Thread

La libreria Pthread

Stefano Quer
Dipartimento di Automatica e Informatica
Politecnico di Torino

Librerie di thread

- Fornisce l'interfaccia per effettuare la gestione dei thread da parte del programmatore
- La gestione può essere effettuata
  - A livello utente (mediante funzioni)
  - A livello kernel (mediante system call)
- Le librerie di thread più usate sono
  - Thread POSIX
  - Windows 32/64
  - Java

Implementata a livello utente e a livello kernel

Realizzata a livello kernel

In genere implementata tramite una libreria thread del sistema ospitante Java (ovvero Pthread POSIX o Windows 32/64)

Pthreads

- POSIX threads o Pthreads
  - È la libreria standard UNIX per la gestione di thread
    - POSIX 1003.1c del 1995
    - Rivista con la IEEE POSIX 1003.1 2004 Edition
  - È definita per il C ma è disponibile in altri linguaggi (e.g., FORTRAN)
- Attraverso Pthreads
  - Il thread è una **funzione** che viene eseguita in maniera indipendente dal resto del programma

Processo concorrente costituito da più thread = insieme di funzioni in esecuzione indipendente che condividono le risorse del processo

Pthreads

- Pthreads permette di
  - Creare e manipolare thread
  - Sincronizzare thread
  - Proteggere le risorse comuni ai thread
  - Schedulare thread
  - Distruggere thread
- Definisce più di **60** funzioni di gestione
  - Tutte le funzioni hanno nome **pthread_***
    - pthread_equal, pthread_self, pthread_create, pthread_exit, pthread_join, pthread_cancel, pthread_detach

Libreria e compilazione

- Le funzioni di Pthread sono definite in
  - pthreads.h
- Occorre ricordarsi di
  - Inserire nei file **.c** la riga
    - #include <pthread.h>
  - Compilare i programmi con l'opzione o includendo la libreria **pthread**

```
gcc -Wall -g -o <exeName> -pthread <file.c>
gcc -Wall -g -o <exeName> <file.c> -lpthread
```

Thread Identifier

- Un thread è identificato in maniera univoca
  - Da un identificatore di tipo **pthread_t**
    - Simile al PID di un processo (pid_t)
  - Il tipo pthread_t è opaco
    - La sua definzione dipende dall'implementazione
    - Occorre farne accesso/uso solo mediante funzioni appositamente definite in Pthreads
    - Non è possibile confrontare due identificatori direttamente o stamparne il valore
  - Ha significato solo all'interno del processo in cui il thread è stato eseguito
    - Si ricordi che il PID è globale all'interno del sistema

System call pthread_equal ()

```
int pthread_equal (
  pthread_t tid1,
  pthread_t tid2
);
```

- Confronta due identificatori di thread
- Parametri
  - Due identificatori di thread
- Valore di ritorno
  - Diverso da 0, se i thread sono uguali
  - Uguale a 0, altrimenti

System call pthread_self ()

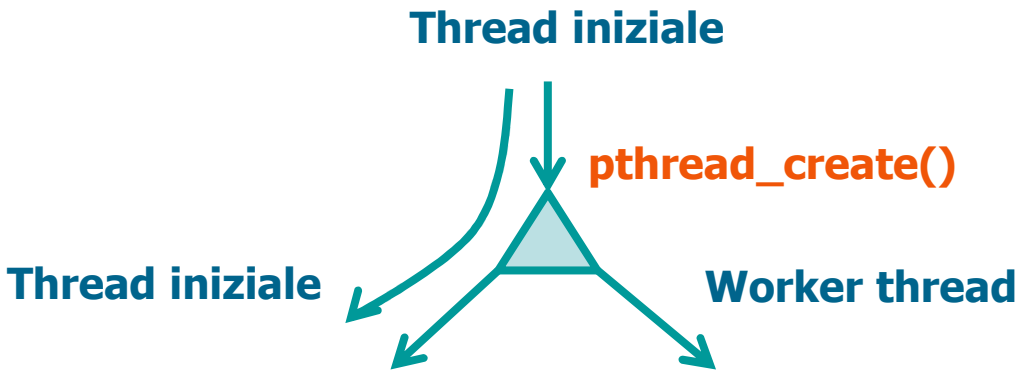
```
pthread_t pthread_self (
  void
);
```

- Ritorna l'identificatore di thread del thread chiamante
  - Puo essere utilizzata da un thread (insieme a **pthread_equal**) per auto-identificarsi

Auto-identificarsi può essere importante per accedere correttamente ai propri dati personali

System call pthread_create ()

- All'esecuzione, ogni programma include un solo processo e un solo thread
- Per creare un nuovo thread si utilizza **pthread_create**
  - Il numero massimo di chiamate a pthread_create è indefinito e dipende dall'implementazione



System call pthread_create ()

```
int pthread_create (
  pthread_t *tid,
  const pthread_attr_t *attr,
  void *(*startRoutine)(void *),
  void *arg
  );
```

- Parametri
  - Identificatore del thread generato (tid)
  - Attributi del thread (attr)
    - NULL è l'attributo di default
  - Routine C eseguita dal thread (startRoutine)
  - Argomento passato alla routine di inizio (arg)
    - NULL se non c'è argomento

Un solo argomento!

System call pthread_create ()

- Valore di ritorno
  - Il valore 0, in caso di successo
  - Un codice di errore, in caso di fallimento

```
int pthread_create (
  pthread_t *tid,
  const pthread_attr_t *attr,
  void *(*startRoutine)(void *),
  void *arg
  );
```

System call pthread_exit ()

- Un intero processo (con tutti i suoi thread) termina se
  - Un suo thread effettua una **exit** (**_exit** o **_Exit**)
  - Il main effettua una **return**
  - Un suo thread riceve un segnale la cui azione è terminare
- Un singolo thread può terminare
  - Effettuando un **return** dalla sua funzione di inizio
  - Eseguendo una **pthread_exit**
  - Ricevendo una **pthread_cancel** da un altro thread

System call pthread_exit ()

```
void pthread_exit (
  void *valuePtr
);
```

- Permette a un thread di terminare restituendo il suo stato di terminazione
- Parametri
  - Il valore valuePtr è mantenuto dal SO sino a quando un thread fa una **pthread_join**
  - Tale valore risulta disponibile al thread che effettua una **pthread_join**

Esempio

Attivazione di 1 thread senza parametri

```
void *tF () {
  ...
  pthread_exit (NULL);
}
```

Attributi

Parametri

```
pthread_t tid;
int rc;
rc = pthread_create (&tid, NULL, tF, NULL);
if (rc) {
  // Error ...
  exit (-1);
}
...
pthread_exit (NULL);
// exit (0);
// return (0); (nel main)
```

Termina il solo thread originario

Termina l'intero processo (tutti i thread)

Esempio

Attivazione di N thread con 1 parametro

```
void *tF (void *par) {
  int *tidP, tid;
  ...
  tidP = (int *) par;
  tid = *tidP;
  ...
  pthread_exit (NULL);
}
```

Colleziona i tid

```
pthread_t t[NUM_THREADS];
int rc, i;

for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
  rc = pthread_create (&t[i], NULL, tF,
    (void *) &i);
  if (rc) {...}
}
pthread_exit(NULL);
```

Parametro puntatore a intero

Esempio

Attivazione di N thread con 1 parametro

I thread possono essere attivati quando t è mutato

```
void *tF (void *par) {
  int *tidP, tid;
  ...
  tidP = (int *) par;
  tid = *tidP;
  ...
  pthread_exit (NULL);
}
```

```
pthread_t t[NUM_THREADS];
int rc, i;

for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
  rc = pthread_create (&t[i], NULL, tF,
    (void *) &i);
  if (rc) {...}
}
pthread_exit(NULL);
```

ERRORE
t è un puntatore e il suo valore cambia

Esempio

Attivazione di N thread con 1 parametro

Cast di dato singolo void * ↔ **long** int

```
void *tF (void *par) {
  long int tid;
  ...
  tid = (long int) par;
  ...
  pthread_exit(NULL);
}
```

```
pthread_t t[NUM_THREADS];
int rc; long int i;

for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
  rc = pthread_create (&t[i], NULL, tF,
    (void *) i);
  if (rc) { ... }
}
pthread_exit (NULL);
```

Parametro long int con cast esplicito a un puntatore

Esempio

Attivazione di N thread con 1 parametro

Cast di vettore di puntatori void * ↔ **int**

```
void *tF (void *par) {
  int *tid, taskid;
  ...
  tid = (int *) par;
  taskid = *tid;
  ...
  pthread_exit(NULL);
}
```

```
int tA[NUM_THREADS];
for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
  tA[i] = i;
  rc = pthread_create (&t[i], NULL, tF,
    (void *) &tA[i]);
  if (rc) { ... }
}
pthread_exit (NULL);
```

Se il parametro è in un vettore posso passare il puntatore

Esempio

Attivazione di N thread con 1 struct

```
struct tS {
  int tid;
  char str[N];
};
```

```
void *tF (void *par) {
  struct tS *tD;
  int tid; char str[L];

  tD = (struct tS *) par;
  tid = td->tid; strcpy (str, td->str);
  ...
```

Cast di vettore di strutture

```
pthread_t t[NUM_THREADS];
struct tS v[NUM_THREADS];
...
for (i=0; i<NUM_THREADS; i++) {
  v[i].tid = i;
  strcpy (v[i].str, str);
  rc = pthread_create (&t[i], NULL, tF, (void *) &v[i]);
  ...
  }
...
```

Puntatore a struct convertito in void *

System call pthread_join ()

- Alla sua creazione un thread può essere dichiarato
  - Joinable
    - Un altro thread può effettuare una "wait" (pthread_join) su di lui e può quindi acquisire il suo stato di uscita
  - Detached
    - Non si può attendere esplicitamente la sua terminazione (non è joinable)

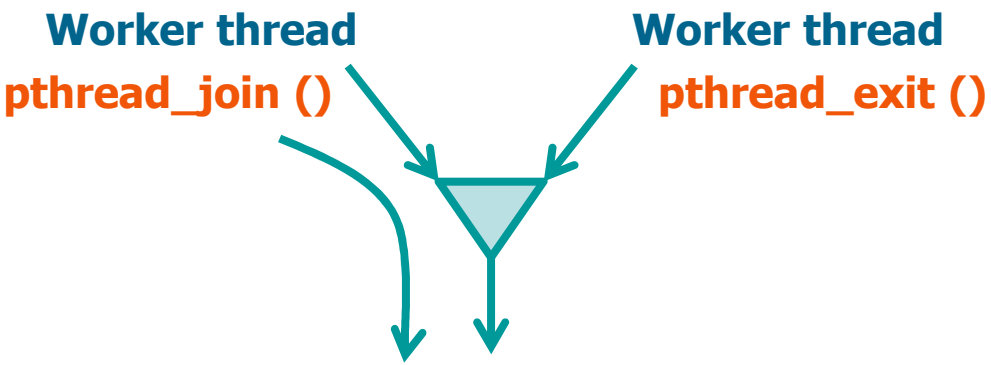
System call pthread_join ()

- Se il thread
  - È joinable il suo stato di terminazione viene mantenuto sino a quando un altro thread esegue una **pthread_join** per quel thread
  - È detached il suo stato di terminazione viene subito rilasciato
- In ogni caso
  - Il thread che richiama la **pthread_join** rimane bloccato sino a quando il thread richiesto non effettua una **pthread_exit**

System call pthread_join ()

```
int pthread_join (
  pthread_t tid,
  void **valuePtr
);
```

- Usata da un thread per attendere (wait) un'altro specifico thread



System call pthread_join ()

- Parametri
  - Identificatore del thread atteso (tid)
  - Il puntatore (senza tipo) valuePtr riferirà il valore ritornato dal thread **tid**
    - Ritornato dalla pthread_exit
    - Ritornato con una return
    - PTHREAD_CANCELED se il thread è stato cancellato

valuePtr può essere NULL qualora non si voglia recuperare tale valore

```
int pthread_join (pthread_t tid, void **valuePtr);
```

System call pthread_join ()

- Valore di ritorno
  - Il valore 0, in caso di successo
  - Un codice di errore, in caso di fallimento
    - Se il thread era nello stato detached la **pthread_join** dovrebbe fallire
      - A seconda del SO e del timing può anche terminare correttamente
    - Se fallisce ritorna la costante EINVAL oppure ESRCH

```
int pthread_join (pthread_t tid, void **valuePtr);
```

Esempio

Utilizzo della pthread_join

Ritorno lo stato di exit (il pid in questo caso)

```
void *tF (void *par) {
  long int tid;
  ...
  tid = (long int) par;
  ...
  pthread_exit ((void *) tid);
}
```

```
void *status;
long int pid;
...
/* Wait for threads */
for (t=0; t<NUM_THREADS; t++) {
  rc = pthread_join (t[t], &status);
  pid = (long int ) status;
  if (rc) { ... }
}
...
```

t[t] collezionava i tid

Attesa dei thread e cattura del loro stato in status

Esempio

- Utilizzo di una variabile globale comune a più thread

```
int myglobal;

void *threadF (void *arg) {
  int *argc = (int *) arg;
  int i, j;
  for (i=0; i<20; i++) {
    j = myglobal;
    j = j + 1;
    printf ("t");
    if (*argc > 1) sleep (1);
    myglobal = j;
  }
  printf ("(T:myglobal=%d)", myglobal);
  return NULL;
}
```

La variabile globale viene incrementata tramite copia in j

Il thread può attendere oppure no

Esempio

```
int main (int argc, char *argv[]) {
  pthread_t mythread;
  int i;
  pthread_create (&mythread, NULL, threadF, &argc);
  for (i=0; i<20; i++) {
    myglobal = myglobal + 1;
    printf ("m");
    sleep (1);
  }
  pthread_join (mythread, NULL);
  printf ("(M:myglobal=%d)", myglobal);
  exit (0);
}
```

Esempio

Il thread parte subito
Nessun incremento viene perduto

```
> ./pgrm
mttttttttttttttttttt(T:myglobal=21)mmmmmmmmmmmmmmmmmmm
m(M:myglobal=40)
```

Thread e main si alternano ogni secondo
Gli incrementi del thread vengono perduti

```
> ./pgrm 1
mtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmtmt(T:myglobal=21)
M:myglobal=21)
```

2sec di attesa per il main
Alcuni incrementi si perdono altri no

```
> ./pgrm 1
mttmttmttmttmttmttmttmttmttm(T:myglobal=21)mmmmmmmm
m(M:myglobal=30)
```

System call pthread_cancel ()

```
int pthread_cancel (
  pthread_t tid
);
```

- Termina il thread indicato
  - È come se tale thread eseguisse una pthread_exit con parametro PTHREAD_CANCELED
- Il thread che fa la richiesta non attende la terminazione del thread (effettua la richiesta e continua)

System call pthread_cancel ()

- Parametri
  - Identificatore del thread (tid) da terminare
- Valore di ritorno
  - Il valore 0, in caso di successo
  - Un codice di errore, in caso di fallimento

```
int pthread_cancel (pthread_t tid);
```

System call pthread_detach ()

```
int pthread_detach (
  pthread_t tid
);
```

L'attributo della pthread_create permette una strada alternativa per dichiarare un thread detached

- Dichiara il thread **tid** come detached
  - La memoria del thread che termina sarà restituita al SO e non mantenuta per una join
  - Non sarà più possibile effettuare un join con tale thread
    - Chiamate alla **pthread_join** dovrebbero fallire con il codice di errore EINVAL o ESRCH

System call pthread_detach ()

- Parametro
  - Identificatore del thread (tid)
- Valore di ritorno
  - Il valore 0, in caso di successo
  - Un codice di errore, in caso di fallimento

```
int pthread_detach (pthread_t tid);
```

Esempio

- Creare un thread e poi renderlo detached

```
pthread_t tid;
int rc;
void *status;

rc = pthread_create (&tid, NULL, PrintHello, NULL);
if (rc) { ... }

pthread_detach (tid);

rc = pthread_join (tid, &status);
if (rc) {
  // Error
  exit (-1);
}

pthread_exit (NULL);
```

Detach a thread

Errore se si attende

Esempio

- Creare un thread "detached" utilizzando l'attributo della pthread_create

```
pthread_attr_t attr;
void *status;

pthread_attr_init (&attr);
pthread_attr_setdetachstate (&attr,
  PTHREAD_CREATE_DETACHED);
  //PTHREAD_CREATE_JOINABLE);

rc = pthread_create (&t[t], &attr, tF, NULL);
if (rc) {...}

pthread_attr_destroy (&attr);

rc = pthread_join (thread[t], &status);
if (rc) {
  // Error
  exit (-1);
}
```

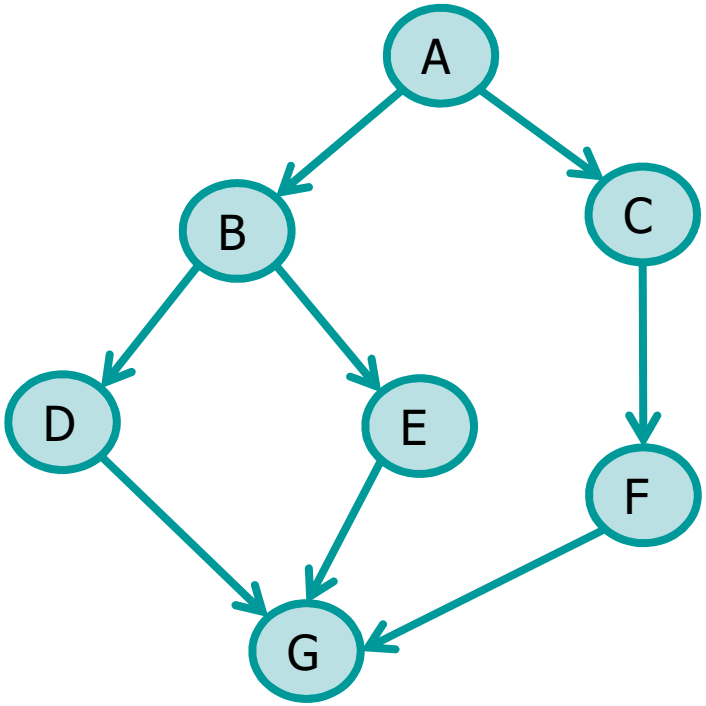
Crea un thread come detached

Distrugge l'attributo

Errore se si attende

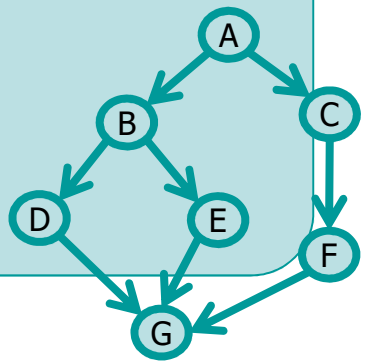
Esercizio proposto

- Realizzare, tramite l'utilizzo di thread, il seguente grafo di precedenza



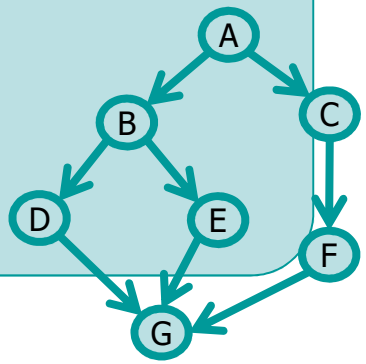
Soluzione

```
void waitRandomTime (int max){
  sleep ((int)(rand() % max) + 1);
}

int main (void) {
  pthread_t th_cf, th_e;
  void *retval;

  srand (getpid());
  waitRandomTime (10);
  printf ("A\n");
```



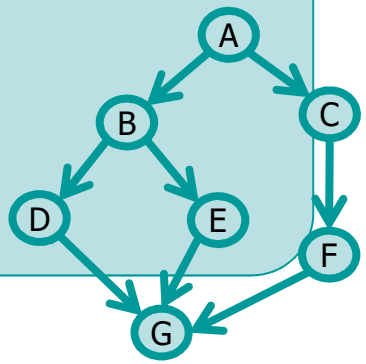
Soluzione

```
  waitRandomTime (10);
  pthread_create (&th_cf,NULL,CF,NULL);
  waitRandomTime (10);
  printf ("B\n");
  waitRandomTime (10);
  pthread_create (&th_e,NULL,E,NULL);
  waitRandomTime (10);
  printf ("D\n");
  pthread_join (th_e, &retval);
  pthread_join (th_cf, &retval);
  waitRandomTime (10);
  printf ("G\n“);
  return 0;
}
```



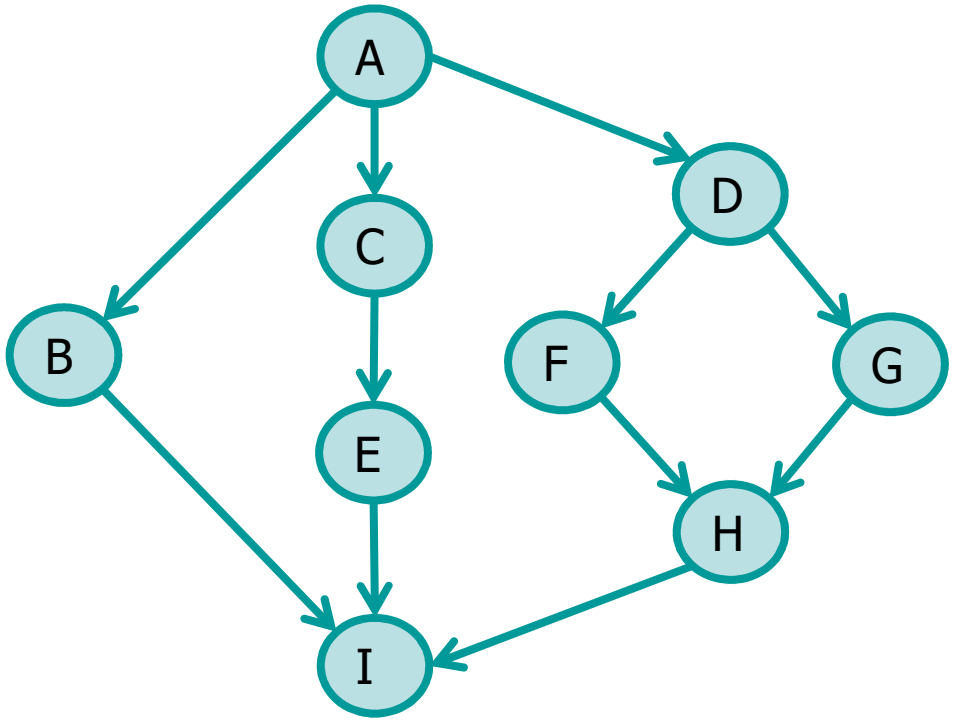
Soluzione

```
static void *CF () {
  waitRandomTime (10);
  printf ("C\n");
  waitRandomTime (10);
  printf ("F\n");
  return ((void *) 1); // Return code
}

static void *E () {
  waitRandomTime (10);
  printf ("E\n");
  return ((void *) 2); // Return code
}
```



Esercizio

- Realizzare, tramite l'utilizzo di thread, il seguente grafo di precedenza

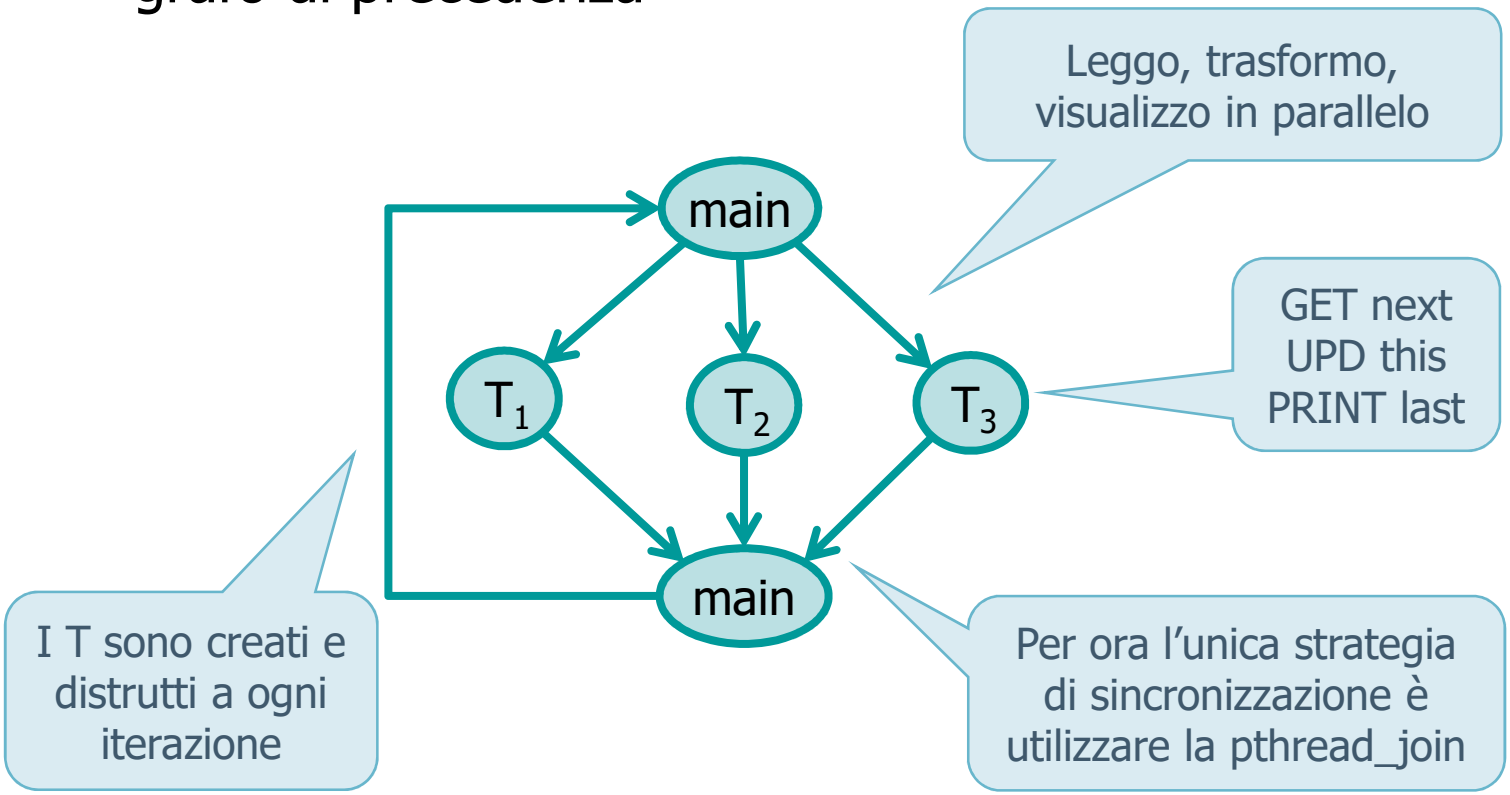


Esercizio

- Un file contiene un numero di caratteri indefinito
- Realizzare un programma con thread concorrenti in cui tre thread (T_1, T_2, T_3) lavorino in pipeline per gestire il file
  - T_1: Legge dal file un carattere alla volta
  - T_2: Trasforma il carattere letto da T_1 in maiuscolo
  - T_3: Visualizza il carattere prodotto da T_2 su standard output

Soluzione

- Realizzare, tramite l'utilizzo di thread, il seguente grafo di precedenza



Soluzione

```
static void *GET (void *arg) {
  char *c = (char *) arg;
  *c = fgetc (fg);
  return  NULL;
}

static void *UPD (void *arg) {
  char *c = (char *) arg;
  *c = toupper (*c);
  return  NULL;
}

static void *PRINT (void *arg) {
  char *c = (char *) arg;
  putchar (*c);
  return  NULL;
}
```

Soluzione

```
FILE *fg;

int main (int argc, char ** argv) {
  char next, this, last;
  int retC;
  pthread_t tGet, tUpd, tPrint;
  void *retV;

  if ((fg = fopen(argv[1], "r")) == NULL){
    perror ("Errore fopen\n");
    exit (0);
  }
  this = ' ';
  last = ' ';
  next = ' ';
```

Soluzione

È possibile gestire separatamente i primo due caratteri

```
while (next != EOF) {
  retC = pthread_create (&tGet,NULL,GET,&next);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_create (&tUpd,NULL,UPD,&this);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_create (&tPrint,NULL,PRINT,&last);
  if (retcode != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_join (tGet, &retV);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_join (tUpd, &retV);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_join (tPrint, &retV);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  last = this;
  this = next;
}
```

Soluzione

Gestione degli ultimi due caratteri (coda)

```
  // Last two chars processing

  retC = pthread_create(&tUpd,NULL,UPD,&this);
  if (retC!=0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_create(&tPrint,NULL,PRINT,&last);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_join (tUpd, &retV);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_join (tPrint, &retV);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  retC = pthread_create(&tPrint,NULL,PRINT,&this);
  if (retC != 0) fprintf (stderr, ...);
  return 0;
}
```