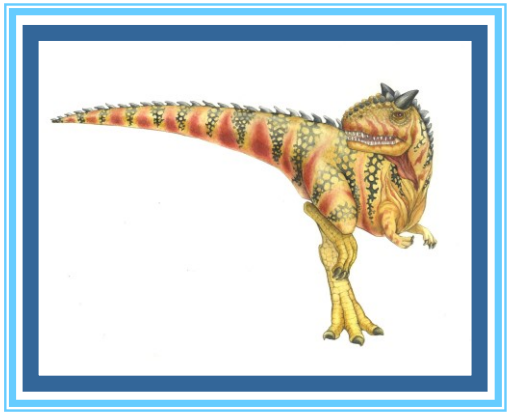
Thread e concorrenza



Obiettivi

- Introdurre la nozione di thread – l'unità fondamentale di utilizzo della CPU nei computer che supportano il multithreading
- Descrivere i principali vantaggi e le problematiche più significative della progettazione di processi multithread
- Discutere le API per le librerie di thread, con particolare riferimento a Pthreads
- Presentare approcci al threading implicito
- Definire il supporto di Linux ai thread

Sommario

- Thread: motivazioni e definizione
- Programmazione multicore
- Modelli di programmazione multithread
- Librerie per i thread
- Threading implicito
- Problemi nella programmazione multithread
- Thread di Linux

Motivazioni – 1

- La maggior parte delle applicazioni attuali sono multi-thread
- I thread vengono eseguiti "all'interno" delle applicazioni
- La gestione dei processi può diventare molto onerosa, sia dal punto di vista computazionale che per l'utilizzo di risorse
  - Creazione: allocazione dello spazio degli indirizzi e successiva popolazione
  - Context–switch: salvataggio e ripristino degli spazi di indirizzamento (codice, dati, stack) di due processi

Motivazioni – 2

- Con un'applicazione che genera molti processi (es.: server), il SO rischia di passare la maggior parte del tempo a svolgere operazioni interne di gestione, piuttosto che ad eseguire codice applicativo
- Inoltre, a volte, l'attività richiesta ha vita relativamente breve rispetto ai tempi di gestione
  - Esempio: invio di una pagina html da parte di un server Web ⇨ "operazione leggera", per motivare un nuovo processo
- Infine, esistono applicazioni che, presentando un intrinseco grado di parallelismo, possono essere decomposte in attività da eseguire concorrentemente, sulla base di un insieme di dati e risorse comuni

Motivazioni – 3

- Esempio: Applicazioni in tempo reale per il controllo di impianti fisici, in cui si individuano attività quali…
  - Controllo dei singoli dispositivi di I/O dedicati a raccogliere i dati del processo fisico (sensori)
  - Invio di comandi verso l'impianto
  - ⇨ Le diverse attività devono frequentemente accedere a strutture dati comuni, che rappresentano lo stato complessivo del sistema da controllare
- Infine…
  - La programmazione multithread può produrre codice più semplice e più efficiente
  - I kernel attuali sono normalmente multithread
  - Il multithreading si adatta perfettamente alla programmazione nei sistemi multicore

Definizione – 1

THREAD, PROPRIO PC, CONTESTO E STACK

#DEF THREAD, UNITÀ BASE D'USO della CPU

- Un *thread* (trama, filo) è l'unità base d'uso della CPU e comprende un identificatore di thread (TID), un contatore di programma, un insieme di registri ed uno stack
  - Condivide con gli altri thread che appartengono allo stesso processo la sezione del codice, la sezione dei dati (globali) e le altre risorse allocate al processo originale (file aperti e segnali)

CONDIVIDONO CODICE, DATI GLOBALI E FILE APERTI

- Un processo tradizionale – *heavyweight process* – è composto da un solo thread

PROCESSO PESANTE

  - Un processo è "pesante", in riferimento al contesto (spazio di indirizzamento, stato) che lo definisce

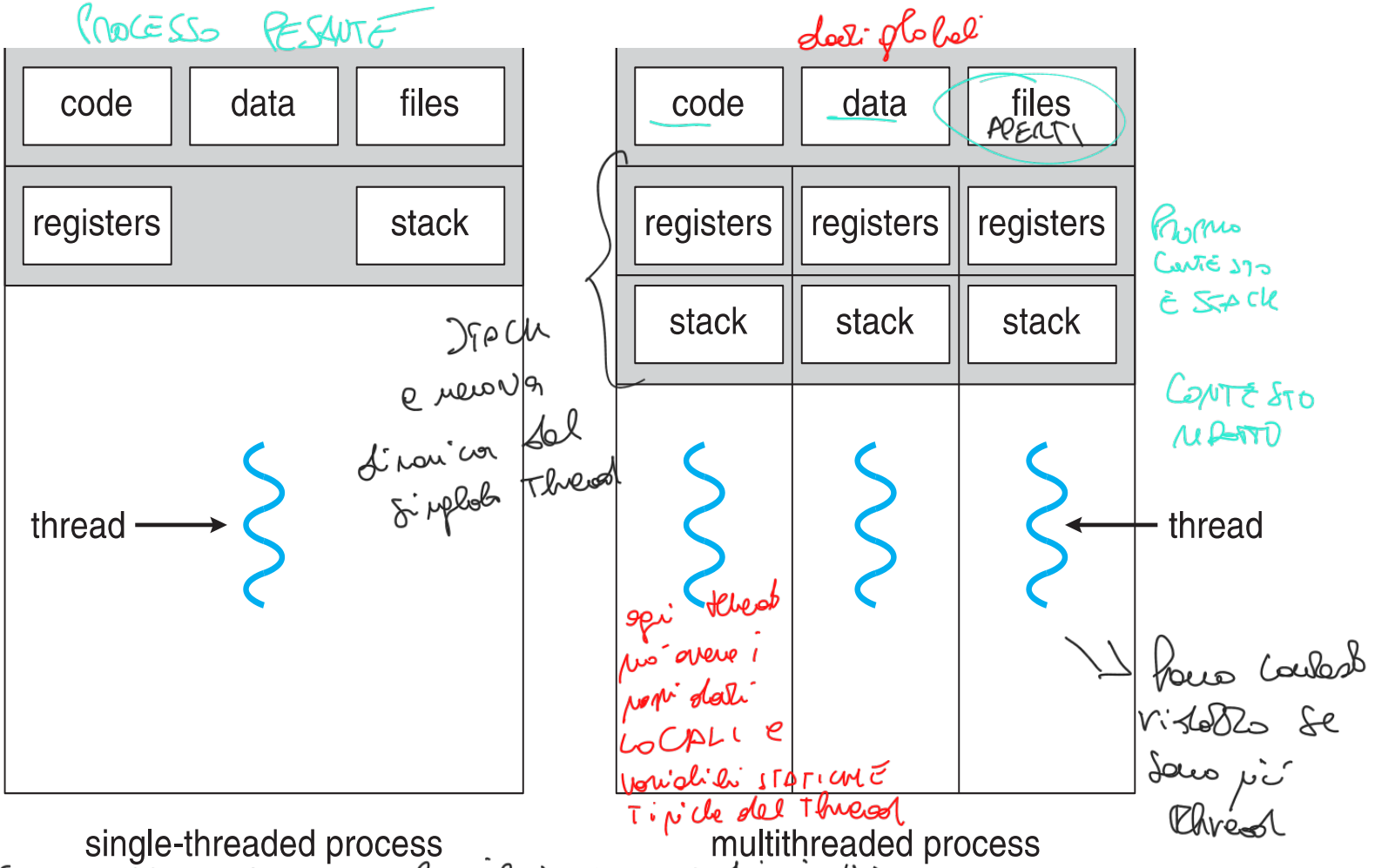
Thread
Percorsi esecutivi
voglio dividere
Dati globali

anche processi pesanti hanno sempre 2 Port
dati e risorse
Filo di esecuzione
voglio distinguere le sue cose
così da averne più percorsi

Definizione – 2

- I thread sono detti anche "processi leggeri", perché hanno un contesto ridotto (condividono lo spazio degli indirizzi)
- Poiché i thread appartenenti ad uno stesso processo ne condividono codice, dati e risorse…
  - Se un thread altera una variabile non locale al thread, la modifica è visibile a tutti gli altri thread
  - Se un thread apre un file, allora anche gli altri thread possono operare sul file
- Un processo multithread è in grado di eseguire più compiti in modo concorrente

Processi a singolo thread e multithread



single-threaded process

multithreaded process

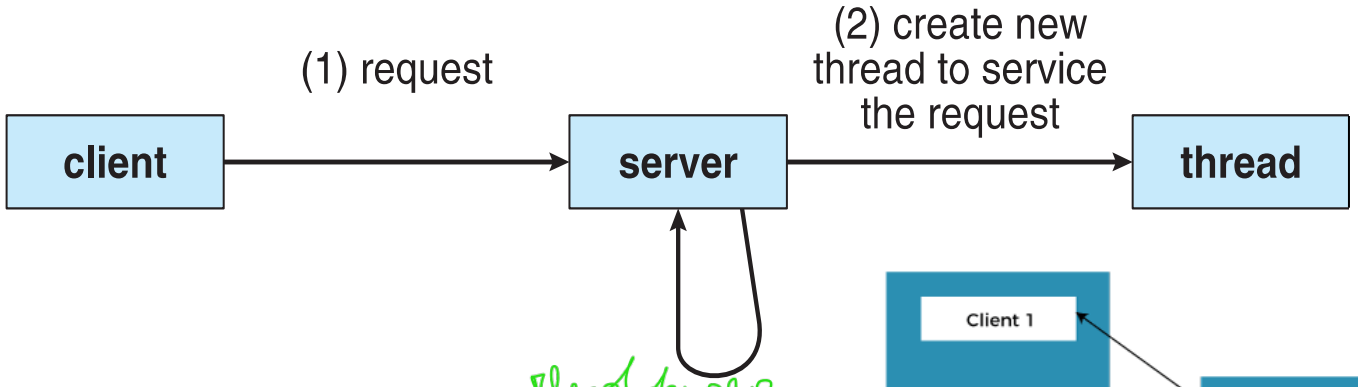
CONTEXT SWITCH : qui processo ha il suo spazio degli indirizzi. Processi ora vengono impaginati. Regione dei processi sono sparsi nella RAM, e per mapparli c'è una struttura dati: (TABELLA delle PAGINE)

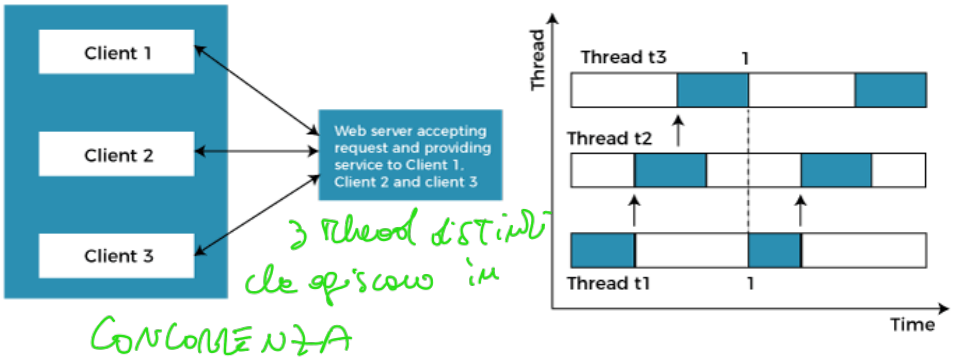
Esempi – 1

- Browser web
  - Un thread per la rappresentazione sullo schermo di immagini e testo
  - Un thread per il reperimento dell'informazione in rete
- Text editor
  - Possibile avere un thread per ciascun documento aperto (i thread sono tutti uguali ma lavorano su dati "locali" diversi)
  - Relativamente ad ognuno è anche possibile avere…
    - Un thread per la visualizzazione dei dati su schermo
    - Un thread per la lettura dei dati immessi da tastiera
    - Un thread per la correzione ortografica e grammaticale
    - Un thread per il salvataggio periodico su memoria di massa

Esempi – 2

- Server per RPC
  - Ogni invocazione di procedura remota viene delegata ad un thread separato (diverse richieste gestibili in concorrenza)
- Server web
  - Un thread per il servizio di ciascuna richiesta da parte dei client





Kernel multithread

- I kernel dei sistemi operativi attuali sono perlopiù multithread
  - Thread dedicati a servizi specifici
- Solaris
  - Thread specializzati nella gestione delle interruzioni
- Linux
  - Impiega thread a livello kernel per la gestione dei dispositivi, della memoria e delle interruzioni
  - Si può utilizzare il comando "**`ps -ef`**" per visualizzare i thread a livello kernel
  - Il thread **`kthreadd`** (con **`pid`**=2) funge da genitore di tutti i thread a livello kernel

Vantaggi – 1

- **Tempo di risposta**
  - Rendere multithread un'applicazione interattiva permette ad un programma di continuare la propria esecuzione, anche se una parte di esso è bloccata o sta eseguendo un'operazione particolarmente lunga, riducendo il tempo medio di risposta
  - Utile per le interfacce utente
- **Condivisione delle risorse**
  - I thread condividono la memoria e le risorse del processo cui appartengono; il vantaggio della condivisione del codice e dei dati risiede nel fatto che un'applicazione può consistere di molti thread relativi ad attività diverse, tutti nello stesso spazio di indirizzi (comunicazioni molto più rapide che con memoria condivisa o message passing)

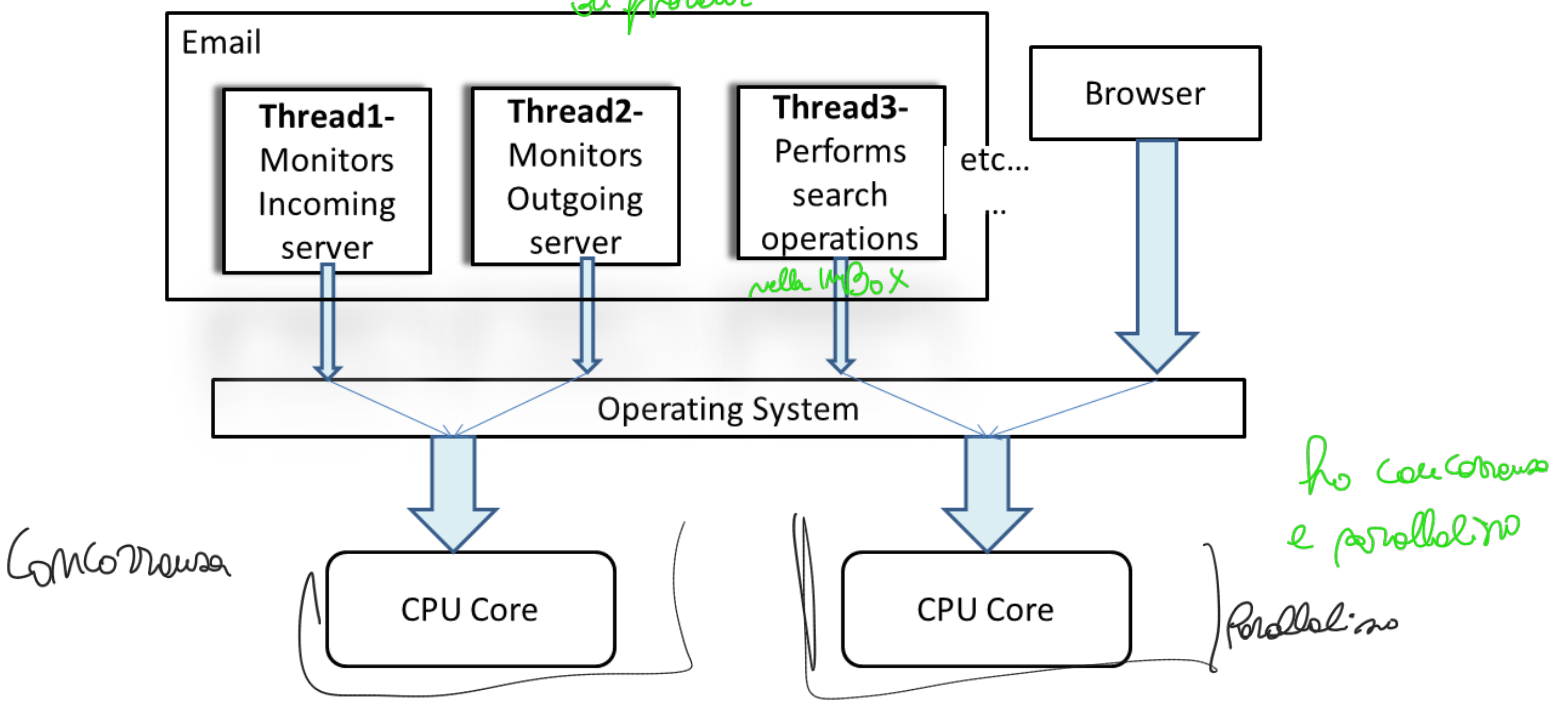
Vantaggi – 2

CONTEXT SWITCH MOLTO PIÙ RAPIDO

- Economia
  - Assegnare memoria e risorse per la creazione di nuovi processi è oneroso; poiché i thread condividono le risorse del processo cui appartengono, è molto più conveniente creare thread e gestirne i cambiamenti di contesto (il TCB dei thread non contiene informazioni relative a codice e dati, quindi alla gestione della memoria) no nuovo spazio di memoria
    - Esempio: in Solaris la creazione di un processo richiede un tempo trenta volte maggiore della creazione di un thread; il cambio di contesto è cinque volte più lungo per i processi rispetto ai thread

Vantaggi – 3

- Scalabilità
  - I vantaggi della programmazione multithread aumentano notevolmente nelle architetture multiprocessore, dove i thread possono essere eseguiti in parallelo; l'impiego della programmazione multithread in un sistema con più unità di elaborazione fa aumentare il grado di parallelismo

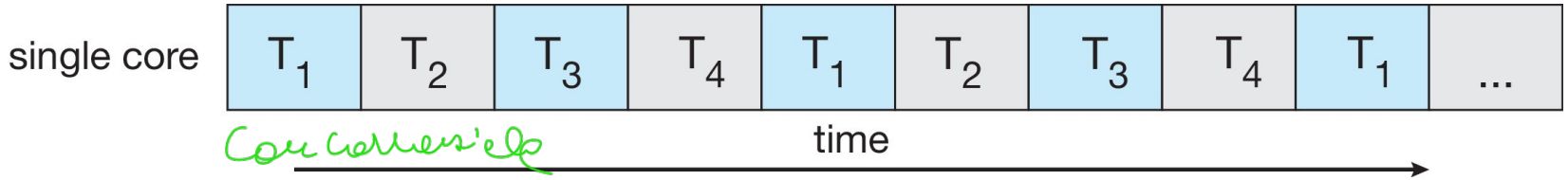


Programmazione multicore – 1

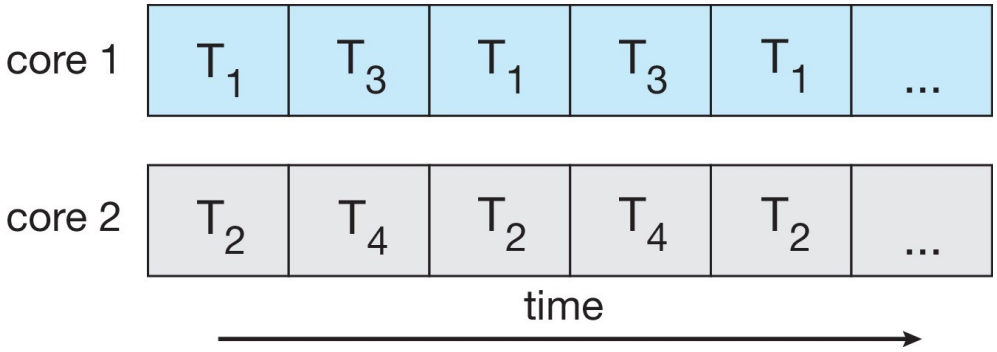
- Architetture multicore: diverse unità di calcolo sullo stesso chip
  - Ogni unità appare al SO come un processore separato
- Sui sistemi multicore i thread possono essere eseguiti in parallelo, poiché il sistema può assegnare thread diversi a ciascuna unità di calcolo
- Distinzione fra parallelismo e concorrenza
  - Un sistema è parallelo se può eseguire simultaneamente più task
  - Un sistema concorrente, invece, supporta più task, consentendo a tutti di progredire nell'esecuzione grazie al multiplexing della CPU (unica)

Concorrenza vs Parallelismo

- Esecuzione concorrente su un sistema single core



- Parallelismo nei sistemi multicore



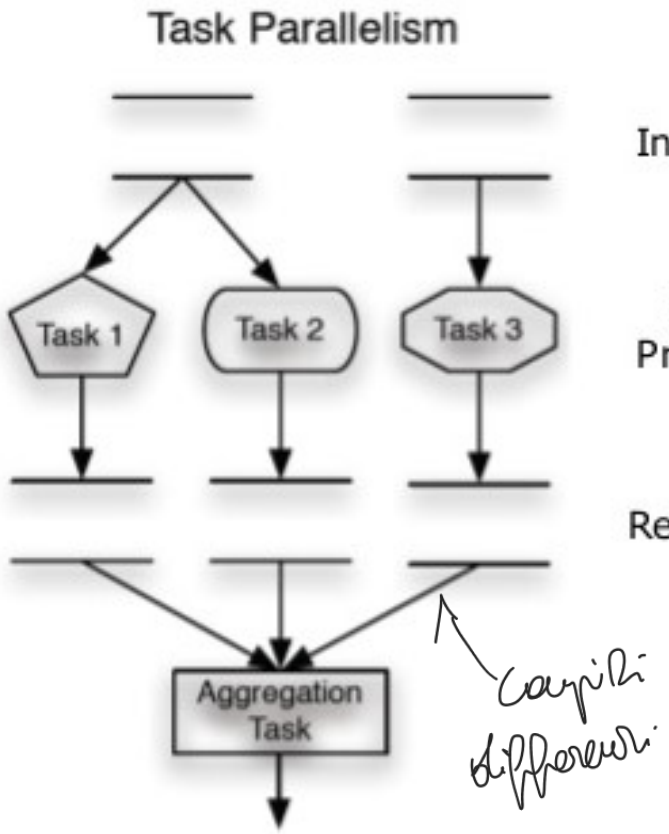
Programmazione multicore – 2

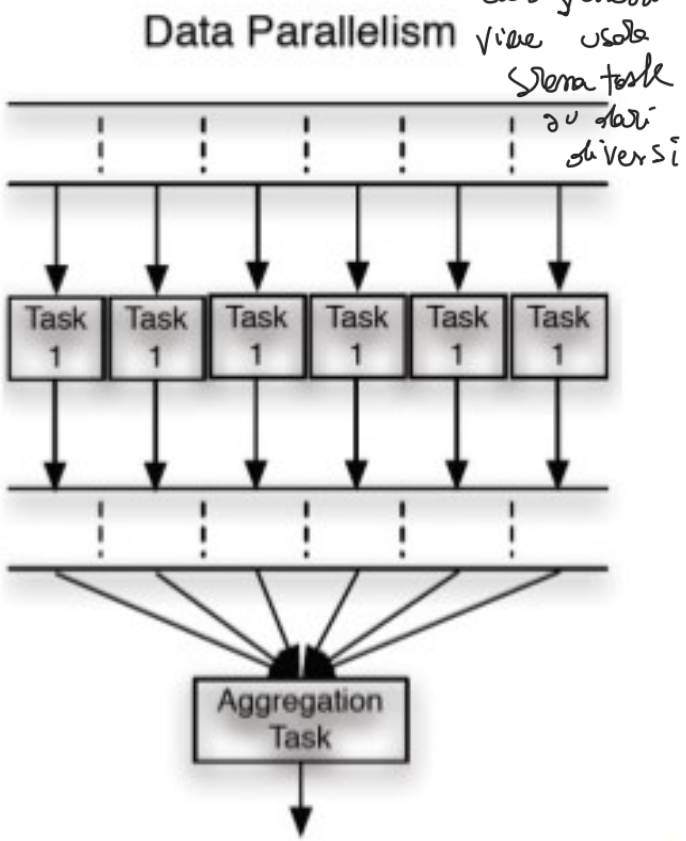
- Tipi di parallelismo
  - Con il termine data parallelism ci si riferisce a scenari in cui la stessa operazione viene eseguita contemporaneamente (ovvero in parallelo) su sottoinsiemi dei dati; nelle operazioni in parallelo sui dati, infatti, l'insieme originale viene suddiviso in partizioni in modo che più thread (che compiono la stessa operazione) possano agire simultaneamente su segmenti diversi
  - Con il termine task parallelism si indica una forma di parallelizzazione del codice tra più processori in ambienti di calcolo parallelo; il task parallelism si concentra cioè sulla distribuzione di thread diversi in esecuzione nei diversi nodi di calcolo (che possono agire su dati comuni)
- Nella maggior parte dei casi, le applicazioni utilizzano un ibrido delle due strategie

Programmazione multicore – 3

Calcolo di max e min e della media degli elementi di un vettore

Calcolo della somma degli elementi di un vettore





Programmazione multicore – 4

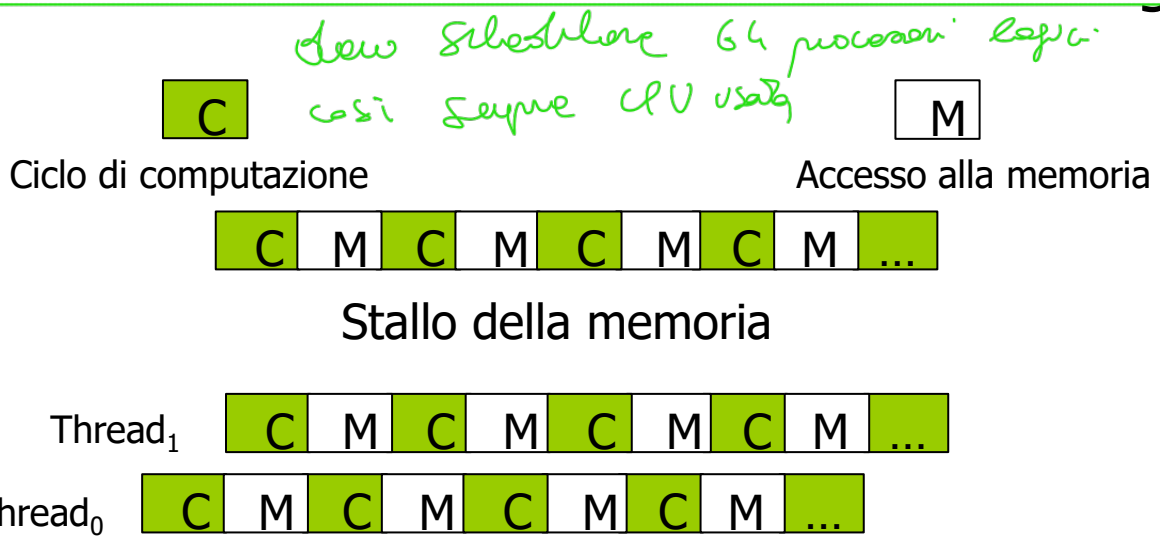
- Obiettivi della programmazione nei sistemi multicore
  - Separazione dei task: esaminare le applicazioni per individuare aree separabili in task distinti che possano essere eseguiti in parallelo
  - Bilanciamento: produrre task che eseguano compiti di mole confrontabile (per carico computazionale)
  - Suddivisione dei dati: i dati a cui i task accedono, e che manipolano, devono essere suddivisi per essere utilizzati da unità di calcolo distinte
  - Dipendenze nei dati: verificare le dipendenze tra due o più task per sincronizzarne l'esecuzione
  - Test e debugging: garantire la correttezza malgrado la possibilità di flussi di esecuzione multipli e di eventuali problemi di concorrenza nell'accesso ai dati

Programmazione multicore – 5

- In corrispondenza con la proliferazione di programmi multithread, le nuove architetture hardware forniscono sempre maggior supporto al multithreading
- Progetti hardware recenti (*hyperthreading*) implementano unità di calcolo multithread in cui due o più thread hardware sono assegnati ad un singolo core
  - Quando un processore accede alla memoria, infatti, una quantità significativa di tempo (fino al 50%) trascorre in attesa della disponibilità dei dati: stallo della memoria
- Dal punto di vista del SO, ogni thread hardware appare come un processore logico in grado di eseguire un thread software

Programmazione multicore – 6

- Esempio: il microprocessore Oracle SPARC T4 (2011) ha otto core, ciascuno dotato di otto thread hardware
  - ⇨ 64 unità di calcolo distinte che il SO deve gestire



Sistema con multithreading hardware (relativo ad un core)

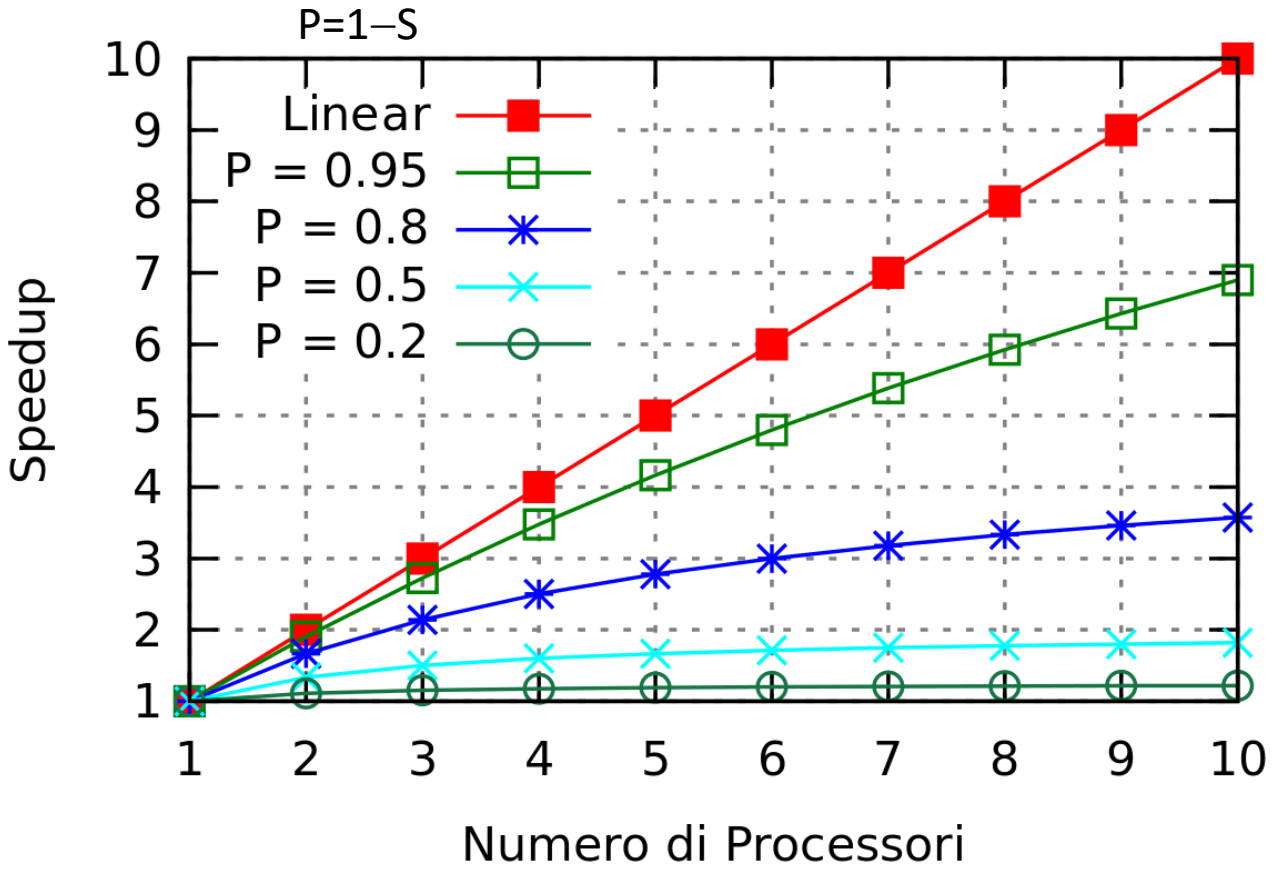
La legge di Amdahl – 1

- Permette di determinare i potenziali guadagni in termini di prestazioni ottenuti dall'aggiunta di core, nel caso di applicazioni che contengano sia componenti seriali (non parallelizzabili) sia componenti parallele
- S porzione seriale
- N core

$$speedup \leq \frac{1}{S + \frac{(1-S)}{N}}$$

- Esempio: Se un'applicazione è al 75% parallela ed al 25% seriale, passando da 1 a 2 core, si ottiene uno speedup pari a 1.6; se i core sono 4, lo speedup è invece di 2.28
- In generale… per $N \to \infty$ lo speedup tende a $1/S$
  - ⇨ Se il 40% di un'applicazione è seriale il massimo aumento di velocità è di 2.5 volte
- La porzione seriale di un'applicazione ha un effetto dominante sulle prestazioni ottenibili con l'aggiunta di nuovi core

La legge di Amdahl – 2



Supporto del SO ai thread – 1

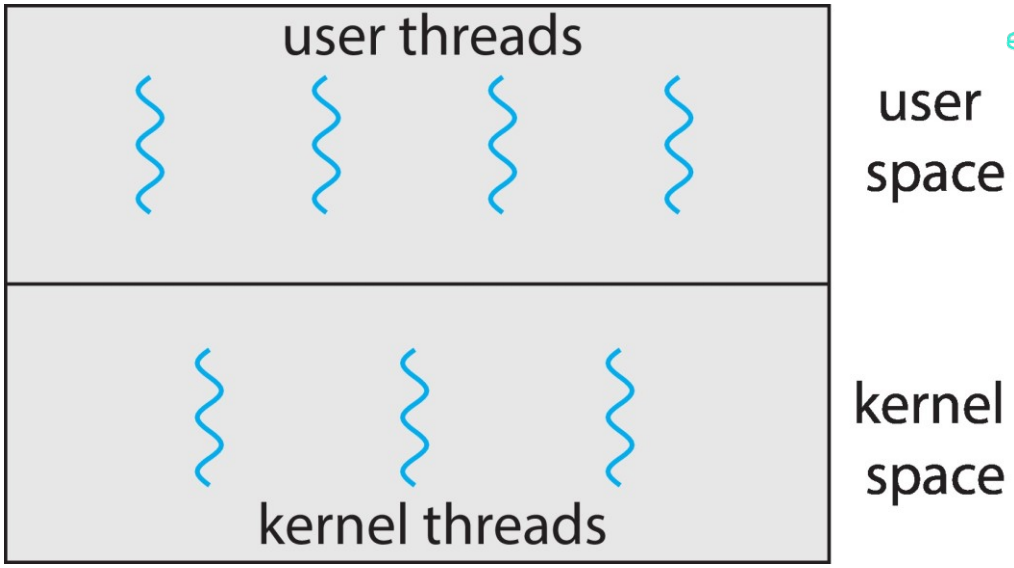
- Supporto user–level, tramite librerie di funzioni (API) per gestire n thread in esecuzione
- Supporto kernel–level, tramite "un'astrazione di traccia di esecuzione" (su un processore virtuale)
- Thread a livello utente
  - Sono gestiti come uno strato separato sopra il nucleo del sistema operativo
  - Sono realizzati tramite librerie di funzioni per la creazione, lo scheduling e la gestione dei thread, senza alcun intervento diretto del nucleo
  - POSIX Pthreads è la libreria per la realizzazione di thread utente in sistemi UNIX–like
  - Windows threads per sistemi Windows e Java threads per la JVM

Supporto del SO ai thread – 2

- Thread a livello kernel
  - Sono gestiti direttamente dal SO: il nucleo si occupa di creazione, scheduling, sincronizzazione e cancellazione dei thread nel suo spazio di indirizzi
  - Supportati da tutti i sistemi operativi attuali
    - Windows
    - Solaris
    - Linux
    - Mac OS
    - iOS
    - Android

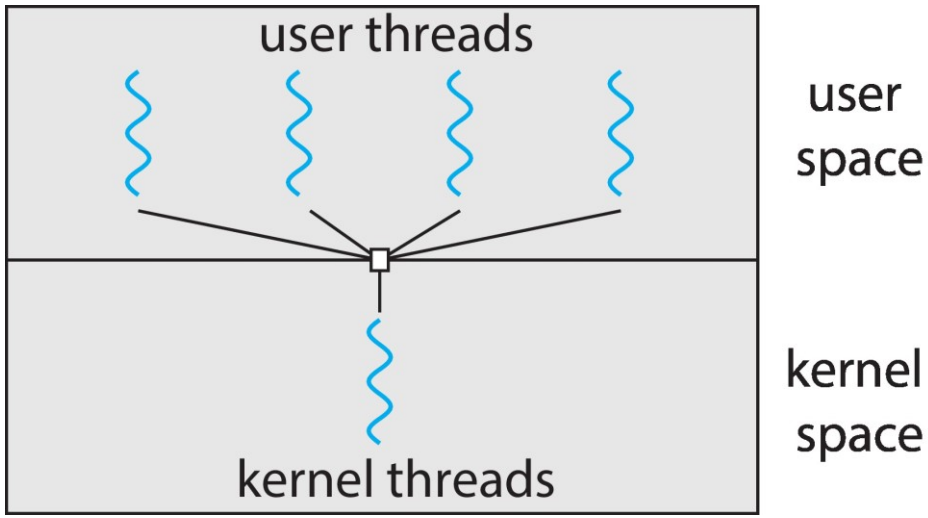
Modelli di programmazione multithread

- Modello molti–a–uno (M:1)
- Modello uno–a–uno (1:1)
- Modello molti–a–molti (M:M)



Modello molti–a–uno – 1

- Molti thread a livello utente vanno a corrispondere ad un unico thread a livello kernel
  - Il kernel "vede" una sola traccia di esecuzione
- In altre parole: i thread sono implementati a livello di applicazione, il loro scheduler non fa parte del SO, che continua ad avere solo la visibilità del processo

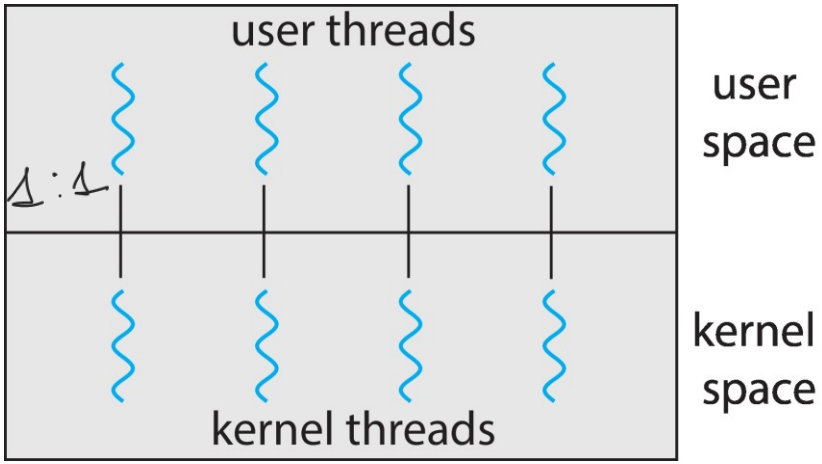


Modello molti–a–uno – 2

- Vantaggi
  - Gestione efficiente dei thread nello spazio utente (scheduling poco oneroso)
  - Non richiede un kernel multithread per poter essere implementato
- Svantaggi
  - L'intero processo rimane bloccato se un thread invoca una chiamata di sistema di tipo bloccante
  - I thread sono legati allo stesso processo a livello kernel e non possono essere eseguiti su processori fisici distinti
- Attualmente, pochi SO implementano questo modello; sono esempi storici:
  - GNU Portable Threads (2006)
  - Solaris Green Threads (2010)

Modello uno–a–uno – 1

- Ciascun thread a livello utente corrisponde ad un thread a livello kernel
  - Il kernel "vede" una traccia di esecuzione distinta per ogni thread
  - I thread vengono gestiti dallo scheduler del kernel (come se fossero processi; si dicono *thread nativi*)

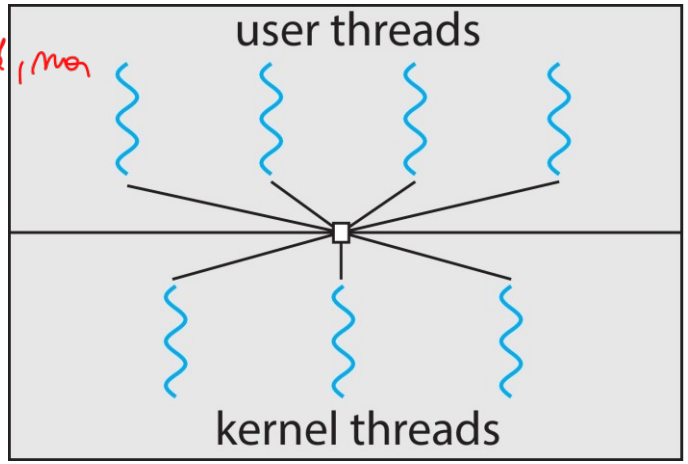


Modello uno–a–uno – 2

- Vantaggi
  - Scheduling molto efficiente
  - Se un thread effettua una chiamata bloccante, gli altri thread possono proseguire nella loro esecuzione
  - I thread possono essere eseguiti su processori fisici distinti
- Svantaggi
  - Possibile inefficienza per il carico di lavoro dovuto alla creazione di molti thread a livello kernel (limiti imposti a priori)
  - Richiede un kernel multithread per poter essere implementato
- Esempi
  - Windows 95/98/NT/2000/XP/Vista e versioni attuali
  - Linux, Solaris (versione 9 e successive)

Modello molti–a–molti – 1

- Si mettono in corrispondenza più thread a livello utente con un numero minore o uguale di thread a livello kernel
  - In altre parole, il sistema dispone di un pool di thread – *worker* – ognuno dei quali viene assegnato di volta in volta ad un thread utente



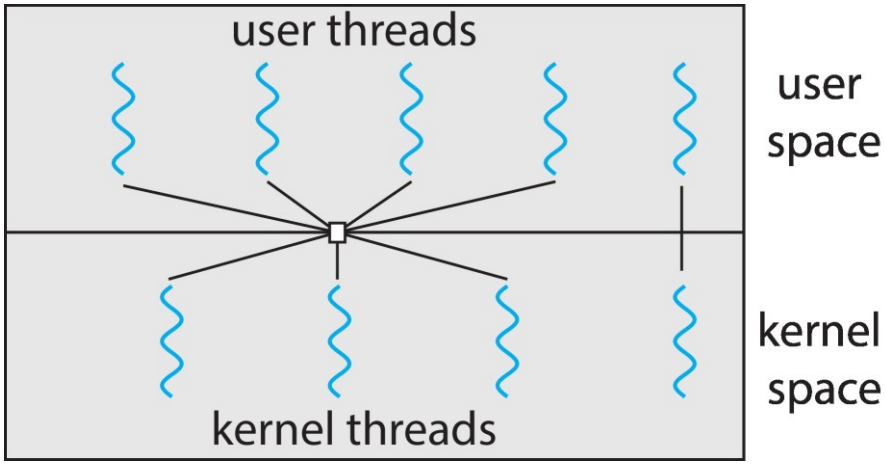
Modello molti–a–molti – 2

- Vantaggi
  - Possibilità di creare tanti thread a livello kernel quanti sono necessari per la particolare applicazione (e sulla particolare architettura), eseguibili in parallelo su architetture multiprocessore
  - Se un thread invoca una chiamata di sistema bloccante, il kernel può fare eseguire un altro thread
- Svantaggi
  - Difficoltà nel definire la dimensione del pool di worker e le modalità di cooperazione tra i due scheduler
- Esempi:
  - Windows con il ThreadFiber package
  - Solaris (versioni precedenti alla 9)
  - Tru64 UNIX

Modello a due livelli

- Simile al modello M:M, offre però la possibilità di vincolare un thread utente ad un thread del kernel
- Esempi:
  - IRIX
  - HP–UX
  - Solaris (versioni precedenti alla 8)
  - Tru64 UNIX

Mix 1:1 e M:M



Librerie dei thread – 1

per realizzare thread

- Forniscono al programmatore una API per la creazione e la gestione dei thread
  Applic. Programing Interface
- Librerie a livello utente
  - Codice e strutture dati nello spazio utente
  - Invocare una funzione di libreria si traduce in una chiamata locale a funzione, non in una system call
- Librerie a livello kernel
  - Codice e strutture dati nello spazio del kernel
  - Invocare una funzione della API provoca, generalmente, una chiamata di sistema
    → chiama f. di libreria => syscall

Librerie dei thread – 2

Standard IEEE

- POSIX Pthreads = Specifiche per implementare Specifiche
  - Può presentarsi sia come libreria a livello utente sia a livello kernel
- Win64
  - Libreria di thread a livello kernel per sistemi Windows
- Java
  - API gestibile direttamente dai programmi Java
  - La API di Java per i thread è solitamente implementata per mezzo della libreria dei thread del sistema che ospita la JVM

principale a livello kernel

Java VM fa riferimento all'HW sottostante
es. se c'è sotto Windows, saranno gestiti dal HW

Librerie dei thread – 3

- Nel threading di POSIX e di Windows tutti i dati dichiarati a livello globale, ovvero al di fuori da ogni funzione, sono condivisi fra tutti i thread appartenenti allo stesso processo
- I dati locali di una funzione sono, normalmente, memorizzati nello stack
- Ogni thread ha un proprio stack
  - ⇨ ogni thread ha la propria copia di dati locali

Strategie di threading

- **Threading asincrono**
  - Il genitore crea un figlio e quindi riprende la propria esecuzione in concorrenza
  - Ogni thread viene eseguito in modo indipendente rispetto agli altri ed il thread genitore non ha bisogno di sapere quando terminano i figli
  - Scarsa condivisione dei dati fra i thread
  - Esempio: server web, interfacce utente responsive
- **Threading sincrono**
  - Il genitore crea uno o più figli e attende che tutti terminino prima di riprendere l'esecuzione ⇨ fork–join
  - I thread figli si eseguono in concorrenza
  - Quando un thread ha terminato il proprio compito, termina e si unisce al genitore
  - Significativa condivisione dei dati fra i thread
  - Il genitore può combinare i risultati calcolati dai figli

Pthreads

- È lo standard POSIX (IEEE 1003.1c) che definisce la API per la creazione e la sincronizzazione dei thread (*definizione – no realizzazione*)
- Viceversa, è la API che specifica il comportamento della libreria dei thread, la cui implementazione dipende dal particolare sistema operativo (può essere a livello utente o a livello kernel)
- Comune nei SO UNIX–like (Solaris, Linux, Mac OS)
- Esempio: threading sincrono per il calcolo della somma dei primi **N** interi

Programma principale delega i thread.
Sottoprogramma è un programma a parte

Esempio con Pthreads – 1

```
/* Programma per il calcolo della somma dei primi N interi */
#include <pthread.h> /* include per la libreria Pthreads */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int sum; /* variabile globale (condivisa) */
void *somma(char *param); /* funzione del nuovo thread */

int main(int argc, char *argv[])
{
   pthread_t tid;       /* identificatore del thread */
   pthread_attr_t attr; /* attributi del thread */

   if (argc != 2) {
      fprintf(stderr, "Occorreva inserire N!");
      exit(1);    }
   if (atoi(argv[1]) < 0) {
      fprintf(stderr, "%d deve essere >=0\n", atoi(argv[1]));
      exit(1);             }
   pthread_attr_init(&attr); /* reperisce attributi predefiniti */
   pthread_create(&tid,&attr,somma,argv[1]); /* crea il thread */
   /* il padre attende la terminazione del nuovo thread */
   pthread_join(tid, NULL);
   printf("somma = %d\n", sum);
   exit(0);
}
```

Dimensione della pila, informazioni per lo scheduling, etc.

↳ Passo NOME SOTTOPROGRAMMA che viene eseguito come corpo del Thread

Esempio con Pthreads – 2

Posso ha un solo figlio

```
/* Il nuovo thread assume il controllo da questa funzione */
void *somma(char *param);
{
    int i, upper=atoi(param);
    sum = 0;

    for (i=1, i<=upper; i++)
        sum += i;

    pthread_exit(0);
}
```

Se ho più figli, devo fare il Join di più figli.

Join in Pthreads

```
#define NUM_THREADS 10

/* an array of threads to be joined upon */
pthread_t workers[NUM_THREADS];

for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++)
   pthread_join(workers[i], NULL);
```

Creo 3 threads lavoratori

Si fa restituire tutti e lo i tid prima di continuare l'esecuzione

Threading implicito

- Le applicazioni multithread sono più difficili da programmare ed aumentano in complessità al crescere del numero dei thread
- Trasferimento della creazione e della gestione del threading dagli sviluppatori di applicazioni ai compilatori ed alle librerie di runtime
- ⇨ Threading implicito
  - Gruppi di thread (Thread pool – Windows, Java)
  - OpenMP
  - Grand Central Dispatch (Mac OS e iOS), Java Fork–Join, Intel Threading Building Blocks

Gruppi di thread – 1

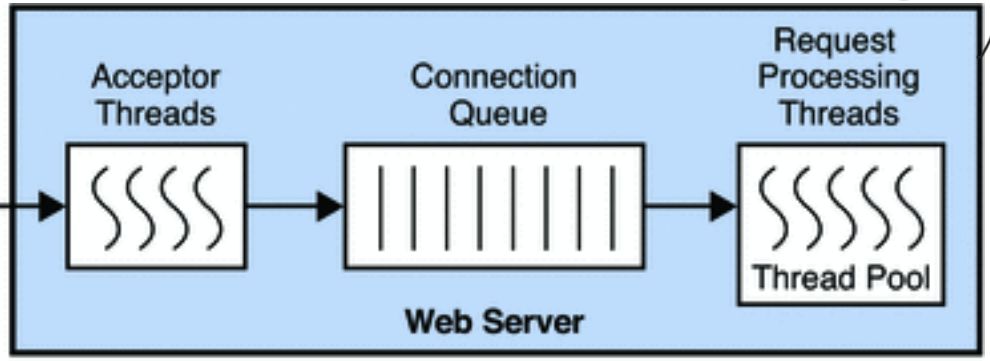
non come thread di un Web server che si creano in base alle richieste client

- Un numero illimitato di thread presenti nel sistema potrebbe esaurirne le risorse
  - ⇨ Creare un certo numero di thread (*worker*) alla creazione del processo ed organizzarli in un gruppo in cui attendano il lavoro che verrà loro successivamente richiesto

già creati, esistono già

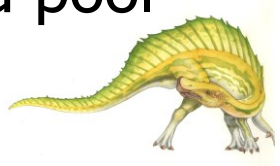
Pool thread definito a priori, non creiamo il server all'avvio, max 100 thread, gestiamo max 100 richieste.

Se lo ho già pronto, non perdo tempo per crearlo, devo solo prendere stati per eseguire il lavoro, meno tempo reale.



Gruppi di thread – 2

- Vantaggi
  - Di solito il servizio di una richiesta tramite un thread esistente è più rapido, poiché elimina l'attesa della creazione di un nuovo thread
  - Si limita il numero di thread relativi a ciascun processo alla dimensione prestabilita (rilevante per sistemi che non possono sostenere un numero elevato di thread concorrenti)
  - Separare il task da eseguire dal meccanismo di creazione dello stesso permette strategie diverse di elaborazione
    - Esempio: i task possono essere schedulati per essere eseguiti periodicamente o dopo un dato intervallo di tempo
- La API per i thread di Windows supporta i thread pool



OpenMP – 1

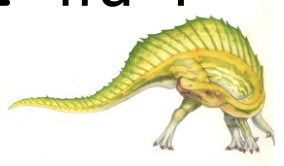
- OpenMP è un insieme di direttive del compilatore ed una API per programmi scritti in C, C++ e FORTRAN
- Fornisce supporto per la programmazione parallela in ambienti a memoria condivisa
- Identifica le regioni parallele, cioè i blocchi di codice eseguibili in parallelo
- Esempio

```
#pragma omp parallel
```

crea tanti thread quanti sono i core, mentre

```
#pragma omp parallel for
for(i=0;i<N;i++) {
        c[i]=a[i]+b[i]; }
```

divide il compito di esecuzione del ciclo **for** fra i diversi thread (tanti quanti sono i core)



OpenMP – 2

- Esempio: si producono tante stampe quanti sono i core

```
#include <omp.h>
#include <stdio.h>

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

   #pragma omp parallel
   {
      printf("I am a parallel region.");
   }

   /* sequential code */

   return 0;
}
```

- OpenMP permette inoltre di impostare manualmente il numero di thread ed il livello di condivisione dei dati fra i thread

Threading

come si replicano processi e non thread in relazione a:

- Semantica delle chiamate di sistema **`fork()`** ed **`exec()`** cosa succede se thread riceve segnale o fa fork?
- Gestione dei segnali (sincroni vs asincroni)
- Cancellazione dei thread (asincrona vs differita)
- Dati specifici dei thread
- Attivazione dello scheduler

per terminare processo è facile, KILL PID FIGLIO
ma ora con i thread condivido stato
in comune ad altri thread

es. se sono a MOLTI-MOLTI

* Thread in LINUX

Semantica di `fork()` ed `exec()`

- In un programma multithread, la semantica della system call `fork()` cambia:
  - Se un thread in un programma invoca la `fork()`, il nuovo processo potrebbe, in generale, contenere un duplicato di tutti i thread oppure del solo thread invocante
  - La scelta fra le due opzioni dipende dalla immediatezza o meno della successiva chiamata ad `exec()` – la cui modalità di funzionamento non cambia
    - Se la chiamata di `exec()` avviene immediatamente dopo la chiamata alla `fork()`, ~~la duplicazione dei thread non è~~ necessaria, poiché il programma specificato nei parametri della `exec()` sostituirà *in toto* il processo ⇨ si duplica il solo thread chiamante
    - Altrimenti, tutti i thread devono essere duplicati
  - Alcune release di UNIX rendono disponibili entrambe le implementazioni della `fork()`

Gestione dei segnali – 1

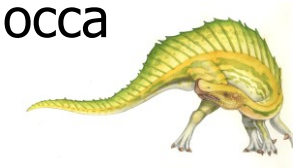
- Nei sistemi UNIX si usano segnali per comunicare ai processi il verificarsi di determinati eventi
- I segnali vengono elaborati da un gestore dei segnali
  - All'occorrenza di un particolare evento, si genera un segnale
  - S'invia il segnale ad un processo
  - Una volta ricevuto, il segnale deve essere gestito da un gestore, che può essere:
    - predefinito (gestito dal SO)
    - definito dall'utente
- I segnali possono essere...
  - sincroni, se vengono inviati allo stesso processo che ha eseguito l'operazione causa del segnale (es.: divisione per 0)
  - asincroni, se causati da eventi esterni al processo in esecuzione (es.: scadenza di un timer o ^C)

Gestione dei segnali – 2

- Nei sistemi UNIX–like, la funzione standard per l'invio di un segnale è **`kill(pid_t pid,int signal)`**
- Per ogni segnale esiste un gestore predefinito del segnale, che il kernel esegue in corrispondenza del particolare evento
  - Il gestore definito dall'utente, se presente, si sostituisce al gestore standard
  - Nei processi a singolo thread, i segnali vengono inviati al processo
- Cosa accade nel caso di processi multithread?

Gestione dei segnali – 3

- Nei sistemi multithread è possibile...
  - inviare il segnale al thread cui il segnale si riferisce
  - inviare il segnale ad ogni thread del processo
  - inviare il segnale a specifici thread del processo
  - definire un thread specifico per ricevere tutti i segnali diretti al processo
    - I segnali sincroni devono essere recapitati al thread che ha generato l'evento causa del segnale
    - Alcuni segnali asincroni (per esempio il segnale di terminazione di un processo, ^C) devono essere inviati a tutti i thread
    - ⇨ Possibilità di specificare, per ciascun thread, quali segnali accettare e quali bloccare (**`pthread_kill()`**)
    - ⇨ Tuttavia, poiché i segnali vanno gestiti una sola volta, il segnale è recapitato al primo thread che non lo blocca



Cancellazione di thread

- È l'operazione che permette di terminare un thread prima che completi il suo compito
  - Esempio: pressione del pulsante di terminazione di un programma di consultazione del Web per interrompere il caricamento di una pagina
- Il thread da cancellare viene definito thread bersaglio
- La cancellazione di un thread bersaglio può avvenire...
  - ...in modalità asincrona: terminazione immediata del thread bersaglio
    - Problemi se si cancella un thread mentre sta aggiornando dati che condivide con altri thread
  - ...in modalità differita: il thread bersaglio può periodicamente controllare se deve terminare, in modo da riuscirvi al momento opportuno (*cancellation point*, in Pthreads)

Cancellazione di thread in Pthread – 1

- Codice Pthread per creare e cancellare un thread

```
pthread_t tid;

/* create the thread */
pthread_create(&tid, 0, worker, NULL);

. . .

/* cancel the thread */
pthread_cancel(tid);
```

← non è detto che venga fatto subito dipende dallo stato

- La chiamata della **`pthread_cancel()`** comporta solo una richiesta di cancellazione del thread bersaglio: l'effettiva cancellazione dipende dallo stato del thread

Mode	State	Type
Off	Disabled	–
Deferred	Enabled	Deferred
Asynchronous	Enabled	Asynchronous

Un certo thread viene cancellato solo se non ha impostato gli stati condivisi

Cancellazione di thread in Pthread – 2

- In caso di cancellazione disabilitata, l'operazione rimane pendente finché il thread non procede all'abilitazione
- Per ogni thread, lo stato di default è "differita"
  - La cancellazione avviene solo al momento in cui il thread raggiunge un punto di cancellazione
    - Il punto di cancellazione viene creato con una invocazione alla funzione `pthread_testcancel()`
    - Si richiama quindi il *cleanup handler*, che permette di rilasciare tutte le risorse del thread
- Nei sistemi Linux, la cancellazione dei thread è gestita tramite segnali

Dati specifici dei thread

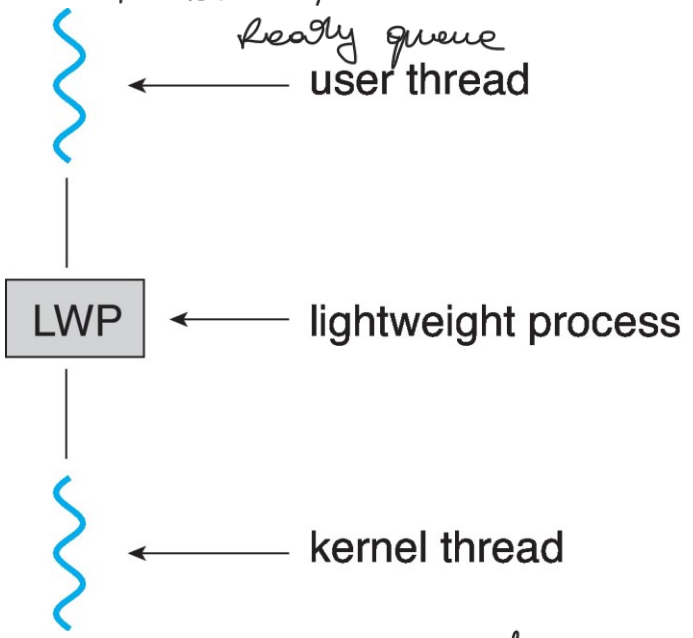
- Il Thread Local Storage (TLS) permette a ciascun thread di possedere una propria copia dei dati (non necessariamente tutti i dati del processo di origine)
  - Esempio: In un sistema per transazioni, si può svolgere ciascuna transazione tramite un thread distinto ed un identificatore unico per ogni transazione
  - Lo stesso TID può essere considerato un dato TLS
- Utili quando non si ha controllo sul processo di creazione dei thread (per esempio, nel caso dei gruppi di thread)
- Diversamente dalle variabili locali (che sono visibili solo durante una singola chiamata di funzione), i dati TLS sono visibili attraverso tutte le chiamate
- Simili ai dati dichiarati **`static`** in C
  - I dati TLS sono però unici per ogni thread

Attivazione dello scheduler – 1

- Sia il modello M:M che il modello a due livelli richiedono che sia mantenuta una comunicazione costante per garantire un numero sufficiente di thread del kernel allocati ad una particolare applicazione
  - Si alloca una struttura dati intermedia nota come processo leggero o LWP (*LightWeight Process*)
  - Per la libreria dei thread a livello utente, LWP è un *processore virtuale* a cui l'applicazione può richiedere lo scheduling di un thread a livello utente
  - Corrispondenza fra LWP e thread a livello kernel: quanti LWP dovranno essere creati per una data applicazione?
  - I kernel thread vanno in esecuzione sui processori fisici
    - Se un thread del kernel si blocca, l'effetto si propaga attraverso l'LWP fino al thread al livello utente ad esso associato

Attivazione dello scheduler – 2

- L'attivazione dello scheduler mette a disposizione la procedura di *upcall* – un meccanismo di comunicazione dal kernel alla libreria di gestione dei thread
  - Si informa l'applicazione che un suo thread sta per bloccarsi
  - Si assegna all'applicazione un nuovo processore virtuale su cui gestire il segnale (salvataggio del contesto del thread bloccante) e scheduling di un nuovo thread
- Tale comunicazione garantisce all'applicazione la capacità di mantenere attivi un numero opportuno di thread a livello kernel



Thread in Linux – 1

- Linux li definisce *task* (come i processi)
- La creazione dei task avviene con la chiamata della system call **`clone()`**
- All'invocazione, **`clone()`** riceve come parametro un insieme di indicatori (flag), che definiscono quante e quali risorse del task genitore saranno condivise dal task figlio
  - **`clone()`** può permettere al task figlio la condivisione totale dello spazio degli indirizzi e delle risorse del task padre: si crea un thread

flag	meaning
CLONE_FS = 1	File-system information is shared.
CLONE_VM	The same memory space is shared.
CLONE_SIGHAND	Signal handlers are shared.
CLONE_FILES	The set of open files is shared.

Thread in Linux – 2

- Se nessun flag è impostato al momento dell'invocazione di **`clone()`**, non si ha alcuna condivisione: si ottiene una situazione analoga all'invocazione di una **`fork()`**
- Condivisione ad intensità variabile possibile perché:
  - Ogni task è rappresentato da una struttura dati nel kernel (TCB, **`struct task_struct`**, che punta alle strutture dati del processo, che siano esse uniche o condivise)
  - La struttura non contiene dati, ma puntatori alle strutture contenenti dati
  - La chiamata a **`fork()`** duplica tutte le strutture dati del task genitore
  - Con **`clone()`** il nuovo task non riceve una copia di tutte le strutture dati, ma solo alcuni puntatori a tali strutture (quelle del padre), in base ai parametri di chiamata di **`clone()`**

Fine del Capitolo 4