

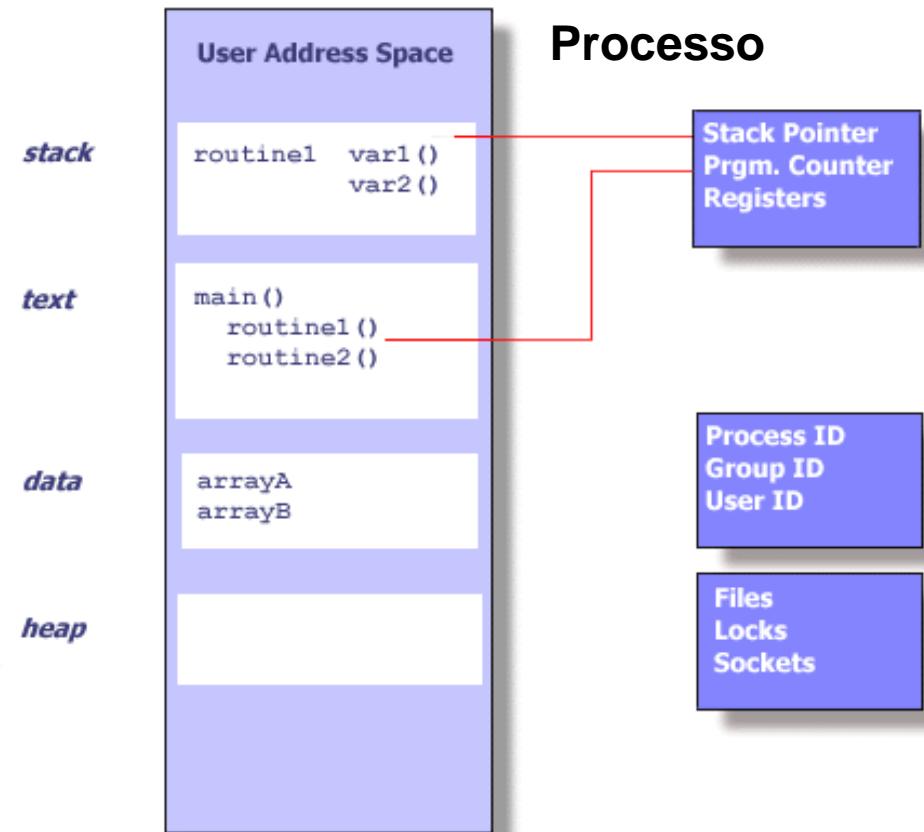
Thread e POSIX Thread

Introduzione alla
programmazione concorrente
in linguaggio C
in ambito POSIX

...

I THREAD

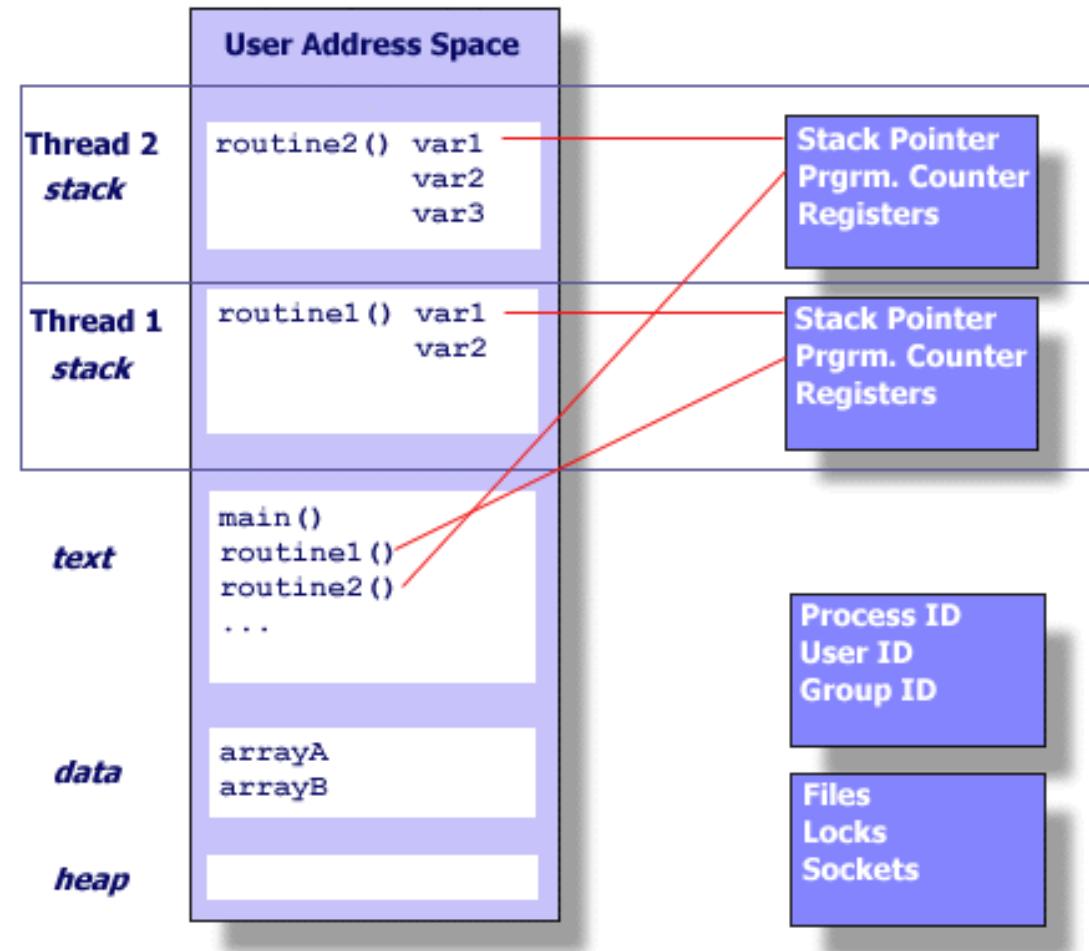
- **Un thread è un singolo flusso di istruzioni, all'interno di un processo, che lo scheduler può fare eseguire separatamente e concorrentemente con il resto del processo.**
- Un thread può essere pensato come una procedura che lavora in parallelo con altre procedure all'interno di un processo
- Per eseguire in parallelo con il resto del processo, un thread deve possedere delle strutture dati (un proprio contesto) cioè un proprio ambiente di esecuzione, per realizzare il proprio flusso di controllo.
- **Ogni processo ha il proprio contesto**, ovvero il proprio Process ID, Program Counter, Stato dei Registri, Stack, Codice, Dati, File Descriptors, Entità IPC, Azioni dei segnali.
- Il Codice del processo è pensato per eseguire procedure sequenzialmente.
- L'astrazione dei thread vuole consentire di eseguire procedure in parallelo (concorrentemente), ovviamente scrivendo tali procedure in modo opportuno.
- **Ciascuna procedura da eseguire in parallelo sarà un thread.**



Il contesto di esecuzione di ciascun Thread

- Un thread è un singolo flusso di istruzioni, all'interno di un processo, che lo scheduler può fare eseguire separatamente e concorrentemente con il resto del processo. Per fare questo uno thread deve possedere un proprio contesto di esecuzione.
- Un Processo può avere più thread.
- Tutti i thread di uno stesso processo condividono le risorse del processo (dati globali e CPU) ed eseguono nello stesso spazio utente.
- Ciascun Thread può usare tutte le **variabili globali** del processo, e condivide **la tabella dei descrittori di file** del processo.
- Ciascun thread in più potrà avere anche dei **propri dati locali**, e sicuramente avrà un proprio **Stack**, un proprio **Program Counter**, un proprio **Stato dei Registri** ed una propria variabile **errno**.
- Dati globali ed entità del Thread (Dati, Stack, Codice, Program Counter, Stato dei Registri) rappresentano lo **stato di esecuzione del singolo thread**.

Processo con 2 thread



Vantaggi e Svantaggi nell'uso di Thread

□ **Vantaggi:**

- Visibilità dei dati globali: condivisione di oggetti semplificata.
- Più flussi di esecuzione.
- gestione semplice di eventi asincroni (I/O per esempio)
- Comunicazioni veloci. Tutti i thread di un processo condividono lo stesso spazio di indirizzamento, quindi le comunicazioni tra thread sono più semplici delle comunicazioni tra processi.
- Context switch veloce. Nel passaggio da un thread ad un altro di uno stesso processo viene mantenuto buona parte dell'ambiente.

□ **Svantaggi:**

- Concorrenza invece di parallelismo:
 - occorre gestire la mutua esclusione per evitare che più thread utilizzino in maniera scoordinata i dati condivisi, modificandoli in momenti sbagliati.
- La concorrenza deve essere gestita
 - sia da **chi scrive il programma** che usa i thread.
 - sia dal **sistema operativo che implementa le funzioni di libreria e le system calls utilizzate "contemporaneamente" da più thread di uno stesso processo.**
 - Le funzioni delle librerie di sistema e le system calls devono essere **rientranti (thread safe call)**.

Operazioni Atomiche: definizione

il termine operazione qui è volutamente generico

- **In generale**, un'operazione che usa dei dati condivisi è **atomica** se è indivisibile, ovvero **se nessun'altra operazione**, che usa quegli stessi dati condivisi, **può cominciare prima che la prima sia finita**, e quindi non può esserci interleaving tra le diverse operazioni. Il risultato di quella operazione è sempre lo stesso se parte dalle stesse condizioni iniziali.
- Quando parleremo di istruzioni macchina che accedono alla memoria e introdurremo la paginazione e il page fault, vedremo che la parte **verde** di questa affermazione dovrà essere modificata e meglio precisata, ottenendo l'affermazione **blu** qui sotto:
- **un'operazione, che usa dati condivisi, è atomica, rispetto alle operazioni che usano gli stessi dati condivisi, se viene eseguita in modo indivisibile.**
 - **Può però capitare che una operazione indivisibile debba essere interrotta per permettere l'esecuzione di una operazione più urgente.**
 - **In caso di interruzione, un modo per rendere comunque l'operazione atomica consiste nell'attendere la fine dell'interruzione e far ripartire dall'inizio l'operazione interrotta che si voleva fosse eseguita atomicamente.**
 - **Poiché in caso di interruzione riparto da capo, le condizioni iniziali da cui l'operazione riparte potrebbero essere nel frattempo cambiate.**
 - **Ma, a parità di condizioni di partenza, il risultato di una operazione atomica sarà sempre lo stesso.**

Le istruzioni in linguaggio C sono Atomiche ?

- **Le istruzioni in linguaggio C sono atomiche? NO.**
 - in generale le istruzioni in linguaggio di alto livello non sono atomiche.
- **Le istruzioni di solo assegnamento di una costante ad una variabile e le istruzioni di sola lettura di una variabile, sono atomiche? NO**
 - **Sono atomiche solo se la dimensione della variabile è minore dell'ampiezza del bus dati.**
 - Ad esempio, in un processore i386, con bus dati a 32 bit, l'assegnamento seguente viene addirittura tradotto in DUE istruzioni assembly.
(vedere test_assegnamento_var_grande.c)

```
uint64_t G;  
int main()  
{  
    G=2034573288479;  
}
```



```
mov    DWORD PTR G, -1241209825  
mov    DWORD PTR G+4, 473
```

NB: Se non disponete di un processore con bus dati avente ampiezza a 32 bit, potete comunque generare il codice così se compilate con il flag `-m32` ed aggiungete il flag `-S` per generare l'assembly.

Le istruzioni assembly sono Atomiche ?

- **Le istruzioni di un programma in assembly sono atomiche? NO, non tutte.**
 - Il linguaggio assembly mette a disposizione anche delle specie di macro che vengono tradotte dall'assembler in una sequenza di istruzioni macchina. Si pensi alle istruzioni call che invoca una funzione e che deve salvare alcuni dati sullo stack, Ovviamente, le traduzione in linguaggio macchina di quelle macro non sono eseguibili atomicamente.
- Restringiamo il campo, allora, alle sole istruzioni assembly che non siano delle macro assembly.
 - **Alcune istruzioni assembly elementari non sono atomiche.** L'istruzione inc incrementa di 1 il valore di un byte in memoria, ma non è atomica perche deve:
 - ▶ fare una lettura tramite bus, del dato in memoria per portarlo in un registro,
 - ▶ incrementare di 1 il contenuto di quel registro,
 - ▶ portare il nuovo contenuto nella locazione di memoria.
- **La sola copia di un dato da registro a memoria (o in senso contrario, da memoria a registro) è atomica? In generale si, se l'ampiezza del bus dati è maggiore o uguale alla dimensione del registro.**
 - In generale, **se un'istruzione richiede più di un accesso al bus, non è atomica.**
 - Inoltre, parlando di paginazione (e in particolare di page fault), vedremo che in qualche caso sarà necessario far ripartire l'istruzione da capo.

Cosa c'è di Atomico?

Supporto ISA alla Mutua Esclusione: istruzioni compare-exchange o compare-and-swap (1)

I processori, nel loro livello ISA, mettono a disposizione delle istruzioni macchina basiche e atomiche per consentire l'implementazione di flussi di esecuzione atomici più complessi che si basano sul valore di una variabile «di guardia». Queste istruzioni sono diverse da processore a processore-

Nei processori Intel delle famiglie x86 (IA-32) e x64 (EM64T, Intel 64) esiste un'istruzione **cmpxchg** ed un prefisso **lock** che modifica il comportamento di questa istruzione, rendendolo atomico. In altre famiglie di processori si parla di istruzioni compare-and-swap.

L'istruzione **lock cmpxchg** vuole due argomenti esplicativi ed uno implicito. Il primo argomento esplicito è l'indirizzo di una **variabile intera** in memoria, il secondo argomento esplicito è il **nome di un registro** in cui c'è già il valore da assegnare alla variabile. L'argomento隐式 è il **registro eax** in cui deve essere posto il **valore da confrontare** col valore della variabile.

L'istruzione **lock cmpxchg** preleva il valore della variabile puntata dall'indirizzo, lo confronta col valore contenuto nel registro eax, se i due valori sono uguali assegna alla variabile il nuovo valore (contenuto nel registro passato come secondo argomento). In pratica, atomicamente, se la variabile ha il valore cercato allora le viene assegnato il nuovo valore, altrimenti mantiene il suo vecchio valore.

Cosa c'è di Atomico?

Supporto ISA alla Mutua Esclusione: istruzioni compare-exchange o compare-and-swap (2)

Le istruzioni simili a compare-exchange servono a realizzare, in modo atomico, la verifica del valore di una variabile globale, la quale indica se la risorsa è occupata o no. Se la variabile vale 0 viene settata ad 1. Confronto ed assegnamento vengono eseguiti assieme ed atomicamente.

```
int occupato = 0; /* variabile globale */
```

compare-exchange

```
while( 1 ) {  
    if ( occupato == 0 ) {  
        occupato =1;  
        Operazioni eseguite atomicamente;  
        occupato = 0;  
    }  
    break;  
}
```

```
while( 1 ) {  
    if ( occupato == 0 ) {  
        occupato =1;  
        Operazioni eseguite atomicamente;  
        occupato = 0;  
    }  
}
```

System Call (e funzioni) NON RIENTRANTI

- i thread di un processo usano il s.o. mediante system call che usano dati e tabelle di sistema dedicate al processo.
- **Le syscall dovrebbero essere costruite in modo da poter essere utilizzate da più thread contemporaneamente.**
- **Alcune** syscall invece non sono costruite per essere usate da più thread contemporaneamente.
- Ad es: la funzione `char *inet_ntoa()` scrive il proprio risultato in una variabile (un buffer) di sistema dedicata al processo (che è visibile al processo) e restituisce al chiamante un puntatore a tale variabile. Se due thread di uno stesso processo eseguono "nello stesso istante" la chiamata a due `inet_ntoa()` ognuno provoca la scrittura di un valore nella variabile condivisa. Cosa leggono i due chiamanti dopo che le chiamate sono terminate?

- thread1 chiama `inet_ntoa`
- `inet_ntoa` scrive dentro var
- thread1 legge da var

- thread2 chiama `inet_ntoa`
- `inet_ntoa` scrive dentro var
- thread2 legge da var

buffer **var** della libc
(libreria standard del C)
condivisa dai thread
del processo

130.136.1.1

Thread Safe Call

- Le implementazioni dei **thread** per soddisfare gli standard **POSIX** offrono delle funzioni **thread safe**, cioè che non causano problemi nella scrittura/lettura di strutture dati interne al s.o e condivise dai thread di uno stesso processo.
- Il termine **Rientrante (Reentrant)** è sinonimo di **thread safe**.
- In particolare tutte le funzioni dello standard ANSI C e le funzioni degli standard POSIX.1, sono thread safe, ad eccezione di alcune: strerror, inet_ntoa, asctime, ctime, getlogin, rand, readdir, strtok, ttyname, gethostXXX, getprotoXXX, getservXXX
- Per ovviare al problema delle funzioni di libreria non rientranti, sono state rese disponibili altre funzioni, che invece sono implementate in modo rientrante. Solitamente, il nome delle funzioni rientranti finisce con **_r**
- Ad esempio, la funzione `char *strerror(int errnum);` fa cose diverse ma restituisce il risultato nello stesso modo della `inet_ntoa` e infatti **non è rientrante**.
 - Abbiamo visto che esiste una funzione alternativa, rientrante, **strerror_r**, disponibile se definiamo il simbolo `_POSIX_C_SOURCE` con un valore $\geq 200112L$
 - `int strerror_r(int errnum, char *buf, size_t buflen);`

- thread1 chiama `strerror_r` passandogli l'indirizzo di un proprio buffer
- `strerror_r` scrive nel buffer **del** thread1
- thread1 legge il proprio buffer

No such file or directory

- thread2 chiama `strerror_r` passandogli l'indirizzo di un proprio buffer
- `strerror_r` scrive nel buffer **del** thread2
- thread2 legge il proprio buffer

Cannot allocate memory

POSIX Thread

- I Thread sono stati standardizzati. IEEE POSIX 1003.1c (1995) specifica l'interfaccia di programmazione (Application Program Interface - API) dei thread. I thread POSIX sono noti come **Pthread**.
- Le API per Pthread distinguono le funzioni in 3 gruppi:
 - **Thread management:** funzioni per creare, eliminare, attendere la fine dei pthread
 - **Mutexes:** funzioni per supportare un tipo di sincronizzazione semplice chiamata "mutex" (abbreviazione di **mutua esclusione**). Comprende funzioni per creare e eliminare la struttura per mutua esclusione di una risorsa, **acquisire** e **rilasciare** tale risorsa.
 - **Condition variables:** funzioni a supporto di una **sincronizzazione** più complessa, **dipendente dal valore** di **variabili**, secondo i modi definite dal programmatore. Comprende funzioni per creare e eliminare la struttura per la sincronizzazione, per **attendere** e **segnalare** le modifiche delle variabili.

POSIX Thread API

Convenzione sui nomi delle funzioni:

Gli identificatori della libreria dei Pthread iniziano con **pthread_**

pthread_	indica gestione dei pthread in generale
pthread_attr_	funzioni per gestione proprietà dei thread
pthread_mutex_	gestione mutua esclusione
pthread_mutexattr_	proprietà delle strutture per mutua esclusione
pthread_cond_	gestione delle variabili di condizione
pthread_condattr_	proprietà delle variabili di condizione
pthread_key_	dati speciali dei thread

il file **pthread.h** contiene le definizioni dei pthread

Compilazione di programmi che usano Pthread

- Il file **pthread.h** contiene le definizioni dei pthread
- Normalmente si puo' compilare secondo il dialetto **-ansi**
- Per aderire anche allo standard POSIX, nella sua prima versione originaria (IEEE Std 1003.1), occorre anche definire il simbolo `-D_POSIX_SOURCE=1` oppure `-D_POSIX_C_SOURCE=1`
- Il dialetto **-ansi** però non comprende alcune funzioni messe a disposizione recentemente dalle librerie pthread, in particolare le API relative ai semafori per distinguere letture e scritture su variabili (le funzioni che operano sul tipo di dato **pthread_rwlock_t**). Quindi compilando con il dialetto **-ansi**, le parti del file `pthread.h` relative a queste funzioni `pthread_rwlock_*` vengono escluse dalla compilazione. Qualora occorra utilizzare la funzione **strerror_r** oppure le funzioni di tipo `pthread_rwlock_*` occorre invece compilare secondo un dialetto piu' recente, ad esempio secondo lo standard `-std=gnu99` oppure occorre definire il simbolo **_POSIX_C_SOURCE** con un valore $\geq 200112L$
- In un programma che usa i pthread, è bene definire, all'inizio di ciascun file C, e **prima** delle inclusioni degli header di libreria standard, il simbolo **#define _THREAD_SAFE**
Ciò consente al preprocessore di selezionare, quando esistono, le implementazioni thread safe delle funzioni di libreria.

Analogamente, invece di **_THREAD_SAFE** (di cui si parla nel file `/usr/include/features.h`) si puo' definire **_REENTRANT**.

- **Nota Bene:** le funzioni `inet_ntoa()` `strerror()` sono intrinsecamente **NON** thread safe. Anche se definite il simbolo **_THREAD_SAFE** non potete usare con tranquillità quelle funzioni perché potrebbero darvi problemi.

Linking di programmi che usano Pthread

- Durante la fase di **linking**, usando il *gcc*, aggiungere il flag **-Ipthread** per usare la libreria dei pthread **libpthread.so**.
- Inserire il flag **-Ipthread** alla fine della riga di comando assieme agli altri -l

Ad es: `gcc -ansi -o thr1 thr1.o -Ipthread`

- Esiste anche la possibilità di usare un equivalente flag apposito **-pthread** (senza la l).
- Ve lo sconsiglio, usate il tradizionale -l mettendolo alla fine.

API per creazione ed esecuzione di Pthread

```
int pthread_create( pthread_t * thread, pthread_attr_t *attr,  
                      void* (*start_routine)(void *), void * arg );
```

- crea una thread e lo rende eseguibile, cioè lo mette a disposizione dello scheduler che prima o poi lo farà partire.
- Il primo parametro **thread** è un puntatore ad un identificatore di thread in cui verrà scritto l'identificatore del thread creato.
- Il terzo parametro **start_routine** è il nome (indirizzo) della procedura da fare eseguire dal thread. Deve avere come unico argomento un puntatore.
- Il secondo parametro seleziona caratteristiche particolari: può essere posto a NULL per ottenere il comportamento di default.
- Il quarto parametro è un puntatore che viene passato come argomento a **start_routine**. Tale puntatore solitamente punta ad una area di memoria allocata dinamicamente.

```
void pthread_exit (void *retval);
```

- termina l'esecuzione del thread da cui viene chiamata, immagazzina l'indirizzo **retval**, restituendolo ad un altro thread che attende la sua fine.
- Il sistema libera le risorse allocate al thread.
- Il caso del programma principale (**main**) è particolare.
- Se il **main** termina prima che i thread da lui creati siano terminati e non chiama la funzione **pthread_exit**, allora tutti i thread sono terminati. se invece il **main** chiama **pthread_exit** allora i thread possono continuare a vivere fino alla loro teminazione.

Identifieri dei Pthread

Il tipo di dato **pthread_t** è il tipo di dato che contiene l'identificatore univoco di un pthread.

Due funzioni utili a maneggiare gli identifieri di pthread sono :

`pthread_t pthread_self(void);`

restituisce l'identificatore del thread che la chiama.

`int pthread_equal(pthread_t pthread1, pthread_t pthread2);`

restituisce 1 se i due identifieri di pthread sono uguali

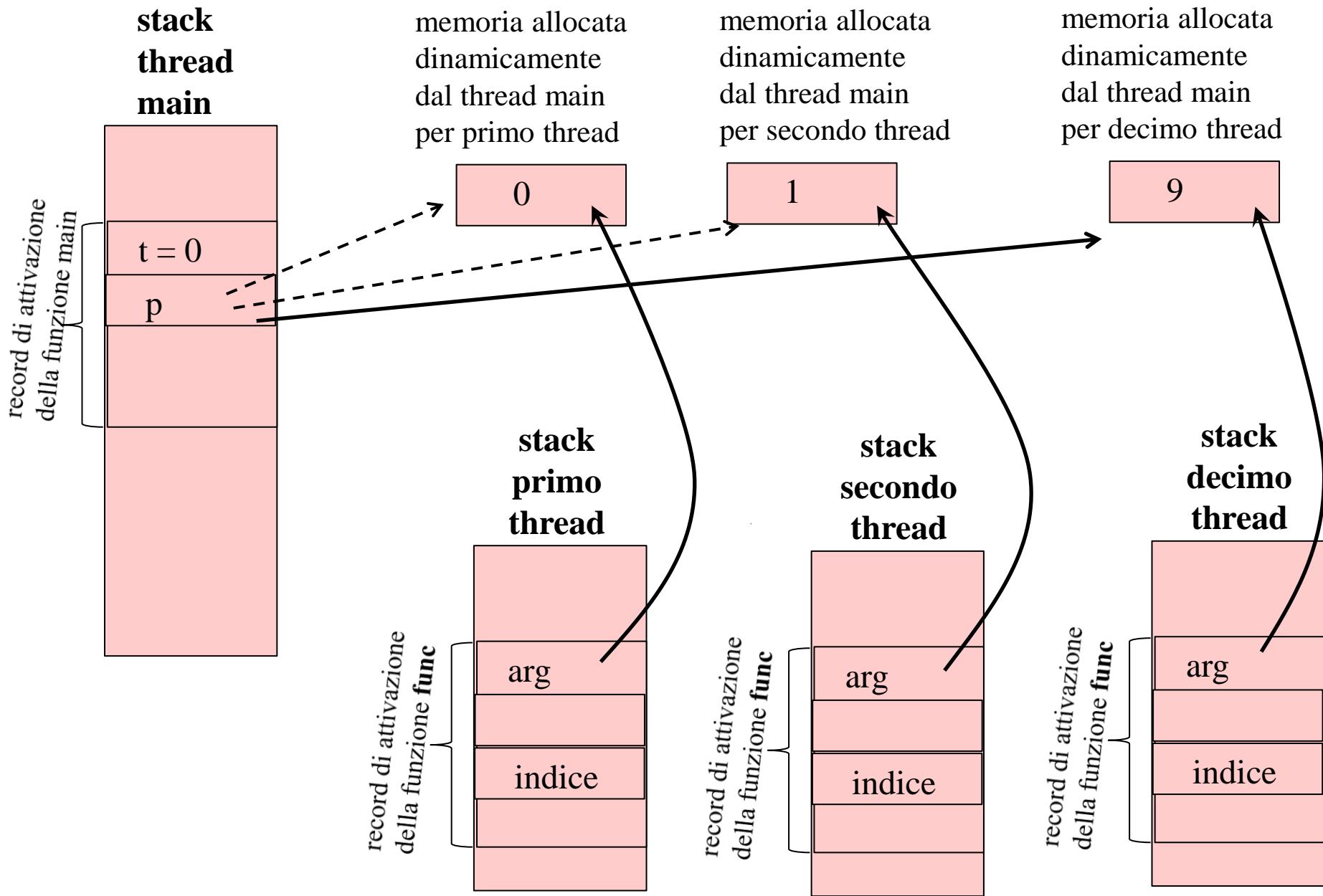
Creazione di un Pthread

La creazione di un Pthread viene effettuata chiamando la funzione:

```
int pthread_create( pthread_t *threadId , const pthread_attr_t *attr,  
                      void *(*start_routine) (void *), void *arg );
```

- threadId è l'indirizzo di una variabile di tipo *identificatore di Pthread* in cui verrà messo l'identificatore del Pthread creato.
- attr è l'indirizzo di una variabile di tipo pthread_attr_t in cui posso specificare alcune caratteristiche del Pthread da creare. Il parametro attr può essere NULL per usare le impostazioni di default.
- start routine è il nome della funzione che implementa il Pthread da creare. Tale funzione formalmente deve prendere come argomento un puntatore generico void* e deve restituire un puntatore generico void*
- arg è un puntatore generico void* che punta ad un'area di memoria in cui sono stati messi gli argomenti da passare alla funzione start_routine da eseguire. Il formato di tale area di memoria è user defined, cioè è concordato tra chi implementa il Pthread e chi implementa la chiamata al Pthread. Il parametro arg può essere NULL se voglio creare un Pthread senza passargli alcun argomento.
- Il risultato restituito dalla funzione pthread_create è un intero. Vale 0 se la funzione è riuscita a creare il Pthread. Vale !=0 se non è stato possibile creare il Pthread.
- Se diverso da 0, il valore restituito identifica il tipo di errore avvenuto.

Schema di Passaggio di argomenti a Pthread



Passaggio degli argomenti ad un Pthread

La funzione **pthread_create** richiede un puntatore per il passaggio dei parametri al Pthread che sta creando. Nel momento in cui il Pthread comincerà l'esecuzione avrà a disposizione questo puntatore.

Chi chiama la pthread_create deve allocare dinamicamente una struttura dati in cui collocare i parametri da passare al pthread. Il Pthread creato userà quest'area di memoria e poi la deallocherà.

Formalmente, la funzione che implementa il Pthread prende come argomento un puntatore generico void* e restituisce un puntatore generico.

Nell'esempio che segue, il main crea 10 Pthread passando a ciascuno un valore intero, ciascun pthread legge il valore intero ricevuto ricevuto e lo mette in una propria variabile indice.

codice del main

```
#define NUM_THREADS 10
pthread_t tid;
int t, rc;
int *p;

CORRETTO
for(t=0;t<NUM_THREADS;t++) {
    p = (int *) malloc( sizeof(int) );
    *p = t;
    rc = pthread_create( & tid , NULL, func, (void *) p );
}
```

SBAGLIATO

```
for(t=0;t<NUM_THREADS;t++) {
    rc = pthread_create( & tid , NULL, func, (void *) & t );
}
```

codice dei Pthread

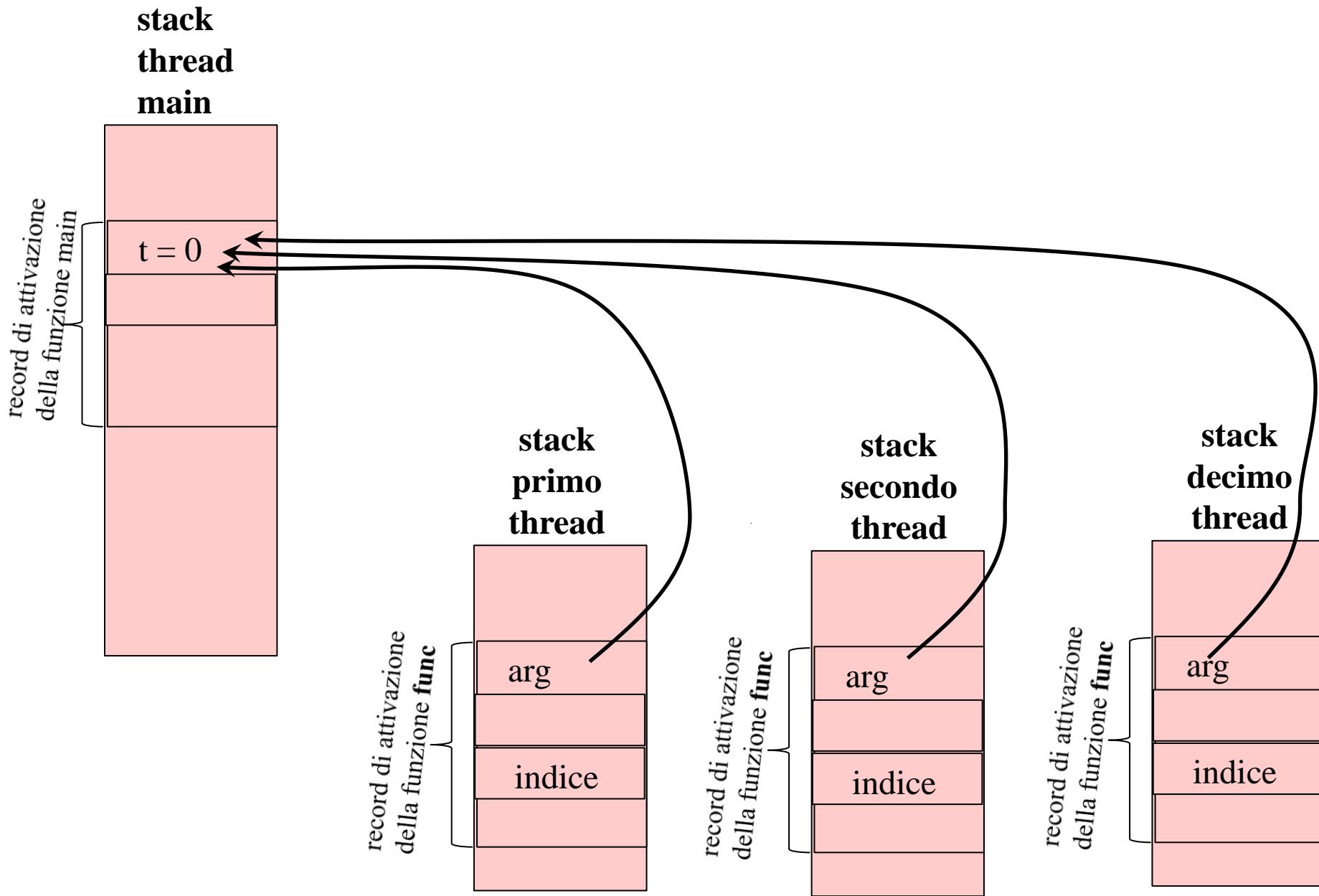
```
void * func( void *arg ) {
    int indice;
    /* uso arg come puntatore a int */
    indice = * ((int*)arg);

    /* rilascio memoria */
    free( arg ); /* non fare in caso sbagliato */

    printf(" ho ricevuto %i \n", indice );

    pthread_exit( NULL );
}
```

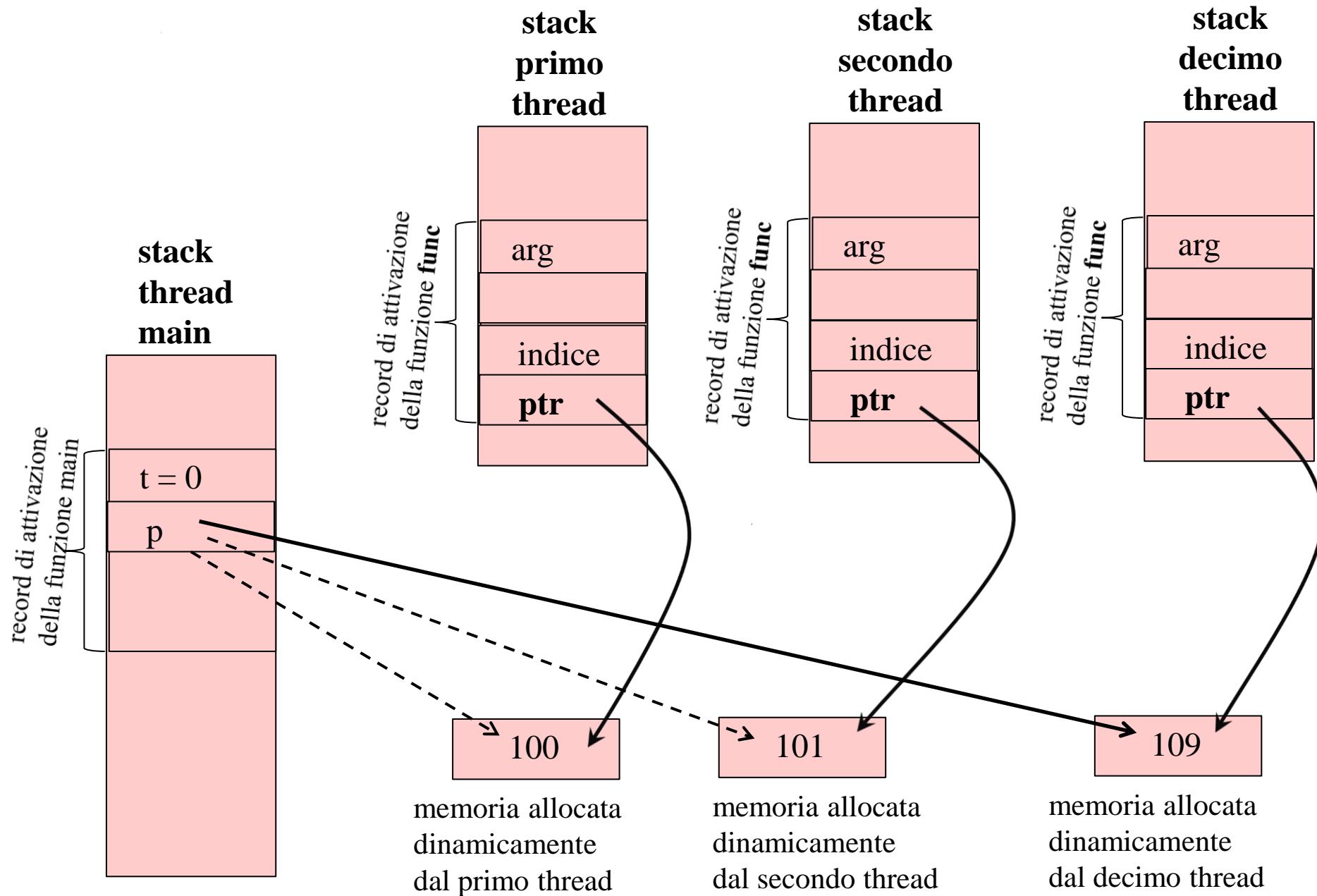
Errore nel Passaggio di argomenti a Pthread



Terminazione di Pthread e processo

- Il main di un processo è un Pthread come gli altri, tranne per quanto riguarda la terminazione.
- Quando un Pthread qualunque chiama l'istruzione exit() provoca la terminazione di tutto il processo con tutti i suoi Pthread.
- Quando il main (solo il main, non gli altri Pthread) chiama l'istruzione return, provoca la terminazione di tutto il processo con tutti i suoi Pthread.
- La funzione pthread_exit() viene chiamata da un Pthread per terminare se stesso (inteso come Pthread) e restituire un risultato.
 - Se ci sono altri Pthread in esecuzione, il processo continua l'esecuzione degli altri Pthread.
 - Se invece il Pthread che ha chiamato la pthread_exit era l'ultimo Pthread ancora in esecuzione in quel processo, allora il processo viene terminato.

Schema di Passaggio di risultato di un Pthread



Terminazione e Risultato di un Pthread

Quando un Pthread termina, può voler far conoscere a qualche altro Pthread il risultato del suo lavoro. Occorre un meccanismo con cui **un Pthread può restituire** un risultato (o, più in generale, **un'area di memoria** in cui potrebbe stare anche una struttura dati) a qualche altro Pthread.

La funzione **pthread_exit** permette ad un Pthread di stabilire quale area di memoria deve essere restituita come risultato al termine del Pthread.

Formalmente, ogni Pthread deve restituire come risultato un puntatore generico **void***. Da questo deriva che la funzione pthread_exit prevede come argomento un puntatore generico void* che sarà consegnato a chi vuole sapere il risultato del pthread.

```
void pthread_exit ( void* ptr );
```

Il puntatore ptr può essere NULL se il Pthread non vuole restituire un qualche risultato. Il Pthread che invece intende restituire un risultato, deve allocare dinamicamente una struttura dati in cui collocare i dati che intende restituire come risultato.

Nota Bene:

Spiegare **dove** viene inserito il puntatore da restituire, quando si parlerà dell'esempio relativo alla funzione pthread_join.

Dove viene mantenuto il Puntatore che funge da risultato di un Pthread

- Il risultato restituito da un Pthread mediante la chiamata a `pthread_exit()` è un puntatore ad un'area di memoria allocata dal Pthread stesso.
- **Il valore di questo puntatore viene mantenuto nello stack del Pthread anche dopo la terminazione del Pthread stesso, e fino a che un altro Pthread non richiede quel risultato mediante la chiamata alla funzione `pthread_join`.**
- **La memoria occupata dallo stack del Pthread già terminato viene rilasciata**
 - **solo dopo che un altro Pthread ha chiamato la `pthread_join` per conoscere il risultato del Pthread terminato.**
 - **oppure ovviamente quando termina il processo.**
- Se nessun Pthread chiede il risultato di un Pthread già terminato, la parte di memoria occupata dallo stack di quel Pthread terminato rimane occupata fino alla terminazione del processo.
 - Però, se un processo gira a lungo e continua a creare nuovi Pthread senza far rilasciare la memoria dello stack dei suoi Pthread che terminano, prima o poi la memoria disponibile si riempie e il processo smette di funzionare.
- E' però possibile configurare i Pthread, al momento della loro creazione, per consentire che **il loro stack possa essere liberato immediatamente dopo la loro terminazione, senza aspettare la `pthread_join`**. Questi Pthread vengono detti **detached**.
 - C'è uno svantaggio, però: i Pthread detached non possono far sapere a nessun altro Pthread il loro risultato.

Attesa di terminazione di un Pthread

E' possibile per un Pthread attendere la terminazione di un altro Pthread dello stesso processo. Occorre conoscere l'identificatore del Pthread di cui vogliamo attendere la terminazione. La funzione **pthread_join** vuole come argomento l'indirizzo di un puntatore generico, in cui verrà collocato l'indirizzo restituito dal Pthread il cui identificatore è passato come primo argomento.

Nello scheletro di esempio che segue, il main crea 10 Pthread, poi aspetta la terminazione dei 10 Pthread, da ciascuno riceve un puntatore ad intero e lo usa per stampare il valore intero lì contenuto. Poi rilascia la memoria allocata dal Pthread terminato

```
codice del main
#define NUM_THREADS 10
pthread_t tid [NUM_THREADS];
int t, rc; int *p;
/* creo i pthread */
for(t=0;t < NUM_THREADS;t++) {
    p = (int *) malloc( sizeof(int) );           *p = t;
    rc = pthread_create( & tid[t] , NULL, func, (void*) p );
}
/* attendo terminazione dei pthread */
for(t=0;t < NUM_THREADS;t++) {
    int ris;

    rc = pthread_join( tid[t] , (void**) & p );
    ris = *p ;
    printf( " pthread restituisce %i \n", ris );
    free (p);
}
```

```
codice del pthread
void * func( void *arg ) {
    int *ptr;
    int indice = *((int*) arg); free(arg);
    /* qui il pthread fa qualcosa ... */

    ptr = (int *) malloc( sizeof(int));
    /* pthread vuole passare un valore
       intero, ad es 100+indice */

    *ptr = 100+indice;
    pthread_exit( (void*) ptr );
}
```

Preliminare informaticamente osceno (1): usare un intero con dimensioni di un puntatore

Può capitare di volere usare un puntatore (chiamiamolo p) per conservare un valore intero, e non un indirizzo. Voglio cioè mettere un valore intero dentro un puntatore. Ovviamente devo ricordarmi di non usare quel puntatore come puntatore, cioè non devo fare accessi tipo `*p` `p->`

Questa operazione può essere fatta senza perdita di informazioni solo se l'intero ha le stesse dimensioni di un puntatore.

Purtroppo, le dimensioni dei puntatori variano al variare del processore, poiché varia la dimensione del BUS degli indirizzi, che determina la dimensione dei puntatori.

POSIX definisce un tipo di dato intero che ha le stesse dimensioni di un puntatore.

Tale definizione è contenuta nel file **stdint.h**

I due tipi di interi disponibili, rispettivamente interi con segno e senza segno, sono
intptr_t e **uintptr_t**

Diventa possibile fare le seguenti operazioni senza warning :

```
void *p;                intptr_t t;  
p = (void*) t;  
t = (intptr_t) p;
```

Preliminare informaticamente osceno (2) : stampare un intero con dimensioni di un puntatore

- A questo punto si pone il problema di come stampare tali valori con una printf, poiché usare gli specicatori di formato per gli int o i long int %i o %u provoca problemi.
- Sono a tal scopo definite delle macro che inseriscono l'adatto specifikatore di formato nelle printf e nelle scanf a seconda che vogliamo stampare l'intero come signed unsigned esadecimale etc.
- Le macro sono contenute nel file inttypes.h

Gli specicatori di formato per i tipi intptr, corrispondenti sono:

ottale

specifikatore per tipo intero

sia in printf che in scanf

%d

%i

%o

%u

%x

%X

specifikatore per tipo intptr in printf

PRIIdPTR

PRIiPTR

PRIoPTR

PRIuPTR

PRIxPTR

PRIXPTR

specifikatore per tipo intptr in scanf

SCNdPTR

SCNiPTR

SCNoPTR

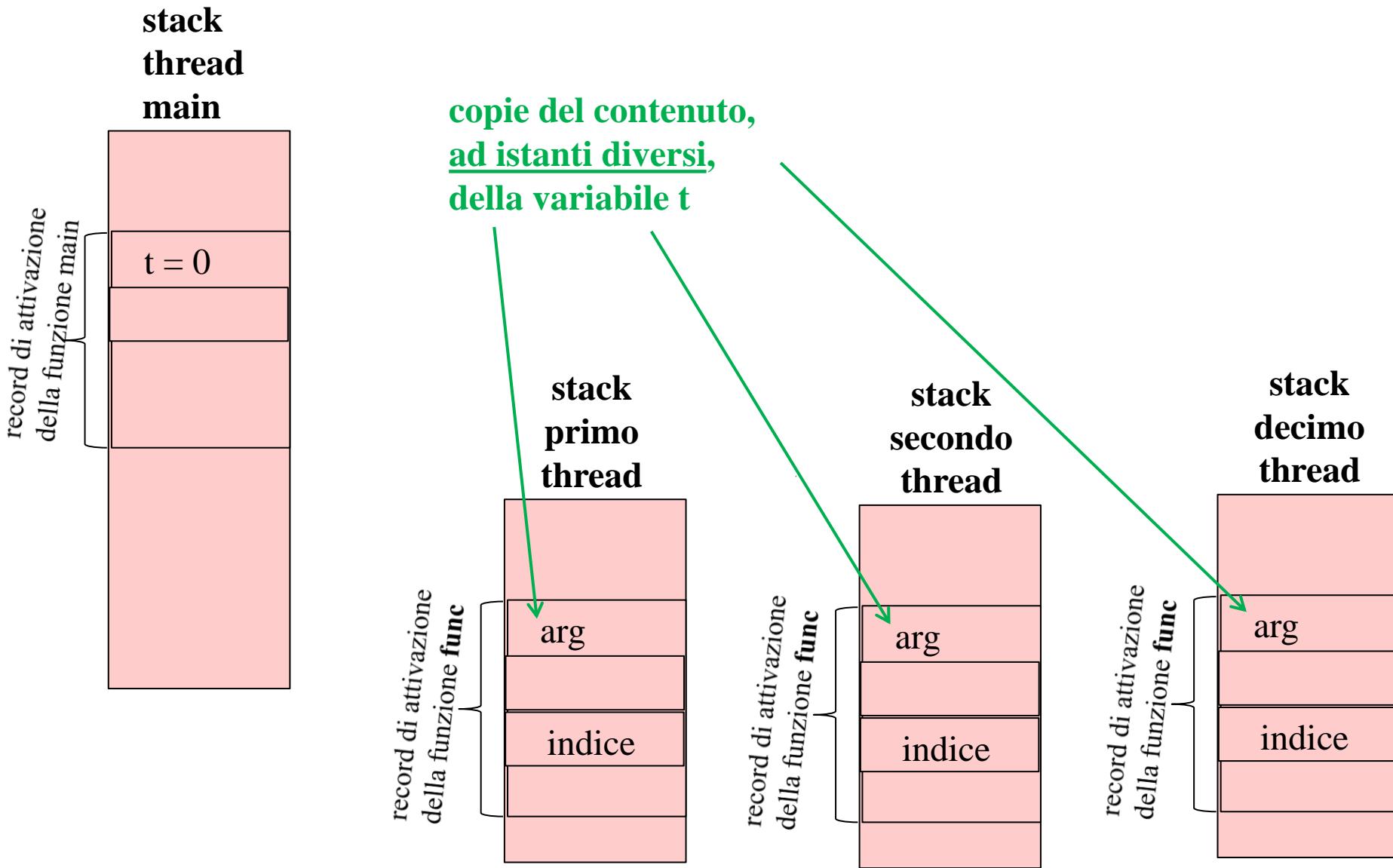
SCNuPTR

SCNxPTR

SCNXPTR

```
#include <stdio.h>
#include <stdint.h>
#include <inttypes.h>
intptr_t t = 13;    void *p=NULL;
p = (void*) t;
t = (intptr_t) p;
printf ( " stampo t che vale %" PRIiPTR " \n", t );
```

Trucco osceno (informaticamente parlando) per passare un intero a un Pthread



Trucco osceno per passare un intero a un Pthread

Se, quando creo un Pthread, devo passare SOLAMENTE un intero al Pthread, allora posso sfruttare un trucco osceno per evitare di allocare e deallocaare memoria.

Quando creo il Pthread mediante la funzione `pthread_create`, utilizzo **come se fosse un intero**, il puntatore arg da passare come ultimo argomento alla funzione `pthread_create`.

Metto in quel puntatore non un indirizzo bensì il valore intero da passare al Pthread.

Occorre che l'intero che voglio passare abbia esattamente le stesse dimensioni di un puntatore.

Per tale motivo utilizzo un particolare tipo di intero definito in POSIX, le cui dimensioni sono esattamente le dimensioni di un puntatore: ovviamente, tali dimensioni cambiano a seconda del processore e del s.o. Tale tipo è **intptr_t** o **uintptr_t** ed è definito in **stdint.h**

Le macro per stampare con `printf` tali tipi di dato sono in **inttypes.h**

codice del main

```
#define NUM_THREADS 10
pthread_t tid;
int rc;
intptr_t t;

for(t=0;t < NUM_THREADS; t++) {
    rc = pthread_create( & tid , NULL,
                        func, (void *) t );
}
```

notare che qui **NON** c'è l' &
cioè non passo l'indirizzo di t
bensì proprio il contenuto di t

codice dei Pthread

```
void * func( void *arg ) {
    intptr_t indice;

    indice = (( intptr_t ) arg );

    /* NON DEVO rilasciare memoria
     NOOO!!!!!! free( arg );
     */

    printf(" ho ricevuto %" PRIiPTR " \n",
          indice );

    pthread_exit( NULL );
}
```

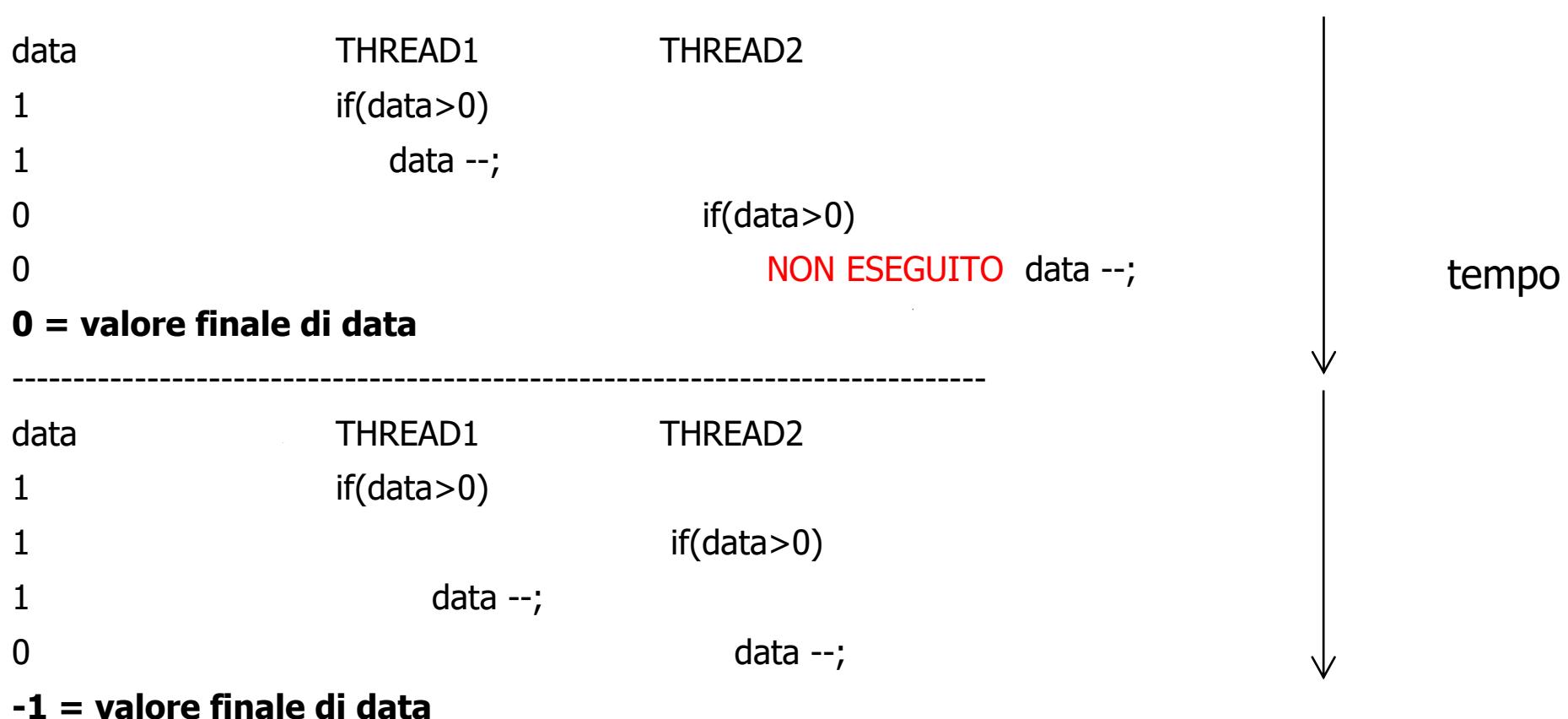
Mutua Esclusione e Sincronizzazione

Perché Garantire la Mutua Esclusione - race condition

Esempio: Due thread devono decrementare il valore di una variabile globale data, ma solo se questa è maggiore di zero. Inizialmente data vale 1.

THREAD1	THREAD2
if(data>0)	if(data>0)
data --;	data --;

A seconda del tempo di esecuzione dei due thread, la variabile data assume valori diversi (race condition).



Mutex Variables

- **Mutex** è l'abbreviazione di “**mutua esclusione**”.
- Una variabile mutex (formalmente di tipo **pthread_mutex_t**) serve per regolare l'accesso a dei dati che debbono essere protetti dall'accesso contemporaneo da parte di più thread.
- Noi usiamo le cosiddette FAST mutex. Ne esistono altri tipi più evoluti che vengono determinati in fase di inizializzazione, **ma noi NON le usiamo e non le potrete usare all'esame**.
- Ogni thread, prima di accedere a tali dati, deve effettuare una operazione di **pthread_mutex_lock** su una stessa variabile mutex. L'operazione detta “lock” di una variabile mutex blocca l'accesso da parte di altri thread.
- Infatti, se più thread eseguono l'operazione di lock **su una stessa variabile mutex**, solo uno dei thread termina la lock() e prosegue l'esecuzione, gli altri rimangono bloccati nella lock. In tal modo, il processo che continua l'esecuzione può accedere ai dati (protetti mediante la mutex).
- Finito l'accesso, il thread effettua un'operazione detta **pthread_mutex_unlock** che libera la variabile mutex. Un'altro thread che ha precedentemente eseguito la lock della mutex potrà allora terminare la lock ed accedere a sua volta ai dati.
- La tipica sequenza d'uso di una mutex è quindi:
 - creare ed inizializzare la mutex
 - più thread cercano di accedere alla mutex chiamando ciascuno la **pthread_mutex_lock**
 - un solo thread termina la lock e diviene proprietario della mutex, gli altri sono bloccati.
 - il thread proprietario accede ai dati, o esegue funzioni.
 - il thread proprietario libera la mutex eseguendo la **pthread_mutex_unlock**
 - un'altro thread termina la lock e diventa proprietario di mutex
 - e così via
 - al termine del programma, o quando non serve più, la mutex viene distrutta.

Operazioni con Mutex (1)

Creare e Distruggere variabili Mutex (per FAST Mutex)

- Le variabili Mutex devono essere create usando il tipo di dato `pthread_mutex_t` e devono essere inizializzate prima di poter essere usate.

- **Inizializzazione statica**, all'atto della dichiarazione;

```
pthread_mutex_t mymutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

- **Inizializzazione dinamica**, mediante invocazione di funzione, in un momento successivo alla dichiarazione, nel caso si voglia specificare proprietà aggiuntive; Se il puntatore agli attributi è `NULL` si utilizzano gli attributi di default.

```
pthread_mutex_t mymutex;  
pthread_mutex_init( &mymutex , &attribute);      attribute può essere NULL
```

- Finito l'uso delle variabili mutex, bisognerebbe rilasciarle.

```
pthread_mutex_destroy (&mymutex);
```

Operazioni con Mutex (2)

Attesa per Mutua Esclusione (per Fast Mutex)

- **int pthread_mutex_lock (pthread_mutex_t *mutex);** blocca la variabile mutex passata come argomento.
 - Se la variabile mutex è attualmente sbloccata, diventa bloccata e di proprietà del thread chiamante e immediatamente la funzione pthread_mutex_lock termina e restituisce il controllo al chiamante, con risultato 0. In caso di problemi viene restituito un risultato diverso da zero che identifica il tipo di errore.
 - Se invece la variabile mutex è già bloccata da un altro thread, allora la funzione pthread_mutex_lock sospende il thread chiamante finché la mutex non viene sbloccata.
 - **Attenzione**, se la mutex è già bloccata dal thread chiamante (perché lo stesso pthread ha già fatto una lock senza fare una successiva unlock) allora, chiamando ancora la pthread_mutex_lock il thread va in stallo e si blocca per sempre. In altri tipi di mutex NON FAST, invece, il comportamento è differente.
- **int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t *mutex);** sblocca la variabile mutex.
 - La funzione DEVE ESSERE CHIAMATA su una variabile mutex che sia già bloccata e di proprietà del thread chiamante. In tal caso la funzione pthread_mutex_unlock sblocca la variabile mutex e termina restituendo 0. In caso di problemi viene restituito un risultato diverso da zero che identifica il tipo di errore.
 - Attenzione: Se la funzione pthread_mutex_unlock viene chiamata da un thread che NON È PROPRIETARIO della variabile mutex (cioè non ha fatto una precedente lock su quella variabile) allora si genera un comportamento impredicibile, poiché la mutex viene sbloccata anche se è di proprietà di un thread diverso. Questo è un comportamento su cui non si deve fare affidamento.
 - Nelle mutex di tipo NON FAST, invece, vengono effettuati controlli aggiuntivi ed il comportamento è diverso.

Operazioni con Mutex (3)

Attesa per Mutua Esclusione (per Fast Mutex)

Evitare il blocco

```
int pthread_mutex_trylock (pthread_mutex_t *mutex);
```

- questa funzione è come la lock(), ma **se** si accorge che la mutex è già in possesso di altro thread (e quindi si rimarrebbe bloccati) restituisce immediatamente il controllo al chiamante con risultato EBUSY
- Se, invece, si ottiene la proprietà della mutex, restituisce 0.

- **Attenzione**, questa funzione porta a creare codice che causa busy waiting.

Esempio di protezione con Mutex Variable

```
#define NUM_THREADS 10
pthread_t tid [NUM_THREADS ];
pthread_mutex_t mutexdata;
int data=4;

int main (void) {
int rc , t;
int *p;

pthread_mutex_init (&mutexdata, NULL);

/* creo i pthread */
for(t=0;t < NUM_THREADS;t++) {
    rc = pthread_create( & tid[t] , NULL, func, NULL ) ;
}

/* attendo terminazione dei pthread */
for(t=0;t < NUM_THREADS;t++) {

    rc = pthread_join( tid[t] , (void**) & p ) ;
}
printf ("data = %d \n", data);

pthread_mutex_destroy (&mutexdata);

pthread_exit(NULL);
}
```

codice del pthread

```
void * func( void *arg ) {

    pthread_mutex_lock (&mutexdata);

    if(data>0)
        data--;

    pthread_mutex_unlock (&mutexdata);

    pthread_exit( NULL );
}
```

Condition Variables

- Le Mutex consentono di effettuare sincronizzazioni tra pthreads nel momento in cui ciascun pthread tenta l'accesso in mutua esclusione. L'accesso viene consentito senza poter valutare a priori il valore delle variabili condivise.
- Al contrario, le condition variables sono delle variabili che consentono di effettuare delle sincronizzazioni tra pthreads mentre questi già detengono la mutua esclusione, bloccandoli o facendoli continuare in base a condizioni definite dal programmatore e dipendenti dal valore attuale delle variabili condivise.
- Senza le condition variables, il programmatore dovrebbe scrivere dei pthread che effettuano un loop continuo in cui prima viene presa la mutua esclusione, poi viene controllato il valore delle variabili condivise. Se il valore corrisponde alle condizioni richieste allora il pthread esegue le operazioni richieste e poi rilascia la mutua esclusione. Se invece il valore NON corrisponde alle condizioni richieste allora il pthread rilascia immediatamente la mutua esclusione e poi la riprende e ricontrolla i valori delle variabili condivise e così via all'infinito, **effettuando busy waiting e sprecando così tempo di CPU**.
- Le condition variables devono sempre essere utilizzate assieme ad una mutex per consentire di accedere in mutua esclusione alle variabili condivise.
- Ci sono tre principali funzioni per sincronizzare con le condition variables:
 - **pthread_cond_wait:** blocca un thread fino a che un altro thread lo risveglia e può prendere la mutua esclusione.
 - **pthread_cond_signal:** sveglia un altro thread bloccato sulla pthread_cond_wait, ma l'altro thread prima di ripartire deve ottenere la mutua esclusione.
 - **pthread_cond_broadcast:** sveglia tutti i threads bloccati sulla pthread_cond_wait, ma ciascuno di questi, prima di ripartire uno alla volta, deve ottenere la mutua esclusione.

ESEMPIO di SINCRONIZZAZIONE

Volpe mangia uova deposte da gallina. La volpe aspetta che la gallina abbia deposto un uovo per poi mangiarselo, poi aspetta di nuovo e così via all'infinito.

- Una prima implementazione (Orrenda) senza Condition variables, provoca busy waiting.
- Una seconda implementazione corretta con Condition variables, efficiente.
 - Stessa soluzione può essere usata avendo contemporaneamente più volpi e più galline, se si considera che solo una gallina alla volta può deporre l'uovo e che solo una volpe per volta può mangiare un uovo.

Volpe mangia uova

SENZA CONDITION VARIABLES - BUSY WAITING ☹ ☹ ☹

```
int uova = 0;
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

void *gallina_produce_uova(void *)
{   while(1) {
        sleep(3); /* gallina produce uova impiegando tempo ....*/
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        uova++;
                           /* gallina depone uovo */
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
    }
}

void *volpe_mangia_uova(void *)
{   while(1) {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        if( uova > 0 ) {
            mangia(); /* volpe mangia uovo impiegando poco tempo ....*/
            uova--;
            pthread_mutex_unlock(&mutex);
            burp(); /* volpe digerisce impiegando tempo */
        } else {
            ; /* do nothing, ma la valutazione di condizione if l'hai fatta
               e la fai in continuazione usando CPU .... */
            pthread_mutex_unlock(&mutex);
        }
    }
}

int main(void)
{   pthread_t tid;
    pthread_create( &tid, NULL, gallina_produce_uova, NULL )
    pthread_create( &tid, NULL, volpe_mangia_uova, NULL )
    pthread_exit(NULL);
}
```

CON CONDITION VARIABLES - NO BUSY WAITING



```
int uova = 0;
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *gallina_produce_uova(void *arg)
{   while(1) /* gallina produce uova impiegando tempo ....*/
    /* poi gallina depone uovo e fa coccodè' */
    pthread_mutex_lock(&mutex);
    uova++;
    pthread_cond_signal(&cond); /* coccodè' avvisa volpe che c'è uovo */
    pthread_mutex_unlock(&mutex);
}

void *volpe_mangia_uova(void *arg)
{   while(1) {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while( uova==0 ) { /* attendi che venga prodotto uovo, attendi signal */
            pthread_cond_wait(&cond, &mutex);
        }
        /* quando arrivo qui c'è almeno un uovo */
        mangia();           /* volpe mangia uovo impiegando tempo ....*/
        uova--;
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        burp(); /* volpe digerisce impiegando tempo */
    }
}

int main(void)
{   pthread_t tid;
    pthread_create( &tid, NULL, gallina_produce_uova, NULL )
    pthread_create( &tid, NULL, volpe_mangia_uova, NULL )
    pthread_exit(NULL);
}
```

Più attori, stesso codice, NO BUSY WAITING ☺

```
int uova = 0;
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;

void *gallina_produce_uova(void *arg)
{   while(1) /* gallina produce uova impiegando tempo ....*/
    /* poi gallina depone uovo e fa coccole' */
    pthread_mutex_lock(&mutex);
    uova++;
    pthread_cond_signal(&cond); /* coccole' avvisa volpe che c'è uovo */
    pthread_mutex_unlock(&mutex);
}

void *volpe_mangia_uova(void *arg)
{   while(1) {
    pthread_mutex_lock(&mutex);
    while( uova==0 ) { /* attendi che venga prodotto uovo, attendi signal */
        pthread_cond_wait(&cond, &mutex);
    }
    /* quando arrivo qui c'è almeno un uovo */
    mangia();           /* volpe mangia uovo impiegando tempo ....*/
    uova--;
    pthread_mutex_unlock(&mutex);

    burp(); /* volpe digerisce impiegando tempo */
}

int main(void)
{   pthread_t tid; int i;
    for (i=0,i<10;i++) pthread_create( &tid, NULL, gallina_produce_uova, NULL )
    for (i=0,i<30;i++) pthread_create( &tid, NULL, volpe_mangia_uova, NULL )
    pthread_exit(NULL);
}
```

Operazioni con Condition Variables (1)

Creare e distruggere Condition Variables

- Le Condition variables devono essere create usando il tipo di dato pthread_cond_t e devono essere inizializzate prima di poter essere usate.

- **Inizializzazione statica**, all'atto della dichiarazione;

```
pthread_cond_t mycond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
```

- **Inizializzazione dinamica**, mediante invocazione di funzione, quando si vuole specificare proprietà aggiuntive;

```
pthread_cond_t mycond;
```

```
pthread_cond_init( & mycond , &attribute);
```

- Finito l'uso delle condition variable, bisognerebbe rilasciarle.

```
pthread_cond_destroy(&mycond);
```

Operazioni con Condition Variables (2)

Attesa

- **`pthread_cond_wait (pthread_cond_t *cond, pthread_mutex_t *mutex)`** è eseguita da un pthread quando questo vuole bloccarsi ed aspettare che una condizione sia vera.
- Prima di chiamare la wait il pthread deve prendere la mutua esclusione sulla mutex specificata nel secondo parametro della wait.
- Quando la wait blocca il pthread, automaticamente la wait rilascia la mutua esclusione e poi si mette in attesa di essere abilitata al risveglio da una `pthread_cond_signal()` chiamata da qualche altro pthread.
- La wait continua e termina solo dopo che si verificano due condizioni
 - 1) un altro pthread l'ha risvegliata con una chiamata a `pthread_cond_signal()` e che
 - 2) la wait ha potuto riprendere la mutua esclusione.
- Quando la wait termina, il pthread si trova a detenere la mutua esclusione sulla variabile mutex specificata nel secondo parametro della wait.

Operazioni con Condition Variables (3)

Abilitazione al risveglio

- **`pthread_cond_signal(pthread_cond_t *cond)`** controlla se c'è qualche thread in attesa con una wait sulla condition variable specificata nel parametro passato alla signal. Se c'è lo avvisa e lo abilita a risvegliarsi, ma per potersi risvegliare quel thread deve attendere di poter prendere la mutua esclusione.
- Dopo aver abilitato il thread a proseguire, la funzione signal termina.
- Se non c'è un thread in attesa da abilitare, la funzione semplicemente termina.
- Non è specificato qual' è l'ordine con cui le signal abilitano i thread in attesa su una wait. Non è affatto detto che l'ordine di risveglio sia lo stesso ordine in cui i threads sono entrati in wait.
- **IMPORTANTE:** Le chiamate alle `pthread_cond_signal()` e `pthread_cond_broadcast()` devono essere effettuate da un thread che detiene la mutua esclusione sulla mutex specificata nelle wait per quella condition variable. In tal modo si protegge l'accesso alla condition variable che è essa stessa una variabile condivisa.
- In pratica, prima di chiamare la `pthread_cond_signal()` o la `pthread_cond_broadcast()` occorre prima avere chiamato la `pthread_mutex_lock()`.
- Per abilitare tutti i thread in attesa su una wait per una data condition variable, posso fare una iterazione di chiamate alla signal, oppure posso chiamare la funzione `pthread_cond_broadcast(pthread_cond_t *cond)`.

Riassumendo: Operazioni con Condition Variables

□ Waiting and signaling on condition variables

□ Routines

□ `pthread_cond_wait(condition, mutex)`

- ▶ Blocks the thread until the specific condition is signalled.
- ▶ Should be called with mutex locked
- ▶ Automatically release the mutex lock while it waits
- ▶ When return (condition is signaled), mutex is locked again

□ `pthread_cond_signal(condition)`

- ▶ Wake up a thread waiting on the condition variable.
- ▶ Called after mutex is locked, and must unlock mutex after

□ `pthread_cond_broadcast(condition)`

- ▶ Used when multiple threads blocked in the condition