Sistemi operativi

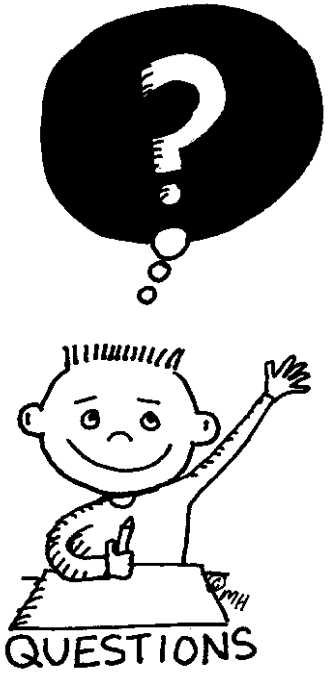
Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica

Lezione 6

- Programmazione concorrente
- Thread
- Join

Fabio Del Vigna - fabio.delvigna@for.unipi.it

Domande sulle lezioni passate?



Soluzioni degli esercizi

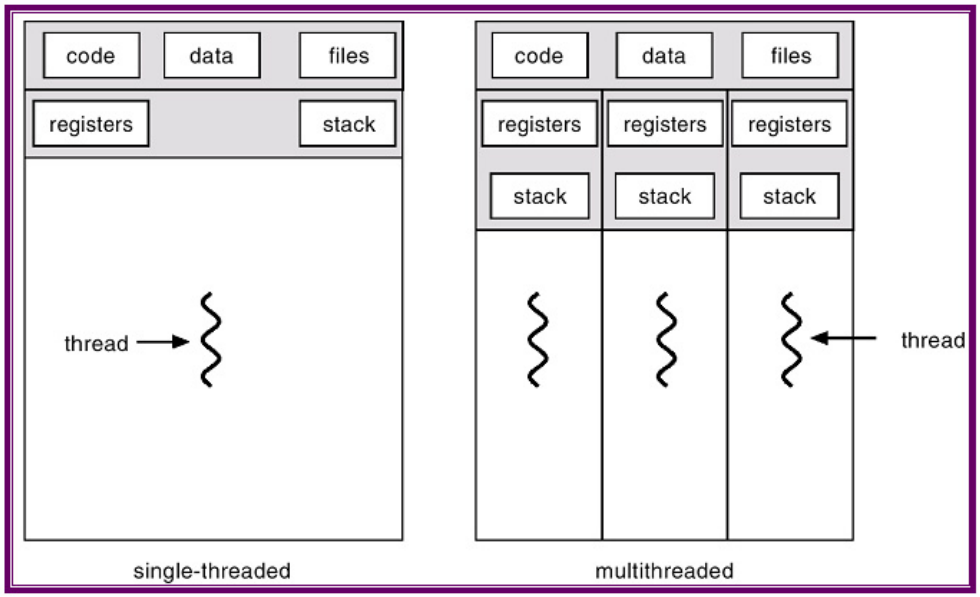
- È importante osservare l'utilizzo della CPU. Visto che il programma gira sempre *solo* in spazio utente, la percentuale 'user' va al 100%. Cambiando il nice level, oltre a cambiare il numero nella colonna nice, il consumo di CPU si sposta nel campo nice.
- In questo caso il programma invoca continuamente una syscall, quindi gira anche in modalità kernel. La percentuale di CPU 'system' non raggiunge il 100% perche' comunque il programma in parte gira *anche* in spazio utente (gestione del ciclo).
- In questo caso il processo passa dallo stato run (quando esegue il ciclo interno) allo stato sleep (quando è bloccato in attesa del timer, per effetto della chiamata sleep()). È interessante notare il livello di priorità: questo cresce quando il processo è sleeping, mentre decresce quando il processo usa la CPU, cioè durante il ciclo for. Questo perchè UNIX decrementa la priorità dei processi che stanno usando molta CPU, e viceversa (politica anti-starvation).

Sommario

- Thread POSIX
  - Operazioni sui Thread
    - Creazione
    - Terminazione
    - Join

Thread POSIX

Aspetti preliminari



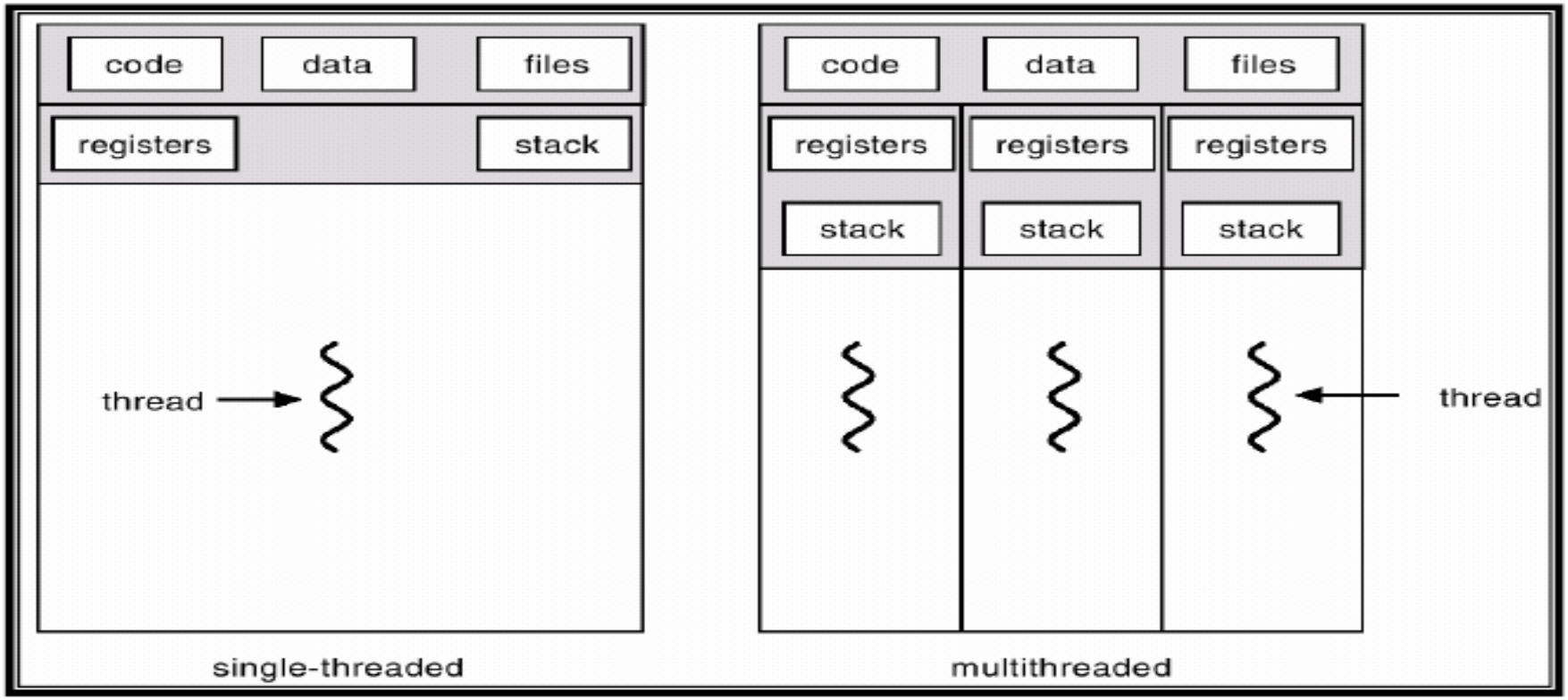
Processo vs Thread (1 di 2)

- Processo : è l'unità di condivisione delle risorse alcune delle quali possono essere inizialmente ereditate dal padre.
  - Ogni processo ha:
    - ⇨ spazio di indirizzamento privato
    - ⇨ stack
    - ⇨ heap.
  - **Due processi non condividono mai lo spazio di indirizzamento**

- Thread : è un flusso di esecuzione indipendente che condivide tutte le sue risorse, incluso lo spazio di indirizzamento, con altri thread

Processo vs Thread (2 di 2)

- I thread eseguono su memoria condivisa nell'ambito dello stesso processo. Quando un thread viene creato condivide il suo spazio di memoria con gli altri thread che fanno parte del processo
- Sono anche chiamati *lightweight process* o *processi leggeri* perché possiedono un contesto più snello rispetto ai processi



Thread

- Thread
  - è l'unità granulare in cui un processo può essere suddiviso e che può essere **eseguito in parallelo** ad altri thread
  - è parte del processo e viene eseguito in maniera **concorrente** ed indipendente, internamente al processo stesso
  - insieme di istruzioni che vengono eseguite in modo indipendente rispetto al main
- Stato di un thread
  - stack
  - registri
  - proprietà di scheduling
  - stato dei segnali
  - dati privati

Esempio di utilizzo dei thread

- Browser Web, può usare un thread distinto per scaricare ogni immagine in una pagina Web.

- Processi server che possono rispondere contemporaneamente alle richieste provenienti da più utenti.

Vantaggi :-)

- Visibilità dei dati globali
  - condivisione di oggetti semplificata.
- Più flussi di esecuzione.
- 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 mantenuta buona parte dell'ambiente.

Svantaggi :-(

- Concorrenza invece di parallelismo
  - Bisogna gestire la **mutua esclusione**
- I thread di un programma usano il sistema operativo mediante system call che usano dati e tabelle di sistema dedicate al processo.
  - Le syscall devono essere costruite in modo da poter essere utilizzate da più thread contemporaneamente. Ad esempio la funzione `char *inet_ntoa()` scrive il proprio risultato in una variabile di sistema (del 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 setta la variabile con un valore.
- Il codice invocabile da thread concorrenti senza rischi è detto "thread safe"

Standard

- Standard ANSI/IEEE POSIX 1003.1 (1990)
  - Lo standard specifica l'interfaccia di programmazione (Application Program Interface - API) dei thread.
  - I thread POSIX sono noti come Pthread.

Funzioni delle API per 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” (mutua esclusione).
    - ⇨ funzioni per creare ed eliminare la struttura per la 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.
    - ⇨ funzioni per creare ed eliminare la struttura per la sincronizzazione, per attendere e segnalare le modifiche delle variabili.

Utilizzo

- includere l'header della libreria che contiene le definizioni dei pthread

```
#include <pthread.h>
```

  - ⇨ Per interpretare correttamente i messaggi di errore è necessario anche includere l'header `<errno.h>`
- compilare specificando la libreria

```
gcc <opzioni> -lpthread
```

  - ⇨ Libreria pthread (libpthread) → `lpthread`
  - ⇨ Per ulteriori informazioni sulla compilazione fare riferimento alla documentazione della piattaforma utilizzata `man pthread` o `man pthreads`

Convenzione sui nomi delle funzioni

- Gli identificatori della libreria dei Pthread iniziano con `pthread_`
  - `pthread_`
    - ⇨ indica la gestione dei thread in generale
  - `pthread_attr_`
    - ⇨ funzioni per gestire proprietà dei thread
  - `pthread_mutex_`
    - ⇨ gestione della mutua esclusione
  - `pthread_mutexattr_`
    - ⇨ proprietà delle strutture per la mutua esclusione
  - `pthread_cond_`
    - ⇨ gestione delle variabili di condizione
  - `pthread_condattr_`
    - ⇨ proprietà delle variabili di condizione
  - `pthread_key_`
    - ⇨ dati speciali dei thread

Risorse (1 di 2)

- POSIX Threads Programming Tutorial
  - **http://www.llnl.gov/computing/tutorials/pthreads/**
- Libri (consultazione)
  - B. Lewis, D. Berg, "*Threads Primer*", Prentice Hall
  - D. Butenhof, "*Programming With POSIX Threads*", Addison Wesley
  - B. Nichols et al, "*Pthreads Programming*", O'Reilly

Risorse (2 di 2)

- Manpages
  - pacchetto `manpages-posix-dev` (Debian)
  - `man pthread.h`
  - `man <nomefunzione>`

- Manuale GNU libc
  - **http://www.gnu.org/software/libc/manual/html_node/POSIX-Threads.html**

Gestione dei thread

Fabio Del Vigna - fabio.delvigna@for.unipi.it

Tipi definiti nella libreria pthread

- All'interno di un programma un thread è rappresentato da un identificatore
  - tipo opaco `pthread_t`
- Attributi di un thread
  - tipo opaco `pthread_attr_t`

- tipo opaco: si definiscono così strutture ed altri oggetti usati da una libreria, la cui struttura interna non deve essere vista dal programma chiamante (da cui il nome) che li deve utilizzare solo attraverso dalle opportune funzioni di gestione.

Identificatore del thread

- Processo: process id (pid) `pid_t`
- Thread: thread id (tid) `pthread_t`

```
pthread_t pthread_self( void )
```

- Restituisce il tid del thread chiamante

Confronto tra thread

```
int pthread_equal( pthread_t t1, pthread_t t2 )
```

- confronta i due identificatori di thread.
  - `1` se i due identificatori sono uguali

Creazione di un thread (1 di 2)

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

- crea una thread e lo rende eseguibile, cioè lo mette a disposizione dello scheduler per farlo partire ().

Non è prevedibile
il momento dell'attivazione del thread

Creazione di un thread (2 di 2)

- `pthread_t *thread`
  - puntatore ad un identificatore di thread in cui verrà scritto l'identificatore univoco del thread creato (se creato con successo)
- `const pthread_attr_t *attr`
  - attributi del processo da creare: può indicare le caratteristiche del thread riguardo alle operazioni di join o allo scheduling
  - se NULL usa valori di default
- `void *(*start_routine)(void *)`
  - è il nome (indirizzo) della funzione da eseguire alla creazione del thread
- `void *arg`
  - puntatore che viene passato come argomento a `start_routine`.
- Valore di ritorno
  - `0` in assenza di errore
  - diverso da zero altrimenti (attributi errati, mancanza di risorse)

Terminazione di un thread

```
void pthread_exit( void *value_ptr )
```

- Termina l'esecuzione del thread da cui viene chiamata
- Il sistema libera le risorse allocate al thread.
- 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 terminazione.
- `void *value_ptr`
  - valore di ritorno del thread consultabile da altri thread attraverso la funzione `pthread_join`

Esempio 1: creazione e terminazione (1 di 2)

```
/* Include */
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define NUM_THREADS     5

/* Corpo del thread */

void *PrintHello(void * num) {
   printf("\n%d: Hello World!\n", num);
   pthread_exit(NULL);
}
```

Esempio 1: creazione e terminazione (2 di 2)

```
/* Programma */
int main (int argc, char *argv[])
{
   pthread_t threads[NUM_THREADS];
   int rc, t;
   for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
      printf("Creating thread %d\n", t);
      rc = pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello, (void *)t);
      if (rc){
         printf("ERROR; return code from pthread_create() is %d\n", rc);
         exit(-1);
      }
   }
   pthread_exit(NULL);
}
```

Passaggio parametri (1 di 3)

- La `pthread_create` prevede un puntatore per il passaggio dei parametri al thread nel momento in cui comincia l'esecuzione.
- Si ponga attenzione nel caso il thread debba modificare i parametri, oppure il chiamante debba modificare i parametri, potrebbero insorgere problemi, meglio dedicare una struttura dati ad hoc, per il passaggio.

Passaggio parametri (2 di 3)

- Per riferimento con un cast a `void*`
- Esempio (errato)
  - il ciclo modifica il contenuto dell'indirizzo passato come parametro

```
int rc, t;

for(t=0; t<NUM_THREADS; t++) {
   printf("Creating thread %d\n", t);
   rc = pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello, (void *) &t);
   ...
}
```

Passaggio parametri (3 di 3)

- Esempio (corretto)
  - struttura dati univoca per ogni thread

```
int *taskids[NUM_THREADS];
for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
   taskids[t] = (int *) malloc(sizeof(int));
   *taskids[t] = t;
   printf("Creating thread %d\n", t);
   rc = pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello, (void *) taskids[t]);
   ...
}
```

Esempio 2 errato: passaggio parametri (1 di 2)

```
/* Include */
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUM_THREADS     5

/* Corpo del thread */

void *PrintHello(void *num) {
   printf("\n%d: Hello World!\n", *(int *) num);
   pthread_exit(NULL);
}
```

Esempio 2 errato : passaggio parametri (2 di 2)

```
/* Programma */
int main (int argc, char *argv[])
{
   pthread_t threads[NUM_THREADS];
   int rc, t;

   for(t=0; t<NUM_THREADS; t++) {
      printf("Creating thread %d\n", t);
      rc = pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello, (void *) &t);
      if (rc){
         printf("ERROR; return code from pthread_create() is %d\n", rc);
         exit(-1);
      }
   }
   pthread_exit(NULL);
}
```

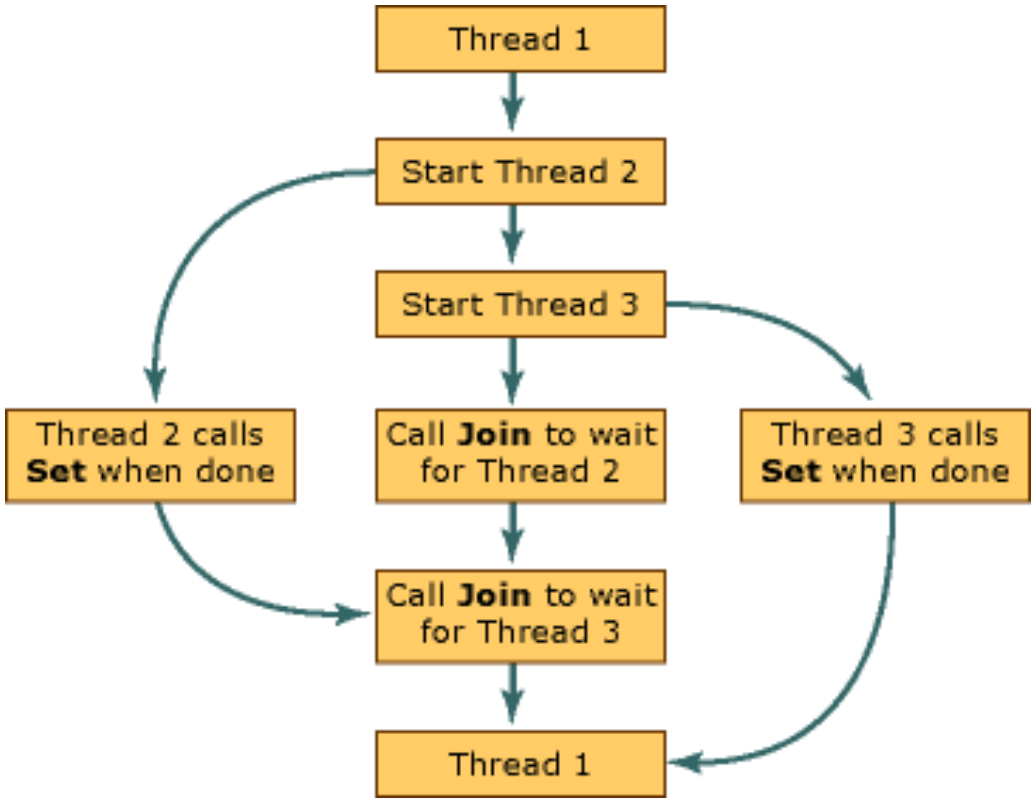
Esempio 2 : passaggio parametri (1 di 2)

```
/* Include */
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NUM_THREADS     5

/* Corpo del thread */

void *PrintHello(void *num) {
   printf("\n%d: Hello World!\n", *(int *) num);
   pthread_exit(NULL);
}
```

Esempio 2 : passaggio parametri (2 di 2)

```
/* Programma */
int main (int argc, char *argv[])
{
   pthread_t threads[NUM_THREADS];
   int rc, t;
   int *taskids[NUM_THREADS];
   for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
      taskids[t] = (int *) malloc(sizeof(int));
      *taskids[t] = t;
      printf("Creating thread %d\n", t);
      rc = pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello, (void *) taskids[t] );
      if (rc){
         printf("ERROR; return code from pthread_create() is %d\n", rc);
         exit(-1);
      }
   }
   pthread_exit(NULL);
}
```

Sincronizzazione
(semplice)



Join tra thread

- Forma elementare di sincronizzazione
  - il thread che effettua il join si blocca finché uno specifico thread non termina
  - il thread che effettua il join può ottenere lo stato del thread che termina
- Attributo `detachstate` di un thread
  - specifica se si può invocare o no la funzione join su un certo thread
  - un thread è joinable per default

Operazione di join

```
int pthread_join( pthread_t *thread, void **value )
```

- `pthread_t *thread`
  - identificatore del thread di cui attendere la terminazione
- `void **value`
  - valore restituito dal thread che termina
- Valore di ritorno
  - `0` in caso di successo
  - `EINVAL` se il thread da attendere non è joinable
  - `ERSCH` se non è stato trovato nessun thread corrispondente all'identificatore specificato

Impostazione attributo di join (1 di 4)

```
int pthread_attr_init( pthread_attr_t *attr )
```

- Inizializza gli attributi del pthread

```
int pthread_attr_destroy ( pthread_attr_t *attr)
```

- Dealloca gli attributi del pthread

Impostazione attributo di join (2 di 4)

- Un thread può essere:
  - **Joinable**: i thread non sono rilasciati automaticamente ma rimangono come zombie finchè altri thread non effettuano delle join
  - **Detached**: i thread detached sono rilasciati automaticamente e non possono essere oggetto di join da parte di altri thread.

```
int pthread_attr_setdetachstate( pthread_attr_t *attr,
                                 int detachstate )
```

- Detach può essere:
  - PTHREAD_CREATE_DETACHED
  - PTHREAD_CREATE_JOINABLE.

Impostazione attributo di join (3 di 4)

```
/* Attributo */
pthread_attr_t attr;

/* Inizializzazione esplicita dello stato joinable */
pthread_attr_init(&attr);
pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_JOINABLE);
...
pthread_attr_destroy(&attr);
```

Impostazione attributo di join (4 di 4)

```
int main (int argc, char *argv[]) {
   pthread_t thread[NUM_THREADS];
   ...
   pthread_attr_destroy(&attr);
   for(t=0; t<NUM_THREADS; t++)
   {
      rc = pthread_join(thread[t], (void **)&status);
      if (rc) {
         printf("ERROR; return code from pthread_join() is %d\n", rc);
         exit(-1);
      }
      printf("Completed join with thread %d status= %d\n",t, status);
   }
   pthread_exit(NULL);
}
```

Esempio 3: thread join (1 di 3)

```
/* Include */
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define NUM_THREADS     5

void *PrintHello(void *num) {
   printf("\n%d: Hello World!\n", num);
   pthread_exit(NULL);
}
```

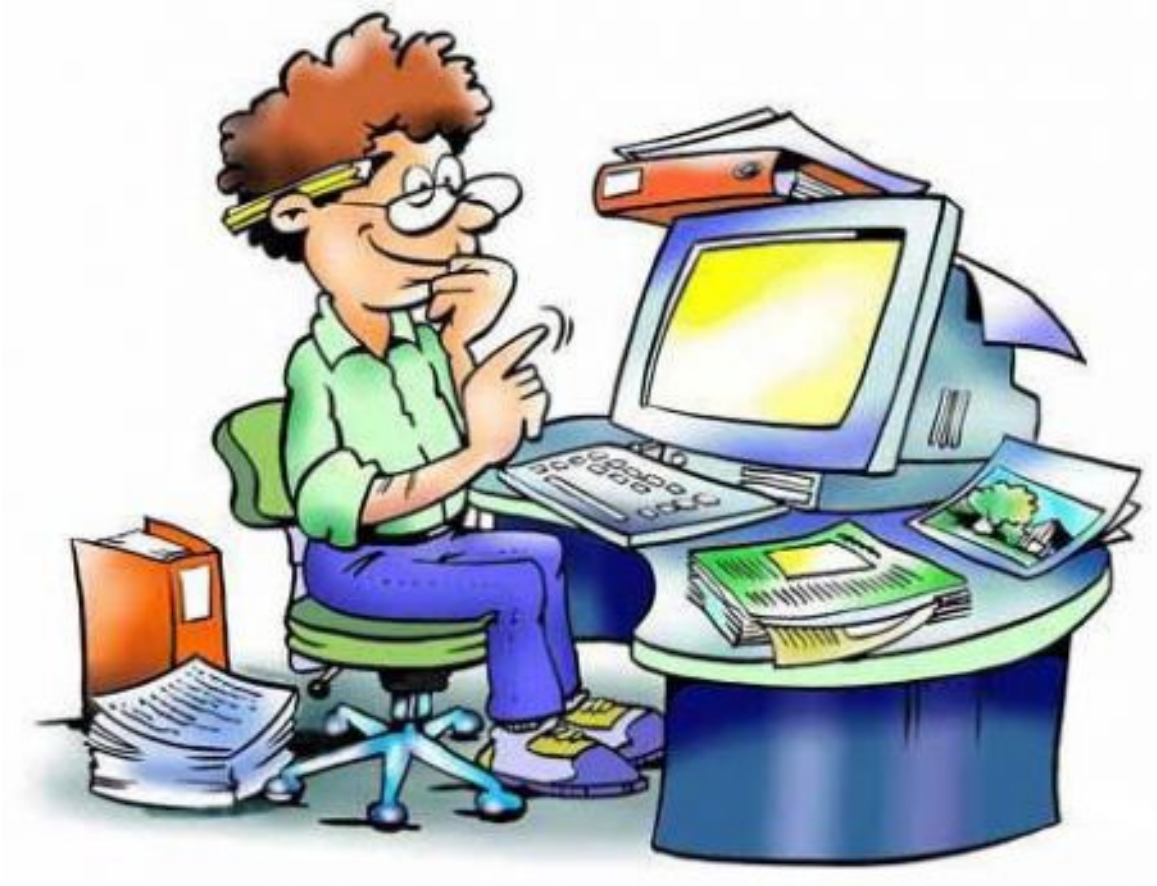
Esempio 3: thread join (2 di 3)

```
int main (int argc, char *argv[]) {
   pthread_t threads[NUM_THREADS];
   void *status;
   int rc, t;
   pthread_attr_t attr;

   /* Inizializzazione esplicita dello stato joinable */
   pthread_attr_init(&attr);
   pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_JOINABLE);

   for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
      printf("Creating thread %d\n", t);
      rc = pthread_create(&threads[t], &attr, PrintHello, (void *)t);
      if (rc){
         printf("ERROR; return code from pthread_create() is %d\n", rc);
         exit(-1);
      }
   }
```

Esempio 3: thread join (3 di 3)

```
   for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
      rc = pthread_join(threads[t], (void **)&status);
      if (rc) {
         printf("ERROR; return code from pthread_join() is %d\n", rc);
         exit(-1);
      }
      printf("Completed join with thread %d status= %d\n",t, status);
   }

   printf ("Main(): Atteso su %d threads. Fatto \n", NUM_THREADS);

   /*Rimuovi oggetti ed esci*/
   pthread_attr_destroy(&attr);

   pthread_exit(NULL);
}
```

Esercizi



Esercizio 1

- `pthreads-1a-simple.c`
  - analizzare l'output
  - cambiare `pthreads_exit(NULL)` in `return(0)`
  - cosa succede?
  - aggiungere il passaggio di un parametro ai thread passando a tutti lo stesso valore
- `pthreads-1b-simple.c`
  - cosa cambia rispetto al precedente?
- `pthreads-1c-simple.c`
  - soluzione dell'esercizio precedente (prossima volta)

pthreads-1a-simple.c

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

#define NUM_THREADS 3

void *thread_function(void* arg){
  printf("[Thread] Waiting for termination...\n");
  sleep(5);
  printf("[Thread] ...thread finished!\n");
  pthread_exit(NULL);
}

int main(void){
  pthread_t tids[NUM_THREADS];
  int i, rc;
  printf("[Main] Starting...\n");
  for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
    printf("[Main] Creating thread %d..\n", i);
    rc = pthread_create(&tids[i], NULL, thread_function, NULL);
    if (rc) {
      perror("[Main] ERROR from pthread_create()\n");
      exit(-1);
    }
  }
  printf("[Main] ...done!\n");
  pthread_exit(NULL);
}
```

pthreads-1b-simple.c (1 di 2)

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

#define NUM_THREADS 3

void *thread_function(void* arg){
  printf("[Thread] Waiting for
termination...\n");
  sleep(5);
  printf("[Thread] ...thread finished!\n");
  pthread_exit(NULL);
}
```

pthreads-1b-simple.c (2 di 2)

```
int main(void){
  pthread_t tids[NUM_THREADS];
  int i, rc;
  printf("[Main] Starting...\n");
  for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
    printf("[Main] Creating thread %d..\n", i);
    rc = pthread_create(&tids[i], NULL, thread_function, (void*)NULL);
    if (rc) {
      perror("[Main] ERROR from pthread_create()\n");
      exit(-1);
    }
  }
  printf("[Main] Waiting for threads termination...\n");
  for(i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
      rc = pthread_join(tids[i], (void *)NULL);
      if (rc) {
              perror("[Main] ERROR from pthread_join()\n");
              exit(-1);
      }
      printf("[Main] Completed join with thread %d\n",i);
    }
  printf("[Main] ...done!\n");
  return(0);
}
```

Esercizio 2

- `pthreads-2a-args.c`
  - analizzare l'output
  - modificare in modo da ottenere un funzionamento corretto
- `pthreads-2b-args.c`
  - soluzione dell'esercizio precedente (prossima volta)

pthreads-2a-args.c

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>

#define NUM_THREADS 3

void *thread_function(void* arg)
{
  int i = *(int*)arg;
  printf("[Thread %d] Waiting for termination...\n",i);
  sleep(5);
  printf("[Thread %d] ...thread finished!\n",i);
  pthread_exit(NULL);
}

int main(void)
{
  pthread_t tids[NUM_THREADS];
  int i, rc;
  printf("[Main] Starting...\n");
  for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
    printf("[Main] Creating thread %d..\n", i);
    rc = pthread_create(&tids[i], NULL, thread_function, (void*)&i);
    if (rc){
      perror("[Main] ERROR from pthread_create()\n");
      exit(-1);
    }
  }
  printf("[Main] ...done!\n");
  pthread_exit(NULL);
}
```