Reti e Laboratorio
Modulo Laboratorio III
AA. 2024-2025

docente: Laura Ricci

laura.ricci@unipi.it

Lezione 3
JAVA multithreading:
threads e thread pooling
04/10/2024

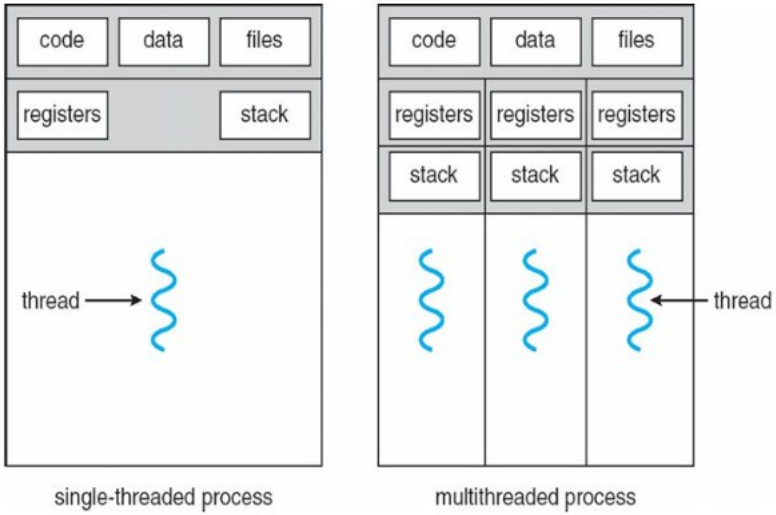
NETWORK APPLICATIONS

- due o più processi (non thread!) in esecuzione su hosts diversi, distribuiti geograficamente sulla rete. comunicano e cooperano per realizzare una funzionalità globale
- ogni processo può essere strutturati utilizzando
  - multithreading
  - multiplexing dei canali
- i processi comunicano sulla rete: per comunicare si utilizzano protocolli, ovvero insiemi di regole che i partners devono seguire per comunicare correttamente.

- in questo corso utilizzeremo i protocolli di livello trasporto:
  - connection-oriented: `TCP, Trasmission Control Protocol`
  - connectionless: `UDP, User Datagram Protocol`

PROCESSI E THREADS: RICHIAMI

- processo: programma in esecuzione
  - due diverse applicazioni, ad esempio `MS Word`, `MS Access`, sono eseguite da processi diversi.
- thread (light weight process): un flusso di esecuzione all'interno di un processo



- multitasking, si può riferire a thread o processi
  - a livello di processo è controllato esclusivamente dal sistema operativo
  - a livello di thread è controllato, almeno in parte, dal programmatore

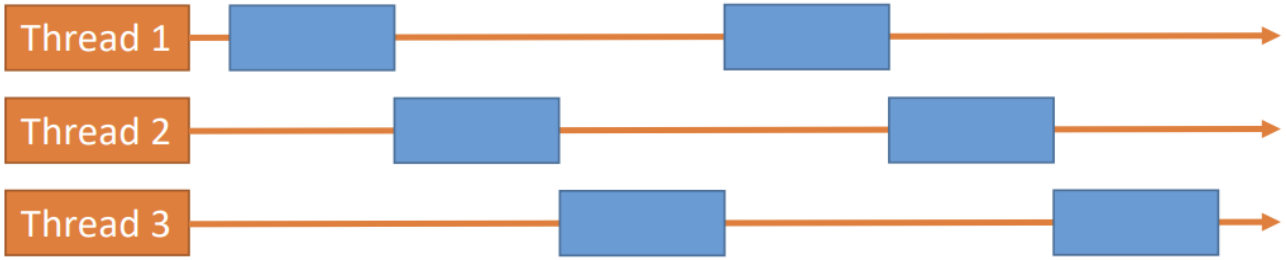
PROCESSI E THREADS: RICHIAMI

- thread multitasking contro process multitasking:
  - i thread condividono lo stesso spazio degli indirizzi
  - meno costosi
    - il cambiamento di contesto tra thread
    - la comunicazione tra thread

- esecuzione dei thread:
  - single core: multiplexing, interleaving (meccanismi di time sharing,...)
  - multicore: più flussi in esecuzione eseguiti in parallelo, simultaneità di esecuzione

MULTITHREDING: 1 VS. MOLTE CPU

Multiple threads sharing a single CPU



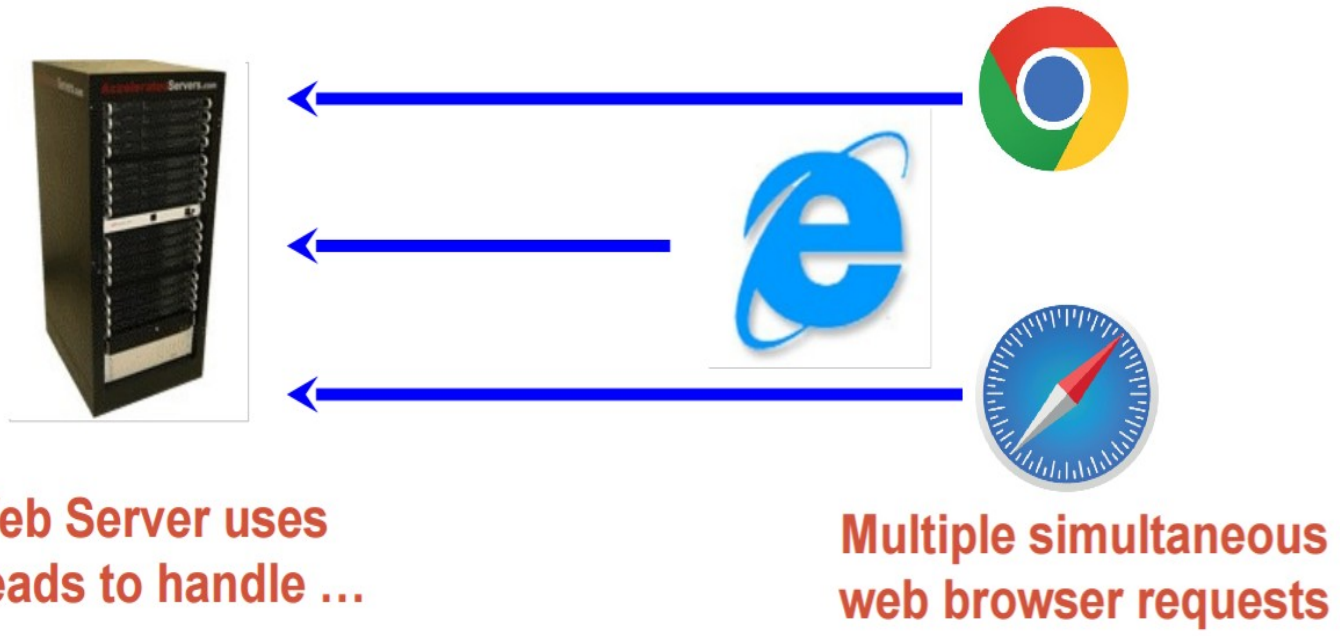
Multiple threads on multiple CPUs

MULTITHREADING: PERCHE'?

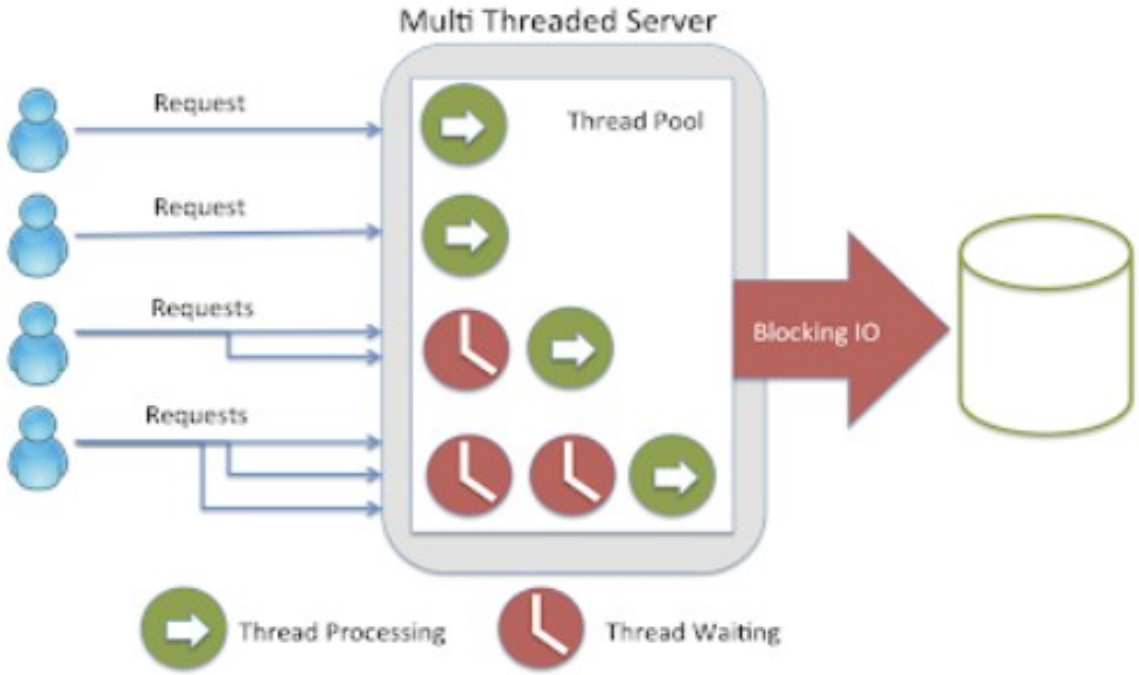
- migliore utilizzazione delle risorse
  - quando un thread è sospeso, altri thread vengono mandati in esecuzione
  - riduzione del tempo complessivo di esecuzione (in generale)
- migliori performance per applicazioni computationally intensive
  - dividere l'applicazione in task ed eseguirli in parallelo
- tanti vantaggi, ma anche alcuni problemi:
  - più difficile il debugging e la manutenzione del software rispetto ad un programma single threaded
  - race conditions, sincronizzazioni
  - deadlock, livelock, starvation,...

THREAD E PROGRAMMAZIONE DI RETE

- applicazioni client server
  - più client serviti simultaneamente dallo stesso server
  - un client non deve aspettare che il server termini di elaborare la richiesta del client precedente



THREAD E PROGRAMMAZIONE DI RETE



- il throughput dell'applicazione può essere incrementato se client diversi sono serviti da thread diversi, ma solo fino ad un certo limite
- oltre quel limite, i thread iniziano a competere per la CPU e il costo del cambio di contesto supera il beneficio del multithreading
- limitare questo fenomeno con il meccanismo del threadpooling

JAVA UTIL.CONCURRENT FRAMEWORK

- `JAVA < 5` built in for concurrency: lock implicite, wait, notify e poco più.
- `JAVA.util.concurrency`
  - lo stesso scopo del framework `java.util.Collections`
  - un toolkit general purpose per lo sviluppo di applicazioni concorrenti.

no more "reinventing the wheel"!

- definire un insieme di utility che risultino:
  - standardizzate
  - facili da utilizzare e da capire
  - high performance
  - utili in un grande insieme di applicazioni per un vasto insieme di programmatori, da quelli più esperti a quelli meno esperti.

JAVA UTIL.CONCURRENT FRAMEWORK

- sviluppato in parte da Doug Lea, disponibile, come insieme di librerie JAVA non standard prima della integrazione in JAVA 5.0.

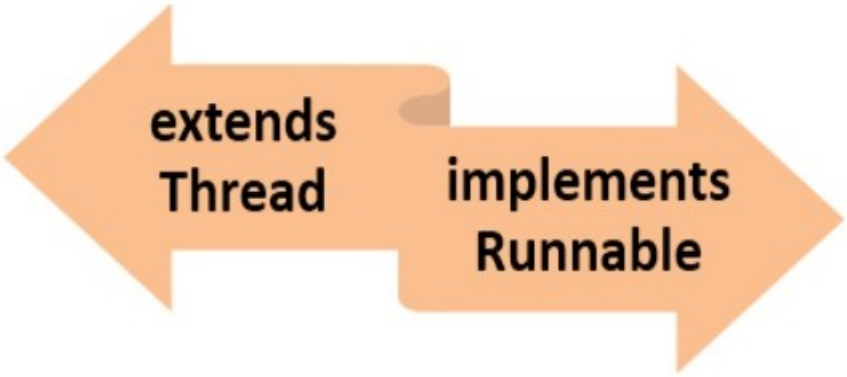
- tra i package principali:
  - `java.util.concurrent`
    - executor, concurrent collections, semaphores,...
  - `java.util.concurrent.atomic`
    - AtomicBoolean, AtomicInteger,...
  - `java.util.concurrent.locks`
    - Condition
    - Lock
    - ReadWriteLock

JAVA 5 CONCURRENCY FRAMEWORK

- Executors
  - Executor
  - ExecutorService
  - ScheduledExecutorService
  - Callable
  - Future
  - ScheduledFuture
  - Delayed
  - CompletionService
  - ThreadPoolExecutor
  - ScheduledThreadPoolExecutor
  - AbstractExecutorService
  - Executors
  - FutureTask
  - ExecutorCompletionService
- Queues
  - BlockingQueue
  - ConcurrentLinkedQueue
  - LinkedBlockingQueue
  - ArrayBlockingQueue
  - SynchronousQueue
  - PriorityBlockingQueue
  - DelayQueue
- Concurrent Collections
  - ConcurrentMap
  - ConcurrentHashMap
  - CopyOnWriteArray{List,Set}
- Synchronizers
  - CountDownLatch
  - Semaphore
  - Exchanger
  - CyclicBarrier
- Locks: java.util.concurrent.locks
  - Lock
  - Condition
  - ReadWriteLock
  - AbstractQueuedSynchronizer
  - LockSupport
  - ReentrantLock
  - ReentrantReadWriteLock
- Atomics: java.util.concurrent.atomic
  - Atomic[Type]
  - Atomic[Type]Array
  - Atomic[Type]FieldUpdater
  - Atomic{Markable,Stampable}Reference

JAVA: CREAZIONE ED ATTIVAZIONE DI THREAD

- quando si manda in esecuzione un programma JAVA
  - la JVM crea un thread che invoca il metodo main del programma
  - quindi esiste sempre almeno un thread per ogni programma, il main
- in seguito...
  - altri thread sono attivati automaticamente da JAVA (gestore eventi, interfaccia, garbage collector,...).
  - ogni thread durante la sua esecuzione può creare ed attivare altri threads.
- due modalità per creare ed attivare esplicitamente un thread



CREAZIONE-ATTIVAZIONE DI THREAD: SOLUZIONE I

- definire un task
- creare un oggetto thread e passargli il task definito che contiene il codice da eseguire
- attivare il thread con una `start()`

per definire un task

- definire una classe che implementi l'interfaccia `Runnable`
- creare un'istanza R di questa classe, Questo è il task da passare al thread

CREAZIONE-ATTIVAZIONE DI THREAD: SOLUZIONE I

```
public class ThreadRunnable {
    public class MyRunnable implements Runnable {
    public void run() {
        System.out.println("MyRunnable running");
        System.out.println("MyRunnable finished");
    }
  }

public static void main(String [] args) {
   Thread thread = new Thread (new MyRunnable());
   thread.start();
   }
 }
```

Stampa:

MyRunnable running

MyRunnable finished

L' INTERFACCIA RUNNABLE

- appartiene al package `java.language`
- contiene solo la segnatura del metodo `void run()`, che deve essere implementato
- un'istanza della classe che implementa `Runnable` è un task
  - un fragmento di codice che può essere eseguito in un thread
  - la creazione del task non implica la creazione di un thread per lo esegua.
  - lo stesso task può essere eseguito da più threads: un solo codice, più esecutori
  - il task viene passato al `Thread` che deve eseguirlo

TASK DEFINITO CON CLASSE ANONIMA

```
public class RunnableAnonymous {
  public static void main (String[] args) {
        Runnable runnable = new Runnable () {
            public void run() {
                System.out.println("Runnable running");
                System.out.println("Runnable finished");
            }
        };

        Thread thread = new Thread (runnable);
        thread.start();
    }}
  }
```

Stampa:

Runnable running

Runnable finished

CREAZIONE-ATTIVAZIONE DI THREAD: SOLUZIONE 2

- creare una classe che estenda

  la classe predefinita Thread
- effettuare l'overriding del metodo `run()`
- istanziare un oggetto di quella classe
  - questo oggetto è un thread
  - il suo comportamento è quello definito nel metodo run ridefinito
- invocare il metodo `start()` sull'oggetto istanziato.

Overriding:

- metodo in una sottoclasse con lo stesso nome e segnatura del metodo della superclasse
- decisione a run-time su quale metodo viene invocare in base all'istanza su cui si invoca il metodo

CREAZIONE-ATTIVAZIONE DI THREAD: SOLUZIONE 2

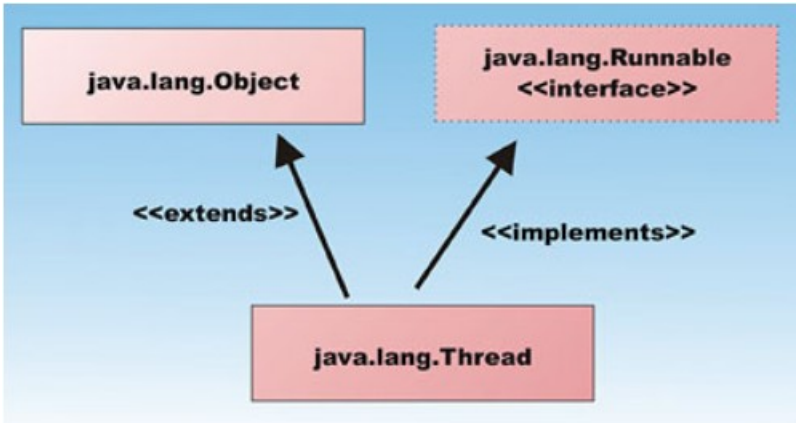
```
public class ExtendingThread {

    public static class MyThread extends Thread {
        public void run() {
            System.out.println("MyThread running");
            System.out.println("MyThread finished");
            }
         }
   public static void main (String [] args) {
        MyThread myThread = new MyThread();
        myThread.start();
     }
    }
```

Stampa

MyThread running

MyThread finished

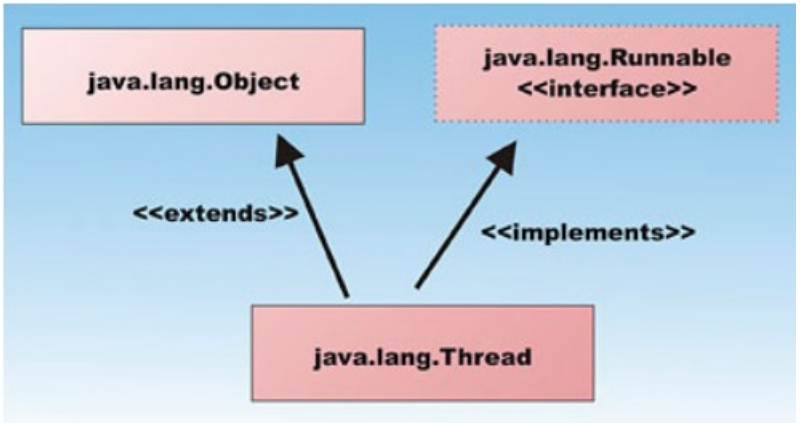
LA CLASSE THREAD



- memorizza un riferimento all'oggetto Runnable, eventualmente passato come parametro, nella variabile `runnable`
- definisce il metodo `run( )` come segue

```
public void run( )
    { if (runnable != null)
        runnable.run( ); }
```

LA CLASSE THREAD



- quando viene invocata la `start()`

  se il metodo `run()` è stato ridefinito mediante overriding (soluzione 2)

  si invoca il metodo `run()` più specifico, che è quello definito dal programmatore
- altrimenti, si esegue il metodo `run()` predefinito nella classe `Thread`, (soluzione 1)
  - se la variable runnable è diversa da `null`, questo metodo, a sua volta, invoca il metodo `run()` dell'oggetto `Runnable` passato
  - si esegue il metodo definito dal programmatore

ATTIVARE UN INSIEME DI THREAD

- scrivere un programma che stampi le tabelline moltiplicative dall' 1 al 10
  - si attivino 10 threads
  - ogni numero n, $1 \leq n \leq 10$, viene passato ad un thread diverso
  - il task assegnato ad ogni thread consiste nello stampare la tabellina corrispondente al numero che gli è stato passato come parametro

IL TASK CALCULATOR

```
public class Calculator implements Runnable {
    private int number;
    public Calculator(int number) {
              this.number=number; }
    public void run() {
      for (int i=1; i≤ 10; i++){
         System.out.printf("%s: %d * %d = %d\n",
               Thread.currentThread().getName(),number,i,i*number);
        }}}
```

- NOTA: `public static native Thread currentThread ( )`:
  - più thread potranno eseguire il codice di `Calculator`
  - qual'è il thread che sta eseguendo attualmente questo codice?

  `currentThread( )` restituisce un riferimento al thread che sta eseguendo il fragmento di codice

IL MAIN PROGRAM

```
public class Main {
    public static void main(String[] args) {
        for (int i=1; i<=10; i++){
            Calculator calculator=new Calculator(i);
            Thread thread=new Thread(calculator);
            thread.start();}
            System.out.println("Avviato Calcolo Tabelline"); } }
```

L'output Generato dipende dalla schedulazione effettuta, un esempio è il seguente:

Thread-0: 1 * 1 = 1

Thread-9: 10 * 1 = 10

Thread-5: 6 * 1 = 6

Thread-8: 9 * 1 = 9

Thread-7: 8 * 1 = 8

Thread-6: 7 * 1 = 7

Avviato Calcolo Tabelline

Thread-4: 5 * 1 = 5

Thread-2: 3 * 1 = 3

ALCUNE OSSERVAZIONI

- Output generato (dipendere comunque dallo schedulatore):

```
Thread-0: 1 * 1 = 1
Thread-9: 10 * 1 = 10
Thread-5: 6 * 1 = 6
Thread-8: 9 * 1 = 9
Thread-7: 8 * 1 = 8
Thread-6: 7 * 1 = 7
Avviato Calcolo Tabelline
Thread-4: 5 * 1 = 5
Thread-2: 3 * 1 = 3
```

- da notare: il messaggio Avviato Calcolo Tabelline è stato visualizzato prima che tutti i threads completino la loro esecuzione. Perchè?
  - il controllo ripassa al programma principale, dopo l'attivazione dei threads e prima della loro terminazione.

START( ) E RUN( )

```
public class Main {
    public static void main(String[] args) {
          for (int i=1; i<=10; i++){
              Calculator calculator=new Calculator(i);
              Thread thread=new Thread(calculator);
              thread.run(); // questa versione del programma è errata
              System.out.println("Avviato Calcolo Tabelline"} }
```

Output generato

```
main: 1 * 1 = 1
main: 1 * 2 = 2
main: 1 * 3 = 3
 ……..
main: 2 * 1 = 2
main: 2 * 2 = 4
……..
Avviato Calcolo Tabelline
```

START E RUN

cosa accade se sostituisco l'invocazione del metodo run alla start?

- non viene attivato alcun thread
- ogni metodo `run()` viene eseguito all'interno del flusso del thread attivato per l'esecuzione del programma principale
- flusso di esecuzione sequenziale
- il messaggio "Avviato Calcolo Tabelline" viene visualizzato dopo l'esecuzione di tutti i metodi metodo run() quando il controllo torna al programma principale
- solo il metodo `start()` comporta la creazione di un nuovo thread()!

IL METODO START

- segnala allo schedulatore (tramite la JVM) che il thread può essere attivato (invoca un metodo nativo)
- l'ambiente del thread viene inizializzato.
- restituisce immediatamente il controllo al chiamante, senza attendere che il thread attivato inizi la sua esecuzione.
  - la stampa del messaggio "Avviato Calcolo Tabelline" precede quelle effettuate dai threads.
  - questo significa che il controllo è stato restituito al thread chiamante (il thread associato al main) prima che sia iniziata l'esecuzione dei threads attivati

TASK CALCULATOR CON METODO 2

```
public class Calculator extends Thread {
    ........
public void run() {
   for (int i=1; i<=10; i++)
        {System.out.printf("%s: %d * %d = %d\n",
         Thread.currentThread().getName(),number,i,i*number);}}}

public class Main {
    public static void main(String[] args) {
         for (int i=1; i<=10; i++){
             Calculator calculator=new Calculator(i);
             calculator.start();}
             System.out.println("Avviato Calcolo Tabelline"); } }
```

QUALE ALTERNATIVA UTILIZZARE?

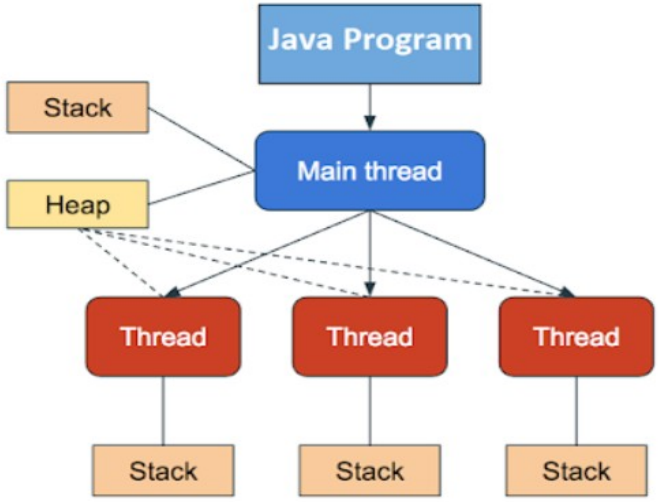
- in JAVA una classe può estendere una solo altra classe (eredità singola)
  - se si estende la classe `Thread`, la classe i cui oggetti devono essere eseguiti come thread non può estendere altre classi.
- questo può risultare svantaggioso in diverse situazioni, ad esempio:
  - gestione di eventi dell'interfaccia (movimento mouse, tastiera…)
    - la classe che gestisce un evento deve estendere una classe C predefinita di JAVA
    - se il gestore deve essere eseguito in un thread separato, occorrerebbe definire una classe che estenda sia C che Thread, ma questo non è permesso in JAVA, occorrerebbe l'ereditarietà multipla
- si definisce allora una classe che :
  - estenda C (non può estendere contemporaneamente `Thread`)
  - implementi l'interfaccia `Runnable`

TERMINAZIONE DI PROGRAMMI CONCORRENTI

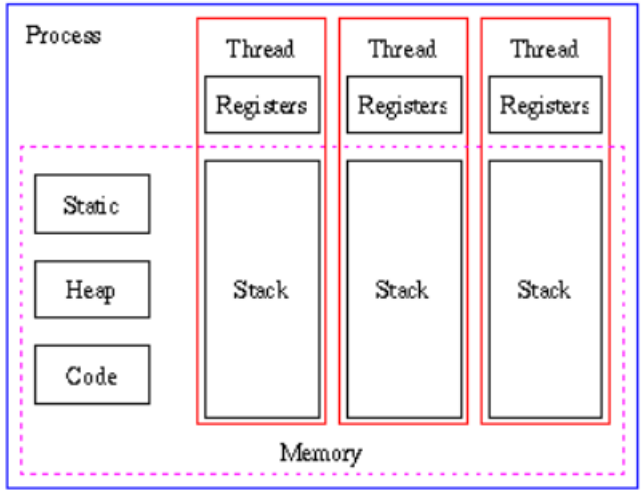
- un programma JAVA termina quando terminano tutti i threads non demoni che lo compongono
- se il thread iniziale, cioè quello che esegue il metodo `main( )` termina, i restanti thread ancora attivi e non demoni continuano la loro esecuzione, il programma termina quando anche questi terminano.
  - il "quadratino" rosso di `Eclipse` rimane "rosso" anche se il main è terminato
- se uno dei thread usa l'istruzione `System.exit()`per terminare l'esecuzione, allora tutti i threads terminano la loro esecuzione

THREAD OVERHEAD

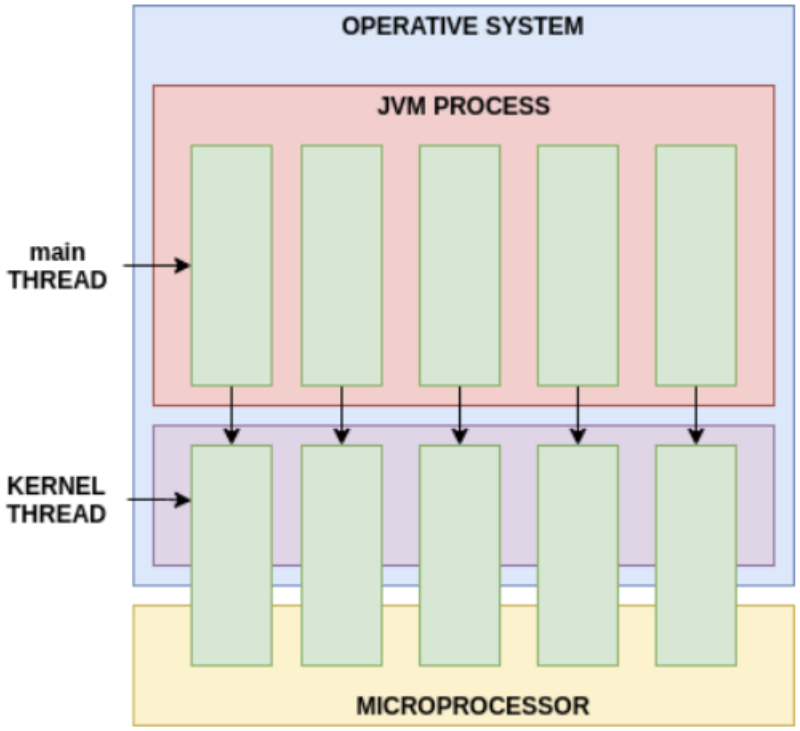
- attivazione/eliminazione di thread
  - richiede interazione tra JVM e SO
  - impatto sulle prestazioni variabile a seconda del SO
  - mai trascurabile, specie per richieste di servizio frequenti e 'lightweight'



- resource consumption
  - alloca uno stack per ogni thread
  - garbage collector stress
  - alcuni SO limitano per questo max numero di thread per programma



LIMITAZIONI DEL JAVA THREAD MODEL



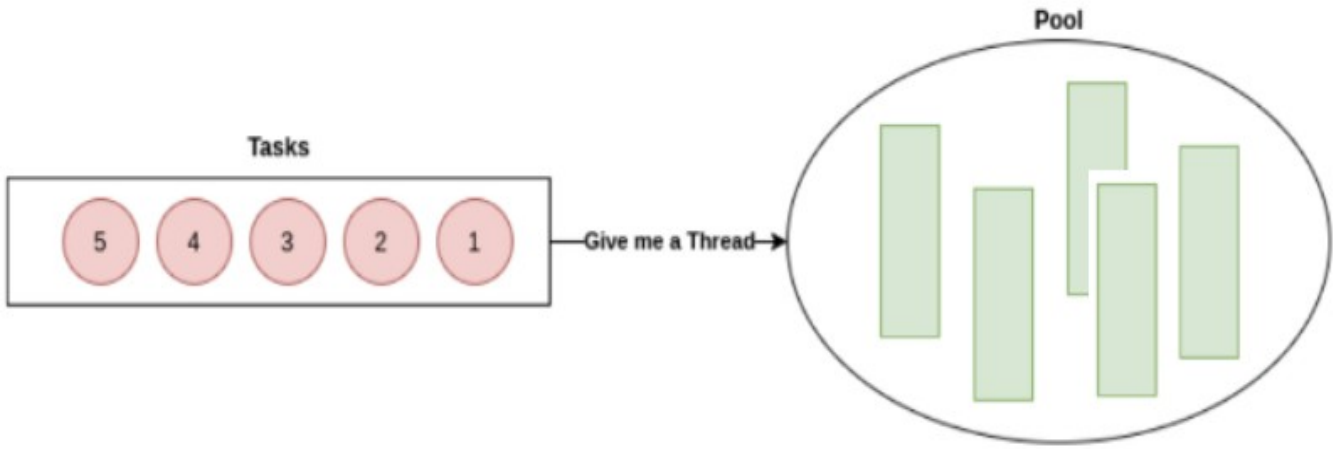
Java Thread model

- numero di thread limitato dal livello di capacità di kernel thread
- "JAVA break" se si usano più thread di quelli supportati dal S0

THREAD POOL: MOTIVAZIONI

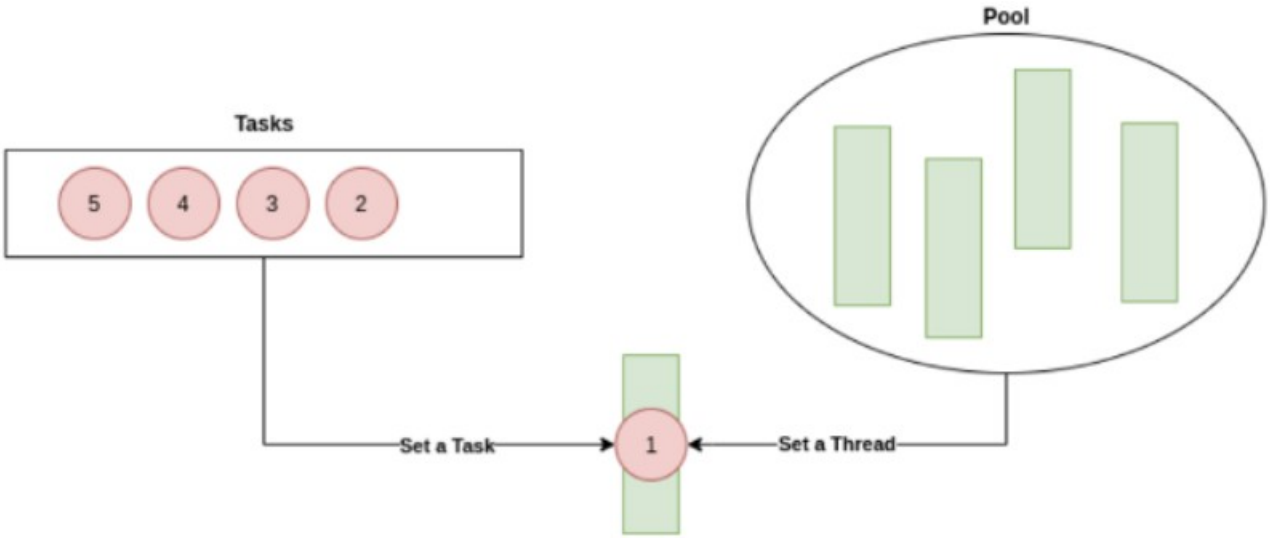
- scenario di riferimento: si deve eseguire un gran numero di task
  - esempio: un task nel server per ogni client
- un thread per ogni task: può diventare non sostenibile, specialmente nel caso di lightweight tasks molto frequenti
- alternativa
  - creare un pool di thread
  - ogni thread può essere usato per l'esecuzione di più task
- obiettivo:
  - riusare lo stesso thread per l'esecuzione di più tasks
  - diminuire il costo per l'attivazione/terminazione dei threads
  - controllare il numero massimo di thread che possono essere eseguiti concorrentemente

THREAD POOLING: CONCETTI DI BASE



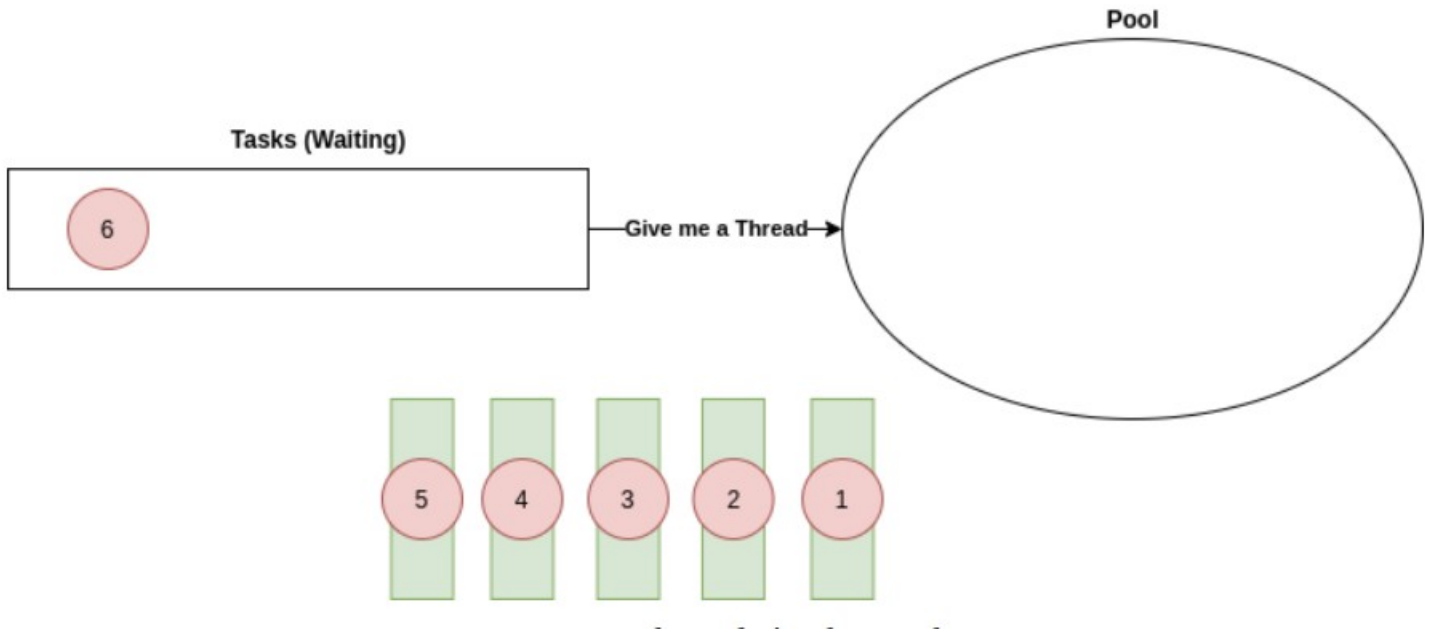
- una coda di task che aspettano l'esecuzione
  - politica `FIFO` per l'estrazione dei task dalla coda
- un pool di thread disponibili (rettangoli verdi) per l'esecuzione di un task
- il sistema di gestione del threadpool chiede se esiste un thread libero per l'esecuzione del primo task della coda

THREAD POOLING: CONCETTI DI BASE



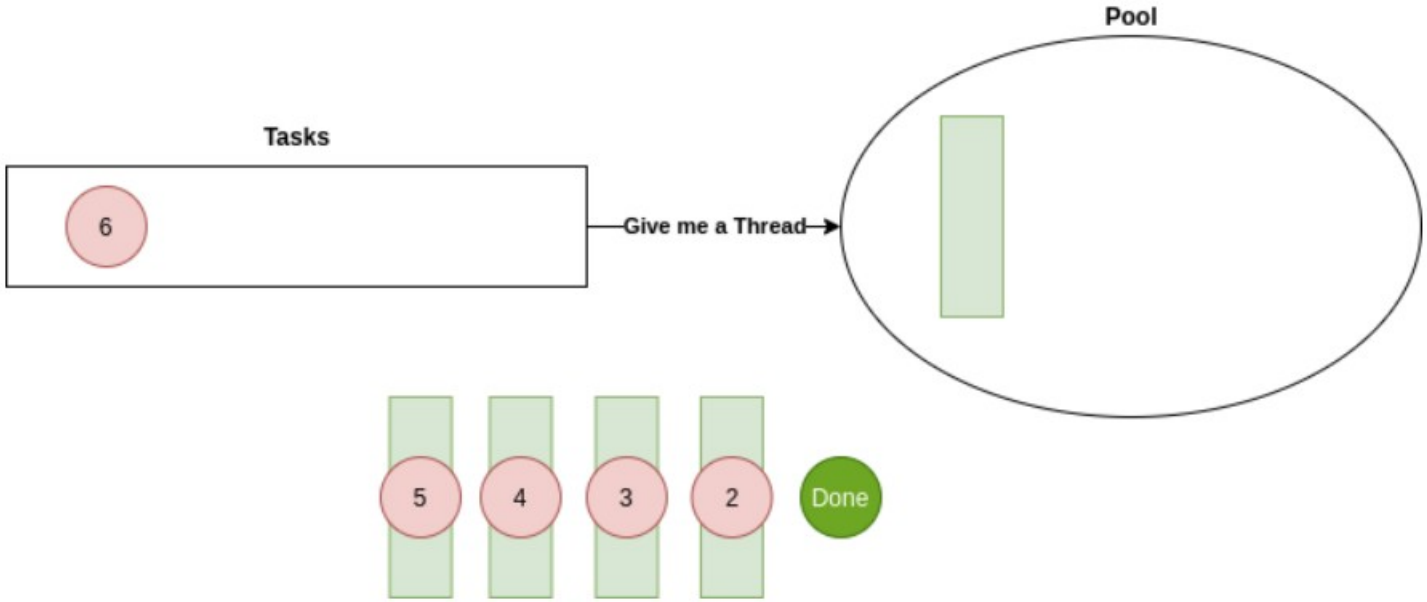
- il task viene assegnato ad un thread libero
- il thread viene tolto dal pool dei thread disponibili

THREAD POOLING: CONCETTI DI BASE



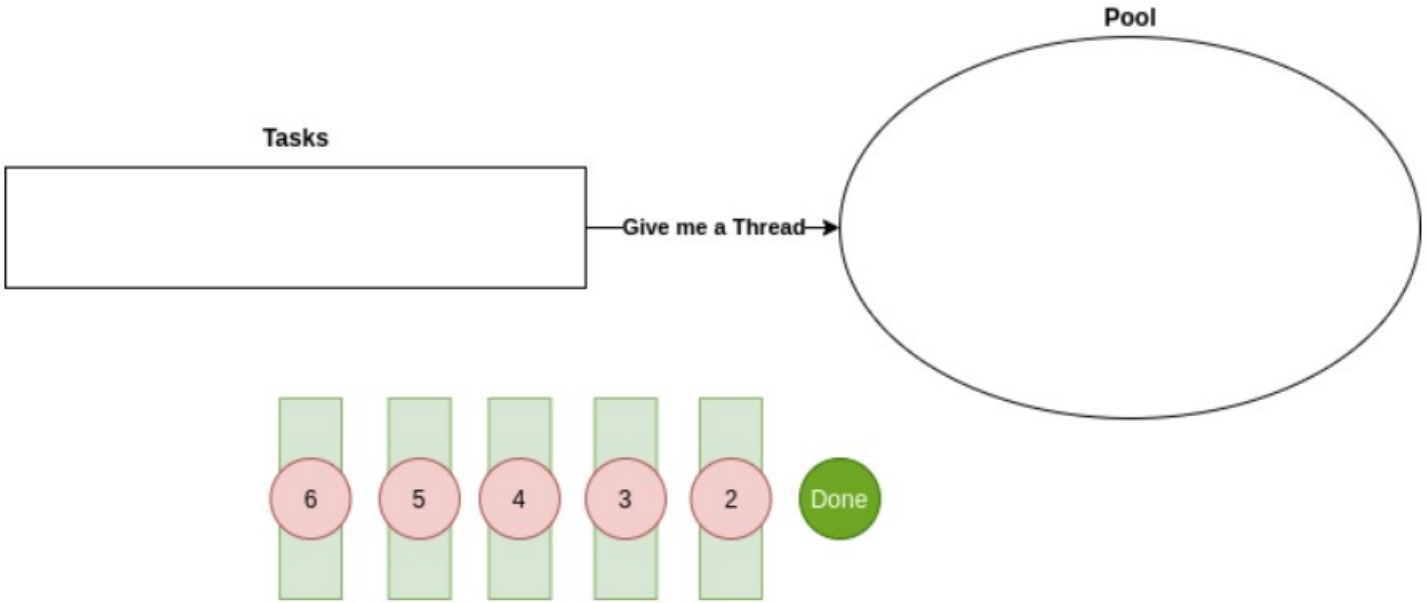
- tutti i thread sono occupati nell'esecuzione di task
- il pool è vuoto
- due alternative
  - il task successivo viene inserito nella coda, in attesa che si renda disponibile un thread
  - si crea un nuovo thread all'interno del threadpool

THREAD POOLING



- supponiamo che il task 6 attenda nella coda
- quando un thread finisce l'esecuzione del task assegnato, il thread ritorna nel pool e si rende disponibile per l'esecuzione di un altro task

THREAD POOLING: CONCETTI DI BASE



- il task in attesa viene associato al thread che si è reso disponibile
- il pool di thread ritorna ad essere vuoto
- il comportamento descritto è quello del `FixedThreadPool` di JAVA
  - in JAVA disponibili altre politiche di gestione dei threads

UN PO' DI TERMINOLOGIA

- l'utente struttura l'applicazione mediante un insieme di tasks.
- task segmento di codice che può essere eseguito da un esecutore
  - in JAVA corrisponde ad un oggetto di tipo `Runnable`
- Thread
  - un esecutore di tasks.
- Thread Pool
  - struttura dati la cui dimensione massima può essere prefissata, che contiene riferimenti ad un insieme di threads
  - i thread del pool possono essere riutilizzati per l'esecuzione di più tasks
  - la sottomissione di un task al pool viene disaccoppiata dall'esecuzione del thread.
  - l'esecuzione del task può essere ritardata se non vi sono risorse disponibili

THREAD POOL: CONCETTI GENERALI

- il progettista
  - crea il pool e stabilisce una politica per la gestione dei thread del pool
    - quando i thread vengono attivati: al momento della creazione del pool, on demand, all'arrivo di un nuovo task,....
    - se e quando è opportuno terminare l'esecuzione di un thread
      - se non c'è un numero sufficiente di tasks da eseguire
  - sottomette i tasks per l'esecuzione al thread pool

- il supporto, al momento della sottomissione del task, può
  - utilizzare un thread attivato in precedenza, inattivo in quel momento
  - creare un nuovo thread
  - memorizzare il task in una struttura dati (coda), in attesa dell'esecuzione
  - respingere la richiesta di esecuzione del task

- il numero di threads attivi nel pool può variare dinamicamente

JAVA THREADPOOL: IMPLEMENTAZIONE

- fino a JAVA 4 la programmazione del threadpool è a carico del programmatore
- JAVA 5.0 definisce la libreria java.util.concurrent che contiene metodi per
  - creare un thread pool ed il gestore associato
  - definire specifiche politiche per la gestione del pool
    - tipo di coda
    - elasticità del threadpool
- il meccanismo introdotto permette una migliore strutturazione del codice poichè tutta la gestione dei threads può essere delegata al supporto

JAVA THREADPOOL: IMPLEMENTAZIONE

- alcune interfacce definiscono servizi generici di esecuzione

```
public interface Executor  {
        public void execute (Runnable task) }
public interface ExecutorService extends Executor
        {.. }
```

- diversi servizi implementano il generico `ExecutorService` (`ThreadPoolExecutor`, `ScheduledThreadPoolExecutor`,..)
- la classe `Executors` opera come una `Factory` in grado di generare oggetti di tipo `ExecutorService` con comportamenti predefiniti.
- i tasks devono essere incapsulati in oggetti di tipo `Runnable` e passati a questi esecutori, mediante invocazione del metodo `execute()`

I TASK DA SOTTOMETTERE AL POOL

```
import java.util.*;
public class Task implements Runnable {
   private int  name;
   public Task(int name) {this.name=name;}
   public void run() {
      try{
        Long duration=(long)(Math.random()*10);
        System.out.printf("%s: Task %s: Starting a task during %d seconds\n",
                          Thread.currentThread().getName(),name,duration);
        Thread.sleep(duration);
         }
      catch (InterruptedException e) {e.printStackTrace();}
      System.out.printf("%s: Task Finished %s \n",
             Thread.currentThread().getName(),name);}}}
```

FIXEDTHREADPOOL

- un tipo di threadpool con comportamento predefinito
- viene creato un numero fisso di thread: n thread, n fissato al momento dell'inizializzazione del pool, riutilizzati per l'esecuzione di più tasks
- quando viene sottomesso un task T
  - se tutti i threads sono occupati nell'esecuzione di altri tasks, T viene inserito in una coda, gestita automaticamente dall'`ExecutorService`
  - se almeno un thread è inattivo, viene utilizzato quel thread
- utilizza una `LinkedBlockingQueue`
  - coda illimitata

FIXEDTHREADPOOL

```
import java.util.concurrent.Executors;
import java.util.concurrent.ExecutorService;
public class ExampleFixed{
   public static void main(String[] args) {
   // create the pool
   ExecutorService service =  Executors.newFixedThreadPool(10);
   //submit the task for execution
   for (int i=0; i<100; i++) {
          service.execute(new Task(i)) }
    System.out.println("Thread Name:"+
        Thread.currentThread().getName());
    } }
```

L'OUTPUT DEL PROGRAMMA

```
Thread Name:main
pool-1-thread-7: Task 6: Starting during 6 seconds
pool-1-thread-9: Task 8: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-8: Task 7: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-10: Task 9: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-2: Task 1: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-4: Task 3: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-1: Task 0: Starting during 1 seconds
pool-1-thread-6: Task 5: Starting during 0 seconds
pool-1-thread-3: Task 2: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-5: Task 4: Starting during 3 seconds
pool-1-thread-6: Task Finished 5
pool-1-thread-6: Task 10: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 0
pool-1-thread-1: Task 11: Starting during 3 seconds
pool-1-thread-5: Task Finished 4
pool-1-thread-5: Task 12: Starting during 5 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 11
pool-1-thread-7: Task Finished 6
pool-1-thread-1: Task 13: Starting during 1 seconds
pool-1-thread-7: Task 14: Starting during 2 seconds
….....................
```

importante:

- lo stesso thread riutilizzato per più tasks

DISTANZIARE I TASK

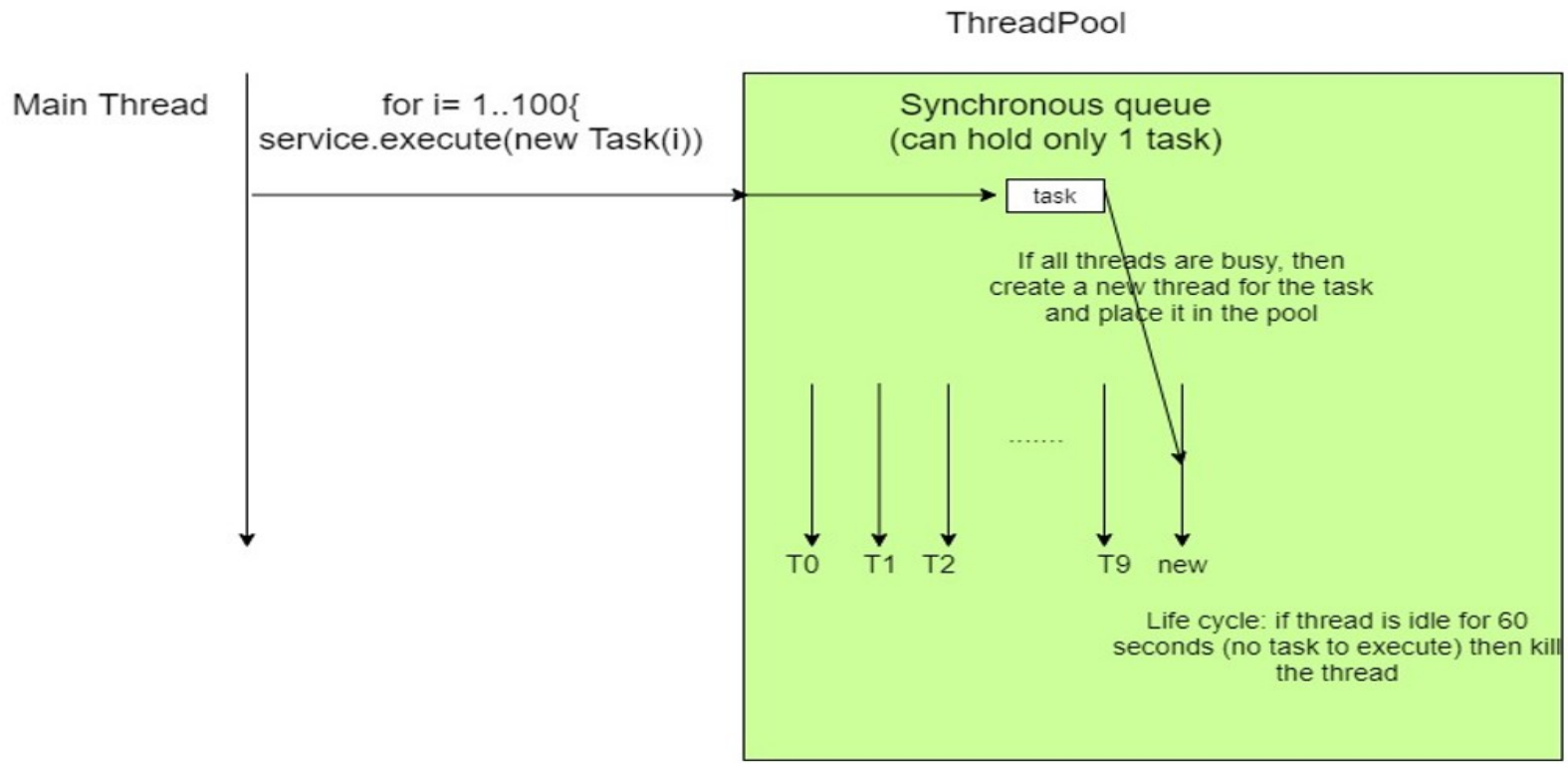
```
pool-1-thread-1: Task 0: Starting during 4 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 0
pool-1-thread-2: Task 1: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-2: Task Finished 1
pool-1-thread-3: Task 2: Starting during 0 seconds
pool-1-thread-3: Task Finished 2
pool-1-thread-4: Task 3: Starting during 0 seconds
pool-1-thread-4: Task Finished 3
pool-1-thread-5: Task 4: Starting during 4 seconds
pool-1-thread-5: Task Finished 4
pool-1-thread-6: Task 5: Starting during 2 seconds
pool-1-thread-6: Task Finished 5
pool-1-thread-7: Task 6: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-7: Task Finished 6
pool-1-thread-8: Task 7: Starting during 5 seconds
pool-1-thread-8: Task Finished 7
pool-1-thread-9: Task 8: Starting during 5 seconds
pool-1-thread-9: Task Finished 8
pool-1-thread-10: Task 9: Starting during 6 seconds
pool-1-thread-10: Task Finished 9
pool-1-thread-1: Task 10: Starting during 3 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 10
```

- cosa accade se si distanzia la sottomissione dei task ai thread, ad esempio inserendo una sleep, nel for dopo la execute?
- i thread sono tutti attivi e vengono utilizzati in modalità round-robin

CACHEDTHREADPOOL

- un altro tipo di threadpool con comportamento predefinito
- attivato con

```
ExecutorService service = Executors.newCachedThreadPool();
```



CACHEDTHREADPOOL

- se tutti i thread del pool sono occupati nell'esecuzione di altri task e c'è un nuovo task da eseguire, viene creato un nuovo thread.

  nessun limite alla dimensione del pool

- se disponibile, viene riutilizzato un thread che ha terminato l'esecuzione di un task precedente.
- se un thread rimane inutilizzato per 60 secondi, la sua esecuzione termina

- elasticità: *"un pool che può espandersi all'infinito, ma si contrae quando la domanda di esecuzione di task diminuisce"*

CACHEDTHREADPOOL

```
import java.util.concurrent.Executors;
import java.util.concurrent.ExecutorService;
public class ExampleCached{
  public static void main(String[] args) {
    ExecutorService service = Executors.newCachedThreadPool();
    for (int i =0; i<100; i++) {
        service.execute(new Task(i));  sleep(1000); }
    System.out.println("ThreadName:"+Thread.currentThread().getName());
   }
  private static void sleep(long timeMillis) {
    try {
        Thread.sleep(timeMillis);
      } catch(InterruptedException e) {}}}
```

OUTPUT DEL PROGRAMMA

```
pool-1-thread-11: Task 10: Starting during 5 seconds
pool-1-thread-100: Task 99: Starting during 5 seconds
Thread Name:main
pool-1-thread-99: Task 98: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-98: Task 97: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-97: Task 96: Starting during 6 seconds
pool-1-thread-96: Task 95: Starting during 6 seconds
pool-1-thread-95: Task 94: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-94: Task 93: Starting during 2 seconds
pool-1-thread-93: Task 92: Starting during 3 seconds
pool-1-thread-92: Task 91: Starting during 0 seconds
pool-1-thread-92: Task Finished 91
pool-1-thread-91: Task 90: Starting during 8 seconds
pool-1-thread-90: Task 89: Starting during 6 seconds
pool-1-thread-89: Task 88: Starting during 6 seconds
pool-1-thread-88: Task 87: Starting during 1 seconds
pool-1-thread-87: Task 86: Starting during 3 seconds
pool-1-thread-86: Task 85: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-85: Task 84: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-84: Task 83: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-83: Task 82: Starting during 4 seconds
pool-1-thread-82: Task 81: Starting during 8 seconds
```

attivato un nuovo thread per ogni nuovo task

DISTANZIARE I TASK

```
pool-1-thread-1: Task 0: Starting during 3 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 0
pool-1-thread-1: Task 1: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 1
pool-1-thread-1: Task 2: Starting during 0 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 2
pool-1-thread-1: Task 3: Starting during 3 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 3
pool-1-thread-1: Task 4: Starting during 5 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 4
pool-1-thread-1: Task 5: Starting during 5 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 5
pool-1-thread-1: Task 6: Starting during 9 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 6
pool-1-thread-1: Task 7: Starting during 6 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 7
pool-1-thread-1: Task 8: Starting during 1 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 8
pool-1-thread-1: Task 9: Starting during 1 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 9
pool-1-thread-1: Task 10: Starting during 0 seconds
…….....
```

- cosa accade se distanzio la sottomissione dei task ai thread, ad esempio inserendo una sleep, nel for, dopo la execute?

  - ora viene utilizzato sempre il thread-1 per tutti i task

ASSIGNMENT 3

- *non è tutto oro quello che luccica… ovvero, non sempre il multithreading è conveniente….*
- scrivere un'applicazione JAVA che
  - crea e attiva `n thread`.
  - ogni thread esegue esattamente lo stesso task, ovvero conta il numero di interi minori di `10,000,000` che sono primi
  - il numero di thread che devono essere attivati e mandati in esecuzione viene richiesto all'utente, che lo inserisce tramite la `CLI (Command Line Interface)`
- analizzare come varia il tempo di esecuzione dei thread attivati a seconda del loro numero
- sviluppare quindi un programma in cui si creano n task, tutti eseguono la computazione descritta in precedenza e vengono sottomessi a un threadpool di dimensione prefissata

ASSIGNMENT 3

- `System.currentTimeMillis ()`: per misurare le prestazioni dei programmi
- restituisce il numero di millisecondi trascorsi dalla mezzanotte del 1 Gennaio, 1970

```
long tStart = System.currentTimeMillis ();
 /*
 CODE TO BE PROFILED HERE
 */
long tEnd= System.currentTimeMillis ();
System.out.println ("Elapsed time (ms) " + (tEnd - tStart));
```