

# Reti e Laboratorio

## Modulo Laboratorio III

**AA. 2023-2024**

docente: Laura Ricci

[laura.ricci@unipi.it](mailto:laura.ricci@unipi.it)

# Lezione 1

**JAVA multithreading:  
threads e thread pooling**

**21/9/2023**

# INFORMAZIONI GENERALI

- **Docente**
  - *Laura Ricci* (laura.ricci@unipi.it),
- **Supporto alla Didattica**
  - *Domenico Tortola*
- **Crediti**
  - 6 CFU Reti (Prof.Paganelli), 3 CFU Laboratorio III (Prof. Laura Ricci)
- **Orario Modulo Laboratorio**

giovedì 9.00 -11.00 – AULA E, BYOD (*Bring Your Own Device*)
- **Orario ricevimento**

giovedì 15:00 – 17:00 Dipartimento Informatica e online su Teams
- **Materiale su Moodle:** <https://elearning.di.unipi.it/course/view.php?id=537> e su Teams
  - slides
  - forum
  - assignments

# LABORATORIO: INFORMAZIONI GENERALI

- ogni lezione divisa in due parti
  - parte teorica: presentazione dei concetti di base
  - parte pratica
    - verifica assignment assegnati nelle lezioni teoriche
- consegna **facoltativa** degli *assignment* entro 15 giorni dalla data di assegnazione.
  - lo studente che consegna l'80% degli esercizi, li discuterà all'esame e, se la discussione è positiva, potrà ottenere un bonus di **1 punto sul voto finale**

# MODALITA' DI ESAME

- l'esame si distingue in due prove:
  - **prova di Reti**
  - **prova di Laboratorio**
- non ci sono vincoli di precedenza tra la prova di Reti e quella di Laboratorio.
- **Il voto di ciascuna prova ha validità per l'AA 2023/24** (entro l'appello straordinario di ottobre/novembre 2024 compreso per chi ha i requisiti per partecipare all'appello).
- **voto finale: media pesata** dei voti ottenuti nelle due prove e arrotondamento all'intero più vicino
- ad esempio:

		<b>Totale</b>	
<b>Reti</b>	<b>Lab</b>	<b>(2/3*reti +1/3*Lab)</b>	<b>VOTO</b>
19	30	22,66...	23
20	20	20,00	20
30	18	26,00	26

# MODALITA' DI ESAME

- tutte le prove d'esame prevedono obbligatoriamente l'iscrizione sul **SISTEMA DI ISCRIZIONE DI ATENEIO**
- chi non si iscrive entro i termini non può partecipare alla prova di esame
- attenzione alle scadenze!!!
- **Prova di Laboratorio**
  - lo studente deve consegnare un progetto, da svolgere secondo le specifiche consegnate durante il corso.
  - le specifiche del progetto sono valide fino all'appello straordinario di novembre 2024 (a questo appello può accedere solo chi ha i requisiti).
  - la prova consiste in un colloquio orale che include la discussione del progetto e verifica dell'apprendimento dei concetti e contenuti presentati a lezione.
  - il progetto deve essere svolto **individualmente**

# MODALITA' DI ESAME STUDENTI ISCRITTI ANNI PRECEDENTI

- reti di calcolatori e laboratorio (12 CFU)
- laboratorio (6 CFU)
  - programma AA 2021/22
  - progetto + discussione su contenuti programma
  - specifiche del Progetto  $\neq$  progetto nuovo regolamento
  - le specifiche del progetto sono valide fino all'appello di settembre 2023 (incluso l'appello straordinario di novembre 2023 per chi ha i requisiti per accedere)
- chi ha già sostenuto una delle due prove parziali (i.e. prova di Reti o prova di Laboratorio) mantiene il voto parziale per l'AA 2023/24 (entro l'appello straordinario di ottobre/novembre 2024 compreso per chi ha i requisiti per partecipare all'appello)

# INFORMAZIONI UTILI: PREREQUISITI

- corso di Programmazione 2, introduzione al linguaggio JAVA.
- dal modulo teorico di reti
  - conoscenza protocollo TCP/IP
- linguaggio di programmazione di riferimento: anche se l'ultima release è la 20, facciamo riferimento a JAVA 8
  - concorrenza: costrutti base, `JAVA.UUTIL.CONCURRENT`, `concurrent collections`
  - `JAVA.NIO`
  - `JAVA.NET`
- ambiente di sviluppo di riferimento: Eclipse, ma vanno bene anche altri IDE per JAVA

# INFORMAZIONI UTILI

- **Materiale Didattico:**
  - slide delle lezioni
  - testi consigliati (non obbligatori) per la parte relativa ai threads
    - *Bruce Eckel*, **Thinking in JAVA - Volume 3 - Concorrenza e Interfacce Grafiche**
    - *B. Goetz*, **JAVA Concurrency in Practice**, 2006
  - Testi consigliati (non obbligatori) per la parte relativa alla programmazione di rete
    - *Dario Maggiorini*, **Introduzione alla Programmazione Client Server**, Pearson
    - *Esmond Pitt*, **Fundamental Networking in JAVA**
- **Materiale di Consultazione:**
  - *Harold*, **JAVA Network Programming 3rd edition** O'Reilly 2004.
  - *K.Calvert, M.Donhaoo*, **TCP/IP Sockets in JAVA**, Practical Guide for Programmers
  - Costrutti di base: Horstmann , **Concetti di Informatica e Fondamenti di Java 2**

## *Threads*

- meccanismi di gestione di pools di threads, Callable
- richiami su primitive di sincronizzazione (lock)
- concurrent collections

## *Stream-based IO*

- Richiami su streams: tipi di streams, composizione di streams
- meccanismi di serializzazione: JSON libreria GSON

## *NewIO*

- Channels, buffers, memory mapped IO

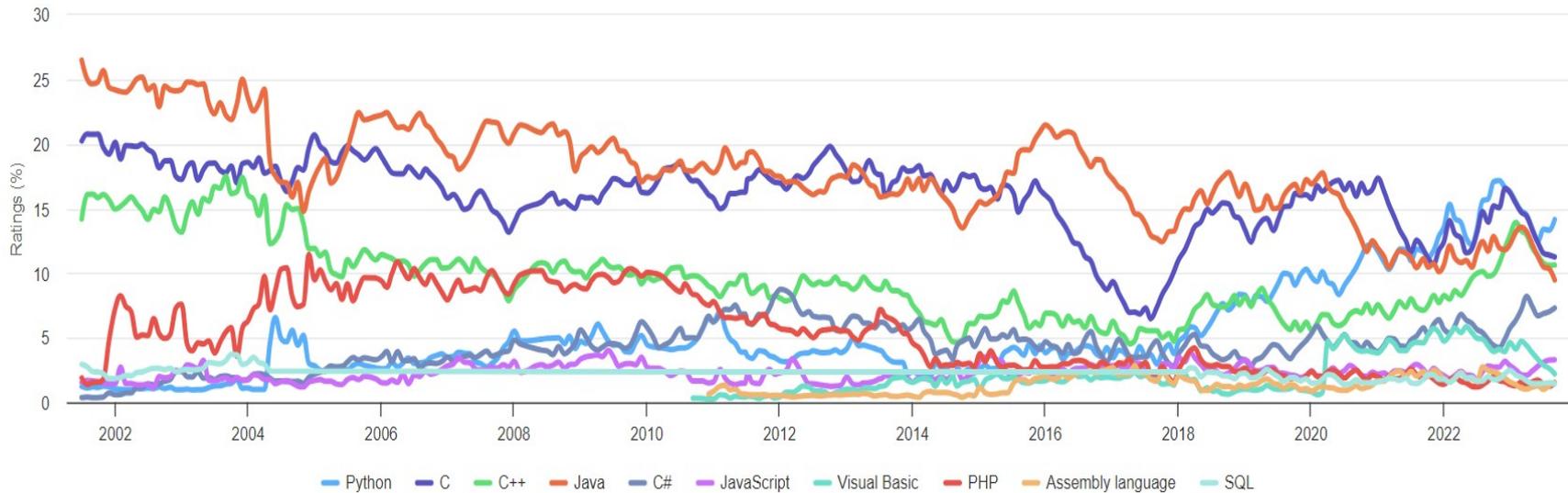
## *Programmazione di rete*

- connection oriented Sockets
- connectionless sockets: UDP, multicast
- NewIO e sockets
- Selector: channel multiplexing

# PERCHE' JAVA?: L'INDICE TIOBE DEI LINGUAGGI

TIOBE Programming Community Index

Source: [www.tiobe.com](http://www.tiobe.com)



- misura la popolarità dei linguaggi di programmazione in funzione del numero di ricerche contenenti il nome del linguaggio
- JAVA uno dei top-4 linguaggi: utile studiarlo!

# L'EVOLUZIONE DI JAVA



## 23 JAN 1996 - JAVA 1

First public release. The stable version Java 1.0.2 is called Java 1.

## 1995 - JDK BETA

The first beta version of Java. Developed by James Gosling at Sun Microsystems.

## 19 FEB 1997 - JAVA 1.1

Inner Classes, Java Beans, JDBC, RMI

## 8 DEC 1998 - JAVA 1.2

Swing, JIT Compiler, Collections

## 8 MAY 2000 - JAVA 1.3

HotSpot JVM, JNDI, JPDA

## 6 FEB 2002 - JAVA 1.4

Assertions, RegEx Improvements, Image IO API, XML Parsers, XSLT Processors, Preferences API

## 30 SEP 2004 - JAVA 5

Generics API, Varargs, for-each loop, Autoboxing, Enum, Annotations, Static Imports

# L'EVOLUZIONE DI JAVA

## 11 DEC 2006 - JAVA 6

JAXB 2, JDBC 4.0 support, Pluggable annotations

## 7 JUL 2011 - JAVA 7

String in Switch Statements, Try with Resource, Java NIO Package, Catching Multiple Exceptions in a single catch block

## 18 MAR 2014 - JAVA 8

forEach() Method, default and static method in interfaces, Functional interfaces and Lambda expressions, Stream API, New Date Time API

## 21 SEP 2017 - JAVA 9

JShell, Module System under Project Jigsaw, Reactive Streams, HTTP 2 Client

## 20 MAR 2018 - JAVA 10

Local-Variable Type Inference

## 25 SEP 2018 - JAVA 11

Running Java program from single command, New String Class methods, var for lambda expressions

## 19 MAR 2019 - JAVA 12

Shenandoah Garbage Collector, Teaming Collectors, New methods in String class, Switch Expressions

## 17 SEP 2019 - JAVA 13

Text Blocks, Switch Expressions, Socket API reimplementation, Unicode 12.1 support, DOM and SAX Factories with Namespace Support

Ultima versione JAVA 20

# NETWORK APPLICATIONS

- applicazioni client server
  - web browsers
  - SSH
  - email
  - social networks
  - teleconferences (skype, Zoom,...)
  - program development environments: GIT
  - collaborative work: Overleaf
  - multiplayer games: War of Warcraft
- applicazioni peer-to-peer
  - P2P File sharing: Bittorrent
  - blockchain: cryptocurrencies (Bitcoin), NFT,...

scopo del corso è mettervi in grado di sviluppare una semplice applicazione di rete, *utilizzando costrutti ad alto livello offerti da JAVA per multithreading e networking*

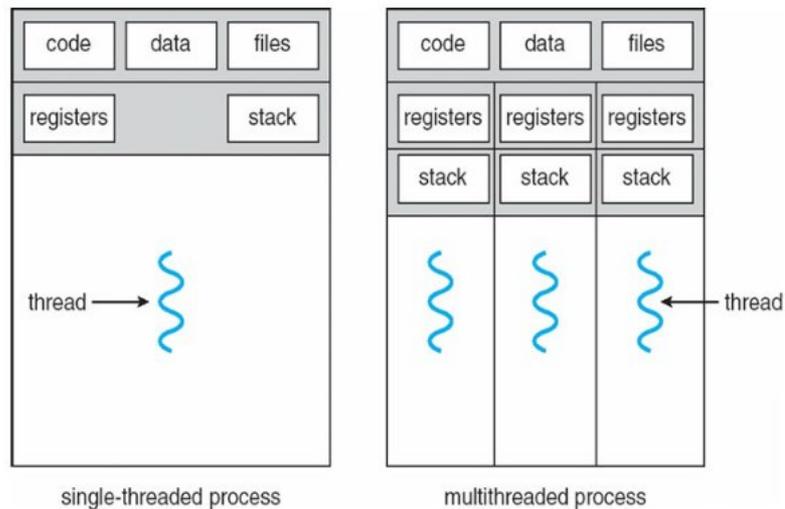


# NETWORK APPLICATIONS

- 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 insieme di regole che i partners devono seguire per comunicare correttamente.
- in questo corso utilizzeremo i protocolli di livello trasporto:
  - **connection-oriented**: TCP, Transmission Control Protocol
  - **connectionless**: UDP, User Datagram Protocol

# THREAD: 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



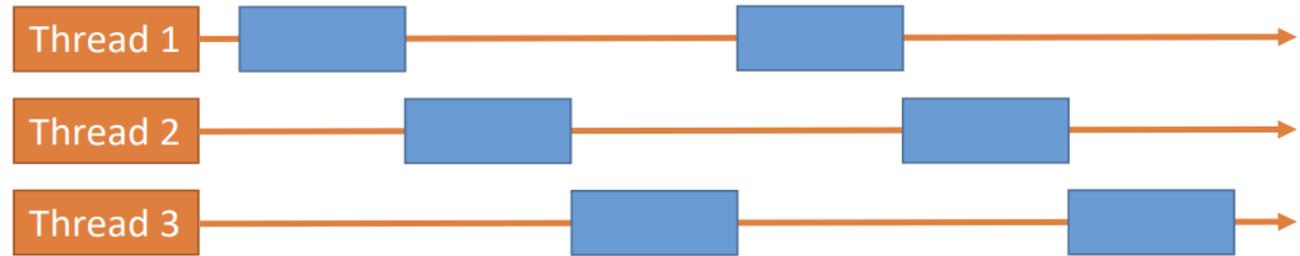
- multitasking, si può riferire a thread o processi
  - a livello di processo è controllato esclusivamente dal sistema operativo
  - a livello di thread è controllato, almeno in parte, dal programmatore

# PROCESSI E THREADS: RICHIAMI

- thread multitasking verso 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

# MULTITHREADING: 1 VS. PIU' CPU

Multiple threads sharing a single CPU



Multiple threads on multiple CPUs

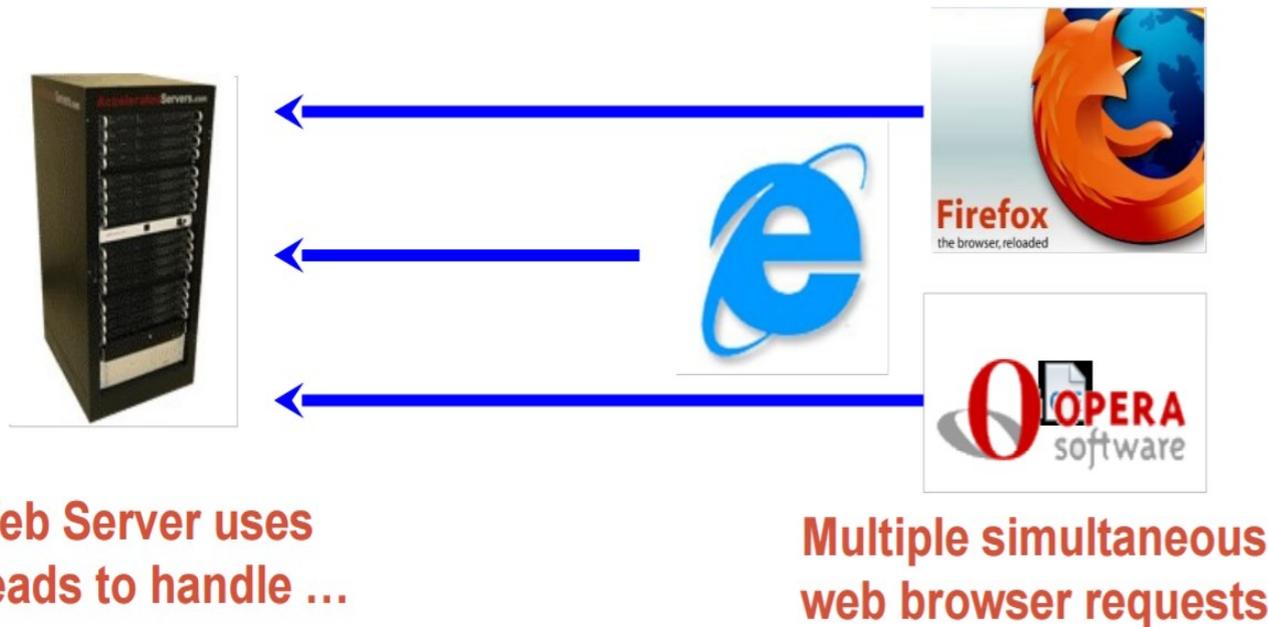


# MULTITHREADING: PERCHE'?

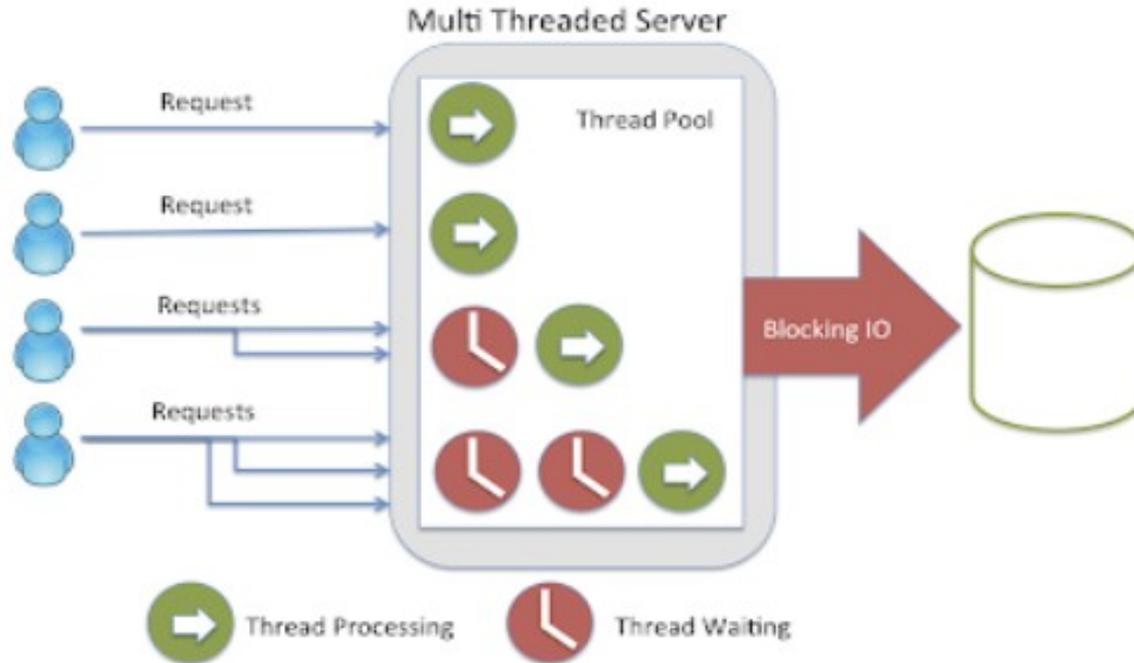
- migliore utilizzazione delle risorse
  - quando un thread è sospeso, altri thread vengono mandati in esecuzione
  - riduzione del tempo complessivo di esecuzione
- migliore performance per applicazioni computationally intensive
  - dividere l'applicazione in task ed eseguirli in parallelo
- tanti vantaggi, 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
  - 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.concurrent`
  - 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

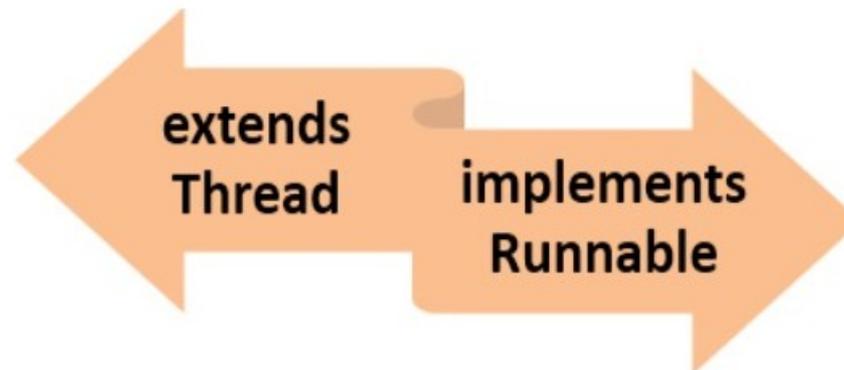
- sviluppato in parte da Doug Lea, disponibile, come insieme di librerie JAVA non standard prima della integrazione in JAVA 5.0.
- tra i package principali:
  - `java.util.concurrent`
    - executor, concurrent collections, semaphores,...
  - `java.util.concurrent.atomic`
    - AtomicBoolean, AtomicInteger,...
  - `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**
  - ConcurrentHashMap
  - 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





- 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.lang`
- 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 C 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

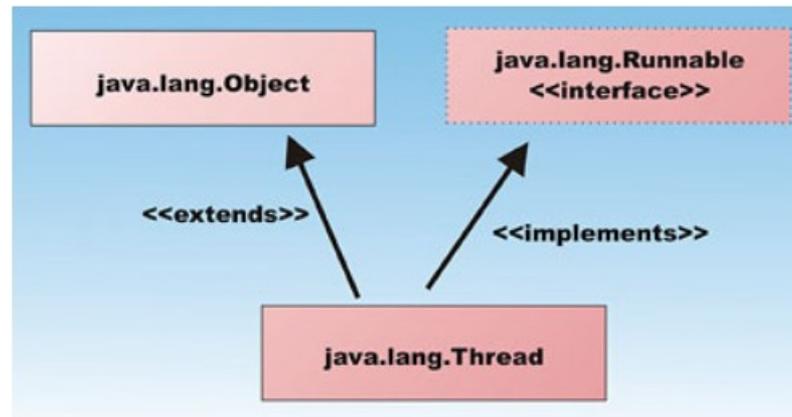
```
public class ExtendingThread {  
  
    public static class MyThread extends Thread {  
        public void run() {  
            System.out.println("MyThread running");  
            System.out.println("MyThread finished");  
        }  
    }  
  
    public static void main (String [] args) {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

*Stampa*

*MyThread running*

*MyThread finished*

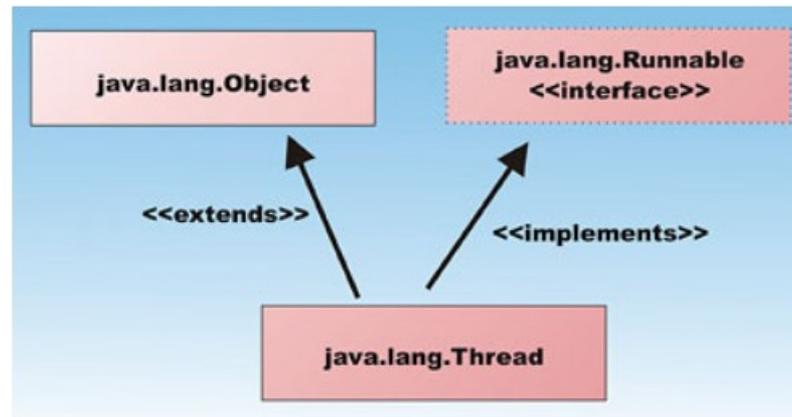
# LA CLASSE THREAD



- 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 variabile `runnable` è diversa da `nil`, 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 frammento 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 effettuata, 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 schedatore):

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. Perché?
  - il controllo ripassa al programma principale, dopo la 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?

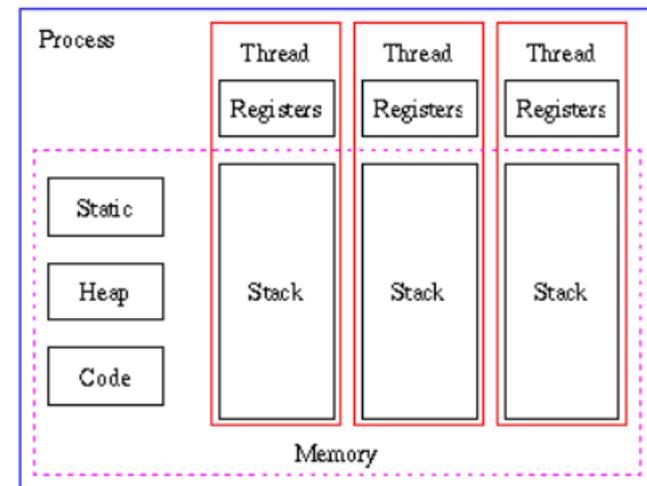
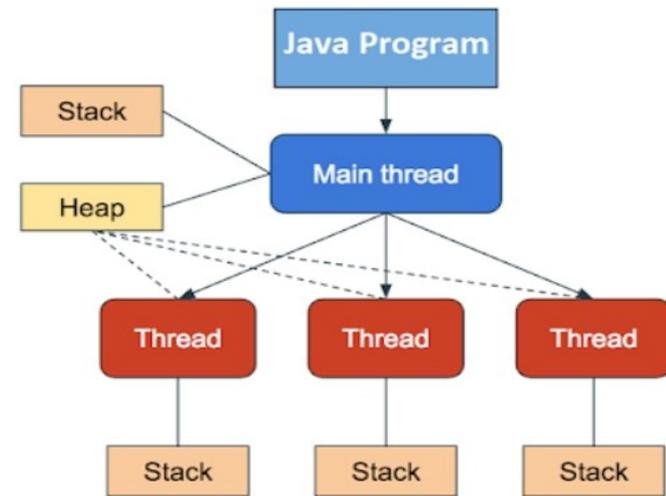
- in JAVA una classe può estendere una solo altra classe (**eredità singola**)
  - se si estende la classe Thread, la classe i cui oggetti devono essere eseguiti come thread non può estendere altre classi.
- questo può risultare svantaggioso in diverse situazioni, ad esempio:
  - gestione di eventi dell'interfaccia (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 la interfaccia Runnable

# TERMINAZIONE DI PROGRAMMI CONCORRENTI

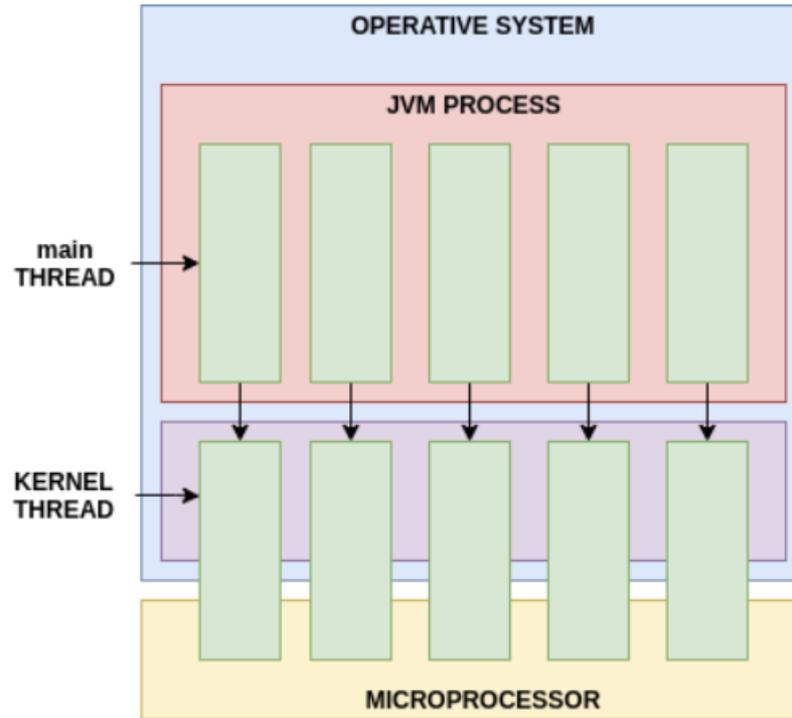
- un programma JAVA termina quando terminano tutti i threads **non demoni** che lo compongono
- se il thread iniziale, cioè quello che esegue il metodo `main( )` termina, i restanti thread ancora attivi e non demoni continuano la loro esecuzione, il programma termina quando anche questi terminano.
  - il “quadrato” 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



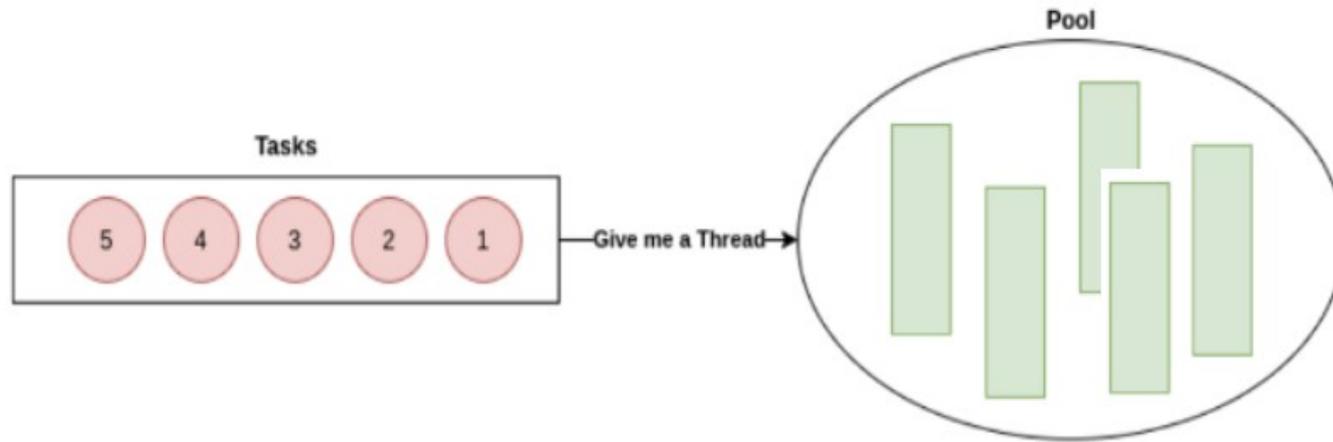
*Java Thread model*

- numero di thread limitato dal livello di capacità di kernel thread
- “JAVA break” se si usano più thread di quelli supportati dal SO

# THREAD POOL: MOTIVAZIONI

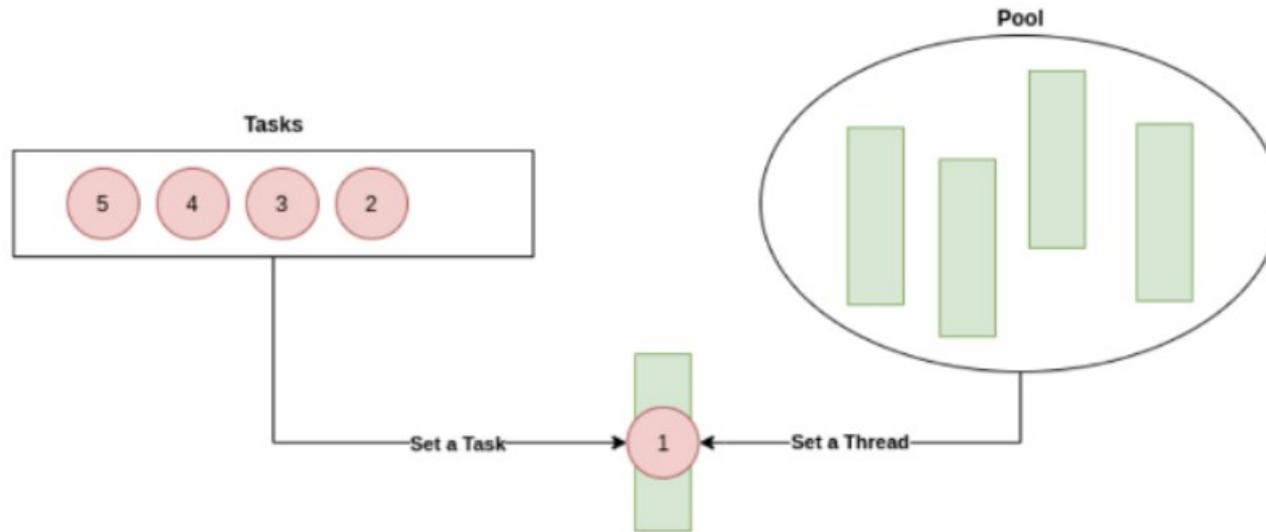
- scenario di riferimento: si deve eseguire un gran numero di task
  - esempio: un task per ogni client, nel server
- un thread per ogni task: può diventare non sostenibile, specialmente nel caso di lightweight tasks molto frequenti.
- alternativa
  - creare un **pool di thread**
  - ogni thread può 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



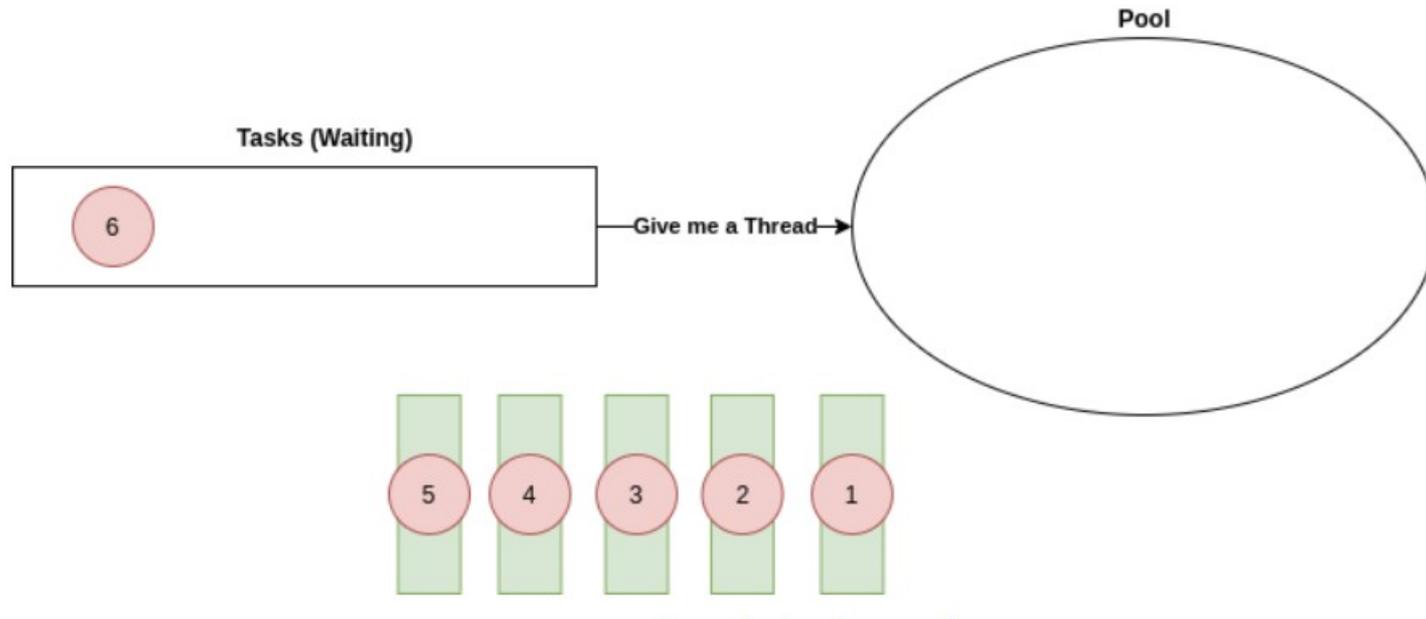
- una coda di task che aspettano l'esecuzione
  - politica FIFO per l'estrazione dei task dalla coda
- un pool di thread disponibili (rettangoli verdi) per l'esecuzione di un task
- il sistema di gestione del threadpool chiede se esiste un thread libero per l'esecuzione del primo task della coda

# THREAD POOLING: CONCETTI DI BASE



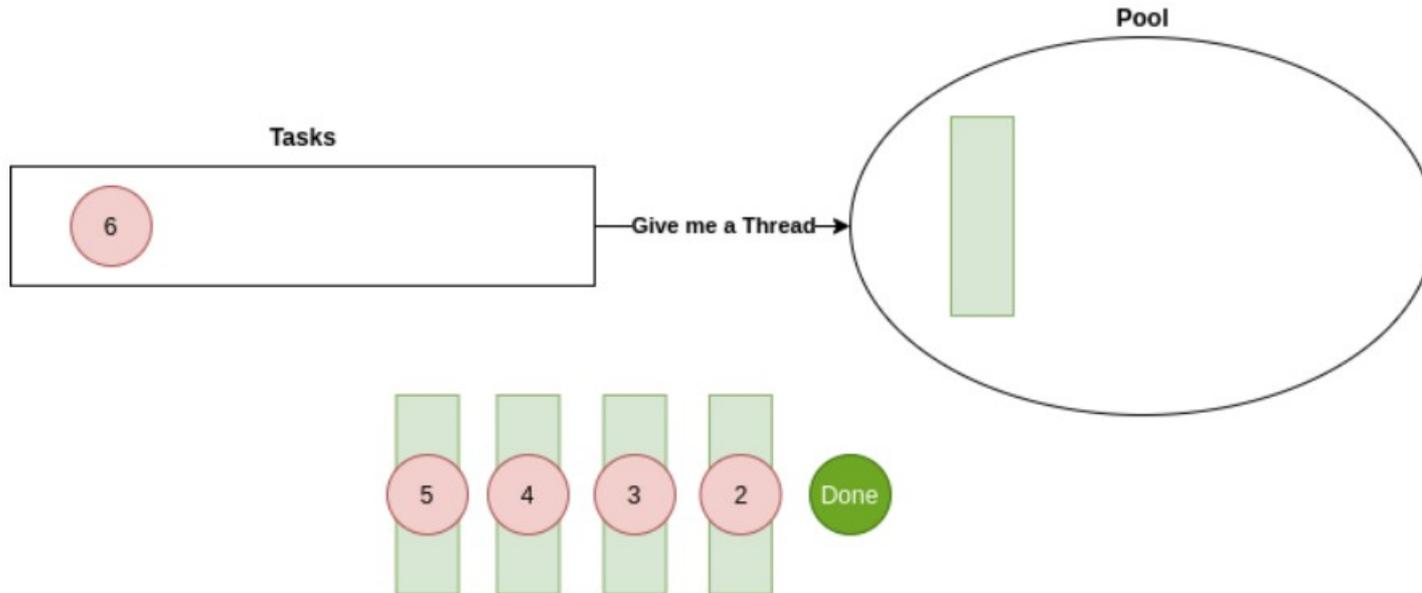
- il task viene assegnato ad un thread libero
- il thread viene tolto dal pool dei thread disponibili

# THREAD POOLING: CONCETTI DI BASE



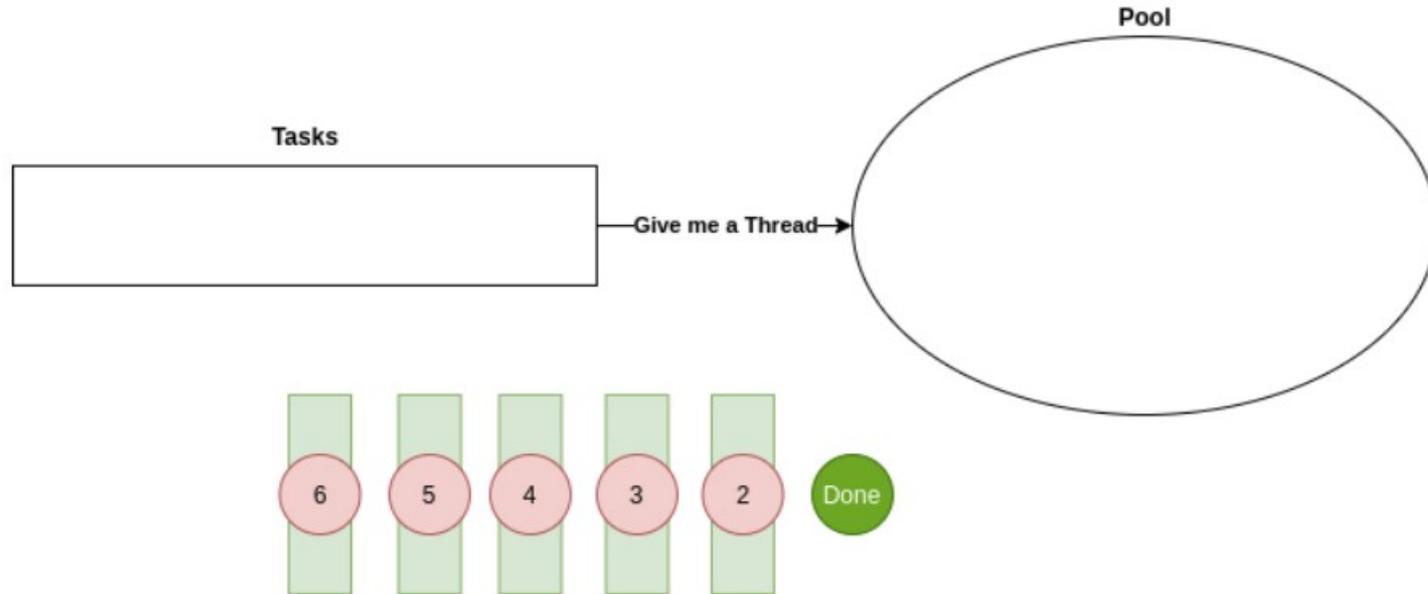
- tutti i thread sono occupati nella esecuzione di task
- il pool è vuoto
- due alternative
  - il task successivo viene inserito nella coda, in attesa che si renda disponibile un thread
  - si crea un nuovo thread all'interno del threadpool

# 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 una ltro 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());
        } }
```

la coda è una `LinkedBlockingQueue`

# 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

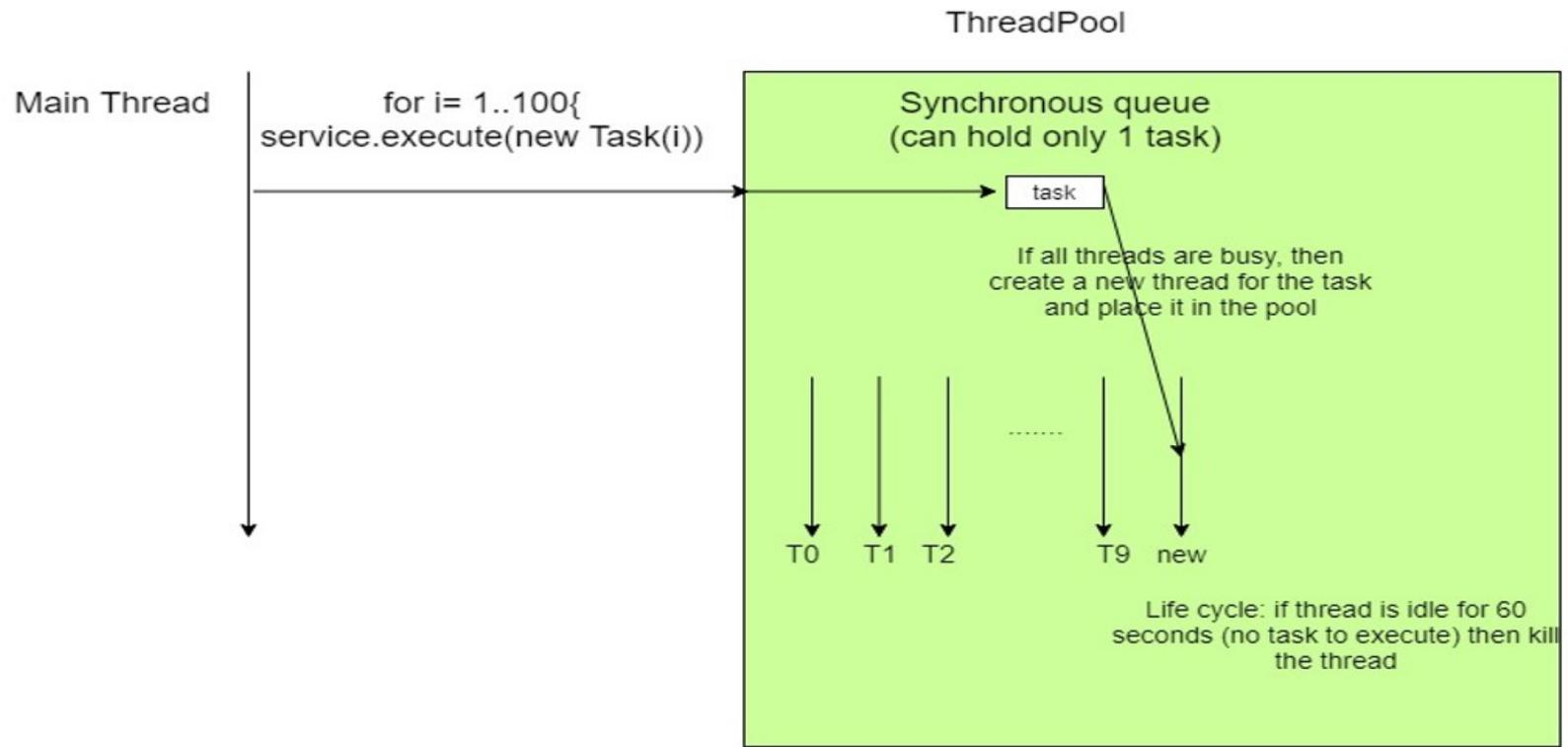
```
pool-1-thread-1: Task 0: Starting during 4 seconds
pool-1-thread-1: Task Finished 0
pool-1-thread-2: Task 1: Starting during 7 seconds
pool-1-thread-2: Task Finished 1
pool-1-thread-3: Task 2: Starting during 0 seconds
pool-1-thread-3: Task Finished 2
pool-1-thread-4: Task 3: Starting during 0 seconds
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 1

- *non è tutto oro quello che luccica...ovvero, non sempre il multithreading è conveniente....*
- scrivere una 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