



UNIVERSITÀ DI PISA

Dipartimento di Informatica
Corso di Laurea Triennale in Informatica

Corso 2° anno - 12 CFU

Laboratorio II

Professori:
Prof. Giovanni Manzini

Autori:
Filippo Ghirardini

Anno Accademico 2023/2024

Contents

1	Thread	3
1.1	Creazione	4
1.2	Chiusura	4
1.3	Attesa	4
1.4	Errore	4
1.5	Implementazione	5
1.5.1	Mutex	6
1.5.2	Semafori	7
1.5.3	Condition variables	11

Laboratorio II

Realizzato da: Ghirardini Filippo

A.A. 2023-2024

1 Thread

Ci garantiscono di avere più unità di calcolo a disposizione all'interno del nostro programma. Non si pone più il problema della comunicazione, in quanto è tutto in comune, ma anzi adesso bisogna evitare che i dati si diano fastidio.

Link alla pagina del manuale per pthreads.

Esistono due tipologie di thread:

- **Joinable:** ci si aspetta che il thread principale esegua una join
- **Detached:** sono pensati per essere lanciati e ignorati dal thread principale. Quando terminano non rimangono *zombie*

Esempio 1.0.1 (Conta primi).

```
#include "xerrori.h"
// Prototipi
bool primo(int n);

// Struct che uso per passare argomenti ai thread
typedef struct {
    int start;           // intervallo dove cercare i primi
    int end;             // parametri di input
    int somma_parziale; // parametro di output
} dati;

// Funzione passata a pthread_create
void *tbody(void *v) {
    dati *d = (dati *) v;
    int primi = 0;
    // Cerco i primi nell'intervallo assegnato
    for(int j=d->start; j<d->end; j++) {
        if(primo(j)) primi++;
        usleep(1);
    }
    fprintf(stderr, "Il thread che partiva da %d ha terminato\n", d->start);
    d->somma_parziale = primi;
    pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    if(argc!=3) {
        fprintf(stderr, "Uso\n\t%s m num_threads\n", argv[0]);
        exit(1);
    }
    // conversione input
    int m= atoi(argv[1]);
    if(m<1) termina("limite primi non valido");
    int p= atoi(argv[2]);
    if(p<=0) termina("numero di thread non valido");

    // creazione thread ausiliari
    pthread_t t[p]; // Array di p indentificatori di thread
    dati d[p];      // Array di p struct che passerò ai p thread
    int somma = 0;   // Variabile dove accumulo il numero di primi
    for(int i=0; i<p; i++) {
        int n = m/p; // Quanti numeri verifica ogni thread + o -
        d[i].start = n*i; // Inizio range thread i
        d[i].end = (i==p-1) ? m : n*(i+1);
        pthread_create(&t[i], NULL, &tbody, &d[i], __LINE__, __FILE__);
    }
    // Attendo che i thread abbiano finito
```

```

    for(int i=0;i<p;i++) {
        xpthread_join(t[i],NULL, __LINE__, __FILE__);
        somma += d[i].somma_parziale;
    }
    // Restituisce il risultato
    printf("Numero primi tra 1 e %d (escluso): %d\n",m,somma);
    return 0;
}

```

1.1 Creazione

La funzione utilizzata *xpthreads* è un'estensione di *pthread* con la gestione degli errori, e prende in input i seguenti parametri:

1. L'**indirizzo** nel quale verrà scritto un identificatore per il thread
2. Eventuali **caratteristiche speciali** (non ci serve nel corso)
3. La **funzione** che contiene il codice eseguito dal thread
4. Ciò che viene dato come **argomento** alla funzione passata come terzo argomento. Essendo *void* andrà fatto un **casting** con le conseguenti precauzioni

Nell'esempio 1.0.1, non abbiamo rischi di **condivisione** di valori in quanto ogni thread ha solo accesso alla funzione che gli passiamo e con essa i parametri ed eventuali variabili globali (che non andrebbero mai utilizzate).

1.2 Chiusura

Per la terminazione di un thread si può chiamare

```
pthread_exit(NULL);
```

o alternativamente

```
return(NULL);
```

È possibile restituire alla funzione principale dei dati ma per il nostro tipo di utilizzo gestiremo lo scambio di informazioni tramite passaggi di indirizzo, senza ritornare nulla.

1.3 Attesa

Per attendere la terminazione di un thread si utilizza

```
xpthread_join(t[i],NULL, __LINE__, __FILE__);
```

che prende in input l'identificatore del thread in questione. Il secondo parametro serve eventualmente per recuperare ciò che mi viene restituito (noi quindi non lo utilizziamo).

1.4 Errore

La gestione degli errori è implementata dal professore come segue

```

#define Buflen 100
void xpperror(int en, char *msg) {
    char buf[Buflen];

    char *errmsg = strerror_r(en, buf, Buflen);
    if(msg!=NULL)
        fprintf(stderr,"%s: %s\n",msg, errmsg);
}

```

```

    else
        fprintf(stderr, "%s\n", errormsg);
}

int xpthread_create(pthread_t *thread, const pthread_attr_t *attr,
void *(*start_routine) (void *), void *arg, int linea, char *file) {
    int e = pthread_create(thread, attr, start_routine, arg);
    if (e!=0) {
        perror(e, "Errore pthread_create");
        fprintf(stderr, "== %d == Linea: %d, File: %s\n", getpid(), linea, file);
        pthread_exit(NULL);
    }
    return e;
}

int xpthread_join(pthread_t thread, void **retval, int linea, char *file) {
    int e = pthread_join(thread, retval);
    if (e!=0) {
        perror(e, "Errore pthread_join");
        fprintf(stderr, "== %d == Linea: %d, File: %s\n", getpid(), linea, file);
        pthread_exit(NULL);
    }
    return e;
}

```

Dato che i thread condividono le variabili globali, non possiamo sfruttare *errno* come con le altre funzioni. Viene quindi utilizzato il valore di ritorno della *create* e della *join*.

Note 1.4.0.1. Alcuni comandi aggiuntivi:

```
gettid(); // Restituisce l'ID del thread
```

1.5 Implementazione

Esempio 1.5.1 (Tabella numeri primi).

```

#include "xerrori.h"
#define QUI __LINE__, __FILE__

//Prototipi
bool primo(int n);

// struct che uso per passare argomenti ai thread
typedef struct {
    int start;           // intervallo dove cercare i primo
    int end;             // parametri di input
    int somma_parziale; // parametro di output
    int *tabella;        // tabella dei numeri primi da riempire
    int *pmessi;         // puntatore a indice in tabella
    pthread_mutex_t *pmutex; // mutex condiviso
} dati;

// funzione passata a pthread_create
void *tbody(void *v) {
    dati *d = (dati *) v;
    int primi = 0;
    // cerco i primi nell'intervallo assegnato
    for(int j=d->start; j<d->end; j++)
        if(primo(j)) {
            primi++;
            xpthread_mutex_lock(d->pmutex, QUI);
            d->tabella[(d->pmessi)] = j;
        }
}

```

```

        *(d->pmessi) += 1;
        xpthread_mutex_unlock(d->pmutex,QUI);
    }
    fprintf(stderr, "Il thread che partiva da %d ha terminato\n", d->start);
    d->somma_parziale = primi;
    pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    if(argc!=3) {
        fprintf(stderr, "Uso\n\t%s m num_threads\n", argv[0]);
        exit(1);
    }
    // conversione input
    int m= atoi(argv[1]);
    if(m<1) termina("limite primi non valido");
    int p= atoi(argv[2]);
    if(p<=0) termina("numero di thread non valido");

    // definizione mutex
    pthread_mutex_t mtabella;
    xpthread_mutex_init(&mtabella,NULL,QUI);
    // creazione thread ausiliari
    pthread_t t[p]; // array di p indentificatori di thread
    dati d[p];      // array di p struct che passerò alle p thread
    int somma = 0;   // variabile dove accumulo il numero di primi
    int *tabella = malloc(m*sizeof(int));
    if(tabella==NULL) xtermina("Allocazione fallita", __LINE__, __FILE__);
    int messi = 0;
    for(int i=0; i<p; i++) {
        int n = m/p; // quanti numeri verifica ogni figlio + o -
        d[i].start = n*i; // inizio range figlio i
        d[i].end = (i==p-1) ? m : n*(i+1);
        d[i].tabella = tabella;
        d[i].pmessi = &messi;
        d[i].pmutex = &mtabella;
        xpthread_create(&t[i], NULL, &tbody, &d[i],__LINE__, __FILE__);
    }
    // attendo che i thread abbiano finito
    for(int i=0;i<p;i++) {
        xpthread_join(t[i],NULL,__LINE__, __FILE__);
        somma += d[i].somma_parziale;
    }
    xpthread_mutex_destroy(&mtabella,QUI);
    // stampa tabella
    for(int i=0;i<messi;i++) printf("%8d",tabella[i]);
    printf("\nPrimi in tabella: %d\n",messi);
    // restituisce il numero di primi
    printf("Numero primi tra 1 e %d (escluso): %d\n",m,somma);
    return 0;
}

```

Note 1.5.0.1. Il tipo di dato da noi definito, avrà anche il numero di primi inseriti. Questo deve necessariamente essere un puntatore poiché deve essere condiviso tra tutti i thread e altrimenti ce ne sarebbe uno diverso per ognuno.

1.5.1 Mutex

Per garantire l'accesso da parte di più thread ad un'unica risorsa in memoria è necessario usare i **mutex** (andrebbero bene anche i semafori). In questo modo permettiamo l'accesso *esclusivo* ad un

solo thread alla volta.

Un mutex può avere due stati: **locked** e **unlocked**. Quando un thread ha bisogno della risorsa associata, lo blocca, accede alla risorsa e poi lo sblocca. Se un altro thread nel frattempo prova ad accedere rimane in attesa che si sblocchi il mutex.

La **creazione** del mutex avviene come segue:

```
pthread_mutex_t mutex;
xpthread_mutex_init(&mutex, NULL, __LINE__, __FILE__);
```

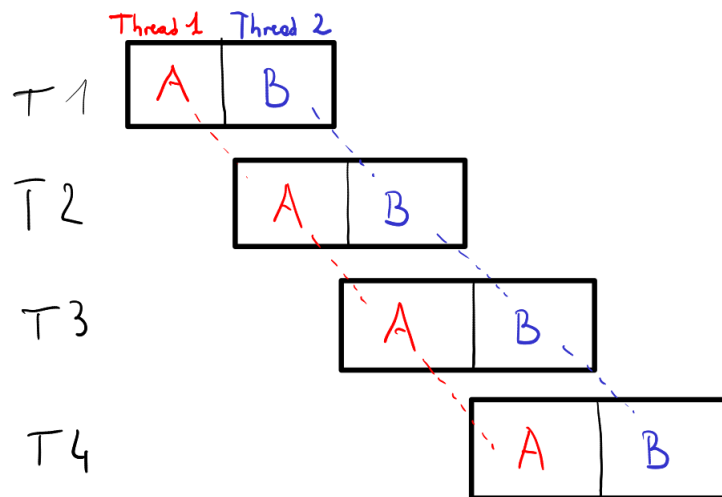
Anche qui il secondo parametro serve per specificare eventuali caratteristiche che deve avere il mutex. Le **operazioni** su di esso si fanno come segue:

```
xpthread_mutex_lock(mutex, __LINE__, __FILE__);
xpthread_mutex_unlock(mutex, __LINE__, __FILE__);
xpthread_mutex_destroy(&mutex, __LINE__, __FILE__);
```

Note 1.5.1.1. È importante sbloccare il *mutex* il prima possibile per evitare attese inutili e garantire l'efficienza del codice.

1.5.2 Semafori

Abbiamo un compito complesso da eseguire, che consiste in una serie di *task* ognuno suddiviso in due parti A e B. Prima di eseguire la parte B devo necessariamente aver eseguito la parte A ma mentre eseguo la B posso iniziare ad eseguire il task successivo.

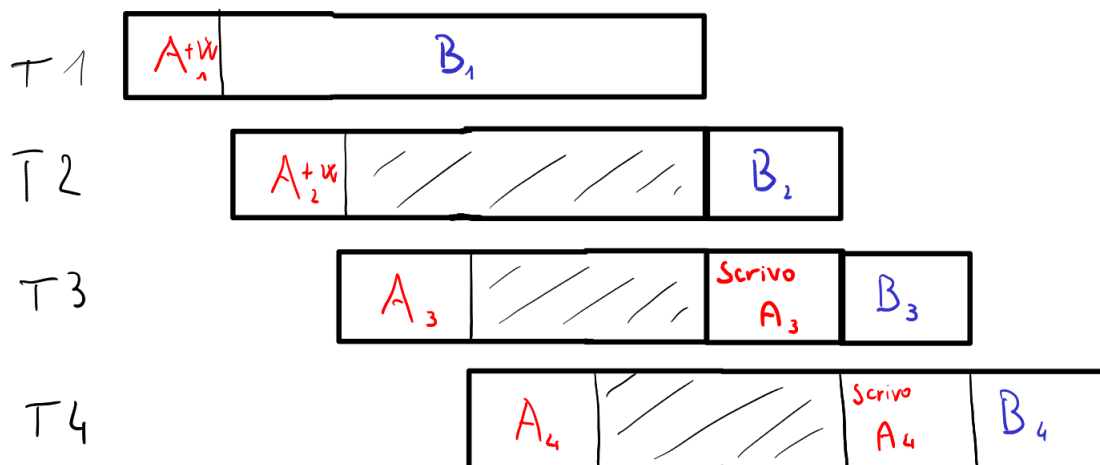


Tutte le parti A del task verranno eseguite dal thread 1 (**produttore**) e tutte le B dal 2 (**consumatore**). Di conseguenza se ogni parte richiede $1u$ di tempo, con questo schema serviranno $5u$.

Si rende necessario un modo di condividere le informazioni tra i due thread, ovvero condividere i risultati della parte A. Il secondo thread di contro deve rimanere in attesa finché non gli arrivano i risultati da poter elaborare nella parte B.

Per fare ciò si usano i **semafori**, in modo che il secondo thread rimanga in **wait** in attesa dei dati, e appena il primo ha finito di lavorare mette i dati nel buffer comune e fa una **post** che sblocca il secondo.

Questo meccanismo è utile anche considerando che non tutte le parti dei task siano effettivamente di durata uguale. In questa casistica quando il primo thread si porta avanti e arriva a calcolare il terzo task, deve mettersi in attesa per evitare di sovrascrivere il terzo risultato sopra al secondo che non è ancora stato elaborato.



Esempio 1.5.2. Esempio di esecuzione di 8 task con le varie fasi: Se cambiamo i tempi necessari

#Task	1	2	3	4	5	6	7	8
Inizio calcolo	0	2	3	4	5	6	7	8
Tempo prod	2	1	1	1	1	1	1	1
Fine calcolo prod	2	3	4	5	6	7	8	9
Scrittura buffer	2	3	4	5	6	7	8	9
Lettura cons	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo cons	1	1	1	1	1	1	1	1
Fine totale	3	4	5	6	7	8	9	10

al produttore e al consumatore: In questo caso abbiamo delle inefficienze in quanto produttore e

#Task	1	2	3	4	5	6	7	8
Inizio calcolo	0	1	2	6	11	16	21	26
Tempo prod	1	1	1	1	5	5	5	5
Fine calcolo prod	1	2	3	7	16	21	26	31
Scrittura buffer	1	2	6	11	16	21	26	31
Lettura cons	1	6	11	16	21	22	26	31
Tempo cons	5	5	5	5	1	1	1	1
Fine totale	6	11	16	21	22	23	27	32

consumatore devono aspettarsi a vicenda avendo tempistiche di lavoro diverse.

Per risolvere il problema descritto nell'esempio 1.5.2 è possibile aumentare la **grandezza del buffer**, permettendo di accumulare più di un singolo risultato della parte A alla volta e riducendo quindi i tempi.

Per implementare la soluzione usiamo due semafori:

- **sem_free_slots**, inizializzato a b , indica il numero di slot dove il produttore può scrivere
- **sem_data_items**, inizializzato a 0, indica il numero di oggetti scritti dal produttore che il consumatore deve elaborare

Se il produttore deve scrivere qualcosa effettua

```
sem_wait(sem_free_slots);
```

e dopo aver aspettato effettua la scrittura del dato e poi

```
sem_post(sem_data_items);
```

Quando invece il consumatore vuole un nuovo dato effettua

```
sem_wait(sem_data_items);
```

che aspetta che ci sia un dato disponibile e mantiene aggiornato il numero di oggetti sul buffer. Legge poi il dato ed esegue

```
sem_post(sem_free_slots);
```

che mantiene aggiornato il numero di slot liberi.

Dopo ogni operazione è mantenuto l'invariante:

$$sem_free_slots + sem_data_items = b$$

Per gestire le posizioni libere occupate nel buffer usiamo un indice p per la prossima posizione dove scriverà il produttore e un indice c per la prossima posizione dove legge il consumatore.

Grazie all'uso dei semafori abbiamo che:

$$c \leq p \leq c + b$$

Quando $c = p$, `sem_data_items` vale 0 e c non può avanzare oltre, quando invece $p = c + b$, `sem_free_slots` è 0 e p non può avanzare oltre. In questo modo facciamo finta di avere un buffer infinito ma accediamo alle posizioni $c\%b$ e $p\%b$ che sono tra 0 e $b - 1$.

Esempio 1.5.3. Modifichiamo l'esempio 1.0.1 implementando un buffer e dei semafori.

```
#define Buf_size 10

// Struct contenente i parametri di input e output di ogni thread
typedef struct {
    int quanti; // output
    long somma; // output
    int *buffer;
    int *pcindex;
    sem_t *sem_free_slots;
    sem_t *sem_data_items;
} dati;

// Funzione eseguita dai thread consumer
void *tbody(void *arg)
{
    dati *a = (dati *)arg;
    a->quanti = 0;
    a->somma = 0;
    int n;
    fprintf(stderr, "Consumatore %d partito\n", getpid());
    do {
        xsem_wait(a->sem_data_items, __LINE__, __FILE__);
        n = a->buffer[(a->pcindex) % Buf_size];
        *(a->pcindex) += 1;
        xsem_post(a->sem_free_slots, __LINE__, __FILE__);
        if(n > 0 && primo(n)) {
            a->quanti++;
            a->somma += n;
        }
    } while(n != -1);
    fprintf(stderr, "Consumatore %d sta per terminare\n", getpid());
    pthread_exit(NULL);
}

int main(int argc, char *argv[])
{

```

```

// Leggi input
if(argc!=2) {
    printf("Uso\n\t%s file\n", argv[0]);
    exit(1);
}
// Numero di thread ausiliari
int p = 1;
assert(p>0);
int tot_primi = 0;
long tot_somma = 0;
int e,n,cindex=0;
// Threads related
int buffer[Buf_size];
int pindex=0;
// pthread_mutex_t mu = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_t t[p];
dati a[p];
sem_t sem_free_slots, sem_data_items;
xsem_init(&sem_free_slots,0,Buf_size,__LINE__,__FILE__);
xsem_init(&sem_data_items,0,0,__LINE__,__FILE__);
for(int i=0;i<p;i++) {
    // Faccio partire il thread i
    a[i].buffer = buffer;
    a[i].pcindex = &cindex;
    a[i].sem_data_items = &sem_data_items;
    a[i].sem_free_slots = &sem_free_slots;
    xpthread_create(&t[i],NULL,tbody,a+i,__LINE__,__FILE__);
}
fputs("Thread ausiliari creati\n",stderr);
FILE *f = fopen(argv[1],"r");
if(f==NULL) {perror("Errore apertura file"); return 1;}
while(true) {
    e = fscanf(f,"%d", &n);
    if(e!=1) break; // Se il valore letto correttamente e==1
    assert(n>0); // I valori del file devono essere positivi
    xsem_wait(&sem_free_slots,__LINE__,__FILE__);
    buffer[pindex++ % Buf_size] = n;
    xsem_post(&sem_data_items,__LINE__,__FILE__);
}
fputs("Dati del file scritti nel buffer\n",stderr);
if(fclose(f)!=0) xtermina("Errore chiusura input file",__LINE__,__FILE__);
// Terminazione threads
for(int i=0;i<p;i++) {
    xsem_wait(&sem_free_slots,__LINE__,__FILE__);
    buffer[pindex++ % Buf_size] = -1;
    xsem_post(&sem_data_items,__LINE__,__FILE__);
}
fputs("Valori di terminazione scritti nel buffer\n",stderr);
// Join dei thread e calcolo risultato
for(int i=0;i<p;i++) {
    xpthread_join(t[i],NULL,__LINE__,__FILE__);
    tot_primi += a[i].quanti;
    tot_somma += a[i].somma;
}
xsem_destroy(&sem_data_items,__LINE__,__FILE__);
xsem_destroy(&sem_free_slots,__LINE__,__FILE__);
// pthread_mutex_destroy(&mu);
printf("Trovati %d primi con somma %ld\n",tot_primi,tot_somma);
return 0;
}

```

Note 1.5.2.1. Come visto in 1.5.1.1 è importante dare il via libera agli altri thread tramite una *post* del semaforo il prima possibile per garantire l'efficienza del codice.

Il problema di questo metodo è la **terminazione**. La strategia più semplice per segnalare al consumatore che il lavoro è finito è quello di passare un valore *dummy* concordato in precedenza. Ad esempio nel caso 1.5.3 abbiamo usato -1 .

Osservazione 1.5.1. Se invece di utilizzare un buffer di tipo circolare utilizzassi una pila, non sarebbe garantito l'ordine di elaborazione dei dati prodotti dal consumatore, che potrebbe trovarsi come primo dato il *dummy* e terminare subito.

1.5.3 Condition variables

Ci permette di utilizzare condizioni per fermare il thread personalizzate.

Esempio 1.5.4. Supponiamo di avere diversi thread che eseguono diverse operazioni, ognuna con una necessità di memoria diversa. Il sistema ha a disposizione $100MB$ da dividere tra di loro. Si rende quindi necessario un controllore centrale che gestisca la cessione della memoria ai vari thread. Se ad esempio un primo thread richiede $20MB$, i disponibili diventano $80MB$. Quando poi un altro thread ne richiede ad esempio $90MB$, il controllore deve metterlo in attesa finché non ne sono disponibili di nuovo a sufficienza.

```
fprintf(stderr, "%2d Assegnati: %3d. Rimanenti: %4d\n\n", gettid()%100,
memoria_disponibile >= quante_ne_serve
```

La comodità rispetto ai semafori è che in questi l'unico test possibile è verificare che il suo valore sia ≥ 0 mentre in questo caso non siamo vincolati.

Una possibile implementazione è la seguente:

```
// Struct che tiene traccia della memoria disponibile e
// contiene le variabili cond/mutex per regolarne l'utilizzo
typedef struct {
    pthread_cond_t *cv; // Condition variable
    pthread_mutex_t *mu; // Mutex
    int MB; // Memoria attualmente disponibile
} heap;

// Simula allocazione con spazio limitato
void richiedi(heap *h, int n) {
    // E' necessario che anche il ciclo while sia sotto lock del mutex
    pthread_mutex_lock(&h->mu, QUI);
    while(n > h->MB) {
        // In automatico viene rilasciato il mutex prima di addormentarsi
        pthread_cond_wait(h->cv, h->mu, QUI);
        // Al risveglio del thread viene riacquisito il mutex (se ce ne sono diversi in
        // attesa, il piu veloce lo prende, gli altri attendono)
    }
    h->MB -= n;
    pthread_mutex_unlock(&h->mu, QUI);
}

// Deallocazione
void libera(heap *h, int n) {
    pthread_mutex_lock(&h->mu, QUI);
    h->MB += n;
    // Sveglia tutti i thread avvisando che ci sono risorse disponibili
    pthread_cond_broadcast(h->cv, QUI);
    pthread_mutex_unlock(&h->mu, QUI);
}

// Codice thread tipo 1, chiede 10,20,...,50
```

```

void *tipo1(void *v) {
    heap *h = (heap *) v;
    for(int i=1;i<=5;i++) {
        int m = 10*i;
        richiedi(h,m);
        sleep(1);
        libera(h,m);
    }
    return NULL;
}

// Codice thread tipo 2, chiede 15,25,...,55
void *tipo2(void *v) {
    heap *h = (heap *) v;
    for(int i=1;i<=5;i++) {
        int m = 10*i+5;
        richiedi(h,m);
        sleep(1);
        libera(h,m);
    }
    return NULL;
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    // Inizializza heap
    pthread_cond_t c = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
    pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
    heap h;
    h.cv = &c; h.mu = &m;
    h.MB = mem;

    // Esegue i thread
    pthread_t t[nt];
    // Esegue un thread tipo1
    xpthread_create(&t[0],NULL,&tipo1,&h,QUI);
    for(int i=1;i<nt;i++)
    // Esegue nt-1 thread di tipo 2
        xpthread_create(&t[i],NULL,&tipo2,&h,QUI);

    // Attende terminazione thread e termina
    for(int i=0;i<nt;i++)
        xpthread_join(t[i],NULL,QUI);
    xpthread_cond_destroy(&c,QUI);
    xpthread_mutex_destroy(&m,QUI);

    return 0;
}

```

Esempio 1.5.5. Un esempio di implementazione di una soluzione al problema dei **produttori e consumatori** usando le variabili condivise è la seguente:

```

typedef struct {
    int readers;
    bool writing;
    pthread_cond_t cond; // Condition variable
    pthread_mutex_t mutex; // Mutex associato alla condition variable
} rw;

// Inizializza rw, ne scrittori ne lettori
void rw_init(rw *z)

```

```
{
    z->readers = 0;
    z->writing = false;
    xpthread_cond_init(&z->cond,NULL,QUI);
    xpthread_mutex_init(&z->mutex,NULL,QUI);
}

// Inizio uso da parte di un reader
void read_lock(rw *z)
{
    pthread_mutex_lock(&z->mutex);
    while(z->writing==true)
        pthread_cond_wait(&z->cond, &z->mutex); // attende fine scrittura
    z->readers++;
    pthread_mutex_unlock(&z->mutex);
}

// Fine uso da parte di un reader
void read_unlock(rw *z)
{
    assert(z->readers>0); // Ci deve essere almeno un reader (me stesso)
    assert(!z->writing); // Non ci devono essere writer
    pthread_mutex_lock(&z->mutex);
    z->readers--;          // Cambio di stato
    if(z->readers==0)
        // A differenza della broadcast, la signal sveglia solamente uno dei thread in attesa
        pthread_cond_signal(&z->cond);
    pthread_mutex_unlock(&z->mutex);
}

// Inizio uso da parte di writer
void write_lock(rw *z)
{
    pthread_mutex_lock(&z->mutex);
    while(z->writing || z->readers>0)
        // Attende fine scrittura o lettura
        pthread_cond_wait(&z->cond, &z->mutex);
    z->writing = true;
    pthread_mutex_unlock(&z->mutex);
}

// Fine uso da parte di un writer
void write_unlock(rw *z)
{
    assert(z->writing);
    pthread_mutex_lock(&z->mutex);
    z->writing=false;      // Cambio stato
    // Segnala a tutti quelli in attesa
    pthread_cond_broadcast(&z->cond);
    pthread_mutex_unlock(&z->mutex);
}
```
