

# Sistemi Operativi

Laurea in Ingegneria Informatica

Universita' di Roma Tor Vergata

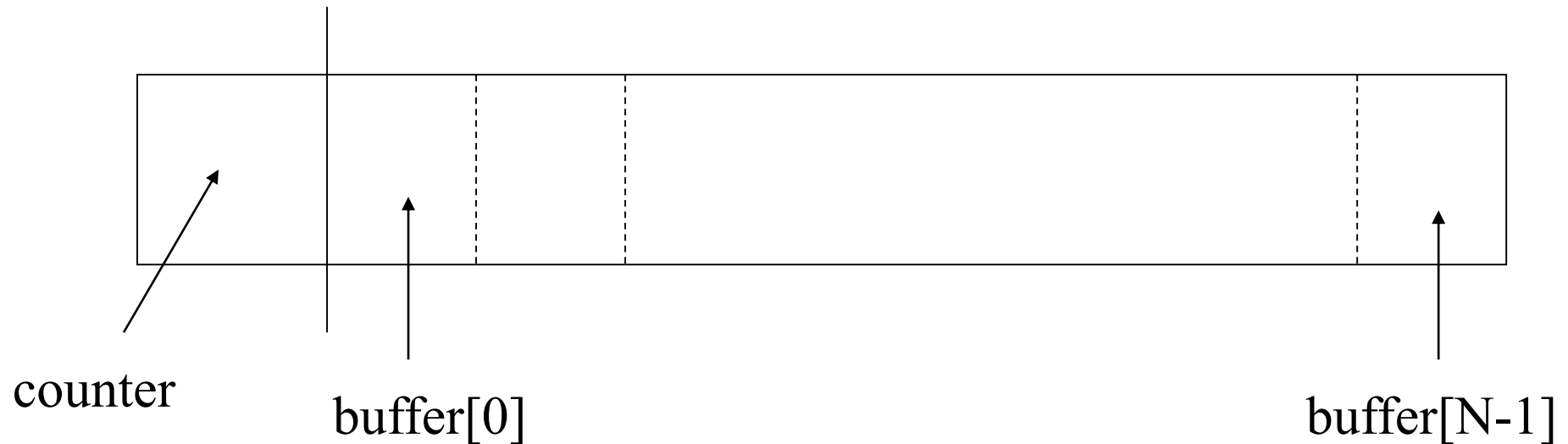
Docente: Francesco Quaglia



## Sincronizzazione

1. Sezioni critiche
2. Approcci per la sincronizzazione
3. Spinlock, mutex e semafori
4. Supporti per la sincronizzazione in sistemi UNIX/Windows

# L'archetipo del produttore/consumatore



## PRODUTTORE

### Repeat

<produce X>

**while** counter = N do no-op;

buffer[in] := X;

in := (in+1)mod(N)

counter := counter + 1;

**until** false

## CONSUMATORE

### Repeat

**while** counter = 0 do no-op;

Y := buffer[out];

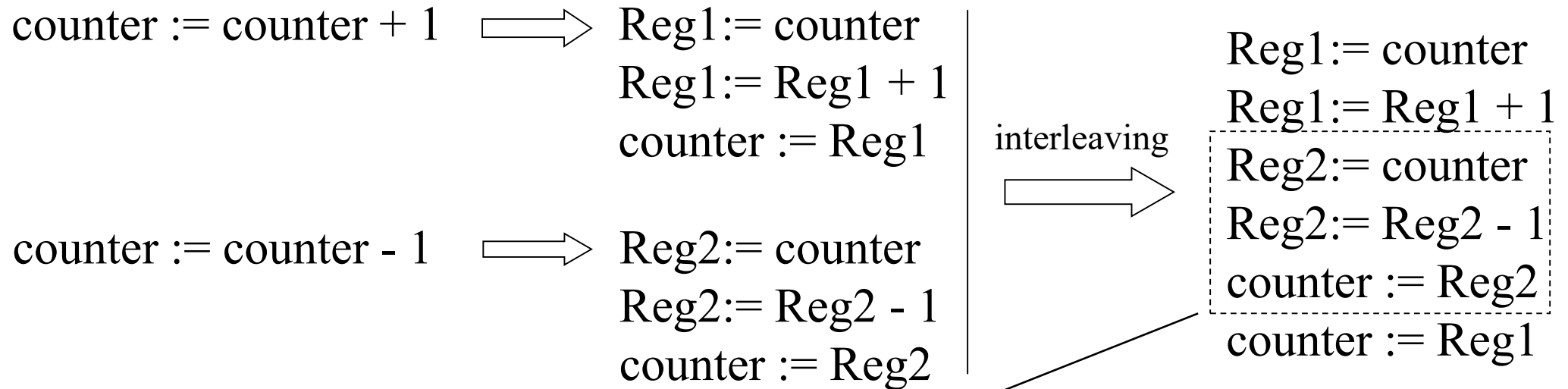
out := (out+1)mod(N)

counter := counter - 1;

<consume Y>

**until** false

# Sezioni critiche



Una sezione critica e' una porzione di traccia ove

- un processo/thread puo' leggere/scrivere dati condivisi con altri processi/thread
  - la correttezza del risultato dipende dall'interleaving delle tracce di esecuzione
- 

## Risoluzione del problema della sezione critica

- permettere l'esecuzione della porzione di traccia relativa alla sezione critica come se fosse un'azione atomica

# Vincoli per il problema della sezione critica

## Mutua esclusione

- quando un thread accede alla sezione critica nessun altro thread puo' eseguire nella stessa sezione critica

## Progresso

- un thread che lo chiede deve essere ammesso alla sezione critica senza ritardi in caso in cui nessun altro thread si trovi nella sezione critica

## Attesa limitata

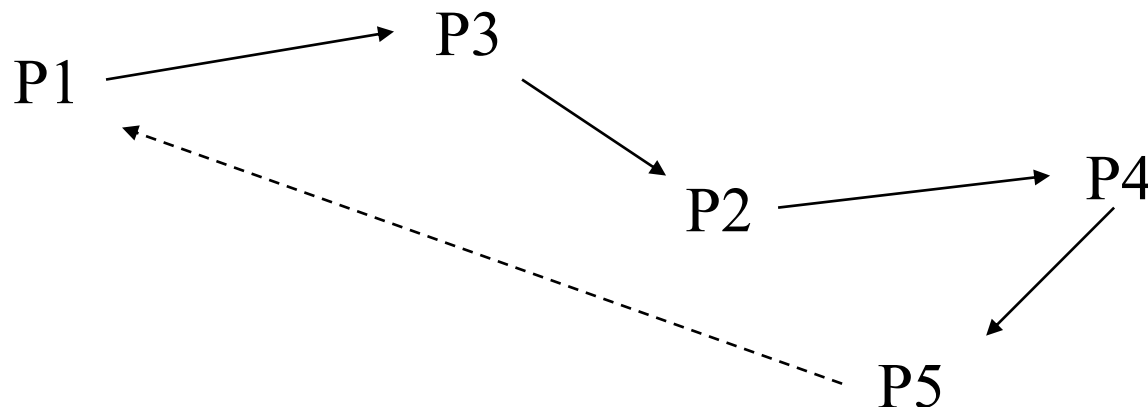
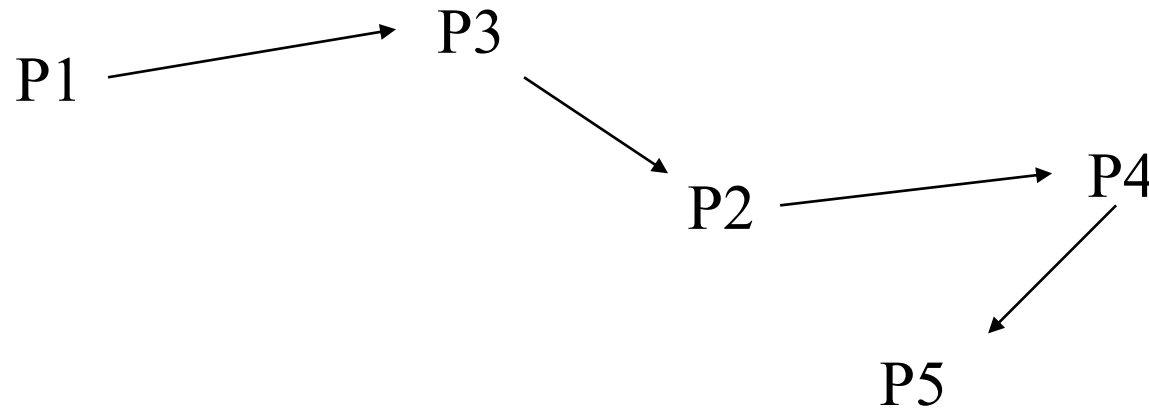
- un thread che lo chiede deve essere ammesso ad eseguire la sezione critica in un tempo limitato (non ci devono essere stalli o starvation)
- 

## Approcci risolutivi

- algoritmi di mutua esclusione
- approcci hardware e istruzioni Read-Modify-Write (RMW)
- mutex/semafori

# Stallo (deadlock) di processi

Un insieme di processi  $P_1, \dots, P_n$  e' coinvolto in uno stallo se ognuno dei processi e' in attesa (attiva o passiva) di un evento che puo' essere causato solo da un altro dei processi dell'insieme



Genesi di un  
deadlock

# Algoritmi di mutua esclusione: Dekker

**var** turno: **int**;

**Processo X**

**While** turno  $\neq$  X **do no-op**;  
<sezione critica>;  
turno := Y;

**Processo Y**

**While** turno  $\neq$  Y **do no-op**;  
<sezione critica>;  
turno := X;

I processi vanno in alternanza stretta nella sezione critica

- non c'è garanzia di progresso
- la velocità di esecuzione è limitata dal processo più lento

---

I processi lavorano come coroutine (ovvero routine che si passano mutuamente il controllo), classiche della strutturazione di un singolo processo, ma inadeguate a processi concorrenti

# Secondo tentativo

**var flag: array[1,n] of boolean;**

**Processo X**

**While** flag[Y] **do no-op**;  
flag[X] := TRUE;  
<sezione critica>;  
flag[X] := FALSE;

**Processo Y**

**While** flag[X] **do no-op**;  
flag[Y] := TRUE;  
<sezione critica>;  
flag[Y] := FALSE;

I processi non vanno in alternanza stretta nella sezione critica

- c'è garanzia di progresso
- non c'è garanzia di mutua esclusione (problema che diviene evidente nel caso di numero elevato di processi)

# Terzo tentativo

**var** flag: array[1,n] of boolean;

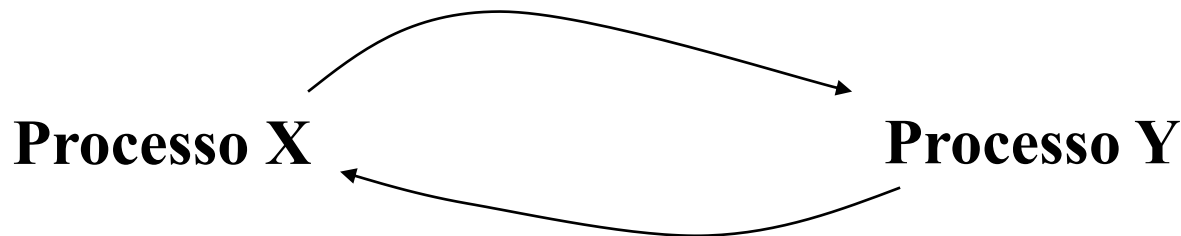
**Processo X**

```
flag[X] := TRUE;  
While flag[Y] do no-op;  
<sezione critica>;  
flag[X] := FALSE;
```

**Processo Y**

```
flag[Y] := TRUE;  
While flag[X] do no-op;  
<sezione critica>;  
flag[Y] := FALSE;
```

Possibilita' di deadlock, non c'e garanzia di attesa limitata





# Quarto tentativo

**var flag: array[1,n] of boolean;**

## **Processo X**

```
flag[X] := TRUE;
While flag[Y] do {
    flag[X] := FALSE;
    <pausa>;
    flag[X] := TRUE;
}
<sezione critica>;
flag[X] := FALSE;
```

## **Processo Y**

```
flag[Y] := TRUE;
While flag[X] do {
    flag[Y] := FALSE;
    <pausa>;
    flag[Y] := TRUE;
}
<sezione critica>;
flag[Y] := FALSE;
```

Possibilita' di starvation, non c'e garanzia di attesa limitata

# Algoritmo del fornaio (Lamport - 1974)

Basato su assegnazione di numeri per prenotare un turno di accesso alla sezione critica

**var** choosing: **array**[1,n] **of** **boolean**;

**number**: **array**[1,n] **of** **int**;

**repeat** {

    choosing[i] := TRUE;

**number** [i] := <max in **array** **number**[] + 1>;

    choosing[i] := FALSE;

**for** j = 1 **to** n **do** {

**while** choosing[j] **do no-op**;

**while** **number**[j] ≠ 0 **and** (**number** [j],j) < (**number** [i],i) **do no-op**;

    }

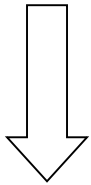
    <sezione critica>;

**number**[i] := 0;

**}until** FALSE

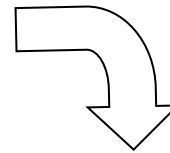
# Approcci hardware ed istruzioni RMW (Read-Modify-Write)

- disabilitare le interruzioni (valido nel caso di uniprocessori)
- istruzioni di basso livello per il test e la manipolazione di informazioni in modo atomico (valido anche per i multiprocessori)



**function** test\_and\_set(**var** z: **int**) : **boolean**;

```
{  
  if (!z) {  
    z := 1;  
    test_and_set := TRUE;  
  }  
  else test_and_set := FALSE;  
}
```

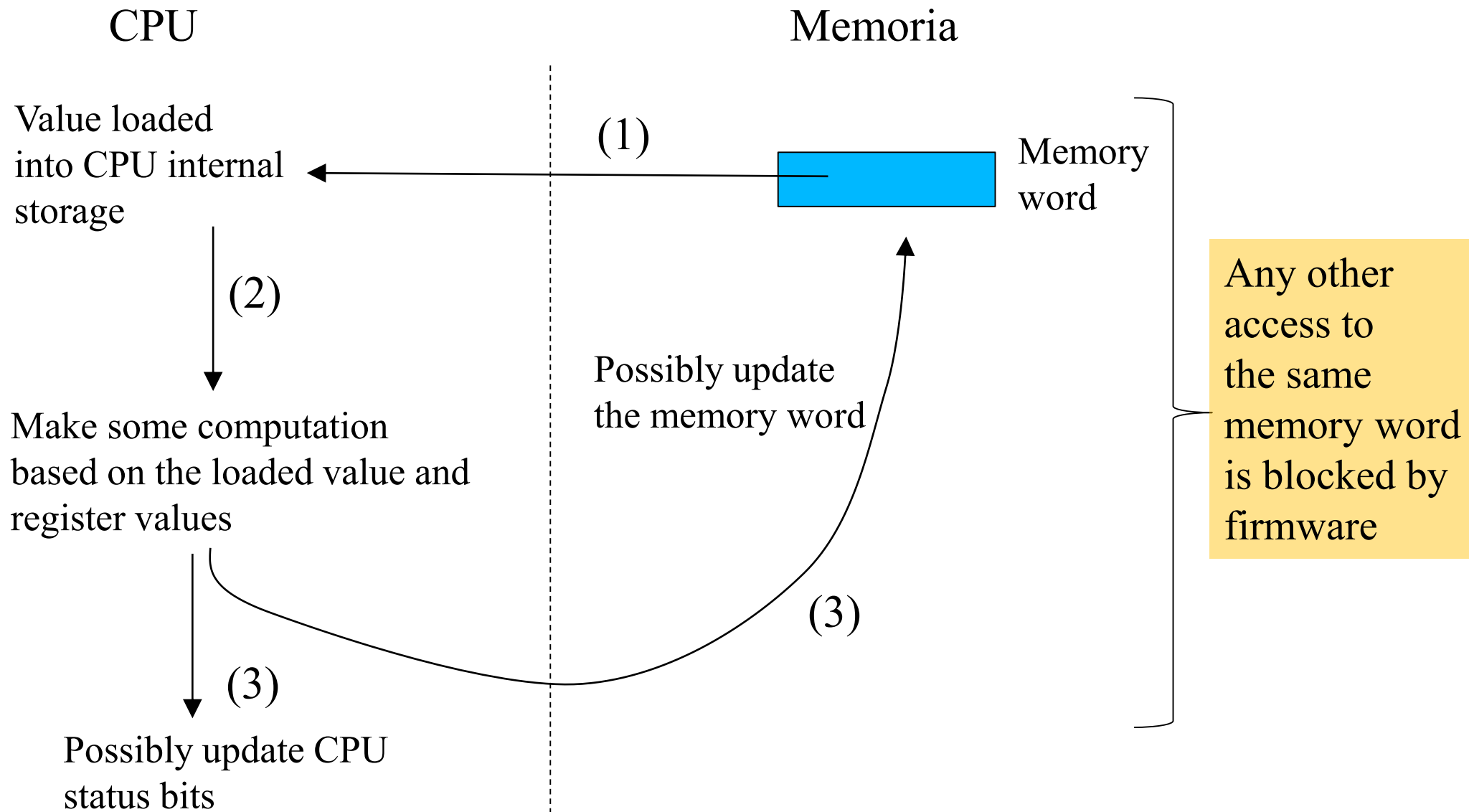


**var** serratura: **int**;

**Processo X**

**While** !test\_and\_set(serratura) **do no-op**;  
<sezione critica>;  
serratura := 0

# Timeline di una istruzione RMW

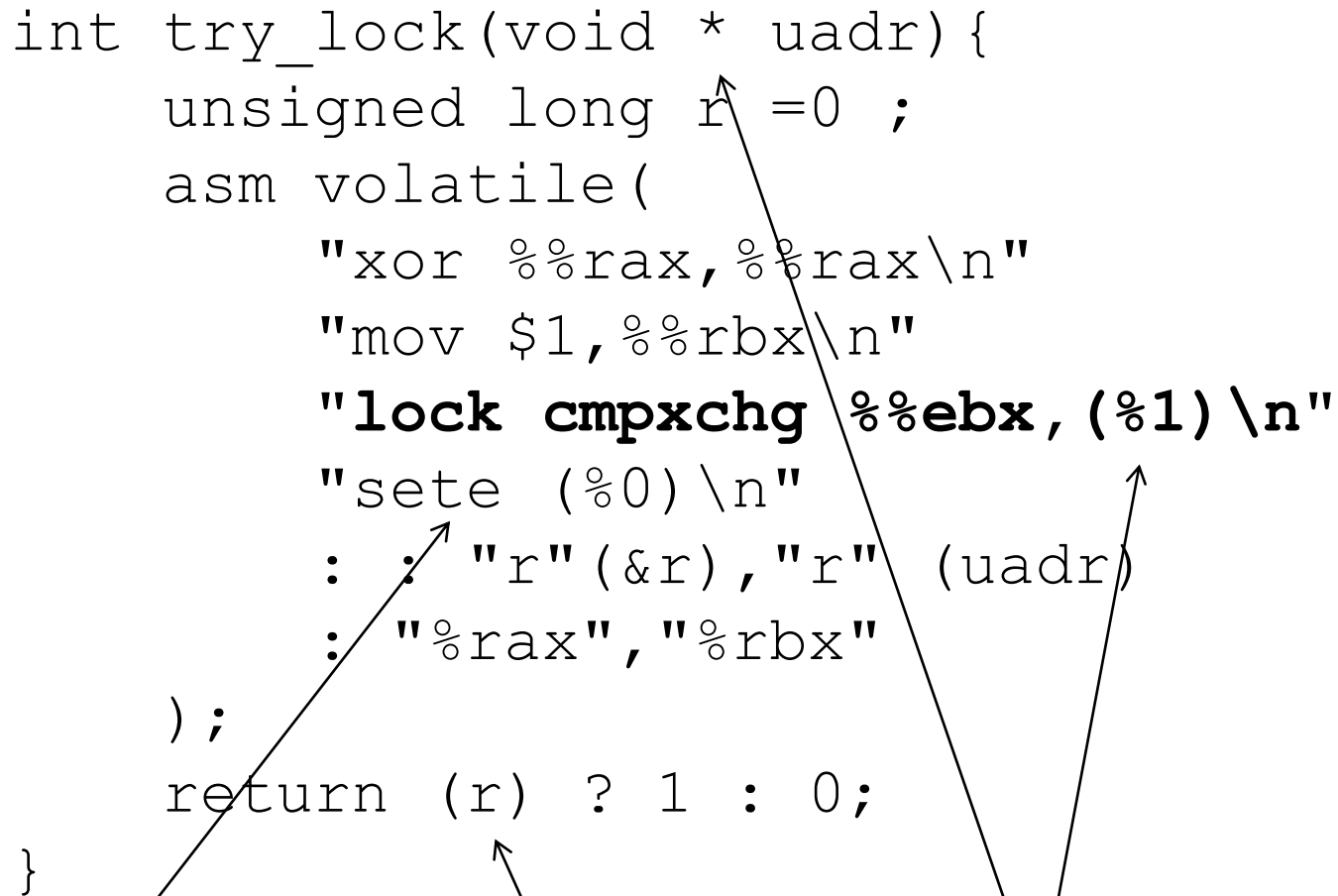


# Compare-and-Swap

- Test and set atomico e' correntemente supportato tramite specifiche istruzioni macchina RMW
- L'istruzione macchina piu' comunemente supportata e' la CAS (Compare And Swap)
- Su architetture x86 tale istruzione corrisponde a CMPXCHG (Compare And Exchange)
- CMPXCHG compara il valore di una locazione di memoria con quello del registro EAX, se uguali la locazione e' aggiornata col valore di un altro registro esplicitamente indicato come operando, e.g. RBX

# Un esempio di utilizzo

```
int try_lock(void * uadr) {  
    unsigned long r = 0 ;  
    asm volatile(  
        "xor %%rax, %%rax\n"  
        "mov $1, %%rbx\n"  
        "lock cmpxchg %%ebx, (%1)\n"  
        "sete (%0)\n"  
        : : "r" (&r), "r" (uadr)  
        : "%rax", "%rbx"  
    ) ;  
    return (r) ? 1 : 0 ;  
}
```



Target memory word

Set equal

If they were equal return 1

# Pthread spinlocks

## Tipi e API per la programmazione

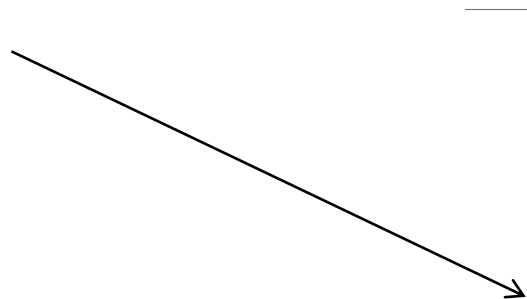
- ✓ `spinlock_t lock;`
- ✓ `int pthread_spin_init(pthread_spinlock_t *lock, int pshared);`
- ✓ `spin_lock(&lock);`
- ✓ `spin_unlock(&lock);`



PTHREAD\_PROCESS\_SHARED  
PTHREAD\_PROCESS\_PRIVATE

# WinAPI

- L'utilizzo delle istruzioni RMW e' tipicamente incapsulato (come del resto per Posix) all'interno di funzioni di semplice uso per il programmatore
- Queste si dicono "interlocked", locuzione che appare anche nel nome stesso delle funzioni
- Classici esempi sono:
  - ✓ InterlockedCompareExchange
  - ✓ InterlockedBitTestAndSet



Syntax

```
C++  
  
UCHAR WINAPI InterlockedBitTestAndSet(  
    _In_ LONG volatile *Base,  
    _In_ LONG          Bit  
);
```

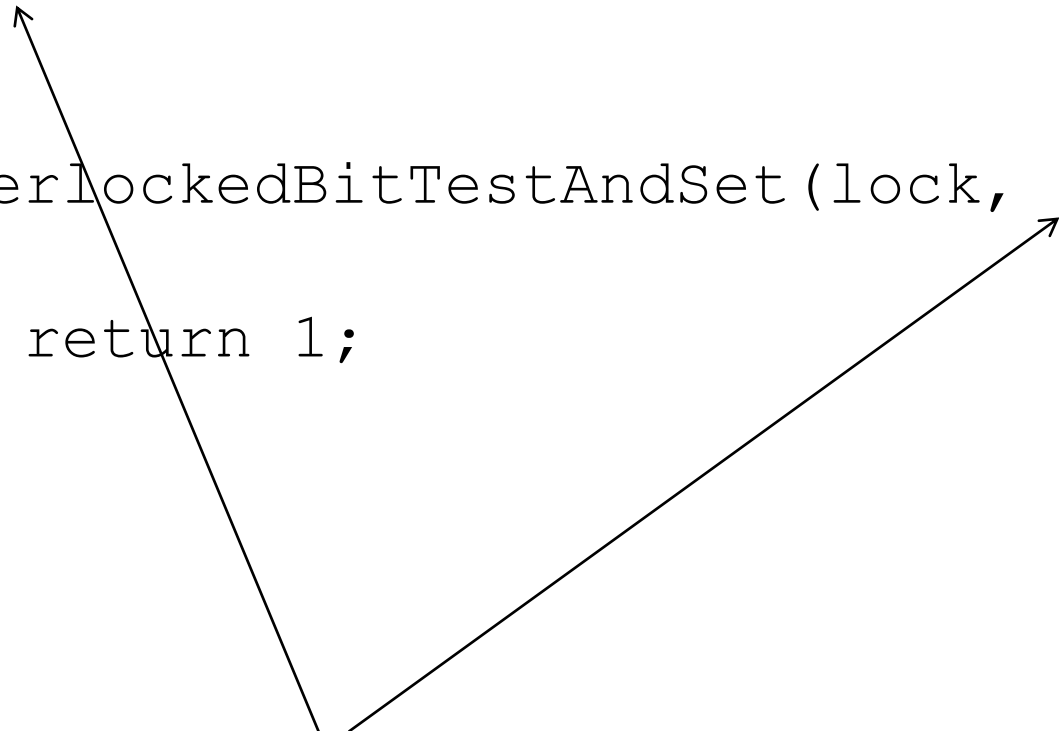
Parameters

Base [in]



# Un semplice try-lock basato su API interlocked

```
int try_lock(LONG * lock) {  
    int ret;  
  
    ret = (int) InterlockedBitTestAndSet(lock, 0);  
  
    if (ret == 0) return 1;  
  
    return 0;  
}
```

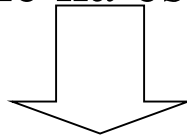


Il 0-esimo bit della locazione di memoria puntata dal parametro 'lock' rappresenta il lock

# Semafori: modello di riferimento

**Un semaforo e' una struttura dati che include un valore intero non negativo con 3 operazioni associate**

- **inizializzazione**
- una operazione **wait** che tenta il decremento di una unita' ed induce una attesa sul processo che la esegue in caso il valore del semaforo dovesse diventare negativo per effetto del decremento
- una operazione **signal** che ne incrementa il valore di una unita' e libera dall'attesa in attesa un processo che ha eseguito una operazione di wait bloccante



**Le operazioni eseguite in modo atomico dal kernel del sistema operativo**

---

## **Semafori binari**

- il valore assunto puo' essere solo 1 oppure 0

# Implementazioni

```
type semaphore = record //struct like
    value: int;
    L: list of processes; // or threads
end;
```

```
procedure Wait(var s: semaphore):
```

```
    if (s.value - 1) < 0 {
        add current process to s.L;
        block current process;
    }
```

Atomically executed by the  
kernel software

```
procedure Signal(var s: semaphore);
```

```
    s.value = s.value + 1;
    if s.L not empty {
        delete a process P from s.L;
        unblock P;
        s.value = s.value - 1;
    }
```

Atomically executed by the  
kernel software

# Produttore consumatore tramite semafori: pseudo-codice

SHARED: item buffer[N]; semaphore S = 1;

## PRODUTTORE

PRIVATE int in = 0; item X;

### **Repeat**

<produce X>

retry:

**wait(S);**

**if** counter = N {

**signal(S);**

goto retry;

}

**else** {

buffer[in] := X;

in := (in+1)mod(N)

counter := counter + 1;

**signal(S);**

}

**until** false

## CONSUMATORE

PRIVATE int out = 0; item Y;

### **Repeat**

**wait(S);**

**if** counter = 0 {

**signal(S);**

}

**else** {

Y := buffer[out];

out := (out+1)mod(N)

counter := counter - 1;

**signal(S);**

<consume Y>

}

**until** false

# Semafori in sistemi UNIX (System V – Posix traditional)

```
int semget(key_t key, int size, int flag)
```

---

**Descrizione** invoca la creazione di un semaforo

---

**Parametri**

- 1) key: chiave per identificare il semaforo in maniera univoca nel sistema (IPC\_PRIVATE e' un caso speciale)
- 2) size: numero di elementi del semaforo
- 3) flag: specifica della modalita' di creazione (IPC\_CREAT, IPC\_EXCL, definiti negli header file sys/ipc.h e sys/shm.h) e dei permessi di accesso

---

**Descrizione** identificatore numerico per il semaforo in caso di successo (descrittore), -1 in caso di fallimento

## NOTA

Il descrittore indicizza questa volta una struttura unica valida per qualsiasi processo

# Comandi su un semaforo

```
int semctl(int ds_sem, int sem_num, int cmd, union semun arg)
```

---

**Descrizione** invoca l'esecuzione di un comando su un semaforo

---

**Parametri**

- 1) ds\_sem: descrittore del semaforo su cui si vuole operare
- 2) sem\_num: indice dell'elemento del semaforo su cui si vuole operare
- 3) cmd: specifica del comando da eseguire (IPC\_RMID, IPC\_STAT, IPC\_SET, GETALL, SETALL, GETVAL, SETVAL)
- 4) arg: puntatore al buffer con eventuali parametri per il comando

---

**Descrizione** -1 in caso di fallimento

```
union semuu {  
    int      val;           /* usato se cmd == SETVAL */  
    struct semid_ds *buf    /* usato per IPC_STAT e IPC_SET */  
    ushort *array;         /* usato se cmd == GETALL o SETALL */  
};
```

# Operazioni semaforiche

```
int semop(int ds_sem, struct sembuf oper[], int number)
```

---

**Descrizione** invoca l'esecuzione di un comando su una coda di messaggi

---

**Parametri**

- 1) ds\_sem: descrittore del semaforo su cui si vuole operare
- 2) oper: indirizzo dell'array contenente la specifica delle operazioni da eseguire
- 3) number: numero di argomenti validi nell'array puntato da oper

---

**Descrizione** -1 in caso di fallimento

```
struct sembuf {  
    ushort sem_num;  
    short  sem_op; /* 0=sincronizzazione sullo 0 - n=incremento  
                   di n - -n=decremento di n */  
    short  sem_flg; /* IPC_NOWAIT - SEM_UNDO */  
};
```

Un decremento di N su un semaforo dal valore minore di N provoca blocco del processo chiamante a meno della specifica di IPC\_NOWAIT

SEM\_UNDO revoca l'operazione in caso di exit del processo

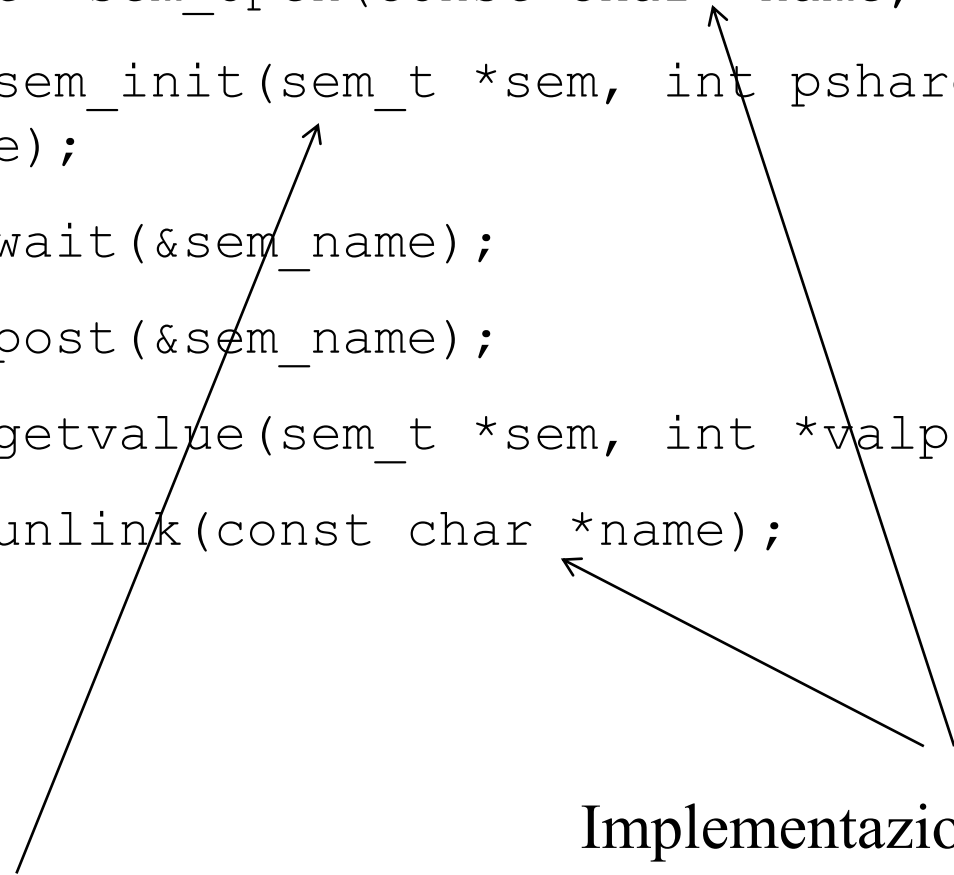
# Creazioni di processi ed operazioni semaforiche

- Per poter annullare operazioni semaforiche, il sistema operativo mantiene una struttura **sem\_undo** in cui sono registrate tali operazioni per ogni processo
- Il valore di tale struttura non viene ereditato da in processo figlio generato tramite `fork()`
- Il valore della struttura viene mantenuto in caso di sostituzione di codice tramite `exec()`



# Posix: librerie semaforiche

## POSIX current named/unnamed semaphores

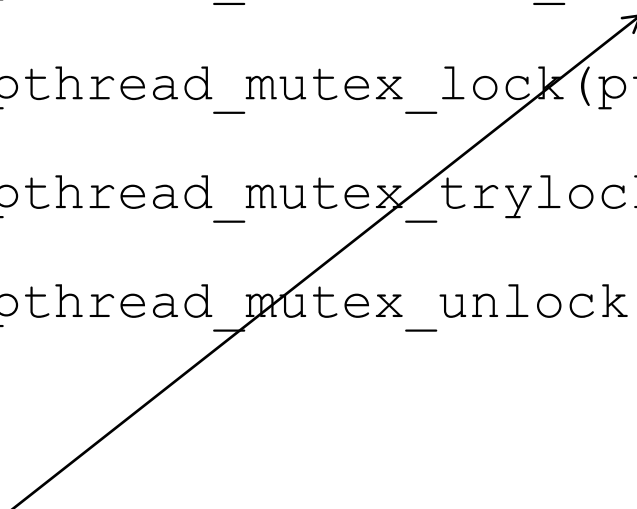
- ✓ `sem_t sem_name;`
  - ✓ `sem_t *sem_open(const char *name, int oflag)`
  - ✓ `int sem_init(sem_t *sem, int pshared, unsigned int value);`
  - ✓ `sem_wait(&sem_name);`
  - ✓ `sem_post(&sem_name);`
  - ✓ `sem_getvalue(sem_t *sem, int *valp);`
  - ✓ `sem_unlink(const char *name);`
- 

Implementazione basata su pseudo files

Puo' inizializzare anche  
semafori unnamed

# Posix: librerie semaforiche

## POSIX pthread mutexes

- ✓ `pthread_mutex_t mutex;`
  - ✓ `int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *mutex, const pthread_mutexattr_t *attr)`
  - ✓ `pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex)`
  - ✓ `pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t *mutex)`
  - ✓ `pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex)`
- 

Idealmente puo' essere usato  
ricorsivamente ma non tutte le  
implementazioni sono conformi

# Windows mutex

Sono in pratica simili a semafori binari, ovvero dei semplici meccanismi per la mutua esclusione

```
HANDLE CreateMutex(LPSECURITY_ATTRIBUTES lpMutexAttributes,  
                  BOOL bInitialOwner,  
                  LPCTSTR lpName)
```

## Descrizione

- invoca la creazione di un mutex

## Restituzione

- handle al mutex in caso di successo, NULL in caso di fallimento

## Parametri

- lpMutexAttributes: puntatore a una struttura SECURITY\_ATTRIBUTES
- bInitialOwner: indicazione del processo chiamante come possessore del mutex
- lpName: nome del mutex

# Apertura di un mutex

```
HANDLE OpenMutex(DWORD dwDesiredAccess,  
                 BOOL bInheritHandle,  
                 LPCTSTR lpName)
```

## Descrizione

- invoca l'apertura di un mutex

## Restituzione

- handle al mutex in caso di successo, NULL in caso di fallimento

## Parametri

- dwDesiredAccess: accessi richiesti al mutex
- bInheritHandle: specifica se l'handle e' ereditabile
- lpName: nome del mutex

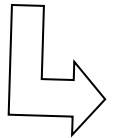
# Operazioni su un mutex

## Accesso al mutex

```
DWORD WaitForSingleObject (HANDLE hHandle,  
                             DWORD dwMilliseconds)
```

## Rilascio del mutex

```
BOOL ReleaseMutex (HANDLE hMutex)
```



0 in caso di fallimento

---

Un solo processo (o thread) viene eventualmente risvegliato per effetto del rilascio del mutex

# Semafori NT/2000

```
HANDLE CreateSemaphore(LPSECURITY_ATTRIBUTES  
                        lpSemaphoreAttributes,  
                        LONG lInitialCount,  
                        LONG lMaximumCount,  
                        LPCTSTR lpName)
```

## Descrizione

- invoca la creazione di un semaforo

## Restituzione

- handle al semaforo in caso di successo, NULL in caso di fallimento

## Parametri

- lpSemaphoreAttributes: puntatore a una struttura SECURITY\_ATTRIBUTES
- lInitialCount: valore iniziale del semaforo
- lMaximumCount: massimo valore che il semaforo puo' assumere
- lpName: nome del semaforo

# Apertura ed operazioni su un semaforo

```
HANDLE OpenSemaphore(LDWORD dwDesiredAccess,  
                     BOOL bInheritHandle,  
                     LPCTSTR lpName)
```

---

## Accesso al semaforo

```
DWORD WaitForSingleObject(HANDLE hHandle,  
                           DWORD dwMilliseconds)
```

---

## Rilascio del semaforo

```
BOOL ReleaseSemaphore(HANDLE hSemaphore,  
                     LONG lReleaseCount,  
                     LPLONG lpPreviousCount)
```



Unità' di rilascio

Puntatore all'area di memoria  
dove scrivere il vecchio valore  
del semaforo

# Sincronizzazione su oggetti multipli

Array di handles verso gli oggetti target

Numero di elementi dell'array  
di handles

Regola di attesa (tutti o almeno uno)

## Syntax

C++

```
DWORD WINAPI WaitForMultipleObjects(  
    _In_   DWORD nCount,  
    _In_   const HANDLE *lpHandles,  
    _In_   BOOL bWaitAll,  
    _In_   DWORD dwMilliseconds  
);
```