



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
PARTHENOPE

Laboratorio di Sistemi Operativi

Mutex e Variabili di Condizione

LEZIONE 18

prof. Antonino Staiano

Corso di Laurea in Informatica – Università di Napoli Parthenope

antonino.staiano@uniparthenope.it

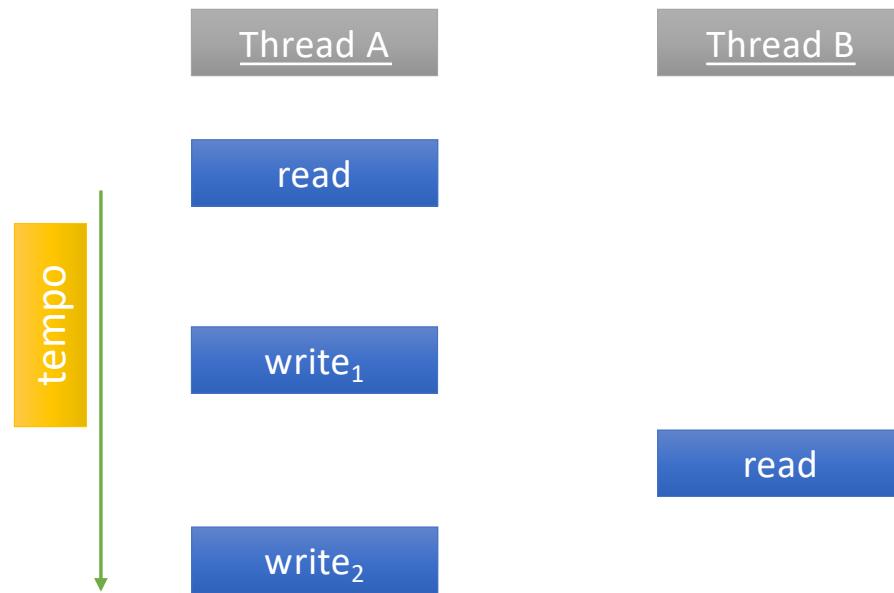
Introduzione

- Quando molteplici thread di un processo condividono la stessa memoria è necessario che ciascun thread mantenga la coerenza dei propri dati
- Se ciascun thread usa variabili che altri thread non leggono o modificano, allora non c'è alcun problema di consistenza
- Quando, invece, un thread può modificare una variabile che altri thread possono leggere o modificare, dobbiamo sincronizzare i thread per assicurare che questi non utilizzino un valore non valido quando accedono al contenuto di memoria della variabile

Introduzione (cont.)

- Quando un thread modifica una variabile, altri thread potenzialmente possono vedere delle inconsistenze quando leggono il valore della stessa
- Nella figura che segue è mostrato il caso in cui due thread leggono e scrivono la stessa variabile
 - Il *thread A* legge la variabile e poi scrive un nuovo valore, ma l'operazione di scrittura richiede due cicli di memoria
 - Se il *thread B* legge la stessa variabile tra i due cicli di scrittura, il valore sarà inconsistente

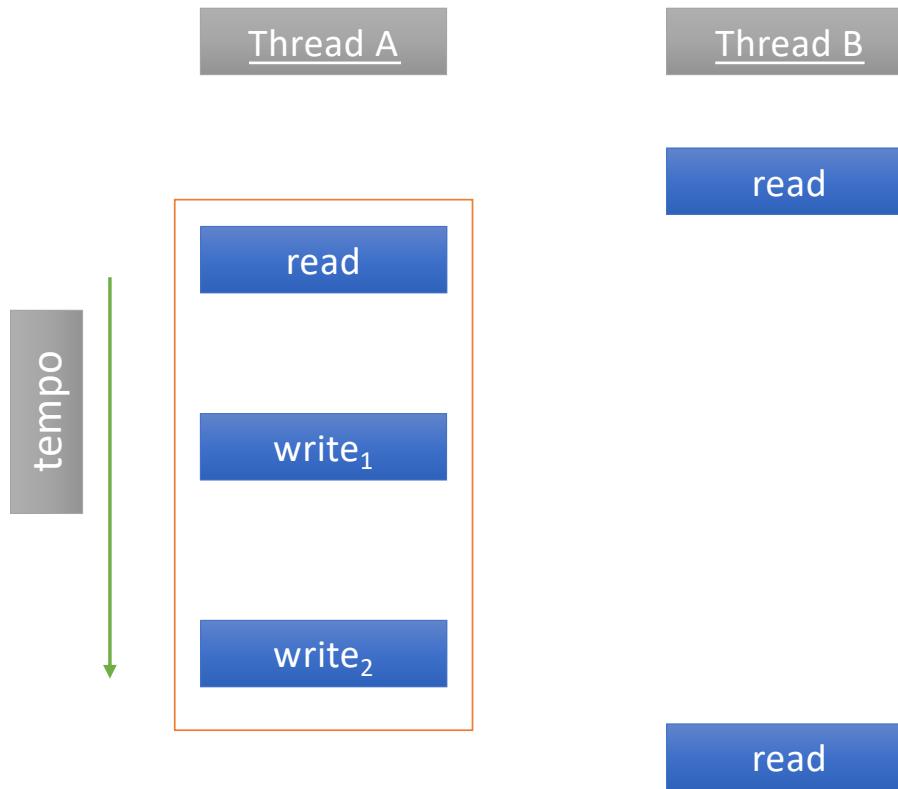
Cicli di memoria intrecciati con due thread



Introduzione (cont.)

- Per risolvere il problema, i thread devono usare un “**lock**” che consente ad un solo thread alla volta di accedere alla variabile
- Se il *thread B* intende leggere la variabile, allora deve acquisire un lock
 - Similmente, quando il *thread A* aggiorna la variabile, deve acquisire lo stesso **lock**
 - In questo modo, il *thread B* non sarà in grado di leggere la variabile fino a che il *thread A* rilascia il **lock**

Due thread che sincronizzano l'accesso in memoria



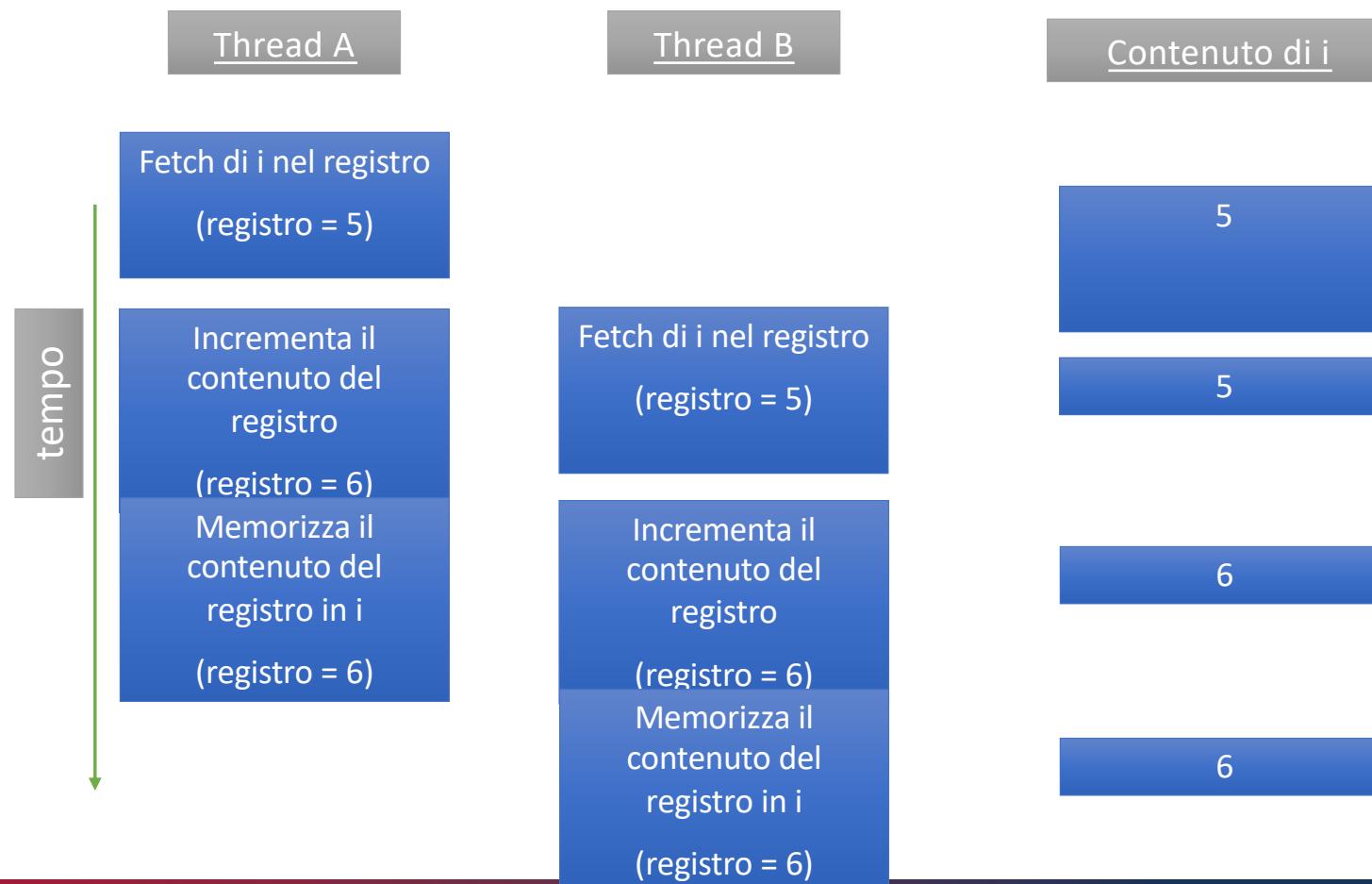
Introduzione (cont.)

- Un altro caso in cui è necessario sincronizzarsi è quando due o più thread cercano di modificare la stessa variabile nello stesso tempo
- Consideriamo il caso in cui viene incrementata una variabile
 - L'operazione di incremento è suddivisa in tre passi:
 1. Leggere la locazione di memoria in un registro
 2. Incrementare il valore nel registro
 3. Scrivere il nuovo valore nella locazione di memoria

Introduzione (cont.)

- Se due thread cercano di incrementare la stessa variabile nello stesso (quasi) momento senza sincronizzarsi, il risultato può essere inconsistente
 - Quando il secondo thread inizia l'operazione, si arriva ad un valore della variabile di uno o due unità più grande rispetto al valore precedente, in base al valore osservato dal secondo thread quando inizia le proprie operazioni
 - Se il secondo thread esegue il passo 1 prima che il primo thread esegue il passo 3, il secondo thread leggerà lo stesso valore iniziale del primo thread, lo incrementa, lo scrive e non si avrà alcun effetto

Due thread che incrementano la stessa variabile no sincro



Introduzione (cont.)

- Se la modifica è atomica, non c'è alcuna "race"
 - Nell'esempio precedente, se l'incremento richiede solo un ciclo di memoria, non avviene alcuna race
- Se i nostri dati appaiono sempre *sequenzialmente consistenti*, allora non c'è necessità di sincronizzazione
 - Le operazioni sono *sequenzialmente consistenti* quando thread multipli non possono osservare inconsistenze nei dati
- Tuttavia, nei moderni calcolatori, gli accessi in memoria avvengono con cicli di bus multipli e i sistemi multiprocessore generalmente intrecciano cicli di bus tra processori multipli, dunque non c'è alcuna garanzia che i nostri dati siano sequenzialmente consistenti

```
//Interferenza...include omessi...

void * thread_function(void *);

int myglobal; // variabile globale int

int main(void) {

    pthread_t mythread;

    int i;

    if(pthread_create(&mythread,NULL,thread_function,NULL)) {

        printf("creazione del thread fallita.\n");

        exit(1);

    }

    for (i=0; i<20; i++) {

        myglobal=myglobal+1;

        printf("o");

        fflush(stdout);

        sleep(1);

    }

    if (pthread_join(mythread,NULL)) {

        printf("errore nel join dei thread.");

        exit(2);

    }

    printf("\nmyglobal e' uguale a %d\n",myglobal);

    exit(0);}
```

Esempio (race)

Esempio (cont.)

```
...
void *thread_function(void *arg) {
    int i,j;
    for (i=0; i<20;i++) {
        j=myglobal;
        j=j+1;
        printf(".");
        fflush(stdout);
        sleep(1);
        myglobal=j;
    }
    return NULL;
}
```

Esempio (cont.)

```
$ gcc race.c -o race -lpthread
```

Esecuzione:

\$./race

Possible Output:

○.○.○.○.○.○..○○.○..○.○○..○.○.○○.○..○.○○.

myglobal e' uguale a 21



Sincronizzazione dei thread

- POSIX.1c mette a disposizione due primitive per la sincronizzazione dei thread nei processi
 - mutex
 - variabili condizione
- POSIX.1b permette di sincronizzare i thread nei processi con i semafori

Mutex

- Un **mutex** (mutual exclusion) è un oggetto che permette a processi o thread concorrenti di sincronizzare l'accesso a dati condivisi
- Un mutex possiede due stati: **bloccato** e **non bloccato**:
 - Quando un mutex è bloccato da un thread, gli altri thread che tentano di bloccarlo restano in attesa;
 - Quando il thread bloccante rilascia il mutex, uno dei thread in attesa lo acquisisce
- Ogni volta che un processo o thread ha bisogno di accedere ai dati condivisi, acquisisce il mutex

Quando l'operazione è terminata, il mutex viene rilasciato, permettendo ad un altro processo o thread di acquisirlo per eseguire le sue operazioni

Mutex (cont.)

- Un mutex è utilizzato per proteggere una sezione critica assicurando che solo un thread per volta esegua il codice nella regione
- Il codice normalmente è del tipo

```
lock_the_mutex(...);  
    regione critica  
unlock_the_mutex(...);
```

- Poiché un solo thread per volta può bloccare il mutex ciò garantisce che un solo thread alla volta possa eseguire le istruzioni nella regione critica

Mutex libreria Pthread

- Un mutex è una variabile rappresentata dal tipo di dato `pthread_mutex_t`
 - Prima di usare un mutex è necessario inizializzarlo in modo:
 - *Statico*: impostandolo al valore della costante `PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER`
 - *Dinamico*: invocando `pthread_mutex_init()`
 - Se allochiamo un mutex dinamicamente, è necessario invocare `pthread_mutex_destroy()` prima di liberare la memoria

```
#include <pthread.h>

int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *mutex, const pthread_mutexattr_t *attr);
int pthread_mutex_destroy(pthread_mutex_t *mutex);
/* restituiscono 0 se OK, numero di errore se falliscono */
```

Acquisizione e rilascio dei mutex

- Per bloccare un mutex, un thread usa `pthread_mutex_lock()`
 - La funzione ritorna quando il mutex è stato bloccato dal thread chiamante
 - Il mutex resta bloccato fino a quando non è sbloccato dal thread chiamante
- Per sbloccare un mutex si usa `pthread_mutex_unlock()`
 - Se vi sono più thread in attesa di acquisire il mutex, la politica di scheduling dei thread stabilisce chi lo acquisisce
- Per acquisire il blocco o restituire codice di errore (`EBUSY`), senza bloccare realmente, si usa `pthread_mutex_trylock()`
 - Tale chiamata permette di far decidere se ci sono alternative rispetto alla semplice attesa

Acquisizione e rilascio dei mutex (cont.)

- I prototipi delle funzioni di acquisizione e rilascio sono

```
#include <pthread.h>

int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);

/* restituiscono 0 se OK, numero di errore se falliscono */
```

Attributi dei mutex

- Per default, un mutex può essere usato solo da thread che appartengono allo stesso processo
- Utilizzando l'attributo `PTHREAD_PROCESS_SHARED` si permette a thread di altri processi di utilizzare il mutex (altrimenti si usa `PTHREAD_PROCESS_PRIVATE`)
- Gli oggetti attributo vanno inizializzati e, se non più necessari, distrutti per non sprecare le risorse di memoria del processo e di sistema
- Per allocare dinamicamente gli attributi di un mutex si usa:

```
int pthread_mutexattr_init(pthread_mutexattr_t *attr)
```

- Per deallocazione dinamicamente gli attributi di un mutex si usa:

```
int pthread_mutexattr_destroy(pthread_mutexattr_t *attr)
```

Assegnazione

- L'attributo **PTHREAD_PROCESS_SHARED** si assegna mediante

```
int pthread_mutexattr_setpshared(pthread_mutexattr_t *attr, int pshared);  
/* restituisce 0 se OK, numero di errore se fallisce */
```

- Il primo parametro rappresenta l'oggetto attributo inizializzato con **pthread_mutexattr_init()**
 - Il secondo parametro contiene il valore dell'attributo
-
- Per sapere quale sia il valore dell'attributo si usa

```
int pthread_mutexattr_getpshared(pthread_mutexattr_t *attr, int *pshared)  
/* restituisce 0 se OK, numero di errore se fallisce */
```

```
void * thread_function(void *);  
int myglobal;  
pthread_mutex_t mymutex=PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;  
  
int main(void) {  
    pthread_t mythread;  
    int i;  
    if (pthread_create(&mythread,NULL,thread_function,NULL)) {printf("creazione del thread fallita.");exit(1);}  
    for (i=0; i<20; i++) {  
        pthread_mutex_lock(&mymutex);  
        myglobal = myglobal+1;  
        pthread_mutex_unlock(&mymutex);  
        printf("o");fflush(stdout);  
        sleep(1);  
    }  
    if(pthread_join(mythread,NULL)) {  
        printf("errore nel join con il thread.\n");  
        exit(2);  
    }  
    printf("\nmyglobal è uguale a %d\n",myglobal);  
    exit(0); }...
```

Esempio (no race)

Esempio (cont.)

...

```
void *thread_function(void *arg) {  
    int i,j;  
    for ( i=0; i<20; i++ ) {  
        pthread_mutex_lock(&mymutex);  
        j=myglobal;  
        j=j+1;  
        printf(".");  
        fflush(stdout);  
        sleep(1);  
        myglobal=j;  
        pthread_mutex_unlock(&mymutex);  
    }  
    return NULL;  
}
```

Esempio (cont.)

```
$ gcc norace.c -o norace -lpthread
```

Esecuzione:

\$. /norace

Possible Output:

myglobal e' uguale a 40

Variabili di condizione

- Le **variabili di condizione** (**condition variables**) sono un meccanismo di sincronizzazione utilizzato per la cooperazione tra thread in sistemi multithreading
 - Consentono ai thread di sospendere temporaneamente l'esecuzione in attesa che si verifichi una specifica condizione su dati condivisi
- Le variabili di condizione **sono sempre associate a una mutex**, che garantisce l'accesso esclusivo ai dati condivisi
- **Coda di thread in attesa**
 - Ogni variabile di condizione ha una coda associata in cui i thread in attesa si sospendono
- **Funzioni per la gestione**
 - Le variabili di condizione forniscono funzioni per la sospensione in attesa del verificarsi della condizione, per segnalare la modifica della condizione per risvegliare i thread in attesa

Variabili di condizione

- Le variabili condizione hanno tre componenti: la **variabile condizione**, un **mutex** associato, un **predicato**
- Il programmatore ha il compito di definire tutte e tre le componenti:
 - Il **predicato** è la condizione (o il valore) che un thread controllerà per determinare se deve attendere
 - il **mutex** è il meccanismo che protegge il predicato
 - la **variabile condizione** è il meccanismo con cui il thread attende il verificarsi della condizione

Variabili condizione libreria Pthread

- Prima di usare una variabile condizione (che è di tipo `pthread_cond_t`) è necessario inizializzarla
 - *Staticamente*: mediante la costante `PTHREAD_COND_INITIALIZER`
 - *Dinamicamente*: mediante `pthread_cond_init()`
 - Si usa, successivamente, `pthread_cond_destroy()` per deallocare una variabile condizione prima di liberare la memoria

```
#include <pthread.h>

int pthread_cond_init(pthread_cond_t *cond,
                      pthread_condattr_t *attr);

int pthread_cond_destroy(pthread_cond_t *cond);

/* restituiscono 0 se OK, numero errore se falliscono */
```

Attendere e segnalare una condizione

- Attesa

- Un thread può attendere su una variabile condizione per un tempo indefinito, invocando `pthread_cond_wait()`
- Oppure per un tempo specifico, invocando `thread_cond_timedwait()`

- Segnalazione

- Quando la condizione si verifica, si può risvegliare almeno un thread in attesa (`pthread_cond_signal()`)
- oppure tutti i thread in attesa (`pthread_cond_broadcast()`)

Attendere e segnalare una condizione

```
#include<pthread.h>

int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *cptr, pthread_mutex_t *mptr);
int pthread_cond_signal(pthread_cond_t *cptr);
int pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *cptr);
int pthread_cond_timedwait(pthread_cond_t *cptr, pthread_mutex_t *mptr, const struct
    timespec *abstime);
/* ritornano 0 se OK, un errore se falliscono */
```

- Il mutex passato a `pthread_cond_wait()` protegge la condizione
 - Il chiamante lo passa bloccato alla funzione
 - La funzione pone il thread chiamante nella lista dei thread in attesa della condizione e sblocca il mutex (tutto in modo atomico)
 - Quando `pthread_cond_wait()` ritorna, il mutex viene di nuovo bloccato

Tipica sequenza di azioni

Thread principale

- Dichiara ed inizializza dati/variabili globali che richiedono sincronizzazione
- Dichiara ed inizializza una variabile condizione
- Dichiara ed inizializza un mutex associato
- Crea thread A e B

Thread A

- Esegue fino al punto in cui una certa condizione deve verificarsi
- Lock il mutex associato e controlla il valore di una variabile globale
- Chiama `pthread_cond_wait()` per effettuare una wait bloccante (automaticamente e atomicamente corrisponde ad un unlock del mutex associato in modo tale che possa essere usato dal thread B) in attesa che il thread B lo risvegli, nel caso la condizione non sia verificata
- Quando risvegliato, il lock del mutex avviene in modo automatico e atomico
- Svolge le operazioni in mutua esclusione
- Unlock il mutex in modo esplicito
- Continua

Thread B

- Lavora
- Lock il mutex associato
- Modifica il valore della variabile globale su cui il thread A è in attesa
- Controlla il valore della variabile globale di attesa del thread A. Se si verifica la condizione desiderata, risveglia il thread A invocando `pthread_cond_signal()`
- Unlock il mutex
- Continua

Thread principale

Join / Continua

Esempio (mutex e variabili condizione)

- La condizione è lo stato di una coda di lavoro (coda non vuota)
 - Proteggiamo la condizione con un mutex e valutiamo la condizione in un ciclo while
 - Quando poniamo un messaggio sulla coda di lavoro, manteniamo il mutex bloccato che, però, non è necessario mantenere bloccato quando segnaliamo ai thread in attesa

```

#include<stdio.h>

struct msg {
    struct msg *m_next;
    /* ... altra roba ... */
};

struct msg *workq;

pthread_cond_t qready = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
pthread_mutex_t qlock = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

void process_msg(void) {           /* thread che elabora messaggi, se presenti */
    struct msg *mp;
    for ( ; ; ) {
        pthread_mutex_lock(&qlock);
        while(workq==NULL)
            pthread_cond_wait(&qready, &qlock);
        mp = workq;
        workq = mp -> mnext;
        pthread_mutex_unlock(&qlock);
        /* ora elabora il messaggio mp */
    }
}

```

Esempio (mutex e variabili condizione)

Esempio (cont.)

```
void enqueue_msg(struct msg *mp) {      /* thread che aggiungono messaggi in coda */

    pthread_mutex_lock(&qlock);
    mp->m_next = workq;
    workq = mp;
    pthread_cond_signal(&qready);
    pthread_mutex_unlock(&qlock);

}
```

Produttore Consumatore

- Uno o più produttori (thread o processi) creano elementi che sono elaborati successivamente da uno o più consumatori (thread o processi)
- Gli elementi sono passati tra i produttori e i consumatori usando qualche forma di IPC
- Quando si usa memoria condivisa come forma di IPC tra il produttore ed il consumatore è necessaria una forma appropriata di sincronizzazione
- Cominciamo utilizzando i mutex

Produttore-Consumatore

- Consideriamo thread *multipli produttori* ed un *singolo thread consumatore* in un singolo processo
- Un array di interi `buff` contiene gli elementi prodotti e consumati (i dati condivisi)
- Assumiamo che
 - i produttori impostano `buff[0]` a 0, `buff[1]` a 1 e così via
 - il consumatore accede all'array e verifica che ciascuna entrata sia corretta
- In questo primo esempio ci limitiamo a *sincronizzare solo i thread produttori* (non avviamo il thread consumatore fino a che tutti i produttori hanno finito)

Produttore-Consumatore 1

```
#include      ...
#define MAXNITEMS          1000000
#define MAXNTHREADS         100

int          nitems; //sola lettura per prod. e cons.
struct {
    pthread_mutex_t      mutex;
    int    buff[MAXNITEMS];
    int    nput;
    int    nval;
} shared = { PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER };
void    *produce(void *), *consume(void *);
```

Variabili globali condivise tra i thread

- Le raggruppiamo in una struttura chiamata `shared` insieme al mutex per sottolineare che a queste variabili si accede solo quando il mutex è bloccato (acquisito)
- `nput` è il prossimo indice in cui bisogna memorizzare nell'array `buff`
- `nval` è il prossimo valore da memorizzare (0,1,2..)
- La struttura è allocata ed il mutex è inizializzato per sincronizzare i thread produttori

main()

```
int main(int argc, char **argv)
{
    int             i, nthreads, count[MAXNTHREADS];
    pthread_t       tid_produce[MAXNTHREADS], tid_consume;
    if (argc != 3)
        {printf("usage: prodcos <#items> <#threads>");exit(-1);}
    nitems = MIN(atoi(argv[1]), MAXNITEMS);
    nthreads = MIN(atoi(argv[2]), MAXNTHREADS);
    /* inizia tutti i thread produttore */
    for (i = 0; i < nthreads; i++) {
        count[i] = 0;
        pthread_create(&tid_produce[i], NULL, produce, &count[i]);
    }
    /* aspetta tutti i thread produttore */
    for (i = 0; i < nthreads; i++) {
        pthread_join(tid_produce[i], NULL);
        printf("count[%d] = %d\n", i, count[i]);
    }
    /* inizia e poi aspetta il thread consumatore */
    pthread_create(&tid_consume, NULL, consume, NULL);
    pthread_join(tid_consume, NULL);
    exit(0);
}
```

Creazione thread produttori

- Sono creati i thread produttori ed ognuno esegue la funzione **produce**
- L'argomento per ogni produttore è un puntatore ad un elemento dell'array **counter**
 - Prima si inizializza il contatore a 0 e ogni thread incrementa questo contatore ogni volta che memorizza un elemento nel buffer
- Aspettiamo che tutti i thread produttori terminino e dopo si avvia il thread consumatore
 - Aspettiamo che il consumatore finisca e terminiamo

Produttore

```
void *produce(void *arg)
{
    for ( ; ; ) {
        pthread_mutex_lock(&shared.mutex);
        if (shared.nput >= nitems) {
            pthread_mutex_unlock(&shared.mutex);
            return(NULL); /* array pieno */
        }
        shared.buff[shared.nput] = shared.nval;
        shared.nput++;
        shared.nval++;
        pthread_mutex_unlock(&shared.mutex);
        *((int *) arg) += 1;
    }
}
```

Produttore

- La regione critica per i produttori consiste nel verificare se il buffer è pieno
 - Proteggiamo questa porzione di codice con il **mutex**, assicurandoci di sbloccarlo appena finito il controllo e l'esecuzione delle relative istruzioni
- Osserviamo che l'incremento dell'elemento **count** (attraverso **arg**) non fa parte della regione critica perché ogni thread ha il proprio contatore (una locazione dell'array **count** nella funzione **main**)

Consumatore

```
void *
consume(void *arg)
{
    int      i;

    for (i = 0; i < nitems; i++) {
        if (shared.buf[i] != i)
            printf("buff[%d] = %d\n", i, shared.buf[i]);
    }
    return(NULL);
}
```

Consumatore

- Il consumatore verifica il contenuto dell'array controllando che ogni elemento dell'array è corretto e stampa un messaggio in caso di errore

```
$ ./prodcons 1000000 5
count[0] = 167165
count[1] = 249891
count[2] = 194221
count[3] = 191815
count[4] = 196908
```

Locking contro Waiting

- Vogliamo dimostrare che i mutex sono appropriati per il *locking* e non altrettanto per il *waiting* (attesa)
- Modifichiamo l'esempio del produttore-consumatore precedente ed avviamo il thread consumatore appena dopo che i thread produttori sono stati avviati
 - Ciò consente al consumatore di elaborare i dati non appena questi sono generati dai produttori
 - Dobbiamo sincronizzare il consumatore con i produttori per essere certi che il consumatore elabori solo i dati che sono già stati memorizzati dai produttori

Produttore-Consumatore 2

- Di seguito vediamo il codice relativo al main
 - Tutte le linee precedenti la dichiarazione del main non sono cambiate rispetto alla versione 1
- Creiamo il thread consumatore immediatamente dopo aver creato i thread produttori
- La funzione `produce` non cambia rispetto alla versione 1
- Mentre la funzione `consume` chiama una nuova funzione `consume_wait`

```

int main(int argc, char **argv)
{
    int i, nthreads, count[MAXNTHREADS];
    pthread_t tid_produce[MAXNTHREADS], tid_consume;
    if (argc != 3)
        {printf("usage: prodcons2 <#items> <#threads>"); exit(-1);}
    nitems = MIN(atoi(argv[1]), MAXNITEMS);
    nthreads = MIN(atoi(argv[2]), MAXNTHREADS);

    for (i = 0; i < nthreads; i++) {
        count[i] = 0;
        pthread_create(&tid_produce[i], NULL, produce, &count[i]);
    }
    pthread_create(&tid_consume, NULL, consume, NULL);
    /* aspetta tutti i produttori e il consumatore */
    for (i = 0; i < nthreads; i++) {
        pthread_join(tid_produce[i], NULL);
        printf("count[%d] = %d\n", i, count[i]);
    }
    pthread_join(tid_consume, NULL);

    exit(0);
}

```

main

Produttore-consumatore 2: produce

```
void *produce(void *arg)
{
    for ( ; ; ) {
        pthread_mutex_lock(&shared.mutex);
        if (shared.nput >= nitems) {
            pthread_mutex_unlock(&shared.mutex);
            return(NULL); /* array pieno */
        }
        shared.buff[shared.nput] = shared.nval;
        shared.nput++;
        shared.nval++;
        pthread_mutex_unlock(&shared.mutex);
        *((int *) arg) += 1;
    }
}
```

```

void consume_wait(int i)
{
    for ( ; ; ) {
        pthread_mutex_lock(&shared.mutex);

        if (i < shared.nput) {

            pthread_mutex_unlock(&shared.mutex);

            return;           /* un elemento è pronto */

        }

        pthread_mutex_unlock(&shared.mutex);
    }
}

void * consume(void *arg)
{
    int          i;

    for (i = 0; i < nitems; i++) {
        consume_wait(i);

        if (shared.buf[i] != i)

            printf("buff[%d] = %d\n", i, shared.buf[i]);
    }

    return(NULL);
}

```

Produttore-consumatore 2: consume

Consumatore

- Il consumatore deve aspettare
 - La funzione `consume` chiama `consume_wait` prima di prelevare il prossimo elemento dall'array
- La funzione `consume_wait` deve attendere fino a che i produttori hanno generato l' i -esimo elemento
- Per controllare questa condizione, il mutex del produttore è bloccato ed `i` è confrontato con l'indice `nput` del produttore
- Dobbiamo acquisire il blocco del mutex prima di controllare `nput` poiché questa variabile può essere in corso di aggiornamento da uno dei thread produttori

Consumatore

- La questione fondamentale è: cosa possiamo fare quando l'elemento non è disponibile?
 - Effettuiamo un ciclo sbloccando e bloccando il mutex ogni volta
 - Questa operazione è denominata **polling** e comporta un notevole spreco di tempo di CPU
 - Abbiamo bisogno di un altro tipo di sincronizzazione che consenta ai thread di dormire fino a che si verifichi qualche evento

Variabili condizione: attesa e segnalazione

- I **mutex** sono per il **locking** e una **variabile di condizione** è per l'attesa
 - Sono due tipi differenti di sincronizzazione
- E' necessario scegliere la "condizione" da aspettare e notificare
 - Questa è testata nel codice
- Ad una variabile condizione è sempre associato un mutex
 - Quando chiamiamo **pthread_cond_wait()** per attendere che qualche condizione sia vera, specifichiamo l'indirizzo della variabile condizione e l'indirizzo del corrispondente mutex

Produttore-consumatore 3

- Illustriamo l'uso delle variabili di condizione modificando il codice del produttore-consumatore visto in precedenza
- Le due variabili `nput` ed `nval` sono associate con il mutex, e mettiamo tutte e tre le variabili in una struttura chiamata `put`
 - struttura usata dai produttori
- L'altra struttura, `nready`, contiene un contatore, una variabile di condizione e un mutex
 - Inizializziamo la variabile condizione a `PTHREAD_COND_INITIALIZER`

Produttore-consumatore 3

```
#include ...  
  
#define MAXNITEMS 1000000  
#define MAXNTHREADS 100  
  
/* globali condivise dai thread */  
  
int nitems; /* sola lettura per prod. e cons. */  
int buff[MAXNITEMS];  
  
struct {  
    pthread_mutex_t mutex;  
    int nput; // indice successivo in cui memorizzare  
    int nval; // valore successivo da memorizzare  
} put = { PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER };  
  
struct {  
    pthread_mutex_t mutex;  
    pthread_cond_t cond;  
    int nready; // numero a disposizione del cons.  
} nready = { PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER, PTHREAD_COND_INITIALIZER };  
/* fine globali */  
  
void *produce(void *), *consume(void *);
```

```

int
main(int argc, char **argv)
{
    int             i, nthreads, count[MAXNTHREADS];
    pthread_t       tid_produce[MAXNTHREADS], tid_consume;
    if (argc != 3)
        {printf("usage: prodcons3 <#items> <#threads>");exit(-1);}

    nitems = MIN(atoi(argv[1]), MAXNITEMS);
    nthreads = MIN(atoi(argv[2]), MAXNTHREADS);

    /* crea tutti i produttori ed un consumatore */

    for (i = 0; i < nthreads; i++) {
        count[i] = 0;
        pthread_create(&tid_produce[i], NULL, produce, &count[i]);
    }

    pthread_create(&tid_consume, NULL, consume, NULL);

    /* aspetta tutti i produttori ed il consumatore */

    for (i = 0; i < nthreads; i++) {
        pthread_join(tid_produce[i], NULL);
        printf("count[%d] = %d\n", i, count[i]);
    }

    pthread_join(tid_consume, NULL);
    exit(0);
}

```

main

Produttore

```
void *produce(void *arg)
{
    for ( ; ; ) {
        pthread_mutex_lock(&put.mutex);
        if (put.nput >= nitems) {
            pthread_mutex_unlock(&put.mutex);
            return(NULL); /* array pieno */
        }
        buff[put.nput] = put.nval;
        put.nput++;
        put.nval++;
        pthread_mutex_unlock(&put.mutex);
        pthread_mutex_lock(&nready.mutex);
        if (nready.nready == 0)
            pthread_cond_signal(&nready.cond);
        nready.nready++;
        pthread_mutex_unlock(&nready.mutex);
        *((int *) arg) += 1;
    }
}
```

Produttore

- Usiamo il mutex `put.mutex` per bloccare la sezione critica quando il produttore pone un nuovo elemento nell'array
- Incrementiamo il contatore `nready.nready` che conta il numero di elementi pronti per il thread consumatore
- Prima dell'incremento, se il valore del contatore era 0, chiamiamo `pthread_cond_signal` per risvegliare un qualsiasi thread (l'unico consumatore) in attesa che tale valore diventi diverso da 0
- Possiamo vedere l'interazione del mutex e della variabile condizione associati al contatore (`nready`)
 - Il contatore è condiviso tra i produttori e il consumatore quindi l'accesso deve avvenire quando il mutex associato (`nready.mutex`) è bloccato
 - La variabile di condizione è usata per aspettare e segnalare

Consumatore

```
void *consume(void *arg)
{
    int i;

    for (i = 0; i < nitems; i++) {
        pthread_mutex_lock(&nready.mutex);
        while (nready.nready == 0)
            pthread_cond_wait(&nready.cond, &nready.mutex);
        nready.nready--;
        pthread_mutex_unlock(&nready.mutex);

        if (buff[i] != i)
            printf("buff[%d] = %d\n", i, buff[i]);
    }
    return(NULL);
}
```

Consumatore

- Il consumatore aspetta che `nready.nready` sia diverso da zero
- Poiché esso è condiviso tra i produttori ed il consumatore, possiamo testare il suo valore solo mentre il mutex associato è bloccato
- Se, mentre il mutex è bloccato, il valore è 0, chiamiamo `pthread_cond_wait()` per attendere
 - Ciò effettua due azioni in modo atomico:
 - Il mutex `nready.mutex` è sbloccato e
 - Il thread è messo in attesa fino a che qualche altro thread chiama `pthread_cond_signal()` per questa variabile condizione

Consumatore

- Prima di ritornare, `phtread_cond_wait` blocca il mutex `nready.mutex`
 - quando ritorna e troviamo che il contatore è diverso da zero, decrementiamo il contatore (sapendo che il mutex è bloccato) e poi sblocchiamo il mutex
- In questa implementazione, la variabile che mantiene la condizione è un contatore intero e l'impostazione della condizione è semplicemente l'incremento del contatore
 - In questo caso si è ottimizzato il codice in modo che il segnale si verifica solo quando il contatore va da 0 a 1

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>

#define MAX 10

pthread_mutex_t M; /* def.mutex condiviso tra thread */

int DATA=0;          /* variabile condivisa */

int accessi1=0; // num. accessi thread 1 alla sez. critica

int accessi2=0; // num. accessi thread 2 alla sez. critica

void *thread1_process (void * arg) {

    int k=1;

    while(k) {

        accessi1++;

        pthread_mutex_lock(&M);

        DATA++;

        k= (DATA>=MAX?0:1);

        pthread_mutex_unlock(&M);

        printf("accessi di T1: %d\n", accessi1);

        sleep(1);

    }

    pthread_exit (0);

}

```

Esempio 1 (uso dei mutex)

Esempio 1 (cont.)

```
void *thread2_process (void * arg) {  
    int k=1;  
    while(k)  
    {  
        accessi2++;  
        pthread_mutex_lock(&M);  
        DATA++;  
        k= (DATA>=MAX?0:1);  
        pthread_mutex_unlock(&M);  
        printf("accessi di T2: %d\n", accessi2);  
        sleep(1);  
    }  
    pthread_exit (0);  
}
```

Esempio 1 (cont.)

```
int main () {
    pthread_t th1, th2; // il mutex è inizialmente libero
    pthread_mutex_init (&M, NULL);
    if (pthread_create(&th1, NULL, thread1_process, NULL) < 0) {
        fprintf (stderr, "errore creazione per thread 1\n");
        exit (1);
    }
    if (pthread_create(&th2, NULL, thread2_process, NULL) < 0)
    {
        fprintf (stderr, "errore creazione per thread 2\n");
        exit (1);
    }
    pthread_join (th1, NULL);
    pthread_join (th2, NULL);
    printf("Accessi: T1: %d, T2 %d\n", accessi1, accessi2);
    printf("Totale accessi: %d\n", DATA);
    exit(0);
}
```

Esercizio 1

- Si realizzi un programma in C e Posix sotto Linux che, utilizzando la libreria Pthread
 - lancia n thread per cercare un elemento in una matrice nxn di caratteri
 - Ognuno dei thread cerca l'elemento in una delle righe della matrice
 - Non appena un thread ha trovato l'elemento cercato, rende note agli altri thread le coordinate dell'elemento e tutti i thread terminano (sono cancellati)

Esercizio 2

- Si realizzi un programma C e Posix in ambiente Linux che, impiegando la libreria Pthread, generi tre thread
 - I primi due thread sommano 1000 numeri generati casualmente ed ogni volta incrementano un contatore
 - Il terzo thread attende che il contatore incrementato dai due thread raggiunga un valore limite fornito da riga di comando, notifica l'avvenuta condizione e termina
 - Utilizzare le variabili condizione