PCD2018 - 16

CONDIVISIONE DELLO STATO E SINCRONIZZAZIONE

NATURA DEL PROBLEMA

Abbiamo visto i vari metodi con cui gestire l'accesso agli stessi dati da parte di più `Threads`.

Tuttavia, non tutto è modellabile con una struttura dati: a volte quello di cui abbiamo bisogno è controllare come diversi `Threads` attraversano una sezione di codice.

pcd2018.sync.SimpleCounter

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

  public void add();

  public int getState();
}
```

pcd2018.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;
  }
}
```

pcd2018.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;
  }
}
```

pcd2018.sync.RunCounter

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

SimpleCounter counter = new UnsyncCounter();
List<Incrementer> incs = Arrays.asList(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.

Speaker notes

non è sufficiente una classe o una libreria, abbiamo bisogno di una parola chiave nel linguaggio; quello che avviene è un cambiamento nelle istruzioni emesse dal compilatore.

pcd2018.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;
  }
}
```

Speaker notes

sostituire questa classe alla precedente nel metodo main per verificare come il comportamento diventa ora corretto. La sezione critica, cioè il metodo in cui viene modificato lo stato, è ora protetta.

`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`.

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

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

```
syncronize (that) {
}
```

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

```
syncronize {
}
```

è equivalente a

```
syncronize (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.

pcd2018.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());
  }
```

Speaker notes

syncronized non è la soluzione a tutti i mali. In questo esempio, intendiamo modellare un attore che riceve un saluto e ricambia. Per evitare che due attori si salutino contemporaneamente (sbattendo la testa), rendiamo `syncronized` i metodi di saluto, così un attore può essere salutato (metodo `bow()` da un solo thread alla volta.

pcd2018.sync.SimpleFriend

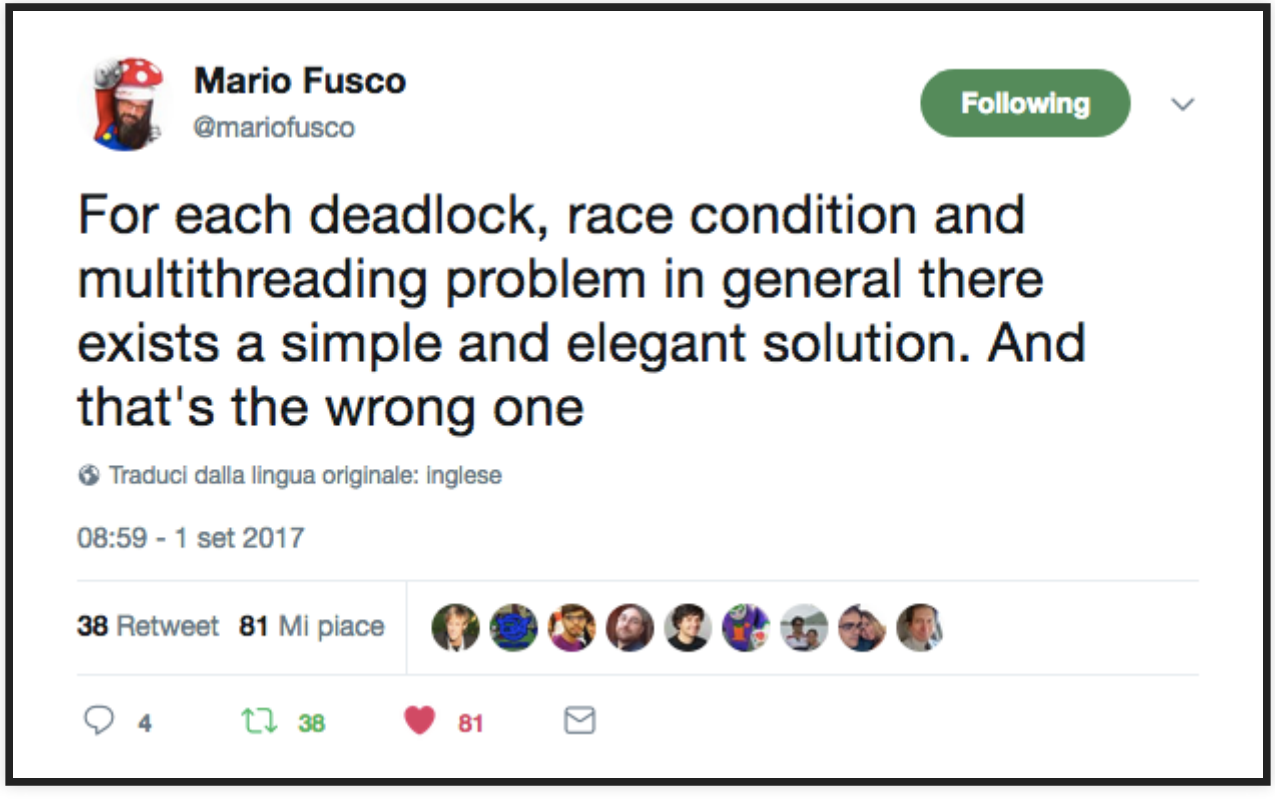
```
public class SimpleFriends {

  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();

  }
```

Speaker notes

tuttavia, il risultato non è quello che ci aspettavamo. In realtà, due attori che si salutano si bloccano l'uno con l'altro in un deadlock assolutamente classico. Cfr: https://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/deadlock.html Quello che succede è che Alphonse ottiene il lock su Gaston chiamando il suo `gason.bow()`. Ma quando cercha di chiamare il metodo `bowBack()` su se stesso, non può farlo perché Gaston a sua volta ha ottenuto il lock su di lui chiamando `alphonse.bow()`. Gaston è nella stessa situazione, e quindi i tue thread sono in deadlock.


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.

```
/**
 * 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`

Speaker notes

perchè queste condizioni?

```
/**
 * 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();
```

pcd2018.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();
  }
}
```

Speaker notes

Un solo thread alla volta può entrare in questo metodo. Se il flag è falso, viene posto a vero ed il thread si mette in attesa su questo oggetto (liberando il monitor). Se il flag è vero, viene posto a falso e un thread in attesa viene notificato che può proseguire.

pcd2018.sync.Waiter

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

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

Speaker notes

Il `Runnable` `Waiter` usa due risorse.

```
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);
```

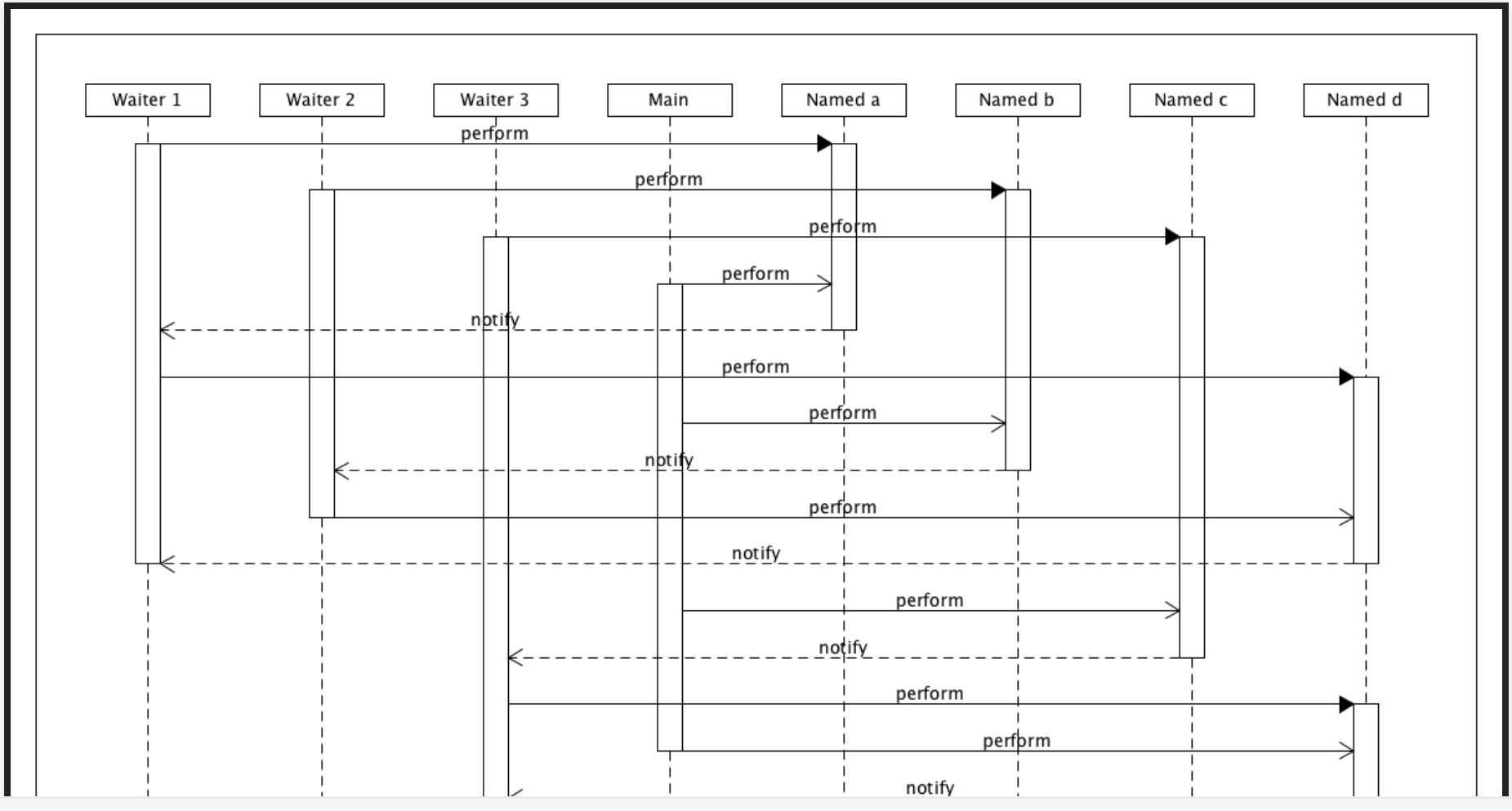
Speaker notes

Il suo obiettivo è eseguire `perform()` prima su una risorsa, poi sulla seconda.

```
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(); }
```

Speaker notes

il main crea quattro risorse e tre threads, che condividono la quarta risorsa. Esegue `perform()` sulle risorse una dopo l'altra, andando a liberare i thread che erano in attesa di sincronizzazione. Infine, richiama `performAll()` sull'ultima risorsa, liberando i thread che erano là bloccati.



Speaker notes

L'ordine delle operazioni, quando non mediato dai `syncronize`, è assolutamente casuale. I Waiter si appropriano della prima risorsa, ma devono aspettare Main che li fa avanzare. A questo punto, uno di loro ottiene la seconda risorsa mentre

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;
```

Speaker notes

l'uso di un `Lock` ci permette di slegare l'acquisizione ed il rilascio di una risorsa dalla struttura lessicale in cui questo avviene. Questo perché non è legato all'esecuzione di un blocco di codice come sono invece `syncronize` e `wait()`.

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

Speaker notes

questa chiamata ovviamente blocca se il lock non è disponibile.

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

Speaker notes

questa chiamata ha l'effetto di sbloccare un thread (tipicamente, uno a caso) fra quelli che attendevano di acquisire il lock.

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

pcd2018.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;
  }
```

Speaker notes

risolviamo il problema dei due attori che si salutano.

```
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;
}
```

Speaker notes

proviamo ad acquisire entrambi i lock; siamo ora in grado di rilasciarli in caso di acquisizione parziale.

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

Speaker notes

Se `impendingBow()` ritorna `true`, abbiamo entrambi i lock (e quindi dobbiamo rilasciarli). Notate come non siamo legati ai monitor impliciti o a lavorare all'interno di un solo blocco di codice. Se `impendingBow()` ha ritornato falso, abbiamo evitato un deadlock: avendo rilasciato l'acquisizione parziale, abbiamo probabilmente permesso all'altro thread di completare la sua.

```
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();
}
```

Speaker notes

Questo esempio proviene dal tutorial sui lock.

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).

```
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(); }
  }
}
```

Speaker notes

rispetto all'esempio con la `BlockingQueue`, gestiamo direttamente l'accesso alla sezione critica.

```
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(); }
}
```

Speaker notes

il metodo `main()` non è cambiato di molto.

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()
```

Speaker notes

una Condition ci viene fornita dal lock su cui deve sussistere.

Ciascuna `Condition` di uno stesso lock consente di gestire un insieme distinto di Thread in attesa.

```
/**
 * 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()
```

pcd2018.sync.CharSource

```
/**
 * Bounded, non thread-safe random source of characters
 */
class CharSource {

  public boolean hasMoreLines()

  public Optional<String> getLine()
```

Speaker notes

questa è una sorgente di linee di testo.

pcd2018.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();
```

Speaker notes

questo è un Buffer. Crea un lock, per bloccare l'accesso alle zone critiche, e ne ottiene due `Condition`: una sarà usata per attendere la presenza di nuove linee, l'altra per mettere in attesa i thread che non trovano dati da consumare.

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

Speaker notes

per inserire una linea, prima di tutto acquisiamo il lock per la sezione critica; se non c'è spazio, ci mettiamo in attesa anche sul lock dello spazio. Infine, aggiungiamo la riga al buffer e segnaliamo chi attendeva linee che ce ne sono di disponibili.

```
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;
}
```

Speaker notes

per ottenere una riga, prima di tutto acquisiamo il lock per la sezione critica; se non ci sono linee, attendiamo sulla condizione che ci siano righe a disposizione. Se ce ne sono, ne otteniamo una; potrebbe però essere vuota, perché un altro thread l'ha presa prima di noi. Infine, segnaliamo disponibilità di spazio e rilasciamo il lock critico.

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

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

Speaker notes

questi due metodi ci permettono di controllare se ci sono linee pendenti, o di impostare la loro disponibilità.

pcd2018.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);
  }
```

Speaker notes

il producer è un `Runnable` che prende una riga dalla sorgente, e la mette nel buffer, segnalando la presenza di nuove righe. E la loro assenza quando la sorgente è consumata. Il flag `pendingLines` del `Buffer` permette al produttore di segnalare la propria presenza ai consumatori, in modo che siano rassicurati dell'arrivo di nuove linee.

pcd2018.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);
  }
```

Speaker notes

il consumer è un altro `Runnable` che prende una riga dal buffer e ci spende sopra un breve lasso di tempo. Quando non trova più la segnalazione di nuove righe (che include sia linee presenti nel buffer, sia la presenza di un produttore che ne aggiunga) chiude l'esecuzione.

pcd2018.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();
}
```

Speaker notes

infine, il main fa partire tutti i thread. Notate che, siccome non usiamo `Executor`, l'algoritmo viene eseguito e la JVM termina quando tutti i thread terminano.

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.


SALTATE UN SIGNALO
DEADLOCK
imgflip.com


UN AWAITO DI TROPPO
DEADLOCK
imgflip.com


ECCEZIONE NON GESTITA
DEADLOCK
imgflip.com

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.

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

```
/**
 * 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()
```

```
/**
 * 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

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

```
/**
 * 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

pcd2018.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();
  }
```

Speaker notes

Questa implementazione di `Printer` si basa su di un semaforo per contare le stampanti libere ed un array di boolean per mantenere lo stato delle singole stampanti.

```
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(); }
}
```

Speaker notes

L'esecuzione di una stampa richiede di acquisire il semaforo (che attende una stampante libera se non ce n'è), ottenere la stampante da assegnare, effettuare il lavoro, liberare la stampante e quindi il semaforo.

```
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;
```

Speaker notes

La selezione di una stampante libera richiede, all'interno di una sezione critica, di cercare un valore `true` nell'array dello stato delle stampanti. Abbiamo la garanzia che ce ne sia almeno uno perché siamo protetti dal semaforo. Trovata la stampante libera, la segnamo occupata e ritorniamo il suo indice al chiamante uscendo dalla sezione critica.