Lezione 1
Introduzione al corso
JAVA Thread Programming

Laboratorio di
Programmazione di Reti - B

17/09/2020

Federica Paganelli

federica.paganelli@unipi.it

Introduzione al corso

Informazioni utili

- Riferimenti
  - Federica Paganelli (federica.paganelli@unipi.it)
  - Ricevimento: venerdì 15:00-17:00 e su appuntamento (fissare tramite e-mail) sul canale Ricevimento
- Moodle https://elearning.di.unipi.it/course/view.php?id=199
  - pubblicazione contenuti
  - forum, chats...
  - assignments

Informazioni utili

- esperienze pratiche in laboratorio
  - obiettivo: verifica esercizi assegnati nelle lezioni teoriche
  - bonus per esame se si consegna l'esercizio entro 15 giorni dalla data di assegnazione.
- modalità di esame (modulo di Laboratorio)
  - Consegna progetto + prova orale
  - l'esame del modulo di laboratorio (discussione del progetto + orale) può essere sostenuto indipendentemente da quello del modulo teorico di Reti.
  - per accedere alla prova orale conclusiva è necessario ottenere una valutazione sufficiente del progetto.
  - Le specifiche di progetto saranno consegnate all'inizio di dicembre e rimarranno valide fino a settembre 2021 (novembre per appello straordinario).
- Orale
  - discussione del progetto + domande su tutti argomenti trattati nelle lezioni teoriche di laboratorio
  - l'esame si tiene su appuntamento, nel periodo temporale previsto per gli appelli di esame.
  - La prova orale si tiene, approssimativamente, nella settimana successiva alla consegna del progetto.

INFORMAZIONI UTILI

Prerequisiti

- corso di Programmazione 2, conoscenza del linguaggio JAVA, in particolare:
  - packages
  - gestione delle eccezioni
  - collections
  - generics
- Modulo di reti: conoscenza TCP/IP
  - Linguaggio di programmazione di riferimento: JAVA 8
  - Ambiente di sviluppo di riferimento: Eclipse

Informazioni utili

- Materiale Didattico:
  - lucidi delle lezioni
- Testi consigliati (non obbligatori) sui threads
  - Bruce Eckel – Thinking in JAVA – Volume 3 - Concorrenza e Interfacce Grafiche
  - B. Goetz, JAVA Concurrency in Practice, 2006
- Testi consigliati (non obbligatori) sulla programmazione di rete
  - Esmond Pitt Fundamental Networking in JAVA
- Materiale di Consultazione
  - Harold, JAVA Network Programming 3nd 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
  - JAVA NIO O'Reilly

Programma preliminare del corso

- Threads
  - creazione ed attivazione di threads
  - meccanismi di gestione di pools di threads
  - mutua esclusione, lock implicite ed esplicite
  - il concetto di monitor: sincronizzazione di threads su strutture dati condivise: `synchronized, wait, notify, notifyall`
  - concurrent collections

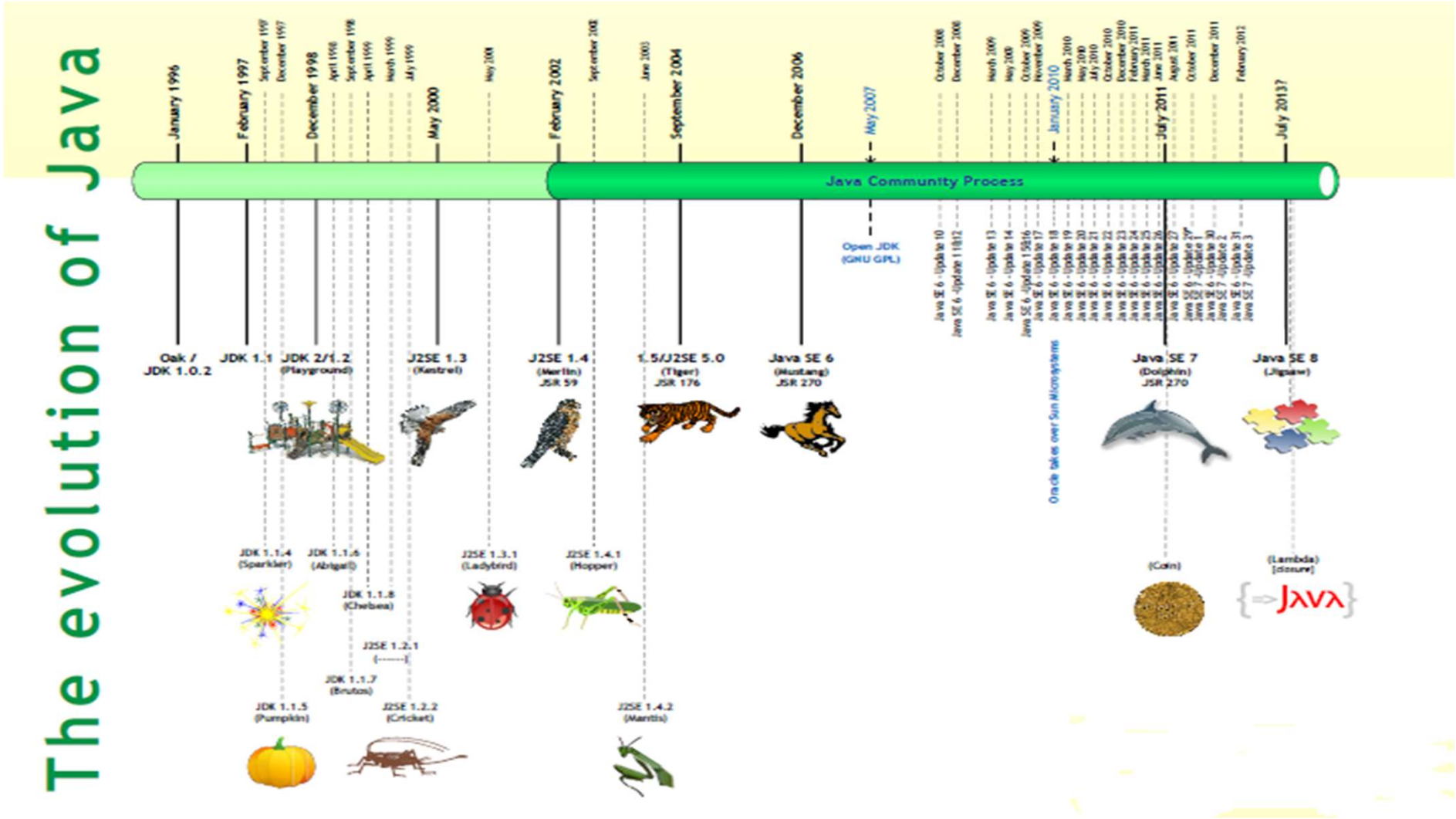
- Stream ed IO
  - Streams: tipi di streams, composizione di streams
  - meccanismi di serializzazione: serializzazione standard di JAVA, JSON

- Non blocking IO
  - Channels, buffers

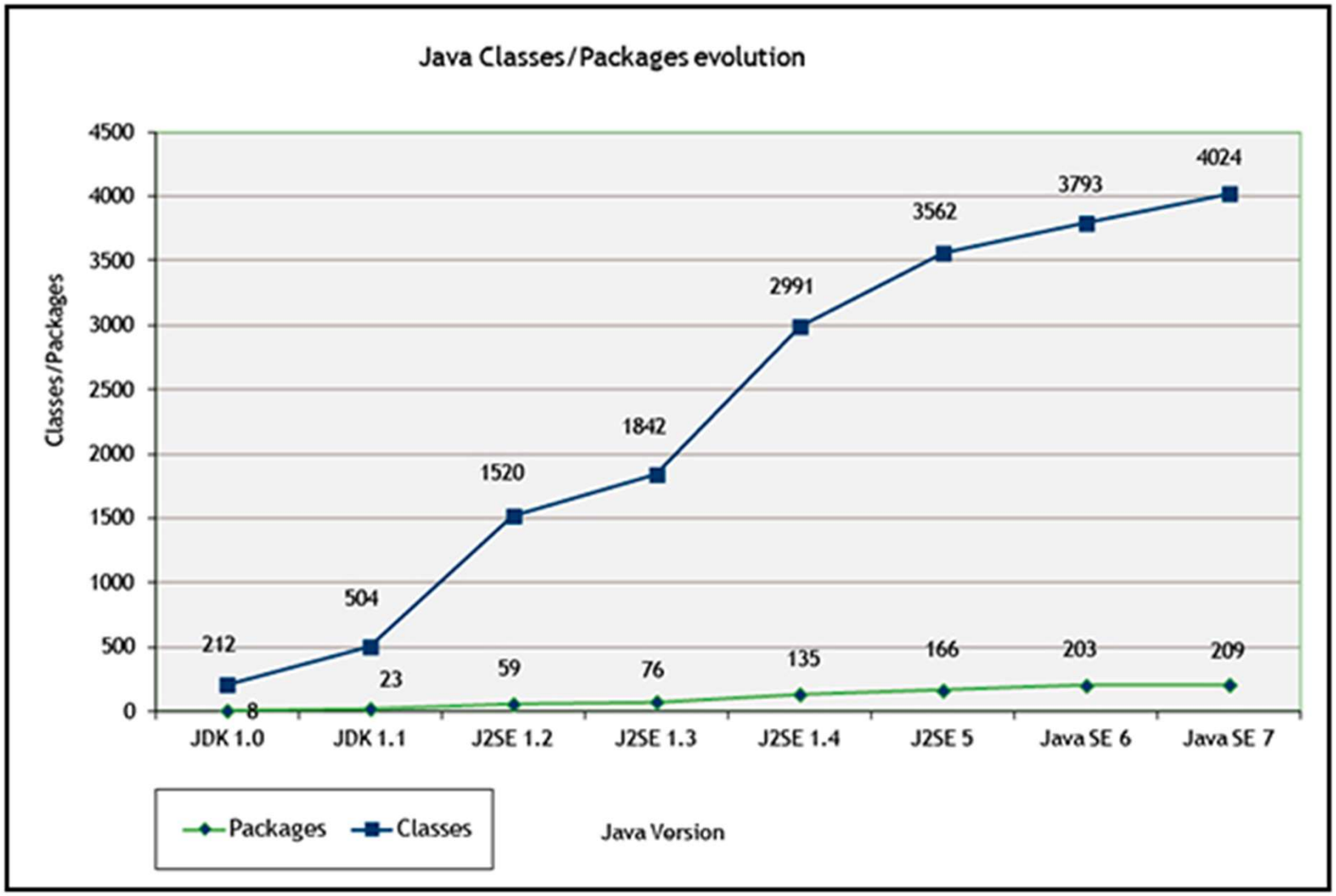
Programma preliminare del corso

- Programmazione di rete a basso livello
  - connection oriented Sockets
  - connectionless sockets: UDP, multicast
  - Non blocking IO e sockets, selectors
- Oggetti Distribuiti
  - definizione di oggetti remoti
  - il meccanismo di Remote Method Invocation in JAVA
  - dynamic code loading
  - problemi di sicurezza
  - il meccanismo delle callbacks
- Stile architetturale REST
  - Vincoli dello stile architetturale REST
  - REST e HTTP
  - Esempio sviluppo REST server

Il cammino fino a Java 8



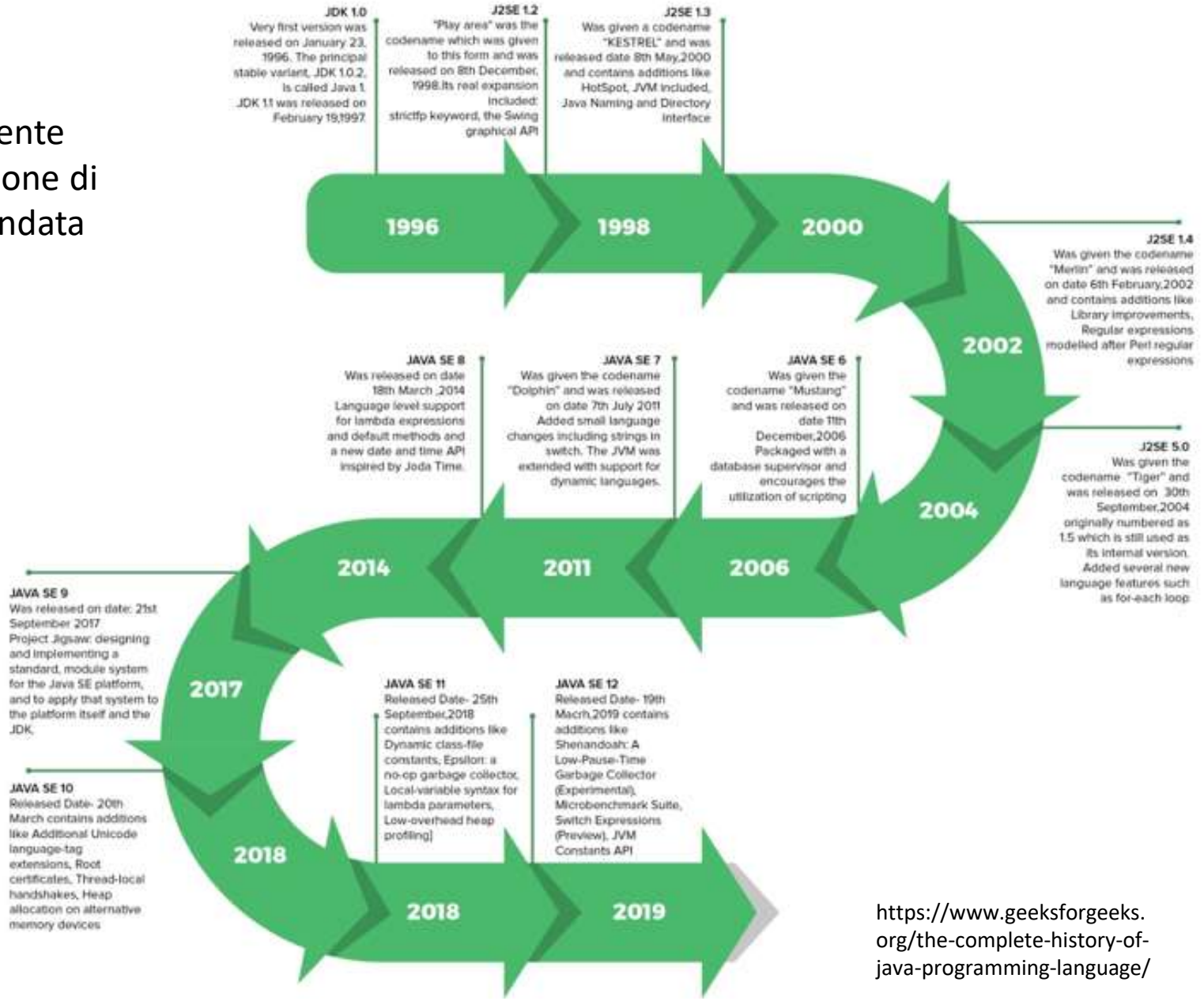
Il cammino fino a Java 8



In Questo Corso: Classi In Blu

- 1.0.2 prima versione stabile, rilasciata il 23 gennaio del 1996
  - AWT Abstract Window Toolkit, applet
  - Java.lang (supporto base per concorrenza), Java.io, Java.util
  - Java.net (socket TCP ed UDP, Indirizzi IP, ma non RMI)
- 1.1: RMI, Reflections,....
- 1.2: Swing (grafica), RMI-IIOP, …
- 1.4: regular expressions, assert, NIO, IPV6
- JAVA 5: una vera rivoluzione generics, concorrenza,....
- 7: acquisizione da parte di Oracle: framework fork and join
- 8: Lambda Expressions
- …e così via

Ovviamente l'evoluzione di Java è andata avanti…



https://www.geeksforgeeks.org/the-complete-history-of-java-programming-language/

Concurrent Programming: Motivation

- Concetto di base: gestire più di un task alla volta (il programma principale interrompe quello che stava facendo, gestisce un altro problema e poi riprende l'esecuzione precedente)
  - Es. Applicazioni con interfaccia utente

- La programmazione concorrente permette di partizionare il programma in sequenze di operazioni (task) separate, eseguite in modo indipendente (non sequenziale).

- Queste porzioni di programma appaiono come in esecuzione in parallelo (singolo processore) – sono un modo di allocare il tempo di un singolo processore. Ma se sono a disposizione più processore i task possono essere eseguiti in parallelo.

Concurrent Programming: Motivazioni

- concurrent programming: una storia iniziata molti anni fa, diventata un “hot topic”

legge di Moore (Gordon Moore, co-fondatore di INTEL):

"the number of transistors that can be fit onto a square inch of silicon doubles every ~~12~~ 24 months”*

https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_Moore

- riprogettazione dei processori per contenere non uno ma più core sullo stesso chip
- come distribuire il carico tra i diversi core?
  - nuovi linguaggi: Scala, Akka, nuove librerie di JAVA,GO,...
  - nuove metodologie di sviluppo del software

Problema: risorse condivise, necessità di meccanismi per la gestione della concorrenza (lock)

* Questo non sembra essere avvenuto negli ultimi anni https://www.tomshw.it/hardware/la-legge-di-moore-e-morta-meglio-ci-sara-piu-innovazione/

java.util.concurrent framework

- JAVA < 5 built in for concurrency: lock implicite, wait, notify e poco più.

- java.util.concurrent
  - 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 CONCURRENT 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

Threads in Java

Thread: definizione

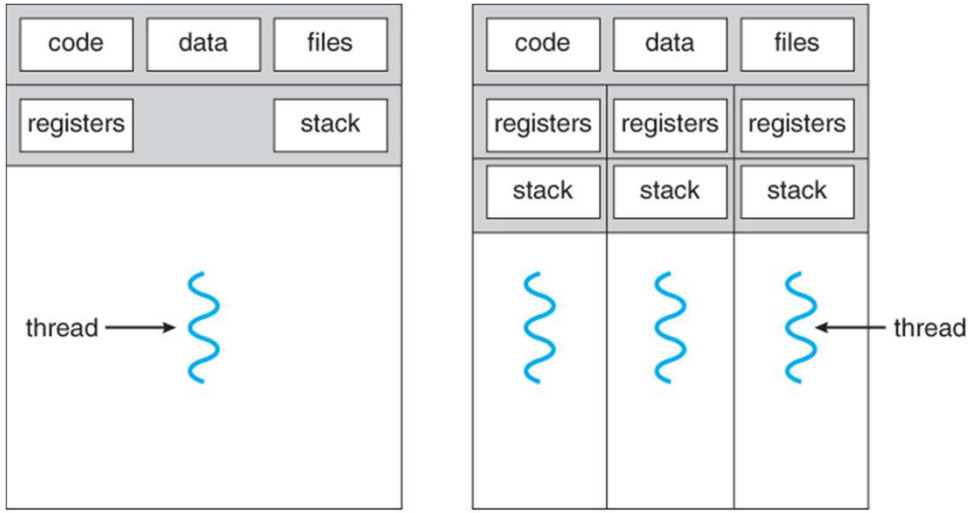
- Processo: istanza di un programma in esecuzione
  - esempio: se mando in esecuzione due diverse applicazioni, ad esempio MS Word, MS Access, vengono creati due processi
- Thread (light weight process): un **flusso di esecuzione** all'interno di un processo. Ogni processo ha almeno un thread. I thread condividono le risorse 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
- Multi-threaded execution in java: il main thread di un programma può attivare altri thread
- esecuzione dei thread:
  - single core: es. interleaving (meccanismi di time sharing,...)
  - multicore: più flussi in esecuzione eseguiti in parallelo, simultaneità di esecuzione

PROCESSI E THREADS

Contesto di un processo: insieme delle informazioni necessarie per ristabilire esattamente lo stato in cui si trova il sistema al momento in cui se ne interrompe l'esecuzione per passare ad un altro (stato dei registri del processore, memoria del processo, etc.).

Thread verso process multitasking:

- sono meno costosi
  - il cambiamento di contesto tra thread
  - la comunicazione tra thread



Single instruction stream

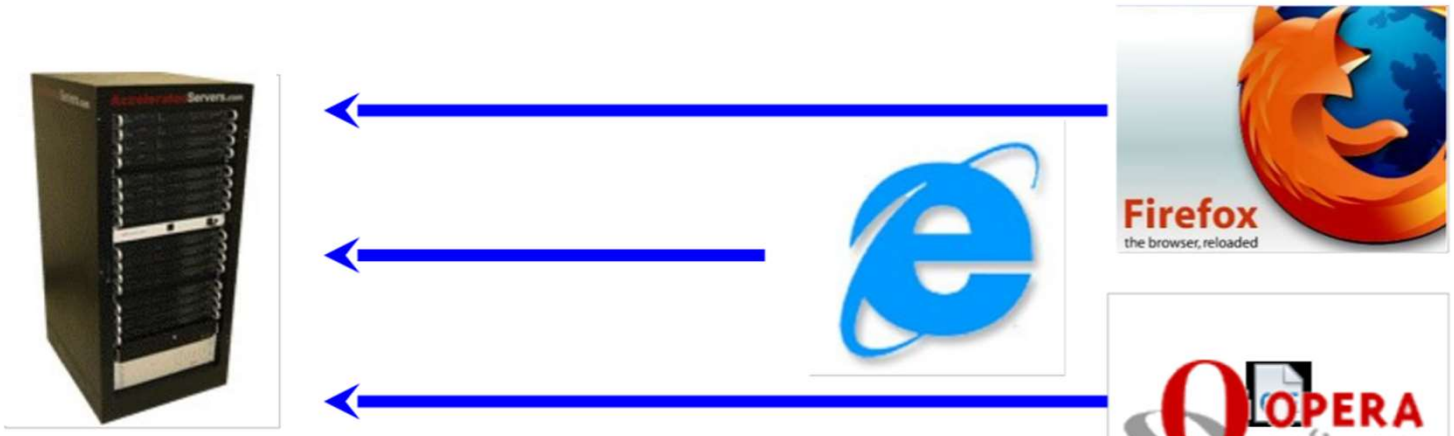
multiple instruction stream

Multithreading: perché?

- Struttura di un browser:
  - visualizza immagini sullo schermo
  - controlla input dalla keyboard e da mouse
  - invia e ricevi dati dalla rete
  - legge e scrive dati su un file
  - esegue computazione (editor, browser, game)
- come gestire tutte queste funzionalità simultaneamente? una decomposizione del programma in threads implica:
  - modularizzazione della struttura dell'applicazione
  - aumento della responsiveness
- altre applicazioni complesse che richiedono la gestione contemporanea di più attività ad esempio: applicazioni interattive distribuite come giochi multiplayers
  - Ad es. interazione con l'utente + messaggi da altri giocatori (dalla rete...)

Multithreading: perché?

- cattura la struttura della applicazione
  - molte componenti interagenti
  - ogni componente gestita da un thread separato
  - semplifica la programmazione della applicazione



Web Server uses threads to handle …

Multiple simultaneous web browser requests

MULTITHREADING: PERCHE'?

- **struttura di un server sequenziale**

```
while(server is active){
  listen for request
  process request
}
```

  - ogni client deve aspettare la terminazione del servizio della richiesta precedente
  - responsiveness limitata

- **struttura di un server multithreaded**

```
while(server is active){
  listen for request
  hand request to worker thread
}
```

  - un insieme di worker thread per ogni client
  - aumento responsiveness

Multithreading: perché?

- migliore utilizzazione delle risorse
  - quando un thread è sospeso, altri thread vengono mandati in esecuzione
  - riduzione del tempo complessivo di esecuzione
- migliore performance per computationally intensive application
  - 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,...

Creazione ed attivazione di thread

- Java è un linguaggio concorrente: costrutti linguistici per la gestione di thread, concorrenza ecc.
- quando si manda in esecuzione un programma JAVA, la JVM crea un thread in corrispondenza dell'esecuzione del metodo main del programma
  - almeno un thread per ogni programma
  - altri thread sono attivati automaticamente da JAVA (gestore eventi, interfaccia, garbage collector,...).
  - ogni thread durante la sua esecuzione può creare ed attivare altri threads.
- un thread è un *oggetto* che della classe Thread. Come creare ed attivare un thread? Due metodi:

  Metodo 1: definire un task, ovvero definire una classe C che implementi l'interfaccia Runnable, creare un'istanza di C, quindi creare un thread passandogli l'istanza del task creato

  Metodo 2: estendere la classe java.lang.Thread

Metodo 1: Runnable Interface

- appartiene al package **java.language**
- contiene solo la segnatura del metodo **void run()**
- ogni classe C che implementa l'interfaccia Runnable deve fornire un'implementazione del metodo **run()**
- un oggetto istanza di C è un task: un frammento di codice che può essere eseguito in un thread
  - la creazione del task non implica la creazione di un thread che lo esegua.
  - lo stesso task può essere eseguito da più threads: un solo codice, più esecutori

- Per eseguire il task si istanzia un oggetto di tipo Thread e si passa un riferimento al task che il thread deve eseguire
- Si invoca il metodo start() dell'oggetto di tipo Thread

Attivazione di threads: un esempio

- 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

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 segmento di codice all'interno del quale si trova la sua invocazione

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, ad es:

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

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 la attivazione dei threads e prima della loro terminazione.

Metodo start( ) verso 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();
                          }
          System.out.println("Avviato Calcolo Tabelline“
          }
}
```

Output generato

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

start e run

- cosa accade se sostituisco l'invocazione del metodo run alla start?
  - non viene attivato alcun thread
  - il 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()`!

Attivazione di threads: riepilogo

Per definire tasks ed attivare threads che li eseguano

1. definire una classe R che implementi l'interfaccia Runnable, cioè implementare il metodo `run`. In questo modo si definisce un oggetto runnable, cioè un task che può essere eseguito

2. creare un'istanza T di R

3. Per costruire il thread, utilizzare il costruttore

   ```
   public Thread (Runnable target)
   ```

   passando il task T come parametro

4. attivare il thread con una **`start()`**

Attivazione di threads

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” può precedere 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

Classe thread

La classe **java.lang.Thread** contiene metodi per:

- costruire un thread interagendo con il sistema operativo ospite
- attivare, sospendere, interrompere i threads
- non contiene i metodi per la sincronizzazione tra i thread. Questi metodi sono definiti in java.lang.object, perché la sincronizzazione opera su oggetti

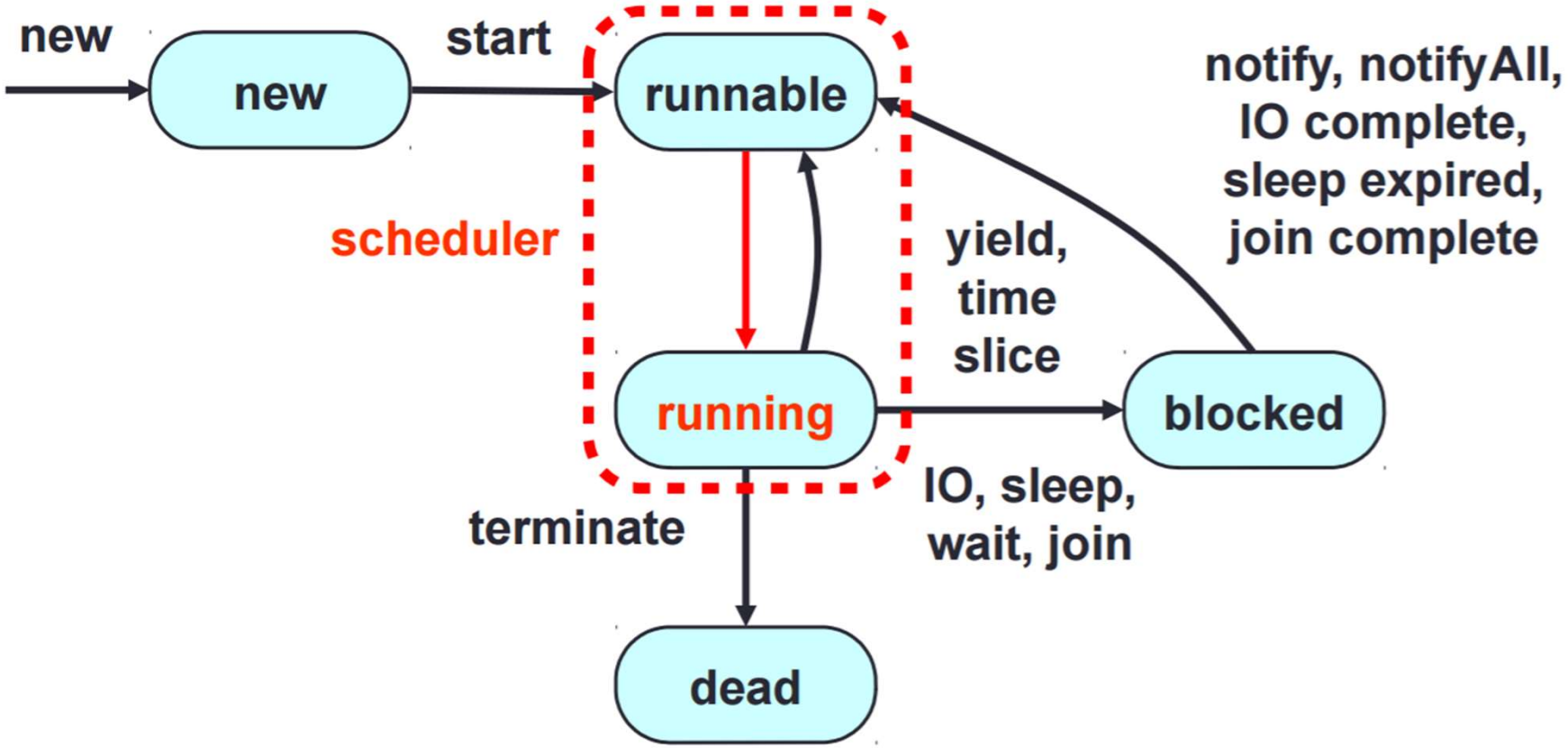
Costruttori:

- diversi costruttori che differiscono per i parametri utilizzati
- Ad es. nome del thread, gruppo a cui appartiene il thread,...(vedere le API ad es. https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/lang/Thread.html)

Metodi

- possono essere utilizzati per interrompere, sospendere un thread, attendere la terminazione di un thread + un insieme di metodi set e get per impostare e reperire le caratteristiche di un thread
- esempio: assegnare nomi e priorità ai thread

Stati di un thread



Stati di un thread

Created/New (New Thread)

subito dopo l'istruzione **new** le variabili sono state allocate e inizializzate; il thread è in attesa di passare allo stato di eseguibile

Runnable/Running

thread è in esecuzione, o in coda d'attesa per ottenere l'utilizzo della CPU. (PS le specifiche java non separano i due stati, in realtà, un thread running è nello stato Runnable..)

Not Runnable (Blocked/Waiting)

il thread non può essere messo in esecuzione dallo scheduler. Entra in questo stato quando in **attesa** di un'operazione di I/O, o dopo l'invocazione di metodi quali ad es. **wait()**, **sleep()**

Dead

al termine "naturale" della sua esecuzione o dopo l'invocazione del suo metodo **stop()** da parte di un altro thread (N.B. metodo deprecato)

Classe thread

La classe **`java.lang.Thread`** contiene metodi per

- porre un thread allo stato blocked:

`public static native void sleep (long M)` sospende l'esecuzione del thread, per M millisecondi.

- durante l'intervallo di tempo relativo alla sleep, il thread può essere interrotto
- metodo statico: non può essere invocato su una istanza di un thread

sleep(long time) blocca per il tempo specificato in time l'esecuzione di un thread. Nessun lock in possesso del thread viene rilasciato.

Alcuni metodi per il controllo di thread

start() fa partire l'esecuzione di un thread. La macchina virtuale Java invoca il metodo run() del thread appena creato

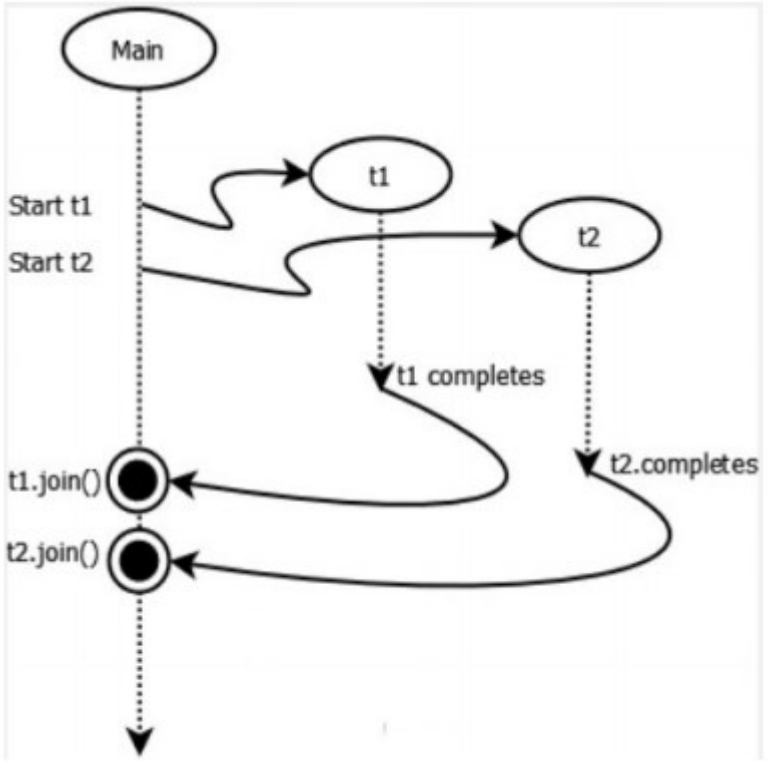
yield(): può mettere in pausa l'esecuzione del thread invocante per lasciare il controllo della CPU agli altri thread, con la stessa priorità, in coda d'attesa. «A hint to the scheduler that the current thread is willing to yield its current use of a processor."

stop(), suspend(), resume() **DEPRECATED**

join() blocca il thread chiamante in attesa della terminazione del thread su cui si invoca il metodo. Anche con timeout – vedi slide successiva

Il metodo join

- il metodo **`join()`** della classe Thread():
  - il thread che invoca join() su una istanza di Thread **t** si sospende e attende la terminazione dell'istanza di thread su cui ha invocato il metodo join()
- possibile specificare il timeout di attesa
  - Se entro l'intervallo specificato il thread non termina, il metodo ritorna comunque
- join() può lanciare una InterruptedException, se il thread sospeso sulla join() riceve una interruzione.



Gestire le interruzioni

- JAVA mette a disposizione un meccanismo per interrompere un thread e diversi meccanismi per intercettare l'interruzione
  - dipendenti dallo stato in cui si trova un thread (runnable, blocked)

- Metodo *interrupt()*: non forza la terminazione del thread, permette di inviare una richiesta di terminazione del thread
- un thread può essere interrotto e può intercettare l'interruzione in modi diversi, a seconda dello stato in cui si trova
  - se è blocked (es. sleep) l'interruzione causa il sollevamento di una **`InterruptedException`**
  - se è in esecuzione, si può testare un flag che segnala se è stata inviata una interruzione.

Interrompere un Thread

- implementazione del metodo **`interrupt()`**: imposta a true una variabile booleana (flag) nel descrittore del thread
- il flag vale true se esistono interruzioni pendenti

- è possibile testare il valore del flag mediante:

- **`public static boolean`** `interrupted()`: metodo statico, si invoca con il nome della classe `Thread.interrupted()`, restituisce un valore booleano che segnala se il thread ha ricevuto un'interruzione **e riporta il valore del flag a false**
- **`public boolean`** `isInterrupted()`
  - deve essere invocato su un'istanza di un oggetto di tipo thread
  - restituisce un valore booleano che segnala se il thread ha ricevuto un'interruzione
  - non cambia il valore del flag a false

Gestione di interruzioni

Intercettare una interruzione quando il thread si sospende

```
public class SleepInterrupt implements Runnable {
  public void run ( ) {
      try{
         System.out.println("dormo per 20 secondi");
          Thread.sleep(20000);
          System.out.println ("svegliato");}
      catch (InterruptedException x ){
          System.out.println("interrotto");
          return;
      }
      System.out.println("esco normalmente");
      }
}
```

Se in un istante compreso tra l'inizio e la fine della sleep (inizio e fine inclusi), il flag “interrupted” ha valore vero, allora l'eccezione viene lanciata

Gestione delle interruzioni

```
public class SleepMain {
  public static void main (String args [ ])   {
    SleepInterrupt si = new SleepInterrupt();
    Thread t = new Thread (si);
    t.start ( );
    try
        {Thread.sleep(2000);}
    catch (InterruptedException x) {   };
    System.out.println("Interrompo l'altro thread");
    t.interrupt(  );
    System.out.println ("sto terminando..."); } }
```

In pratica...

- Affinché il meccanismo di interruzioni funzioni correttamente, il thread interrotto deve supportare la sua interruzione!
- Se la richiesta di interruzione arriva quando il thread è nello stato Blocked (es. sleep), viene lanciata una InterruptedException e il flag settato a false!

```
for (int i = 0; i < importantInfo.length; i++) {
    // Pause for 4 seconds
    try {
        Thread.sleep(4000);
    } catch (InterruptedException e) {
        // We've been interrupted: no more messages.
        return;
    }
    // Print a message
    System.out.println(importantInfo[i]);
}
```

- Altrimenti**, è necessario controllare lo stato del flag**

```
for (int i = 0; i < inputs.length; i++) {
    heavyCrunch(inputs[i]);
    if (Thread.interrupted()) {
        // We've been interrupted: no more crunching.
        return;
    }
}
```

Thread demoni

- i thread demoni hanno il compito di fornire un servizio in background fino a che il programma è in esecuzione
  - non sono intesi come parte fondamentale del programma
  - bassa priorità
- quando tutti i thread non-demoni sono completati, il programma termina (anche se ci sono thread demoni in esecuzione). Quando gli user threads sono completati (incluso il main), la JVM termina il programma e i thread demoni associati
- se ci sono thread non-demoni ancora in esecuzione, il programma non termina
- un esempio di thread non-demone è il `main()`

Thread demoni

```
public class SimpleDaemons implements Runnable {
   public SimpleDaemons() { }
   public void run() {
     while(true) {
        try { Thread.sleep(100); }
                catch (InterruptedException e) {
                    throw new RuntimeException(e);}
        System.out.println("termino"); }}
   public static void main(String[] args) {
       for(int i = 0; i < 10; i++){
          SimpleDaemons sd=new SimpleDaemons();
          Thread t= new Thread (sd);
          t.setDaemon(true);
          t.start();}
          } }
```

Perchè non viene stampato alcun messaggio “termino”?

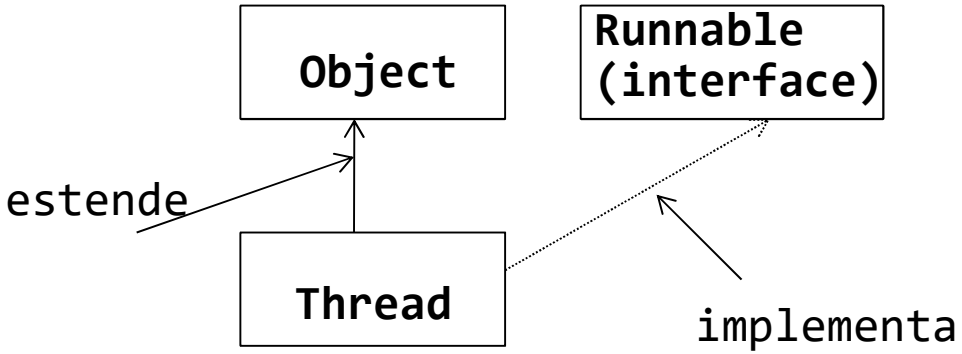
Terminazione di programmi concorrenti

Per determinare la terminazione di un programma JAVA:

- 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 continuano la loro esecuzione, fino alla loro terminazione.
- se uno dei thread usa l'istruzione **`System.exit()`** per terminare l'esecuzione, allora tutti i threads terminano la loro esecuzione DA EVITARE

Metodo 2 di creazione thread e Classe Thread

La gerarchia delle classi: runnable



- `runnable`: una variabile locale della classe Thread, memorizza un oggetto Runnable passato come parametro

- il metodo `run()` della classe `Thread`:

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

- l'invocazione del metodo `start()` provoca la esecuzione del metodo `run()` che, a sua volta, provoca l'esecuzione del metodi run() della `Runnable`

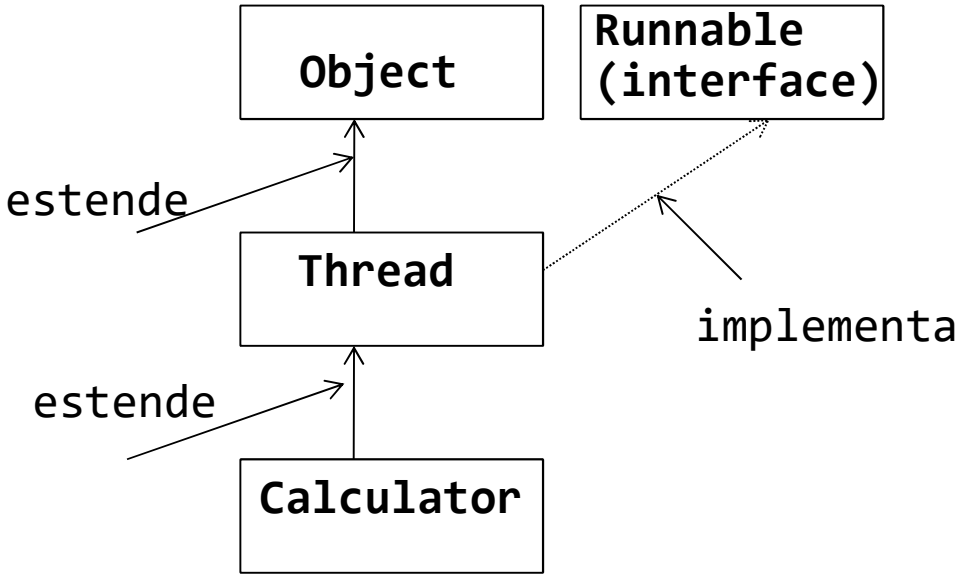
Creazione/attivazione threads: metodo 2

- utilizzare funzionalità dei linguaggi ad oggetti: subclassing, overriding

- creare una classe C che estenda la classe Thread ed effettuare l'overriding del metodo run() definito di quella classe
  - reminder: l'overriding
    - definire un metodo in una sottoclasse con lo stesso nome e segnatura del metodo della superclasse
    - a run-time si decide quale metodo viene invocato a seconda dell'oggetto su cui il metodo viene invocato

- istanziare un oggetto di quella classe: questo oggetto è un thread il cui comportamento è quello definito nel metodo run su cui è stato fatto l'overriding
- invocare il metodo start() sull'oggetto istanziato.

La gerarchia delle classi: overriding



- overriding del metodo run() all'interno della classe che estende Thread()
  - overriding di run() all'interno della classe Calculator
  - comportamento del thread definito dal metodo run di Calculator

Creazione/attivazione threads: 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 predefinita C 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

Analizzare le proprietà di un thread

- La classe Thread salva alcune informazioni che aiutano l'identificazione dei thread
  - ID: identificatore del thread
  - nome: nome del thread
  - priorità: valore da 1 a 10 (1 priorità più bassa).
  - nome gruppo: gruppo a cui appartiene il thread
  - stato: uno dei possibili stati: **`new, runnable, blocked, waiting, time waiting o terminated.`**

- metodi setter e getter per reperire il valore di ogni proprietà.

```
public final void setName(String newName),
public final String getName( )
```

consentono, rispettivamente, di associare un nome ad un thread e di reperirlo

Analizzare le proprietà di un thread

```
public class CurrentThread {
    public static void main(String args[]) {
        Thread current = Thread.currentThread();
        System.out.println("ID: "+ current.getId());
        System.out.println("NOME: "+ current.getName());
        System.out.println("PRIORITA: "+
          current.getPriority());
        System.out.println("NOMEGRUPPO"+
                 current.getThreadGroup().getName());
        }}
    ID: 1
    NOME: main
    PRIORITA': 5
    NOME GRUPPO: main
```

Thread.currentThread() restituisce un riferimento al thread che sta eseguendo il frammento di codice (nell'esempio, il thread è quello associato al main)

Analizzare le proprieta' di un thread

```
public static void main(String[] args) throws Exception
    {
      Thread threads[]=new Thread[10];
      Thread.State status[]=new Thread.State[10];
      for (int i=0; i<10; i++){
          threads[i]=new Thread(new Calculator(i));
          if ((i%2)==0){
              threads[i].setPriority(Thread.MAX_PRIORITY);
              } else {
              threads[i].setPriority(Thread.MIN_PRIORITY);
              }
         threads[i].setName("Thread "+i);
        }
```

...continua...

Analizzare le proprietà di un thread

```
FileWriter file = new FileWriter("log.txt");
PrintWriter pw  = new PrintWriter(file);
pw.printf("**********************************\n");
for (int i=0; i<10; i++){
       pw.println("Status of

     Thread"+i+":"+threads[i].getState());
       status[i]=threads[i].getState();
       }
for (int i=0; i<10; i++){
    threads[i].start();
                          }
...continua...
```

Analizzare le proprietà di un thread

```
boolean finish=false;
while (!finish) {
   for (int i=0; i<10; i++){
     if (threads[i].getState()!=status[i]) {
       pw.printf("Id %d - s\n",threads[i].getId(),threads[i].getName())
       pw.printf("Priority: %d\n",threads[i].getPriority());
       pw.printf("Old State: %s\n",status[i]);
       pw.printf("New State: %s\n",threads[i].getState());
       pw.printf("**********************************\n");
       pw.flush();
       status[i]=threads[i].getState();}}
       boolean completed = true;
    for (int i=0; i<10; i++)
 completed= completed &&(threads[i].getState()==
   Thread.State.TERMINATED);
finish=completed;  }}}}
```

Un esempio di esecuzione

```
Status of Thread 0 : NEW
Status of Thread 1 : NEW
Status of Thread 2 : NEW
Status of Thread 3 : NEW
Status of Thread 4 : NEW
Status of Thread 5 : NEW
Status of Thread 6 : NEW
Status of Thread 7 : NEW
Status of Thread 8 : NEW
Status of Thread 9 : NEW
**********************************
Id 10 - Thread 0
Priority: 10
Old State: NEW
New State: RUNNABLE
**********************************
Id 11 - Thread 1
Priority: 1
Old State: NEW
New State: RUNNABLE
**********************************
….....................
```

- Dal diagramma si possono analizzare i cambiamenti di stato del thread

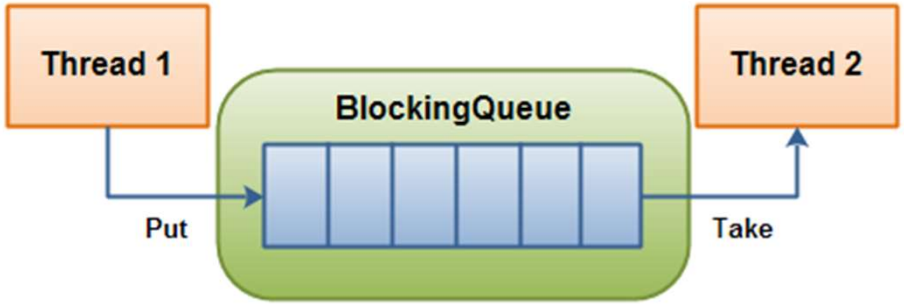
- I thread di priorità maggiore

  dovrebbero terminare prima degli altri

N.B. non ci sono garanzie, solo un'indicazione per lo scheduler, implementazione system-dependent

Blocking Queues

Interazione tra threads: Blocking Queue



`BlockingQueue` (**`java.util.concurrent package`**): una coda "thread safe" per quanto riguarda gli inserimenti e le rimozioni di elementi. Gli effetti di queste operazioni sono raggiunti in modo atomico usando lock interne o altre forme di concurrency control

Comportamento bloccante:

- il produttore può inserire elementi nella coda fino a che la dimensione della coda non raggiunge un limite, dopo di che si blocca e rimane bloccato fino a che un consumatore non rimuove un elemento
- il consumatore può rimuovere elementi dalla coda, ma se tenta di eliminare un elemento dalla coda vuota, si blocca fino a quando il produttore inserisce un elemento nella coda.

Blockingqueue methods and implementations

4 categorie di metodi differenti, rispettivamente, per inserire, rimuovere, esaminare un elemento della coda, ogni metodo ha un comportamento diverso relativamente al caso in cui l'operazione non possa essere svolta.

	Throws Exception	Special Value	Blocks	Times Out
Insert	`add(o)`	`offer(o)`	`put(o)`	`offer(o, timeout, timeunit)`
Remove	`remove(o)`	`poll()`	`take()`	`poll(timeout, timeunit)`
Examine	`element()`	`peek()`		

- *add, remove, element* operations lanciano un'eccezione se si tenta di aggiungere un elemento ad una coda piena o rimuovere un elemento dalla coda vuota.

N.B. In un programma multi-threaded la coda può diventare piena o vuota in qualsiasi momento:

- *offer, poll, and peek*: ritornano rispettivamente false, null, null se non possono portare a termine l'operazione.
- *put, take*: comportamento bloccante (se non si può portare a termine l'operazione)

Blockingqueue methods and implementations

`BlockingQueue` è un'interfaccia, alcune implementazioni disponibili:

- `ArrayBlockingQueue`
- `DelayQueue`
- `LinkedBlockingQueue`
- `PriorityBlockingQueue`
- `SynchronousQueue`

Blockingqueue implementations

- `ArrayBlockingQueue` è una coda di dimensione limitata, che memorizza gli elementi all'interno di un array. Upper bound definito a tempo di inizializzazione.

- `LinkedBlockingQueue` mantiene gli elementi in una struttura linkata che può avere un upper bound, oppure, se non si specifica un upper bound, l'upper bound è `Integer.MAX_VALUE`.

- `SynchronousQueue` non possiede capacità interna. Operazione di inserzione deve attendere per una corrispondente rimozione e viceversa (un po' fuorviante chiamarla coda).

Code thread safe: BlockingQueue

```
import java.util.concurrent.*;
public class BlockingQueueExample {
    public static void main(String[] args) throws Exception
          {
        BlockingQueue queue = new ArrayBlockingQueue(1024);
        Producer producer = new Producer(queue);
        Consumer consumer = new Consumer(queue);
        new Thread(producer).start();
        new Thread(consumer).start();
        Thread.sleep(4000);
    }
}
```

Code thread safe: BlockingQueue

```
import java.util.concurrent.*;
public class Producer extends Thread{
    protected BlockingQueue queue = null;
    public Producer(BlockingQueue queue) {
        this.queue = queue; }
    public void run() {
        try {
            queue.put("1");
            Thread.sleep(1000);
            queue.put("2");
            Thread.sleep(1000);
            queue.put("3");
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace(); } } }
```

Code thread safe: BlockingQueue

```
import java.util.concurrent.*;
public class Consumer extends Thread {
    protected BlockingQueue queue = null;
    public Consumer(BlockingQueue queue) {
        this.queue = queue; }
    public void run() {
        try {
            System.out.println(queue.take());
            System.out.println(queue.take());
            System.out.println(queue.take());
            } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
```