

# Mutex e Variabili condizione

Laboratorio Sistemi Operativi

Giuseppe Salvi

Email: [giuseppe.salvi@uniparthenope.it](mailto:giuseppe.salvi@uniparthenope.it)

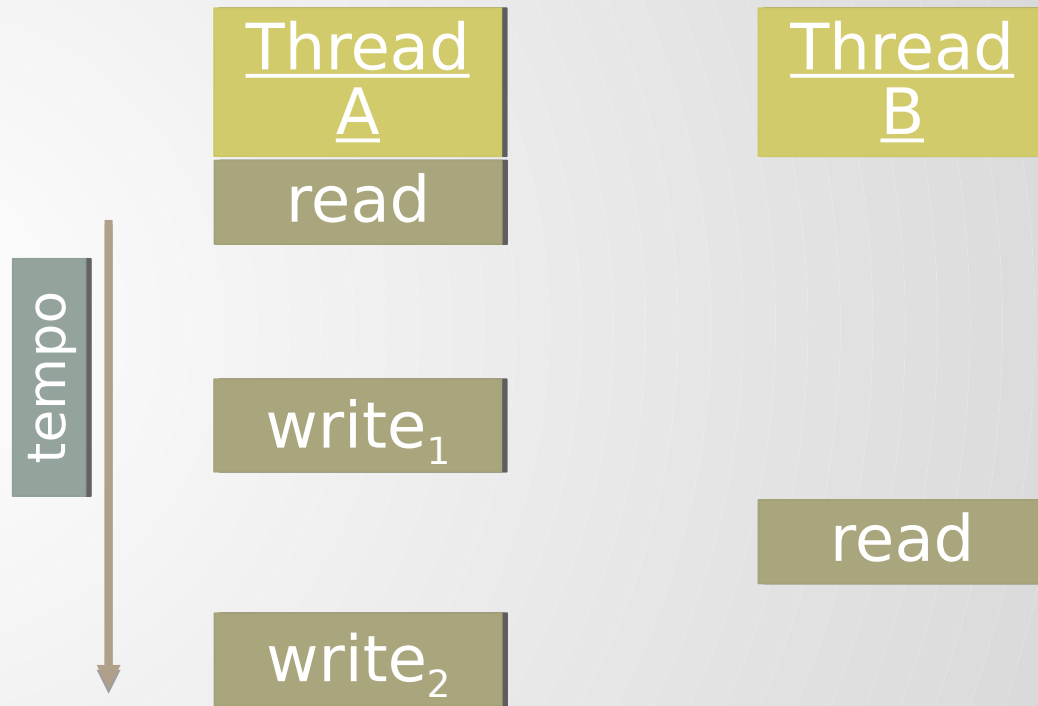
# Introduzione

- 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

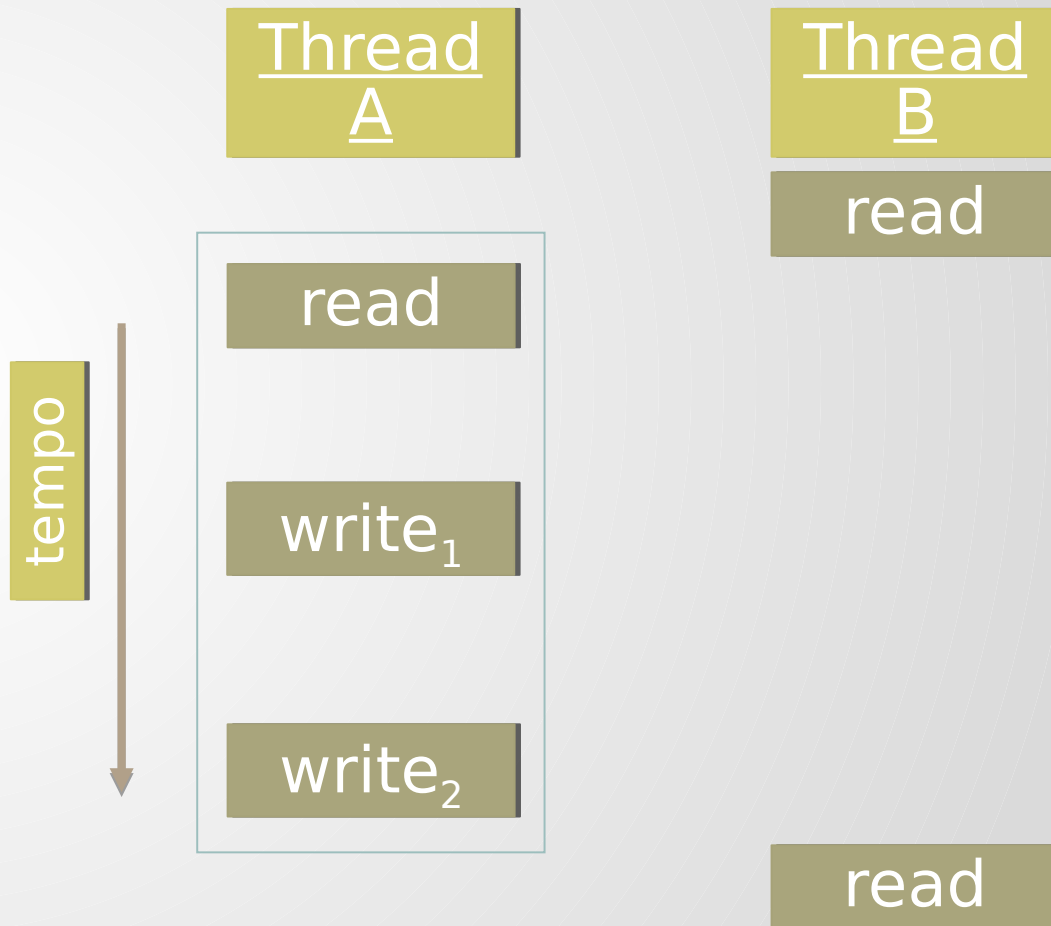
# Cicli di memoria intrecciati con due thread



# 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 non sincronizzati che incrementano la stessa variabile



# 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

# Esempio (race)

```
//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 (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
```

Possibile Output:

```
0.0.0.0.0.0.00.0.0.00.0.0.00.0.0.00.0.0.00.
```

```
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 deallocare 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

# Esempio (no race)

```
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 (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
```

Possibile Output:

```
0.0.0.0..0..0..0.0.0.0.0...0..0..00000000
```

```
myglobal e' uguale a 40
```



# Variabili condizione

- Le variabili condizione costituiscono un ulteriore meccanismo di sincronizzazione per i thread
  - Mentre i mutex implementano la sincronizzazione controllando l'accesso dei thread ai dati usando il polling, le variabili di condizione permettono di sincronizzare i thread sulla base dell'attuale valore dei dati (senza polling)
- Una variabile di condizione è sempre associata ad un mutex lock
- Quando un altro thread causerà l'occorrenza di tale evento, uno o più thread in attesa riceveranno un segnale e si risveglieranno

# Variabili 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 inicializzarla
  - *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

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

- Dichiarare ed inizializzare dati/variabili globali che richiedono sincronizzazione
- Dichiarare ed inizializzare una variabile condizione
- Dichiarare ed inizializzare un mutex associato
- Creare thread A e B

## Thread A

- Eseguire fino al punto in cui una certa condizione deve verificarsi
- Lock il mutex associato e controllare il valore di una variabile globale
- Chiamare `pthread_cond_wait()` per effettuare una wait bloccante in attesa del risveglio da parte del thread B (automaticamente e atomicamente corrisponde ad un unlock del mutex associato in modo tale che possa essere usato dal thread B).
- Quando risvegliato, lock il mutex in modo automatico e atomico
- 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
  - 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

# Esempio (mutex e variabili condizione)

```
#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) {
    struct msg *mp;

    for ( ; ; ) {
        pthread_mutex_lock(&qlock);

        while(workq==NULL)
            pthread_cond_wait(&qready, &qlock);

        mp = workq;
        workq = mp -> m_next;
        pthread_mutex_unlock(&qlock);
        /* ora elabora il messaggio mp */
    }
}
```



# Esempio (cont.)

```
void enqueue_msg(struct msg *mp) {  
    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 si limitano ad impostare `buff[0]` a 0, `buff[1]` a 1 e così via
- Assumiamo che 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

```

int main(int argc, char **argv){
    int i, nthreads, count[MAXNTHREADS];
    pthread_t tid_produce[MAXNTHREADS], tid_consume;

    if (argc != 3){
        printf("usage: prodcons <#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

- I thread produttori sono creati ed ognuno esegue la funzione **produce**
- L'argomento per ogni produttore è un puntatore ad un elemento dell'array **count**
  - 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.buff[i] != i)
            printf("buff[%d] = %d\n", i, shared.buff[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: main

```
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);
}
```

# 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;
    }
}
```

# Produttore-consumatore 2: consume

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

# 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 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 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 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 *);
```

# Produttore-consumatore 3

```
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);}

```

# 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);
        nready.nready++;

        if (nready.nready > 0)
            pthread_cond_signal(&nready.cond);

        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 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, `pthread_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 sblocciamo 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

# Esempio 1 (uso dei mutex)

```
#include <apue.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 (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  $n \times n$  di interi
- 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 in C e Posix sotto Linux che, con l'ausilio della libreria Pthread

- lancia  $n$  thread per calcolare la somma degli elementi di ciascuna riga di una matrice  $n \times n$  di interi generati casualmente in un intervallo  $[0,255]$ , allocata dinamicamente
- Il calcolo della somma degli elementi di ciascuna riga deve essere effettuato concorrentemente su tutte le righe, secondo la seguente modalità:
  - 📖 il thread  $i$ -esimo con  $i$  pari, calcola la somma degli elementi di indice pari della riga  $i$ -esima
  - 📖 il thread con indice  $i$  dispari, calcola la somma degli elementi di indice dispari della riga  $i$ -esima.
- Calcolate le somme parziali, si provvederà a ricercarne il minimo ed a stamparlo a video.