PARADIGMI DI PROGRAMMAZIONE

A.A. 2021/2022

Laurea triennale in Informatica

10: Sincronizzazione

NATURA DEL PROBLEMA

Come si manifestano, concretamente, i problemi affrontati dalla programmazione concorrente nel quadrante Stato Mutevole e Condiviso?

it.unipd.pdp2021.sync.SimpleCounter

```
/**
* A simple interface to a counter.
*/
interface SimpleCounter {

  public void add();

  public int getState();
}
```

it.unipd.pdp2021.sync.UnsyncCounter

```
class UnsyncCounter implements SimpleCounter {
  private int state = 0;
  public void add() {
    int current = state;
    try {
      TimeUnit.MILLISECONDS.sleep(
        Math.round(Math.random() * 100));
    } catch (InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
    }
    state = current + 1;
  }
}
```

it.unipd.pdp2021.sync.Incrementer

```
class Incrementer implements Callable< Boolean > {
  private SimpleCounter counter;
  Incrementer(SimpleCounter counter) {
    this.counter = counter;
  }
  @Override
  public Boolean call() {
    IntStream.range(0, 10).forEach((i) -> counter.add());
    return true;
  }
}
```

it.unipd.pdp2021.sync.RunCounter

```
ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(1);

SimpleCounter counter = new UnsyncCounter();
List< Incrementer > incs = List.of(new Incrementer(counter),
  new Incrementer(counter), new Incrementer(counter),
  new Incrementer(counter));

executor.invokeAll(incs);

System.out.println("All done. Final state: " +
  counter.getState() + " (" + (end - time) + ")");
```

SYNCRONIZED

Definizione: si dice *sezione critica* la parte di codice in cui vengono acceduti i dati condivisi.

Permettere a più Thread di trovarsi contemporaneamente nella sezione critica porta ad errori.

La soluzione è impedire a più Thread di trovarsi insieme nella sezione critica.

`syncronized` è una parola chiave che applicata ad un blocco di istruzioni impedisce che sia percorso contemporaneamente da più di un Thread.

it.unipd.pdp2021.sync.SyncCounter

```
class SyncCounter implements SimpleCounter {
  private int state = 0;
  syncronized public void add() {
    int current = state;
    try {
      TimeUnit.MILLISECONDS.sleep(
        Math.round(Math.random() * 100));
    } catch (InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
    }
    state = current + 1;
  }
}
```

`syncronized` può decorare due tipi di raggruppamenti di istruzioni:

- un blocco di istruzioni semplice `{ ... }`
- un metodo

Tutti i blocchi sincronizzati di un oggetto condividono lo stesso `monitor lock` (o `intrinsic lock`) associato all'oggetto stesso.

Quanto un Thread rilascia un `monitor` uscendo da un blocco `syncronized`, abbiamo una relazione di `happens-before` fra l'azione di rilascio del lock e ogni successiva acquisizione dello stesso.

Una forma alternativa della parola chiave `syncronized` permette di esplicitare l'oggetto su cui effettuare la sincronizzazione.

```
syncronized (that) {
}
```

permette di rendere il blocco di codice sincronizzato sul `monitor` dell'oggetto ritornato dall'espressione `that`.

```
syncronized {
}
```

è equivalente a

```
syncronized (this) {
}
```

Tutti i `monitor` sono `reentrant`: un Thread può acquisire lo stesso `monitor lock` più volte senza temere di entrare in un *deadlock* con se stesso.

Una *relazione di `happens-before`* è una garanzia forte fornita dal compilatore riguardo l'ordinamento dell'esecuzione delle istruzioni espresse dal codice.

Stabilire una relazione di `happens-before` è, ovviamente, costoso: richiede il supporto dell'hardware e limita la capacità del compilatore di ottimizzare il codice riordinandone le istruzioni.

it.unipd.pdp2021.sync.SimpleFriend

```
class SimpleFriend {
  private final String name;

  public synchronized void bow(SimpleFriend bower) {
    System.out.format("%s: %s" + " has bowed to me!%n",
      this.name, bower.getName());
    bower.bowBack(this);
  }

  public synchronized void bowBack(SimpleFriend bower) {
    System.out.format("%s: %s" + " has bowed back to me!%n",
      this.name, bower.getName());
  }
}
```

it.unipd.pdp2021.sync.SimpleFriend

```
public class SimpleFriends {

  public static void main(String[] args) {
    final SimpleFriend alphonse = new SimpleFriend("Alphonse");
    final SimpleFriend gaston = new SimpleFriend("Gaston");
    new Thread(() -> alphonse.bow(gaston)).start();
    new Thread(() -> gaston.bow(alphonse)).start();
  }
}
```

Mario Fusco
@mariofusco

Following

For each deadlock, race condition and multithreading problem in general there exists a simple and elegant solution. And that's the wrong one

Traduci dalla lingua originale: inglese

08:59 - 1 set 2017

38 Retweet **81** Mi piace

4 38 81

WAIT

Un'alternativa a `syncronized` è la gestione esplicita del monitor di un oggetto.

```java
/**
* Causes the current thread to wait until another
* thread invokes the notify() method or the notifyAll()
* method for this object.
*/
void wait() throws InterruptedException;
```

Per operare sul monitor dell'oggetto il Thread deve "averlo a disposizione", cioè poter asserire la "proprietà" dell'oggetto.

Un Thread può farlo:

- eseguendo un metodo `synchronized` dell'oggetto
- eseguendo un blocco `synchronized` all'interno dell'oggetto
- se l'oggetto una `Class`, eseguendone un metodo `synchronized static`

```
/**
* Wakes up a single thread that is waiting on this
* object's monitor.
*/
void notify();
```

```
/**
* Wakes up all threads that are waiting on this
* object's monitor.
*/
void notifyAll();
```

it.unipd.pdp2021.sync.Named

```
class Named {
  public final String name;
  private boolean red = false;

  Named(String name) {
    this.name = name;
  }
```

```
synchronized void perform() throws InterruptedException {
  if (!red) {
    red = true;
    this.wait();
  } else {
    red = false;
    this.notify();
  }
}
```

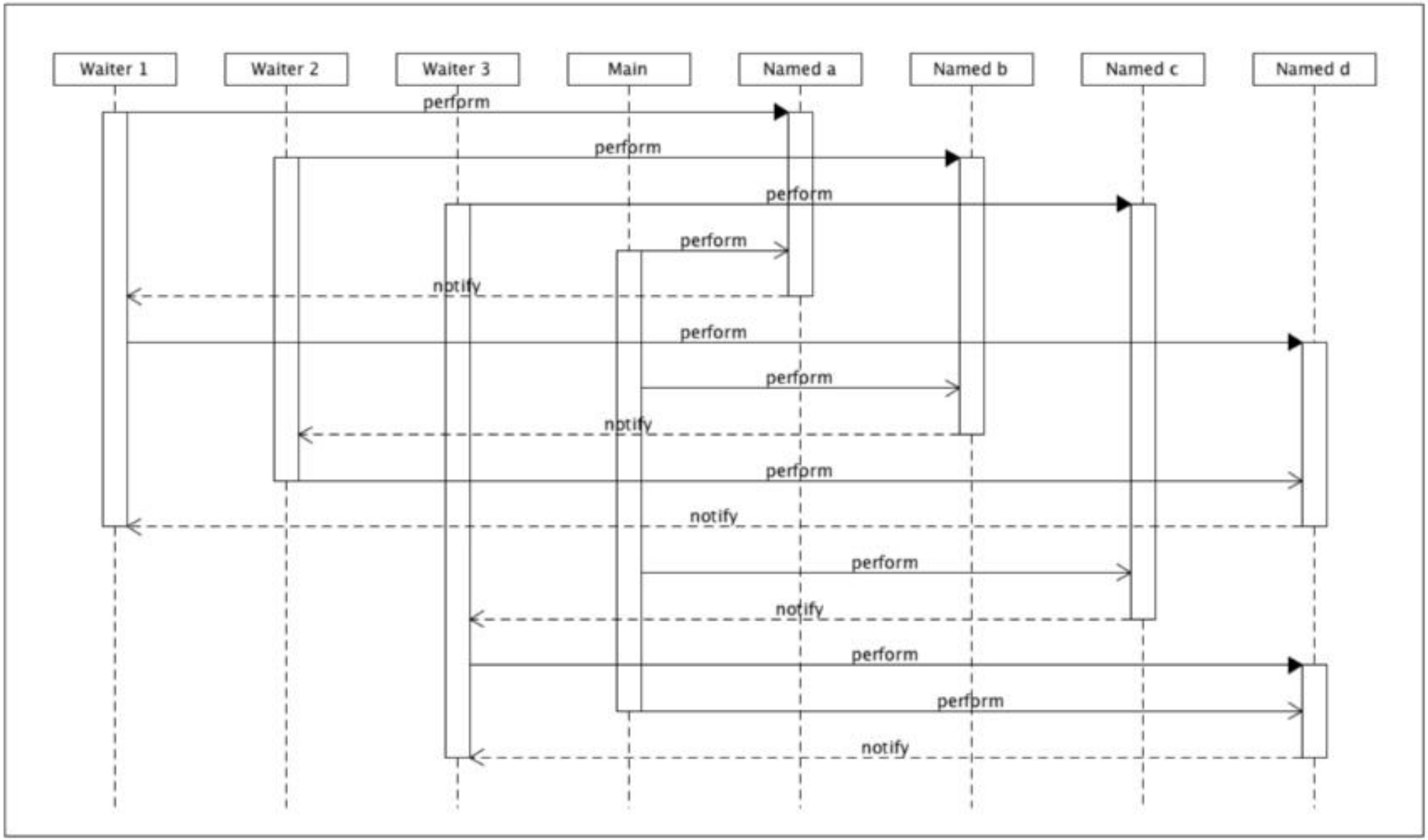
it.unipd.pdp2021.sync.Waiter

```
class Waiter implements Runnable {
  private final Named first, second;

  Waiter(Named first, Named second) {
    this.first = first;
    this.second = second;
  }
```

```
var thread = Thread.currentThread().getName();
System.out.println(thread + " waiting on " + first.name);
String doing = first.name;
try {
  first.perform();
  System.out.println(thread + " signalled on " + first.name);
  System.out.println(thread + " waiting on " + second.name);
  doing = second.name;
  second.perform();
} catch (InterruptedException e) {
  System.out.println(thread + " interrupted on " + doing);
}
System.out.println(thread + " signalled on " + second.name);
```

```
Named a = new Named("a"), b = new Named("b"),
c = new Named("c"), d = new Named("d");
new Thread(new Waiter(a, d), "Waiter 1").start();
new Thread(new Waiter(b, d), "Waiter 2").start();
new Thread(new Waiter(c, d), "Waiter 3").start();
try {
  a.perform();
  b.perform();
  c.perform();
  d.performAll();
} catch (InterruptedException e) { e.printStackTrace(); }
```


Waiter 1
Waiter 2
Waiter 3
Main
Named a
Named b
Named c
Named d
perform
perform
perform
perform
notify
perform
perform
notify
perform
notify
perform
notify
perform
perform
notify

Attenzione: la documentazione avvisa esplicitamente che un thread può essere svegliato da un `wait()` senza nessun `notify()`. Viene detto "Spurious wakeup".

LOCKS

`syncronized` crea un blocco implicito.
`wait()` ci costringe a gestire lo stato del blocco.

A volte abbiamo bisogno di controllare esplicitamente le condizioni di blocco e sblocco della sezione critica.

```
/**
* Lock implementations provide more extensive locking
* operations than can be obtained using synchronized
* methods and statements.
*
*/
public interface Lock;
```

```
/**
* Acquires the lock.
*
*/
void lock();
```

```
/**
* Releases the lock.
*
*/
void unlock();
```

```java
/**
* Acquires the lock only if it is free at the time
* of invocation.
*
*/
boolean tryLock();
```

it.unipd.pdp2021.sync.LockedFriend

```
class LockedFriend {
  private final String name;
  private final Lock lock = new ReentrantLock();

  public LockedFriend(String name) {
    this.name = name;
  }

  public String getName() {
    return this.name;
  }
```

```
public boolean impendingBow(LockedFriend bower) {
  boolean myLock = false, yourLock = false;
  try {
    myLock = lock.tryLock();
    yourLock = bower.lock.tryLock();
  } finally {
    if (!(myLock && yourLock)) {
      if (myLock) { lock.unlock();}
      if (yourLock) { bower.lock.unlock(); }
    }
  }
  return myLock && yourLock;
}
```

```
public void bow(LockedFriend bower) {
  if (impendingBow(bower)) {
    try {
      out.format("%s: %s has" + " bowed to me!%n",
        this.name, bower.getName());
      bower.bowBack(this);
    } finally { lock.unlock(); bower.lock.unlock(); }
  } else {
    out.format("%s: %s started to bow to me, but saw that"
      + " I was already bowing to him.\n",
      this.name, bower.getName());
  }
}
```

```
public static void main(String[] args) {
  final LockedFriend alphonse = new LockedFriend("Alphonse");
  final LockedFriend gaston = new LockedFriend("Gaston");
  new Thread(new BowLoop(alphonse, gaston)).start();
  new Thread(new BowLoop(gaston, alphonse)).start();
}
```

PRODUCER AND CONSUMER

Producer/Consumer: pattern architetturale che modella un insieme di thread divisi in due gruppi

- *Producers*: threads che producono dati da elaborare
- *Consumers*: threads che elaborano i dati prodotti

Con un `Lock` possiamo controllare manualmente una sezione critica.

Il Consumatore ammette un solo `Thread` alla volta nella sezione critica.

Il Lock, implicitamente, gestisce la coda dei Produttori in attesa.

```java
/**
* Creates an instance of ReentrantLock with the given
* fairness policy.
*
*/
public ReentrantLock(boolean fair)
```

Un `ReentrantLock` ha caratteristiche equivalenti ad un `implicit lock`, ma può essere controllato manualmente (con le responsabilità che ne derivano).

Se viene costruito come `fair` il `Thread` che riceve il lock è sempre quello che ha aspettato di più.

Si riduce il rischio di `starvation` a prezzo di una prestazione inferiore (dovuta al maggior costo di mantenere una gestire una lista ordinata).

```java
public class PrintQueue implements Printer {
  private final Lock queueLock = new ReentrantLock();

  public void printJob(Object document) {
    queueLock.lock();
    try {
      Long duration = (long) (Math.random() * 10000);
      Thread.sleep(duration);
    } catch (InterruptedException e) {
      e.printStackTrace();
    } finally { queueLock.unlock(); }
  }
}
```

```
public static void main(String args[]) {
  PrintQueue printQueue = new PrintQueue();
  Thread thread[] = new Thread[10];
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    thread[i] = new Thread(new Job(printQueue),
      "Thread " + i); }
  for (int i=0; i < 10; i++) {
    thread[i].start(); }
  }
```

CONDITIONS

A volte, non tutti i Thread che cercano di acquisire un lock sono uguali: possono avere semantiche diverse e necessitare di essere segnalati in condizioni differenti.

Una `Condition` permette di separare l'accodamento in attesa dal possesso del lock che controlla l'attesa. Lo scopo è da poter gestire, su di un solo lock, di più condizioni di attesa distinte.

```
/**
 * Returns a new Condition instance that is bound to this
 * Lock instance.
 *
 */
public Condition newCondition()
```

```java
/**
 * Causes the current thread to wait until it is signalled
 * or interrupted.
 *
 */
public void await()
```

```
/**
 * Wakes up one waiting thread.
 *
 */
public void signal()
```

```
/**
* Wakes up all waiting threads.
*
*/
public void signalAll()
```

it.unipd.pdp2021.sync.CharSource

```
/**
 * Bounded, non thread-safe random source of characters
 */
class CharSource {
 public boolean hasMoreLines()
 public Optional< String > getLine()
```

it.unipd.pdp2021.sync.Buffer

```
class Buffer {
private LinkedList< String > buffer;
  private int maxSize;
  private ReentrantLock lock;
  private Condition lines, space;
  private boolean pendingLines;

  public Buffer(int maxSize) {
    this.maxSize = maxSize; pendingLines = true;
    buffer = new LinkedList<>();
    lock = new ReentrantLock();
    lines = lock.newCondition();
    space = lock.newCondition();
  }
```

```
public void insert(String line) {
  lock.lock();
  try {
    while (buffer.size() == maxSize) {
      space.await();
    }
    buffer.offer(line);
    out.printf("%s: Inserted Line: %d\n",
    Thread.currentThread().getName(), buffer.size());
    lines.signalAll();
  } catch (InterruptedException e) {
    e.printStackTrace();
  } finally { lock.unlock(); }
}
```

```
public Optional< String > get() {
  Optional< String > line = Optional.empty();
  lock.lock();
  try {
    while ((buffer.size() == 0) && (hasPendingLines())) {
      lines.await();
    }
    if (hasPendingLines()) {
      line = Optional.ofNullable(buffer.poll());
    space.signalAll(); }
  } catch (InterruptedException e) { e.printStackTrace(); }
  } finally { lock.unlock(); }
  return line;
}
```

```
public boolean hasPendingLines() {
  return pendingLines || buffer.size() > 0;
}

public void setPendingLines(boolean pendingLines) {
  this.pendingLines = pendingLines;
}
```

it.unipd.pdp2021.sync.Producer

```
class Producer implements Runnable {
  private CharSource source;
  private Buffer buffer;

  @Override
  public void run() {
    buffer.setPendingLines(true);
    while (source.hasMoreLines())
      source.getLine().ifPresent((line) -> {
        buffer.insert(line); randomWait(50);
      });
    buffer.setPendingLines(false);
  }
}
```

it.unipd.pdp2021.sync.Consumer

```
class Consumer implements Runnable {
  private Buffer buffer;

  @Override
  public void run() {
    while (buffer.hasPendingLines())
    buffer.get().ifPresent((line) -> process(line));
  }

  private void process(String line) {
    LockedBuffer.randomWait(250);
  }
}
```

it.unipd.pdp2021.sync.LockedBuffer

```
public static void main(String[] args) {
  CharSource source = new CharSource(100, 100);
  Buffer buffer = new Buffer(20);
  Thread producer = new Thread(new Producer(source, buffer),
    "producer");
  Thread[] consumers = new Thread[] {
    new Thread(new Consumer(buffer)),
    new Thread(new Consumer(buffer)),
    new Thread(new Consumer(buffer)) };
  producer.start();
  for (Thread t : consumers) t.start();
}
```

Come sempre succede, da grandi poteri derivano grandi responsabilità.

Maneggiando direttamente i `Lock` si chiede al sistema di delegarci un notevole potere, ed insieme ne riceviamo una corrispondente responsabilità.

SEMAPHORES

Per controllare l'accesso ad un insieme omogeneo di risorse, si usa un *semaforo*.

Un semaforo è simile ad un lock, ma tiene un conteggio invece di un semplice stato libero/occupato.

```java
/**
* Creates a Semaphore with the given number of permits and
* the given fairness setting.
*
*/
public Semaphore(int permits, boolean fair)
```

Se inizializzato come `fair`, l'ordinamento dei Thread in attesa è garantito FIFO. Altrimenti non è garantito.

Il costo è giustificato quando il semaforo regola l'accesso ad un insieme di risorse. In caso di un uso diverso, un semaforo non `fair` è molto più efficiente.

Ad ogni acquisizione il numero di "permessi" disponibili diminuisce.

Ad ogni "rilascio" il numero viene aumentato.

```java
/**
* Acquires a permit from this semaphore, blocking until one
* is available, or the thread is interrupted.
*
*/
public void acquire()
```

```java
/**
* Acquires the given number of permits from this semaphore,
* blocking until all are available, or the thread is
* interrupted.
*
* @param the number of permits to acquire
*/
public void acquire(int permits)
```

```
/**
* Releases a permit, returning it to the semaphore.
*
*/
public void release()
```

```java
/**
* Releases the given number of permits, returning them to
* the semaphore.
*
* @param the number of permits to release
*/
public void release(int permits)
```

Il valore iniziale del semaforo non è un limite: può essere superato, e può essere anche negativo inizialmente.

Mantenere la coerenza semantica sta all'utilizzatore.

A differenza di un lock, un `semaphore` può essere rilasciato da un Thread diverso da quello che lo ha acquisito.

```
/**
* Shrinks the number of available permits by the
* indicated reduction.
*
*/
protected void reducePermits(int reduction)
```

La maggior parte dei metodi di `Semaphore`

- può lanciare `InterruptedException` se il thread viene interrotto durante l'attesa
- lancia `IllegalArgumentException` se il parametro è negativo

```java
/**
* Acquires a permit from this semaphore, only if one is
* available at the time of invocation.
*
*/
public boolean tryAcquire()
```

```java
/**
* Acquires the given number of permits from this semaphore,
* if all become available within the given waiting time and
* the current thread has not been interrupted.
*
*/
public boolean tryAcquire(int permits, long timeout,
                          TimeUnit unit)
```

`tryAcquire` ritorna immediatamente, con risultato falso se non ha ottenuto un permesso.

E' in grado di violare la *fairness* del semaforo

it.unipd.pdp2021.sync.MultiPrintQueue

```
class MultiPrintQueue implements Printer {
  private Semaphore semaphore;
  private boolean[] freePrinters;
  private ReentrantLock lockPrinters;

  public MultiPrintQueue() {
    semaphore = new Semaphore(3);
    freePrinters = new boolean[] { true, true, true };
    lockPrinters = new ReentrantLock();
  }
```

```
public void printJob(Object document) {
  try {
    semaphore.acquire();
    int assignedPrinter = getPrinter();
    Long duration = (long) (Math.random() * 10000);
    TimeUnit.MILLISECONDS.sleep(duration);
    freePrinters[assignedPrinter] = true;
  } catch (InterruptedException e) { e.printStackTrace(); }
  } finally { semaphore.release(); }
}
```

```
int getPrinter() {
  int res = -1;
  try {
    lockPrinters.lock();
    for (int i = 0; i < freePrinters.length; i++) {
      if (freePrinters[i]) {
        res=i; freePrinters[i]=false;
        break;
      }
    }
  } catch (Exception e) { e.printStackTrace();
  } finally { lockPrinters.unlock(); }
  return res;
}
```