stessa fase:
 - » complessità dell'operazione di acquisizione
 - » scarso utilizzo delle risorse
3. preemption: possibilità di sottrarre la risorsa al processo (in certi casi non è possibile)
4. attesa circolare: si stabilisce un rigido ordinamento nell'acquisizione delle risorse da parte di ogni processo:

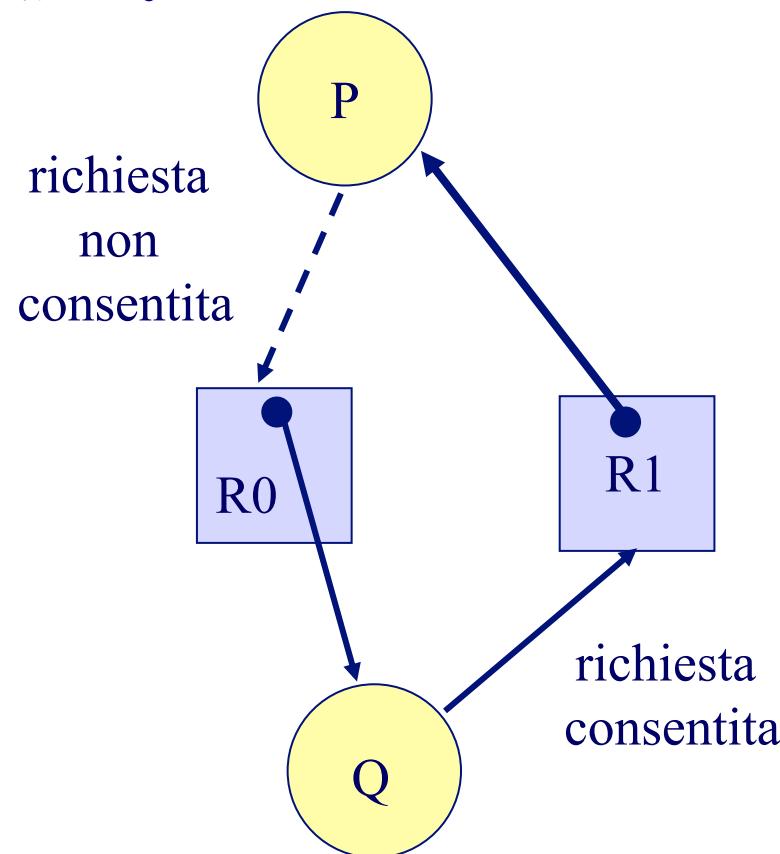
$$\text{Processi} = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$$

$$\text{Risorse} = \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$$

- ogni processo P_i non può acquisire R_j se è già in possesso di R_k ($k > j$)

Prevenzione statica

- **Allocazione gerarchica delle risorse:**
ogni processo non può acquisire R_j se è già in possesso di R_k ($k > j$).



Prevenzione dinamica

Il sistema operativo previene il *deadlock*, mediante specifici algoritmi; ad esempio, l'*Algoritmo del Banchiere* (Dijkstra 1965):

- Un sistema, nell'allocare le risorse che vengono richieste, deve procedere come una **Banca**:
 - processi = clienti che possono richiedere credito (entro un limite dato)
 - risorse allocabili = soldi.
- La banca non può permettere contemporaneamente a tutti i clienti di ottenere il credito massimo: il sistema non potrebbe disporre di risorse a sufficienza => Deadlock

Prevenzione dinamica

A tempo di esecuzione:

quando un processo P richiede una risorsa R , il sistema operativo verifica se l'allocazione di R a P può portare a situazioni di blocco critico.

Analisi delle possibili sequenze di esecuzione:

una sequenza di processi $\{P_0, P_1, \dots, P_n\}$ è **salva** se per ogni processo P_i le richieste di risorse che P_i può ancora effettuare possono essere soddisfatte con le risorse attualmente libere, più le risorse allocate a tutti i processi P_j ($j < i$).

Prevenzione dinamica: esempio

Consideriamo 3 processi $\{P_0, P_1, P_2\}$ che competono per l'uso di 12 risorse (ad esempio, risorse dello stesso tipo):

	necessità max	uso attuale	possibili richieste
P0	10	5	5
P1	4	2	2
P2	9	2	7

-> rimangono 3 risorse disponibili

Lo stato attuale è uno stato salvo, perché esiste una sequenza salva: $\{P_1, P_0, P_2\}$

- ✓ P1 può terminare con le 3 risorse attualmente disponibili
- ✓ P0 può terminare con le attuali più quelle possedute da P1
- ✓ P2 può terminare con le attuali + quelle di P1 + quelle di P0

Prevenzione dinamica: esempio

	necessità max	uso attuale	possibili richieste
P0	10	5	5
P1	4	2	2
P2	9	2	7

-> rimangono 3 risorse disponibili

Sequenza salva:{P1, P0, P2}:

- P1 può terminare con le 3 risorse attualmente disponibili:
P1 acquisisce 2 risorse: usate=11 disp=1
P1 rilascia le risorse: usate=7 disp=5
- P0 può terminare con le 5 risorse ora disponibili:
acquisisce 5 risorse: usate=12 disp=0
rilascia le risorse: usate=2 disp=10
- P2 può terminare con le 10 risorse ora disponibili.

Prevenzione dinamica

Il sistema operativo previene il *deadlock*, mediante specifici algoritmi (ad esempio, l'*Algoritmo del Banchiere*).

Rilevazione/ripristino

se il sistema operativo non ha meccanismi di prevenzione, il *deadlock* può essere gestito *a posteriori* mediante **rilevazione e ripristino**.

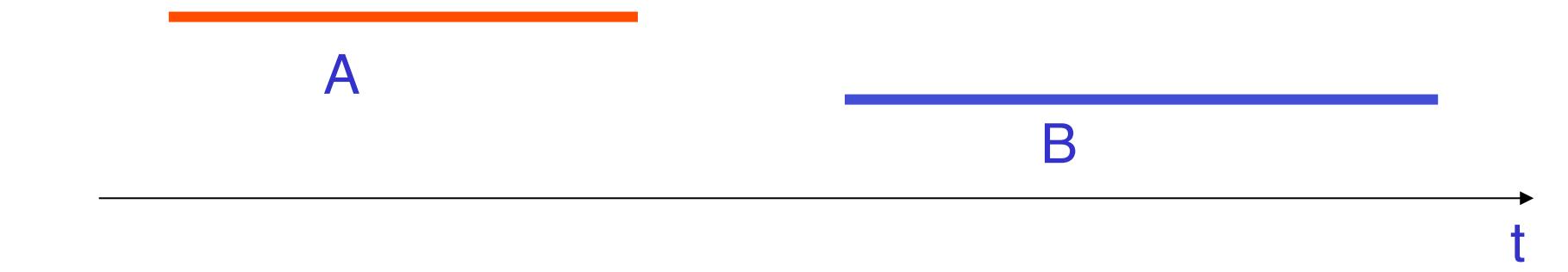
- **Rilevazione**: algoritmi che individuano situazioni di deadlock già in atto.
- **Ripristino**: soluzione del blocco a posteriori; possibili approcci:
 - » **terminazione** forzata di processi coinvolti (*rollback*)
 - » **prelazione** di risorse allocate a processi in deadlock

Problema: soluzione costosa

Il Problema della Mutua Esclusione

Mutua Esclusione

- Il problema della mutua esclusione nasce quando più di un processo alla volta può aver accesso a variabili/risorse comuni.
- La regola di mutua esclusione impone che le operazioni con le quali i processi accedono alle variabili comuni *non si sovrappongano nel tempo*.
- Nessun vincolo è imposto sull'ordine con il quale le operazioni sulle variabili vengono eseguite.



Esempio di mutua esclusione

Esempio

- Due processi P1 e P2 hanno accesso ad una struttura *organizzata a pila* rispettivamente per inserire e prelevare dati.
- La struttura dati è rappresentata da un *vettore stack* i cui elementi costituiscono i singoli dati e da una *variabile top* che indica la posizione dell'ultimo elemento contenuto nella pila.
- I processi utilizzano le operazioni *Inserimento* e *Prelievo* per depositare e prelevare i dati dalla pila.

```
typedef ... item;
item stack[N];
int top=-1;

void Inserimento(item y)
{
    top++;      stack[top]
=y;
}

item Prelievo()
{
    item x;
    x= stack[top];
    top--;
    return x;
}
```

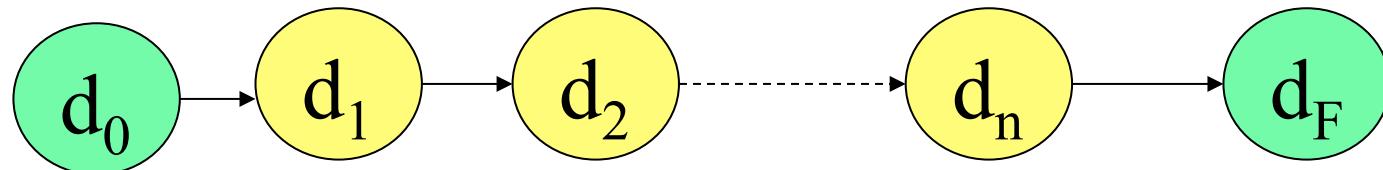
- L'esecuzione contemporanea di queste operazioni da parte dei processi può portare ad un uso scorretto della risorsa.
- Consideriamo questa sequenza di esecuzione:

T0:	<code>top++;</code>	(P1)
T1:	<code>x=stack[top];</code>	(P2)
T2:	<code>top--;</code>	(P2)
T3:	<code>stack[top]=y;</code>	(P1)

- Viene assegnato a x un valore *non definito* e l'ultimo valore valido contenuto nella pila viene cancellato dal nuovo valore di y.
- Potremmo individuare situazioni analoghe, nel caso di esecuzione contemporanea di una qualunque delle due operazioni da parte dei due processi.
- Il problema sarebbe risolto se le due operazioni di Inserimento e Prelievo fossero eseguite sempre in **mutua esclusione** (istruzioni indivisibili).

Istruzioni Indivisibili

- Data un'istruzione $I(d)$, che opera su un dato d , essa e` **indivisibile** (o **atomica**) , se, durante la sua esecuzione da parte di un processo P, il dato d non e` accessibile ad altri processi.
- $I(d)$, a partire da un valore iniziale d_0 , puo` operare una serie di trasformazioni sul valore di d , fino a giungere allo stato finale d_F ;
→ poiche` $I(d)$ e` indivisibile, gli stati intermedi non possono essere rilevati da altri processi concorrenti.



Sezione Critica

- La sequenza di istruzioni con le quali un processo accede e modifica un insieme di variabili comuni prende il nome di **sezione critica**.
- Ad un insieme di variabili comuni possono essere associate *una sola sezione critica* (usata da tutti i processi) o *più sezioni critiche* (**classe di sezioni critiche**).
- La *regola di mutua esclusione* stabilisce che:
Sezioni critiche appartenenti alla stessa classe devono escludersi mutuamente nel tempo.
oppure
Una sola sezione critica di una classe può essere in esecuzione ad ogni istante.

Requisiti della soluzione al problema della mutua esclusione

Una corretta soluzione al problema della mutua esclusione deve soddisfare i seguenti requisiti:

1. Sezioni critiche della stessa classe devono essere eseguite in modo ***mutuamente esclusivo***.
2. Quando un processo si trova all'esterno di una sezione critica ***non può rendere impossibile*** l'accesso alla stessa sezione (o a sezioni della stessa classe) ad altri processi.
3. **Assenza di deadlock.**

Schema Generale

- Ogni processo prima di entrare in una sezione critica deve chiedere l'autorizzazione eseguendo una serie di istruzioni che gli garantiscono *l'uso esclusivo della risorsa*, se questa è libera, oppure *ne impediscono l'accesso* se questa è già occupata (**PROLOGO**) .
- Al completamento dell'azione il processo deve eseguire una sequenza di istruzioni per dichiarare libera la sezione critica (**EPILOGO**)

IPOTESI: l'hardware garantisce la mutua esclusione *solo a livello di lettura e scrittura di una singola parola di memoria.*

MUTUA ESCLUSIONE: Analisi di alcune soluzioni algoritmiche

**Soluzione 1: Disabilitazione delle interruzioni
durante le sezioni critiche:**

- **Prologo:** disabilitazione delle interruzioni
- **Epilogo:** abilitazione delle interruzioni

```
/* struttura processo: */  
main()  
{    ...  
    <disabilitazione delle interruzioni>;  
    <sezione critica A>;  
    <abilitazione delle interruzioni>;  
    ...  
}
```

Problemi:

- La soluzione è *parziale* in quanto è valida solo per sezioni critiche che operano sullo stesso processore.
- *Elimina* ogni possibilità di concorrenza.
- Rende *insensibile* il sistema ad *ogni stimolo esterno* per tutta la durata di qualunque sezione critica

Soluzione 2: (*A*, *B*) classe di sezioni critiche,
libero variabile logica, inizializzata al valore
true, associata a tale classe:

```
int libero=1;
```

```
/* processo P1: */  
main()  
{    ...  
    while (!libero);  
  
    libero=0;  
    <sez. critica A>;  
    libero=1;  
  
    ...  
}  
}
```

```
/* processo P2: */  
main()  
{    ...  
    while (!libero);  
  
    libero=0;  
    <sez. critica B>;  
    libero=1;  
  
    ...  
}
```

- La soluzione non soddisfa la proprietà di mutua esclusione nell'esecuzione delle sezioni critiche.

Esempio:

T0 : P1 esegue l'istruzione **while** e trova *libero* = 1

T1 : P2 esegue l'istruzione **while** e trova *libero* = 1

T3 : P1 pone *libero*=0 ed entra nella sezione critica

T4 : P2 pone *libero*=0 ed entra nella sezione critica

→ entrambi i processi si trovano contemporaneamente nella sezione critica!

Soluzione 3: alla classe di sezioni critiche (A,B..) viene associata la variabile *turno* che può assumere i valori 1 e 2 ed inizializzata a 1.

```
int turno=1;

/* processo P1: */
main()
{
    ...
    while (turno!=1);
    <sezione critica A>;
    turno=2;
    ...
}

/* processo P2: */
main()
{
    ...
    while (turno!=2);
    <sezione critica B>;
    turno=1;
    ...
}
```

- La soluzione assicura che un solo processo alla volta può trovarsi nella sezione critica.
- Essa tuttavia impone un **vincolo di alternanza** nella esecuzione delle sezioni critiche (violazione del requisito 2).
- Ad esempio:
 - se *turno* = 2, il processo P1 non può entrare nella sua sezione critica, anche se questa non è occupata da P2.
 - Solo quando P2 avrà eseguito la sezione critica B, P1 potrà eseguire la propria.

Soluzione 4: Alla classe di sezioni critiche (A,B,...) vengono associate due variabili logiche busy1 e busy2 inizializzate al valore *false* (0):

```
int busy1=0;  
int busy2=0;
```

```
/* processo P1: */  
  
main()  
{  
    ...  
    busy1=1;  
    while (busy2!=0);  
    <sezione critica A>;  
    busy1=0;  
    ...  
}
```

```
/* processo P2: */  
  
main()  
{  
    ...  
    busy2=1;  
    while (busy1!=0);  
    <sezione critica B>;  
    busy2=0;  
    ...  
}
```

- La soluzione assicura che un solo processo alla volta può trovarsi in una delle sezioni critiche.
- E' eliminato l'inconveniente della soluzione 2) in quanto la variabile *busy* associata ad un processo mantiene il valore *false* per tutto il tempo in cui il processo rimane all'esterno della sua sezione critica.
- Possono presentarsi situazioni in cui, a seconda della velocità relativa dei processi, questi non possono entrare nella loro sezione critica, pur essendo tali sezioni libere :

To : P1 pone *busy1* = 1;

T1 : P2 pone *busy2* = 1;

- P1 e P2 ripetono indefinitamente l'esecuzione di **while** senza poter entrare nelle rispettive sezioni critiche.

=> **Deadlock !**

Soluzione 5: Algoritmo di Dekker (1965)

E` stata la prima soluzione corretta al problema della mutua esclusione

⇒ Soddisfa i requisiti 1, 2 e 3.

```
int busy1 =0;  
int busy2 =0;  
int turno=1; /*dominio {1,2}*/
```

- Il valore iniziale di *turno* è indifferente.

```
int busy1 =0;
int busy2 =0;
int turno=1; /*dominio {1,2}*/
```

<pre>/* processo P1: */ main() { ... busy1=1; while (busy2) if (turno==2) { busy1=0; while(turno!=1); busy1=1; } <sezione critica A>; turno=2; busy1=0; ... }</pre>	<pre>/* processo P2: */ main() { ... busy2=1; while (busy1) if (turno==1) { busy2=0; while(turno!=2); busy2=1; } <sezione critica B>; turno=1; busy2=0; ... }</pre>
---	---

Commenti

- L'algoritmo di Dekker e` stato inizialmente proposto per risolvere la mutua esclusione tra 2 processi [1965].

Starvation:

È un fenomeno che si verifica quando un processo attende un tempo infinito per l'acquisizione di una risorsa.

- Un algoritmo di mutua esclusione e` starvation-free, se ad ogni processo che intende accedere ad una sezione critica e` garantito l'accesso in un tempo finito.
- In questa versione (2 processi) e` stato dimostrato che nell'algoritmo di Dekker non e` possibile che si verifichi Starvation.

Generalizzazione al caso di n processi

- Successivamente, l'algoritmo di Dekker è stato generalizzato al caso di N processi; varie proposte; ad esempio:
 - Dijkstra [1965]
 - Martin [1986]
 - ...
- È possibile dimostrare che queste "generalizzazioni" non sono starvation-free.

Soluzione 6: Algoritmo di Peterson (1981)

- Le variabili utilizzate per la sincronizzazione sono:

```
int busy1 =0;  
int busy2 =0;  
int turno=1; /*dominio {1,2}*/
```

```
int busy1=0;  
int busy2=0;  
int turno=1; /*dominio {1,2}*/
```

```
/* processo P1: */  
main()  
{ ...  
  busy1=1;  
  turno=2;  
  while(busy2 && turno==2);  
  <sezione critica A>;  
  busy1=0;  
  ...  
}
```

```
/* processo P2: */  
main()  
{ ...  
  busy2=1;  
  turno=1;  
  while(busy1 && turno==1);  
  <sezione critica B>;  
  busy2=0;  
  ...  
}
```

Attesa attiva

- Tutte le soluzioni viste realizzano l'attesa dei processi con cicli:
 - l'attesa consiste nella ripetizione del corpo del ciclo fino a che la condizione di ripetizione fallisce.
- Durante l'attesa ogni processo usa inutilmente la CPU: **attesa attiva (busy waiting)**

Requisiti della soluzione al problema della mutua esclusione

1. Sezioni critiche della stessa classe devono essere eseguite in modo *mutuamente esclusivo*.
2. Quando un processo si trova all'esterno di una sezione critica *non può rendere impossibile* l'accesso alla stessa sezione (o a sezioni della stessa classe) ad altri processi.
3. Assenza di *deadlock*

In aggiunta (requisiti opzionali):

4. Assenza di *starvation*
5. Inoltre, per un utilizzo efficiente della CPU, devono essere eliminate forme di *attesa attiva* (*busy waiting*) sospendendo l'esecuzione di un processo per tutto il tempo in cui non può avere accesso alla sezione critica.

Soluzioni hardware

- Nelle soluzioni precedenti si è supposto che l'hardware garantisca la mutua esclusione *solo a livello di lettura e scrittura di una singola parola di memoria.*
- L'indivisibilità è garantita soltanto:
 - nella lettura di una singola variabile
 - nella scrittura (assegnamento) di singola variabile
- Molti processori prevedono istruzioni che consentono di *esaminare e modificare* il contenuto di una parola in un unico ciclo (es: `test_and_set`).
- In questo caso è possibile dare una *semplice soluzione* al problema della mutua esclusione.

Istruzione test and set

è un'istruzione macchina che consente la lettura e la modifica di una parola in memoria in modo *indivisibile*, cioè in un *solo ciclo di memoria*.

```
int test-and-set(int *a)
{ int R;
  R=*a;
  *a=0;
  return R;
}
```

Tramite questa istruzione è possibile realizzare a livello hardware il meccanismo lock/unlock per la mutua esclusione.

Lock e Unlock

Sia **x** una variabile logica associata ad una classe di sezioni critiche inizializzata al valore 1 (*libera*):

x=0 risorsa occupata,

x=1 risorsa libera.

Definiamo su **x** le seguenti operazioni:

```
void lock(int *x)
{
    while (!*x);
    *x=0;
}

void unlock(int *x)
{
    *x=1;
}
```

Lock e Unlock

- Soluzione al problema della mutua esclusione:

```
int x=1;

/* processo P1: */
main()
{
    ...
    lock(&x);
    <sezione critica A>;
    unlock(&x);
    ...
}

/* processo P2: */
main()
{
    ...
    lock(&x);
    <sezione critica B>;
    unlock(&x);
    ...
}
```

Si noti che a differenza della **lock**, l'operazione **unlock** è **indivisibile**.

Ipotesi: lock(x) e unlock(x) operazioni indivisibili.

→ L'esecuzione contemporanea di due lock(x) (ciascuna su un diverso elaboratore) viene automaticamente sequenzializzata dall'hardware.

- I requisiti 1,2,3 sono soddisfatti.
- Il soddisfacimento del requisito 4, non è implicito nella soluzione. Per superare l'inconveniente della starvation occorre un'opportuna realizzazione del meccanismo di arbitraggio per l'accesso in memoria.
- Il requisito 5 non è soddisfatto, essendo presente nella lock una forma di attesa attiva

Indivisibilità dell'operazione lock

Istruzione test and set (x):

```
int test-and-set(int *a)
{
    int R;
    R=*a;
    *a=0;
    return R;
}
```

→ Realizzazione dell'operazione lock(x):

```
void lock(int *x)
{
    while (!test-and-set(x));
}
```

Implementazione di lock e unlock

Se il set di istruzioni dell'architettura prevede la test-and-set (tsl):

```
lock(x) :
```

```
    tsl register, x  
    cmp register, 1  
    jne lock  
    ret
```

(copia x nel registro e pone x=0)
(il contenuto del registro vale 1?)
(se x=0 ricomincia il ciclo)
(ritorna al chiamante)

```
unlock(x) :
```

```
    move x,1  
    ret
```

(inserisce 1 in x)
(ritorna al chiamante)

Proprietà della soluzione basata su lock e unlock

- Si può applicare in ambiente *multiprocessore*.
- Attesa attiva:
 - accettabile nel caso di sezioni critiche *molto brevi*

I SEMAFORI

Semaforo

Un semaforo è uno strumento di sincronizzazione che consente di risolvere qualunque problema di sincronizzazione tra thread nel modello ad ambiente globale.

Generalmente è realizzato dal nucleo del sistema operativo.

Semaforo: definizione

Un semaforo è un dato astratto rappresentato da un *intero non negativo*, a cui è possibile accedere solo tramite le due operazioni **p** e **v**, definite nel seguente modo:

p(s) :

```
while (!s);  
s--;
```

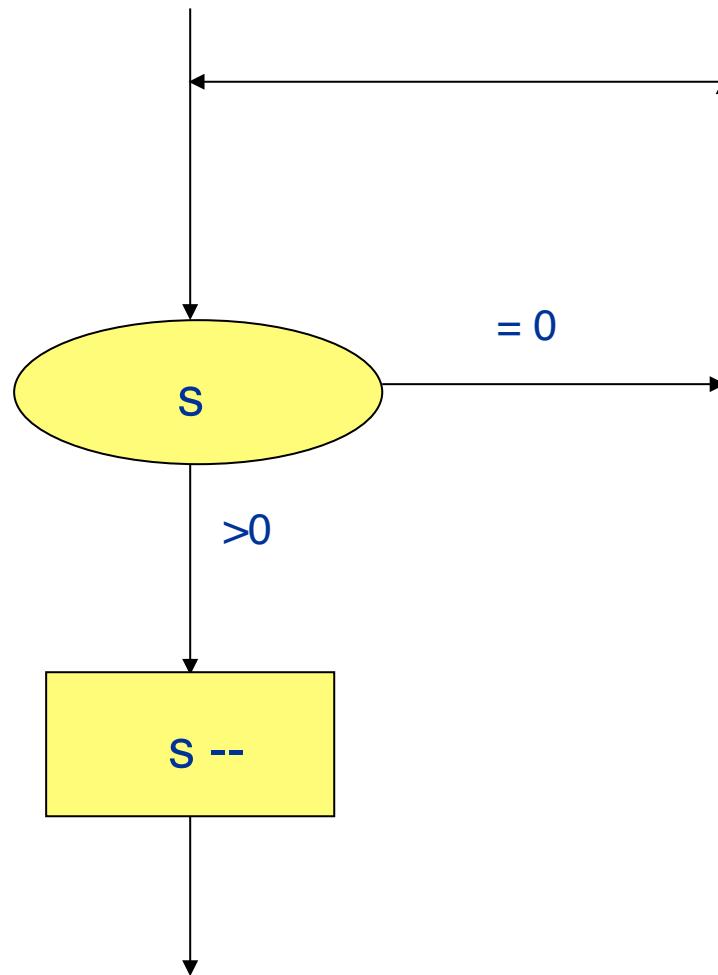
v(s) :

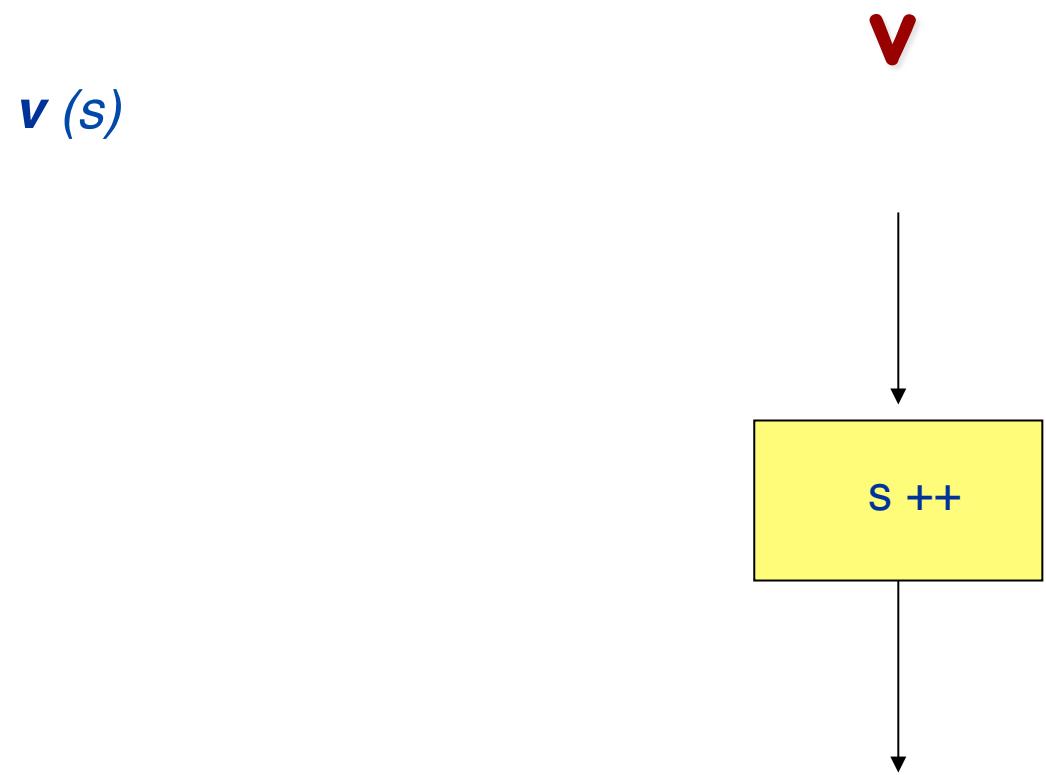
```
s++;
```

- L'operazione **p** ritarda il processo fino a che il valore del semaforo diventa maggiore di 0 e quindi decrementa tale valore di 1.
- L'operazione **v** incrementa di 1 il valore del semaforo.
- Le due operazioni sono **atomiche**. Il valore del semaforo viene modificato da un *solo processo* alla volta.

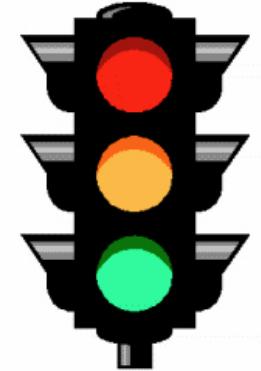
p

p(s)





Semaforo



Dato un semaforo S :

- ❑ Se il valore di S è 0: l'esecuzione di p provocherà l'attesa del processo che la invoca (semaforo ROSSO)
- ❑ Se il valore di S è maggiore di 0: la chiamata di p provocherà il decremento di S e la continuazione dell'esecuzione (semaforo VERDE).

Esempio: Soluzione al problema della mutua esclusione con i semafori

```
semaphore mutex;  
mutex.value=1;
```

P1

```
    .  
    p(&mutex);  
<Sezione critica>;  
    v(&mutex);  
    .  
    .
```

P2

```
    .  
    p(&mutex);  
<Sezione critica>;  
    v(&mutex);  
    .  
    .
```

- *mutex* semaforo (binario) di mutua esclusione (0,1), con valore iniziale uguale a 1.

SPD: Qualunque sia la sequenza di esecuzione dei processi, la soluzione è sempre corretta.

Realizzazione dei semafori

Il meccanismo di implementazione del costrutto semaforo deve consentire:

- ❑ **eliminazione** di ogni forma di *attesa attiva* dei processi (v. definizione della *p*): sospensione del processo che non può proseguire l'esecuzione in una *coda* associata al semaforo.

- ❑ **eliminazione** di forme di *starvation*: scelta **FIFO** del processo da risvegliare.

Realizzazione dei semafori

Al semaforo sono associati:

- ❑ il valore intero `value` non negativo con valore iniziale ≥ 0
- ❑ una coda `Qs` nella quale sono posti i descrittori dei processi che attendono l'autorizzazione a procedere.

```
typedef struct{  
    unsigned int value;  
    queue Qs;} semaphore;
```

Realizzazione di p e v

Le primitive p e v possono essere realizzate come segue:

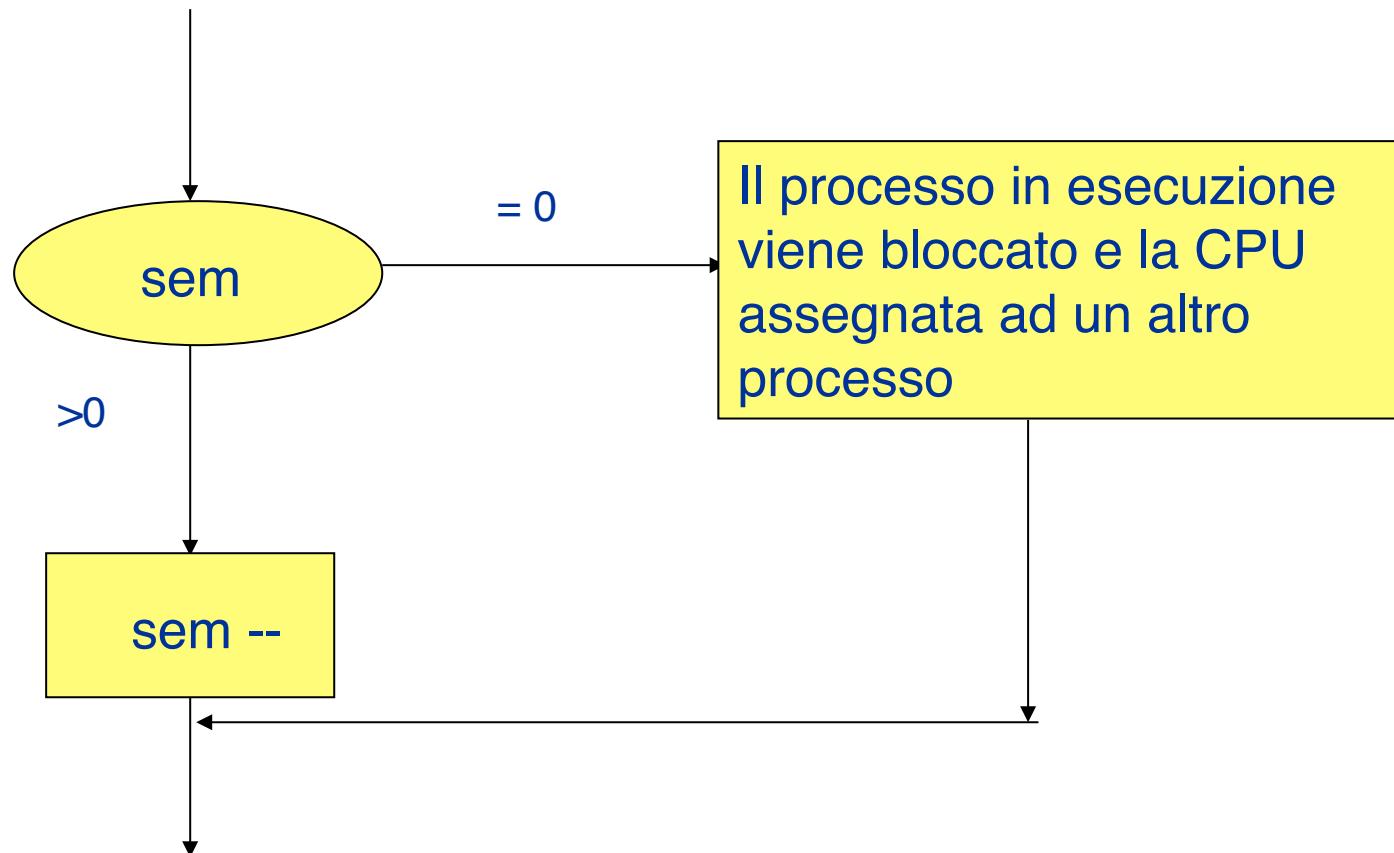
```
void p(semaphore *s) {
    if (s->value==0)
        <il processo viene sospeso ed il suo
        descrittore inserito in s->Qs>
    else s->value--;
}

void v(semaphore *s) {
    if (<s->Qs non e` vuota>)
        <il descrittore del primo processo viene
        rimosso dalla coda ed il suo stato
        modificato in pronto>
    else s->value++;
}
```

- *p e v*: sezioni critiche → devono essere azioni indivisibili (azioni atomiche):
→ uso di lock/unlock per imporre la mutua esclusione nell'esecuzione di p e v.
- Durante un'operazione sul semaforo nessun altro processo può accedere al semaforo fino a che l'operazione è completata o bloccata.

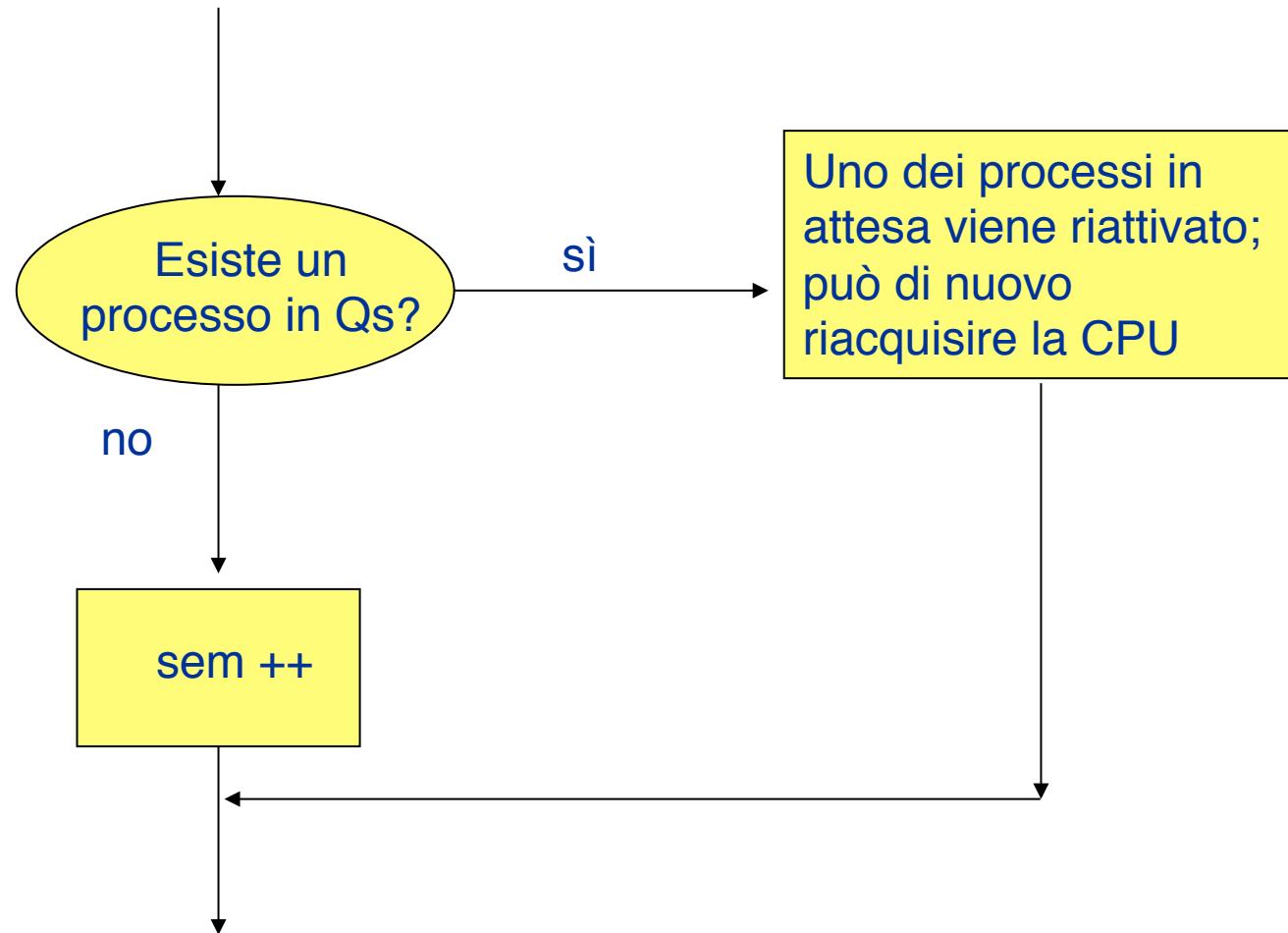
p

$p(sem)$



V

v (sem)



Realizzazione semaforo: atomicità

```
typedef struct{ int value;
                queue Qs;
                int lock; // inizializzato a 1
} semaphore;

void p(semaphore *s) {
    lock(s->lock);
    if (s->value==0)
        {   unlock(s->lock); //uscita sez. critica
           <sospensione processo in s->Qs>
           lock(s->lock); //entrata sez. critica
        }
    else s->value--;
    unlock(s->lock);
}
```

Realizzazione semaforo: atomicità

```
void v(semaphore *s) {
    lock(s->lock);
    if (<s->Qs non e` vuota>
        <il descrittore del primo processo viene rimosso
        dalla coda ed il suo stato modificato in pronto>
    else s->value++;
    unlock(s->lock);
}
```

Soluzione al problema della mutua esclusione con i semafori

```
semaphore mutex;  
mutex.value=1;
```

P1

```
    .  
    p(&mutex);  
<Sezione critica>;  
    v(&mutex);  
    .  
    .
```

P2

```
    .  
    p(&mutex);  
<Sezione critica>;  
    v(&mutex);  
    .  
    .
```

- **SPD**: Qualunque sia la sequenza di esecuzione dei processi, la soluzione è sempre corretta.
- Mutex viene chiamato “semaforo di mutua esclusione”; inizializzato a 1, potrà assumere soltanto i valori 0 e 1.

Cooperazione tra processi concorrenti

- Scambio di **messaggi** generati da un processo e consumati da un altro
- Scambio di **segnali temporali** che indicano il verificarsi di dati eventi

La cooperazione tra processi prevede che l'esecuzione di alcuni di essi risulti condizionata dall'informazione prodotta da altri (vincoli sull'ordinamento nel tempo delle operazioni dei processi).

ESEMPIO:

- n processi P_1, P_2, \dots, P_n attivati ad intervalli prefissati di tempo da P_0 .
- l'esecuzione di P_i non può iniziare prima che sia giunto il segnale da P_0
- ad ogni segnale inviato da P_0 deve corrispondere una attivazione di P_i

n_1 = numero di richieste di attivazione di P_i

n_2 = numero di segnali di attivazione inviati da P_0

n_3 = numero di volte in cui P_i è stato attivato

Deve essere ad ogni istante:

$$\text{se } n_2 \geq n_1 \quad n_3 = n_1$$

$$\text{se } n_2 < n_1 \quad n_3 = n_2$$

```
semaphore si;
si.value=0 /* valore iniziale si = 0*/
```

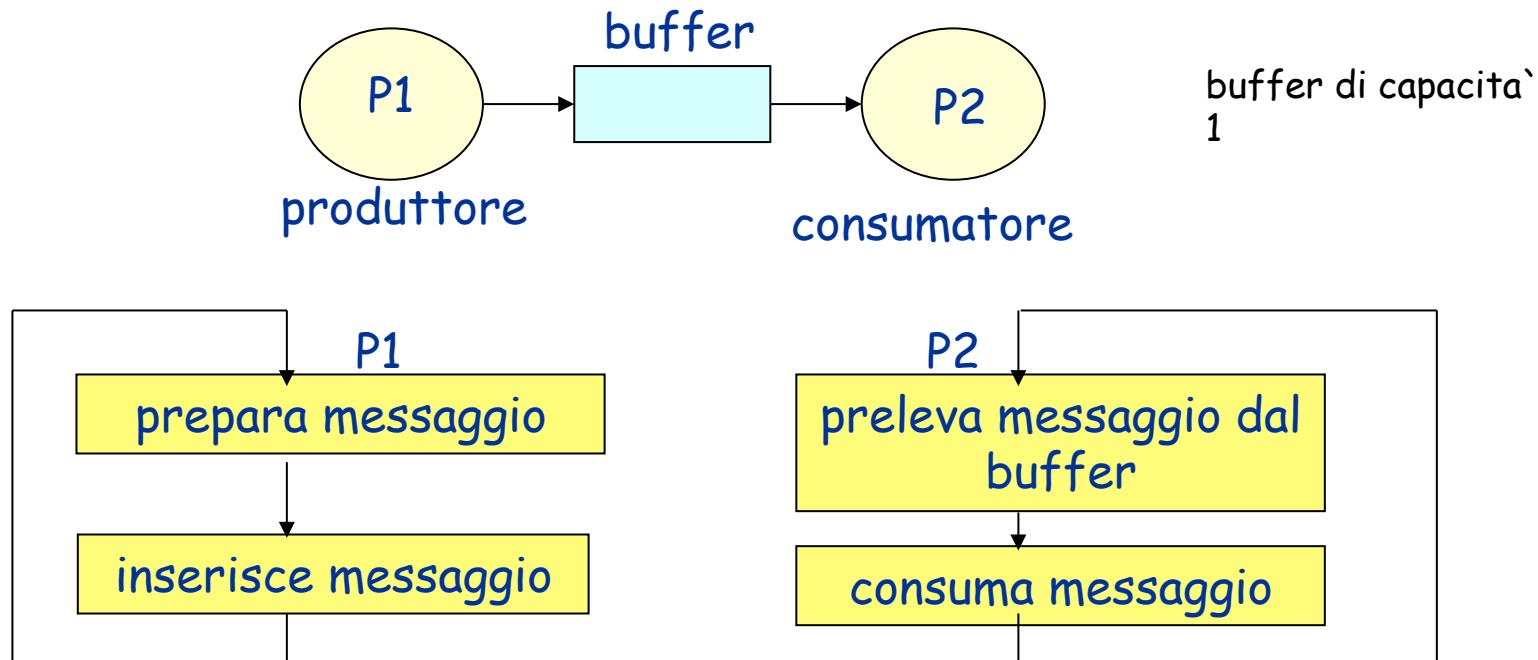
processo P_i :

```
main()
{
    ...
    while(....)
    {
        ...
        p(&si); ←
        ...
    }
    ...
}
```

processo P₀ :

```
main()
{
    ...
    while(....)
    {
        ...
        v(&si);
        ...
    }
    ...
}
```

Comunicazione

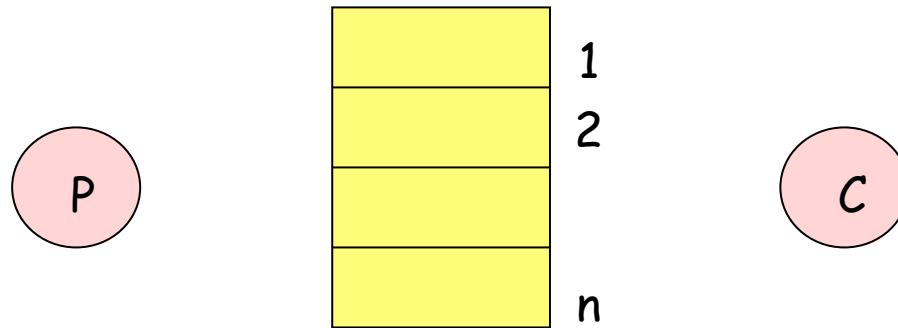


Sequenza corretta: inserimento-prelievo-inserimento-prelievo....

Sequenze errate:

- Inserimento-inserimento-prelievo....
- Prelievo-prelievo-inserimento

Esempio: Produttore Consumatore (buffer di capacita` n)



1. Il produttore non può inserire un messaggio nel buffer se questo è pieno.
2. Il consumatore non può prelevare un messaggio dal buffer se questo è vuoto

```

semaphore msg_disponibile;
msg_disponibile.value=0;

/* Processo produttore:*/
main()
{
    for (;;) {
        <produzione messaggio>;
        <deposito messaggio>;
        v(&msg_disponibile); }
}

/* Processo consumatore:*/
main()
{
    for (;;) {
        p(&msg_disponibile);
        <prelievo messaggio>;
        <consumo messaggio>; }
}

```

- questa soluzione soddisfa soltanto la condizione 2: il produttore potrebbe depositare un messaggio nel buffer pieno!

- Per sincronizzare correttamente gli accessi al buffer di produttore e consumatore, introduciamo *due semafori*:

- spazio_disp (valore iniziale=n, elementi liberi nel buffer)
- msg_disp (valore iniziale=0, num messaggi nel buffer)

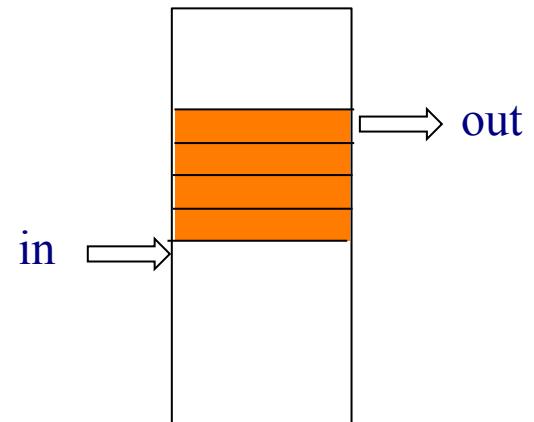
```
semaphore spazio_disp, msg_disp;
spazio_disp.value=n;
msg_disp.value=0;
```

<pre>/* Processo produttore:*/ main() { for (;;){ <produzione messaggio>; p(&spazio_disp); <deposito messaggio>; v(&msg_disp); } }</pre>	<pre>/* Processo consumatore:*/ main() { for (;;){ p(&msg_disp); <prelievo messaggio>; v(&spazio_disp); <consumo messaggio>; }</pre>
--	--

I due semafori si dicono “**semafori risorsa**”, poichè il valore di ognuno di essi rappresenta la disponibilità corrente delle risorse ad esso associate (elementi liberi, messaggi disponibili).

Dettagli sulla gestione del Buffer

```
semaphore spazio_disp, msg_disp;  
spazio_disp.value=n;  
msg Disp.value=0;  
msg buffer[n];  
int out=0, in=0;
```



```
/* Processo produttore */  
  
main()  
  
{ msg M;  
  for (;;) {  
    <produzione messaggio M>;  
    p(&spazio_disp);  
    buffer[in]=M;  
    in=(in + 1)%n;  
    v(&msg_disp); } }
```

```
/* Processo consumatore */  
  
main()  
  
{ msg M  
  for (;;) {  
    p(&msg_disp);  
    M=buffer[out];  
    out=(out + 1)%n;  
    v(&spazio_disp);  
    <consumo messaggio M>; } }
```

Nel caso di più produttori e più consumatori:
aggiungiamo i due semafori mutex1 e mutex2

...

```
semaphore mutex1, mutex2;  
mutex1.value=1;  
mutex2.value=1;
```

Processo produttore:

```
main()  
{ for(; ;)  
{ <produz. messaggio>;  
  p (&spazio_disp);  
  p (&mutex1);  
  <inserimento mess.>;  
  v (&mutex1);  
  v (&msg_disp);  
 }  
}
```

Processo consumatore:

```
main()  
{ for(; ;)  
{ p (&msg_disp);  
  p (&mutex2);  
  <prelievo mess.>;  
  v (&mutex2);  
  v (&spazio_disp);  
  <consumo messaggio>;  
 }  
}
```

Esempi di uso dei semafori: gestione di risorse

- R_1, R_2, \dots, R_n n unità di uno stesso tipo di risorsa (tutte equivalenti fra loro).
- P_1, P_2, \dots, P_m m processi che devono operare su una qualunque risorsa in modo esclusivo tramite le operazioni A, B, \dots

I Soluzione

- Si assegna un semaforo di mutua esclusione M_i (v. i.=1) ad ogni risorsa R_i

processo P_s :

..

$p(M_i)$:

$R_i.A$;

$v(M_i)$:

..

$R_i.A$ rappresenta l' esecuzione
dell'operazione A su R_i

Inconvenienti della soluzione:

- Come decide il generico processo su quali risorse operare (come viene scelto i)?
- Può capitare che, una volta scelta R_i , se su di essa sta operando in quel momento un secondo processo P_k , il processo P_s si blocchi su $p(M_i)$, pur essendo disponibili altre risorse R_h ($h \neq j$).

II Soluzione: viene introdotta una nuova risorsa G, gestore di R1, R2, ... Rn. Essa può essere concepita come una struttura dati destinata a mantenere lo stato delle risorse gestite. Sul gestore si opera tramite due procedure:

Richiesta e Rilascio.

```
unsigned int Richiesta();  
void Rilascio(unsigned int x);
```

(dove il parametro x rappresenta l'indice della risorsa assegnata o rilasciata)

Strutture dati del gestore:

- le procedure Richiesta e Rilascio dovranno essere eseguite in **mutua esclusione**
 - ➔ semaforo **mutex** di **mutua esclusione** con v.i. = 1
 - Un processo che esegue **Richiesta** verifica la disponibilità di una qualunque risorsa R_j .
 - Un processo che esegue **Rilascio** rende nuovamente disponibile una risorsa
- ➔ semaforo **risorsa** **ris** con valore iniziale = n
- E' necessario un vettore di variabili **booleane** **Libero [i]** per registrare quale risorsa è in un certo istante libera ($\text{Libero}[i] = 1$) e quale occupata ($\text{Libero}[i] = 0$).

II Soluzione - segue

```
#define n 20

semaphore    mutex, ris;

int Libero[n];/* stato di allocazione risorse */

void inizializza()

{/*inizializzazione del gestore:*/
mutex.value= 1;

ris.value= n;

for(i = 0; i<n; i++)

    Libero[i] = 1; /*true*/

}
```

II Soluzione - segue

```
int Richiesta ()
{
    unsigned int x, i;
    p(&ris);
    p(&mutex);
    i=0;
    do
        i++;
    while (! Libero[i]);
    x = i;
    Libero[i] = 0;
    v(&mutex);
    return x;
}
```

```
void Rilascio (unsigned int x)
{
    unsigned int i;
    p(&mutex);
    i=x;
    Libero[i]= 1;
    v(&mutex);
    v(&ris);
}
```

Schema del processo:

```
void Processo()
{
    unsigned int r;
    ...
    r=Richiesta();
    <uso della risorsa r>
    Rilascio(r);
    ...
}

main()
{inizializza();
<creazione processi di codice Processo>
    ...
}
```

Realizzazione di politiche di gestione delle risorse

- Nei problemi di sincronizzazione visti precedentemente si ha che:
 - La decisione se un processo possa proseguire l'esecuzione dipende dal valore di un solo semaforo (es., "mutex", "spazio disponibile", "messaggio disponibile")
 - La scelta del processo da riattivare avviene tramite l'algoritmo implementato nella `v` (FIFO).
- In problemi di sincronizzazione più complessi si ha che:
 - Decidere se un processo possa proseguire l'esecuzione dipende in generale dal verificarsi di una **condizione di sincronizzazione**
 - La scelta del processo da riattivare può avvenire in base a criteri diversi da quelli adottati nell'implementazione di `v` (ad es. sulla base di **priorità tra processi**).

Esempio: Problema dei “readers and writers”



Condizioni di sincronizzazione:

- I processi lettori possono usare la risorsa contemporaneamente.
- I processi scrittori hanno accesso esclusivo alla risorsa.
- I processi lettori e scrittori si **escludono mutuamente** nell'uso della risorsa.

Soluzione

Un processo lettore aspetta solo se la risorsa è già stata assegnata ad un processo scrittore: cioè nessun lettore aspetta se uno scrittore è già in attesa (possibilità di attesa infinita da parte dei processi scrittori).

Soluzione :

```
int      readcount=0;  
  
semaphore mutex, w;  
  
mutex.value=1; w.value=1;
```

READER

```
reader()  
{  p(&mutex);  
    readcount ++;  
    if (readcount == 1)  
        p(&w);  
    v(&mutex);  
    ..  
    <lettura>  
    ..  
    p(&mutex);  
    readcount --;  
    if (readcount==0)  
        v(&w);  
    v(&mutex);  
}
```

WRITER

```
writer()  
{  p(&w);  
    ..  
    <scrittura>  
    ..  
    v(&w);  
}
```

Costrutti linguistici per la sincronizzazione

I semafori costituiscono un meccanismo **molto potente** per la sincronizzazione dei processi. Tuttavia, l'uso dei semafori può risultare troppo "a basso livello".

→ Possibilità di errori

Esempio: mutua esclusione

- *scambio tra p e v:*
 v(mutex) ;
 <sez. critica>;
 p(mutex) ;
più processi possono operare nella sezione critica.
- *utilizzo erroneo di p e v:*
 p(mutex) ;
 <sez. critica>;
 p(mutex) ; -> deadlock.
- *etc.*

Costrutti linguistici per la sincronizzazione

→ Per ovviare a problemi di questa natura si sono introdotti costrutti linguistici di "più alto livello" :

- regioni critiche semplici e condizionali
- monitor