

Reti e Laboratorio III

Modulo Laboratorio III

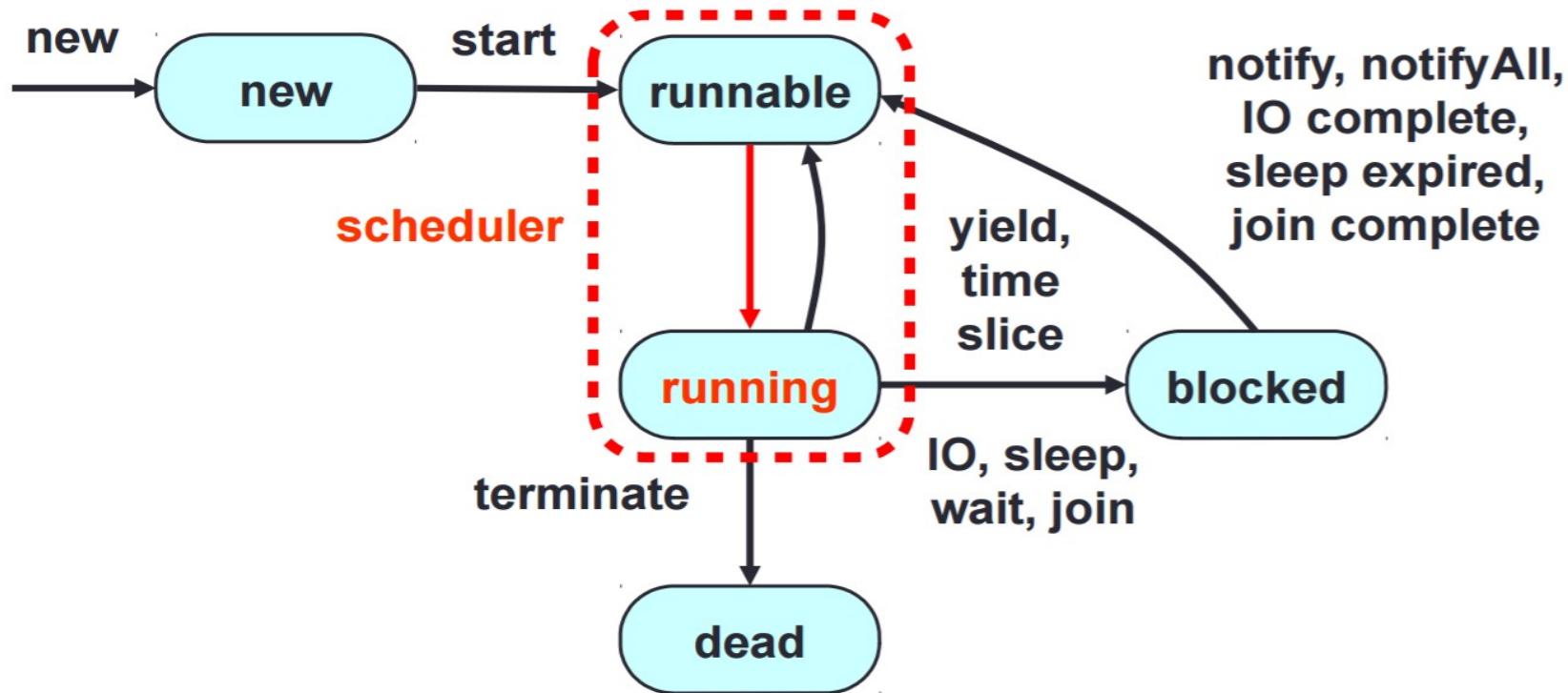
AA. 2025-2026

docente: Laura Ricci

laura.ricci@unipi.it

Lezione 3
Callable, Monitor
13/10/2025

THREAD STATES AND JAVA OPERATIONS: RECAP



- yield segnala allo schedulatore di portare il thread corrente in stato di Runnable e di schedulare un altro thread
- sleep pone il thread nello stato di bloccato per un certo intervallo di tempo
- wait-notify la vedremo più avanti nella lezione
- join permette a un thread di attendere la terminazione di un altro thread

THREAD CHE RESTITUISCONO RISULTATI

- un oggetto di tipo Runnable
 - incapsula un'attività che viene eseguita in modo asincrono
 - il metodo `run` è un **metodo asincrono**, senza **parametri** e che **non restituisce un valore di ritorno**
- Interface Callable: consente di definire un task che può restituire un **risultato**, in modo asincrono, e **sollevare eccezioni**
 - come “accedere” al risultato, in modo asincrono?
 - Future interface: contiene metodi per reperire, in modo asincrono, il **risultato di una computazione asincrona**. cioè
 - per controllare se la computazione è terminata
 - per attendere la terminazione di una computazione (eventualmente per un tempo limitato)
 - per cancellare una computazione,
- la classe FutureTask fornisce una implementazione della interfaccia Future.

L'INTERFACCIA CALLABLE

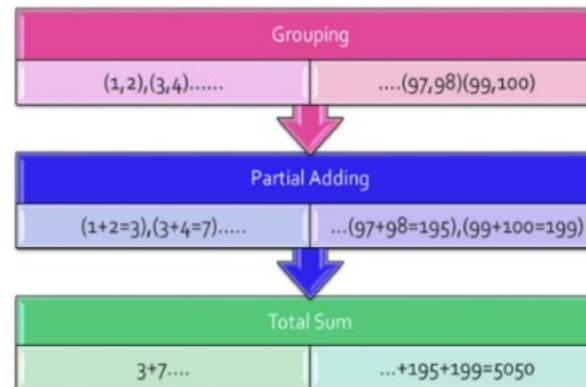
```
public interface Callable <V>  
    { V call() throws Exception; }
```

- contiene il solo metodo `call()`, analogo al metodo `run()` dell'interfaccia `Runnable`
- il codice del task è implementato nel metodo `call()`
- a differenza del metodo `run()`, il metodo `call()` può
 - restituire un valore
 - sollevare eccezioni
- il parametro di tipo `<V>` indica **il tipo del valore restituito**
 - `Callable <Integer>` rappresenta una elaborazione asincrona che restituisce un valore di tipo `Integer`
- occorre utilizzare il metodo `submit()`, quando si sottomette la `Callable` ad un `threadpool`, invece della `execute()`

DIVIDE ET IMPERA CON MULTITHREADING

calcolare la somma di tutti i numeri da 1 a n

- soluzione sequenziale: loop che itera da 1 a 100 e calcola la somma
- seguendo il pattern divide and conquer :
 - individuare sottointervalli dell'intervallo 1-100
 - creare un task diverso per ogni intervallo: calcola la somma per quell'intervallo
 - sottomettere i task ad un threadpool, calcolare le somme parziali in modo concorrente
 - raccogliere le somme parziali per calcolare la somma totale.



THREAD CHE RESTITUISCONO RISULTATI

```
import java.util.concurrent.Callable;

public class Calculator implements Callable <Integer> {

    private int a;
    private int b;

    public Calculator(int a, int b) {

        this.a = a;
        this.b = b;
    }

    public Integer call() throws Exception {
        Thread.sleep((long)(Math.random() * 15000));
        return a + b;
    }
}
```



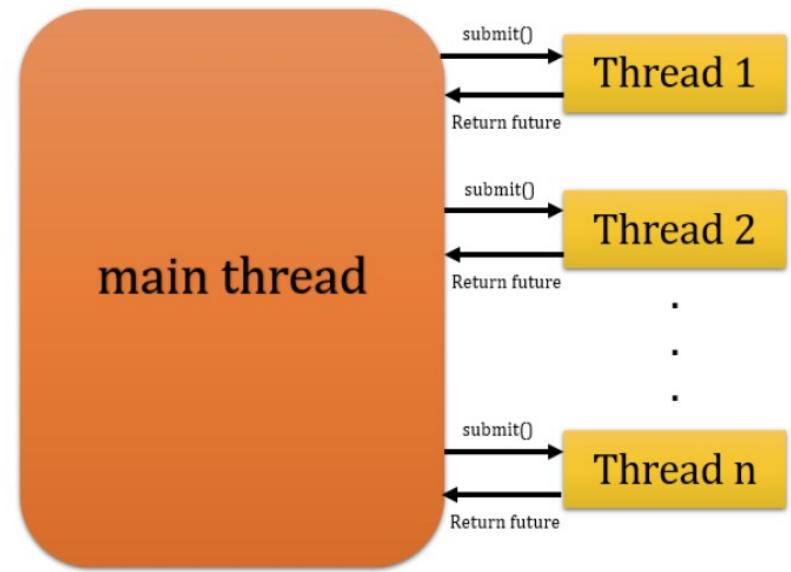
THREAD CHE RESTITUISCONO RISULTATI

```
import java.util.ArrayList; import java.util.List; import java.util.concurrent.*;  
  
public class Adder {  
  
    public static void main(String[] args) throws ExecutionException,InterruptedException{  
  
        // Create thread pool using Executor Framework  
  
        ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(5);  
  
        List<Future<Integer>> list = new ArrayList<Future<Integer>>();  
  
        for (int i = 1; i < 11; i=i+2) { // Create new Calculator object  
  
            Calculator c = new Calculator(i, i + 1);  
  
            list.add(executor.submit(c));}  
  
        int s=0;  
  
        // Now collect the results
```



L'INTERFACCIA FUTURE

- sottomettere direttamente l'oggetto di tipo Callable al pool mediante il metodo **submit**
- la sottomissione restituisce un oggetto di tipo **Future**
- ogni oggetto Future è associato ad uno dei task sottomessi al ThreadPool
- è possibile applicare diversi metodi all'oggetto **Future**



L'INTERFACCIA FUTURE

```
public interface Future <V>
{ V get( ) throws...;
  V get (long timeout, TimeUnit) throws...;
  void cancel (boolean mayInterrupt);
  boolean isCancelled( );
  boolean isDone( ); }
```

- metodo get()
 - si blocca fino a che il thread non ha prodotto il valore richiesto e restituisce il valore calcolato
- metodo get (long timeout, TimeUnit)
 - definisce un tempo massimo di attesa della terminazione del task, dopo cui viene sollevata una TimeoutException
- è possibile cancellare il task e verificare se la computazione è terminata oppure è stata cancellata

THREAD CHE RESTITUISCONO RISULTATI

...

```
// Now collect the results

for (Future<Integer> f : list) {

    try { System.out.println(f.get());

        s=s+f.get();

    }

    catch (Exception e) {};

}

System.out.println("la somma e'" +s);

executor.shutdown(); }}
```





THREAD CHE CONDIVIDONO LA CONSOLE

```
class Forth implements Runnable {  
    public void run(){  
        while(true){  
            try {  
                Thread.sleep((int)(Math.random()*1000));  
            } catch (InterruptedException e) { return; }  
            System.out.print("*****");  
            System.out.flush();  
        }  
    }  
}
```



THREAD CHE CONDIVIDONO LA CONSOLE

```
class Back implements Runnable {  
    public void run(){  
        while(true){  
            try {  
                Thread.sleep((int)(Math.random()*1000));  
            } catch (InterruptedException e) { return; }  
            System.out.print("\b\b\b\b\b\b\b\b\b\b\b");  
            System.out.print("-----");  
            System.out.flush();  
        }  
    }  
}
```



THREAD CHE CONDIVIDONO LA CONSOLE

```
public class BackAndForth {  
  
    public static void main(String args[]){  
        Thread ts= new Thread(new Forth());  
        ts.start();  
        Thread bk= new Thread(new Back());  
        bk.start();  
    }  
}
```

- cosa accade se faccio eseguire il programma?

CONDIVIDERE RISORSE TRA THREADS

- un insieme di thread vogliono condividere una risorsa.
 - più thread accedono concorrentemente allo stesso file, alla stessa parte di un database o di una struttura di memoria
- l'accesso non controllato a risorse condivise può provocare situazioni di errore ed inconsistenze.
 - **race conditions**
- **sezione critica:** blocco di codice a cui si effettua l'accesso ad una risorsa condivisa e che deve essere eseguito da un thread per volta
- necessario implementare **classi thread safe**
 - il codice dei metodi della classe può essere utilizzato/condiviso in un ambiente concorrente senza provocare inconsistenze/comportamenti inaspettati

GENERARE UNA RACE CONDITION

```
class Cell {  
    private long value;  
    public Cell (long v)  
    {this.value=v;}  
    public void update(long delta) {  
        this.value += delta;  
    }  
    public long get() {return value;}  
}
```



GENERARE UNA RACE CONDITION

```
class Counter implements Runnable {  
    public int ticks ;  
    private Cell cell;  
    private int delta;  
    private int maxTicks;  
  
    Counter(Cell cell, int delta, int maxTicks) {  
        this.cell = cell;  
        this.delta = delta;  
        this.maxTicks = maxTicks;  
    }  
  
    public void run() {  
        ticks = 0;  
        while (ticks < maxTicks) {  
            cell.update(delta);  
            ++ticks;  
        }  
    }  
}
```



GENERARE UNA RACE CONDITION

```
public class Main {  
  
    public static void main(String[] args) {  
  
        int MAX_TICKS=1000000;  
  
        Cell cell=new Cell(0);  
  
        Counter up = new Counter(cell, 1, MAX_TICKS);  
  
        Counter down = new Counter(cell, -1, MAX_TICKS);  
  
        Thread upWorker = new Thread(up);  
        Thread downWorker = new Thread(down);  
  
        upWorker.start(); downWorker.start();  
  
        try {  
            upWorker.join(); downWorker.join();}  
  
        catch(Exception e) {}  
  
        System.out.println("");  
  
        System.out.printf("Cell value: %d\n", cell.get());  
  
        System.out.flush();}}
```

Risultati restituiti in esecuzioni diverse

Cell value 793507

Cell value -875261

Cell value -977321

Cell value 754164

AGGIORNARE UNA RISORSA CONDIVISA

- una singola istruzione in Cell.update

```
this.value += delta;
```

- ma eseguita non in maniera atomica....

```
// relevant bytecode
ALOAD 0
DUP
GETFIELD      Cell.value
LLOAD 1
LADD
PUTFIELD      Cell.value
```

- diversi possibili interleavings
- comportamento non deterministico: è quello che vogliamo?
- **thread safety**

- “*nothing bad ever happens*”, in qualsiasi interleaving generato
- spesso non banale da ottenere
- problema di messa a punto di programmi concorrenti



JAVA: LOCK IMPLICITE

- due o più thread possono leggere un oggetto condiviso (shared objects, global data).
- è responsabilità di sincronizzare gli accessi in modo da evitare interleaving scorretti ed ottenere la thread safeness
- come effettuare la sincronizzazione, in JAVA?
 - con lock esplicite (non lo faremo)
 - in JAVA, tutti gli oggetti hanno una lock interna (intrinseca, implicita, monitor lock)
 - un synchronized method implementa una critical section con garanzie di mutua esclusione
 - i metodi acquisiscono implicitamente la lock sull'oggetto su cui vengono chiamati

```
public synchronized void someMethod()  
    { // Do work }
```

metodo synchronized : quando viene invocato

- tenta di acquisire la lock intrinseca associata all'istanza dell'oggetto su cui esso è invocato
 - se l'oggetto è bloccato il thread viene sospeso nella coda associata all'oggetto fino a che il thread che detiene la lock la rilascia
- la lock viene rilasciata al ritorno del metodo
 - normale
 - eccezionale, ad esempio con una uncaught exception.

```
class Cell {  
    private long value;  
    public Cell (long v)  
    {this.value=v;}  
    public synchronized void update(long delta) {  
        this.value += delta;  
    }  
    public long get() {return value;};  
}
```

Cell value 0

Cell value 0

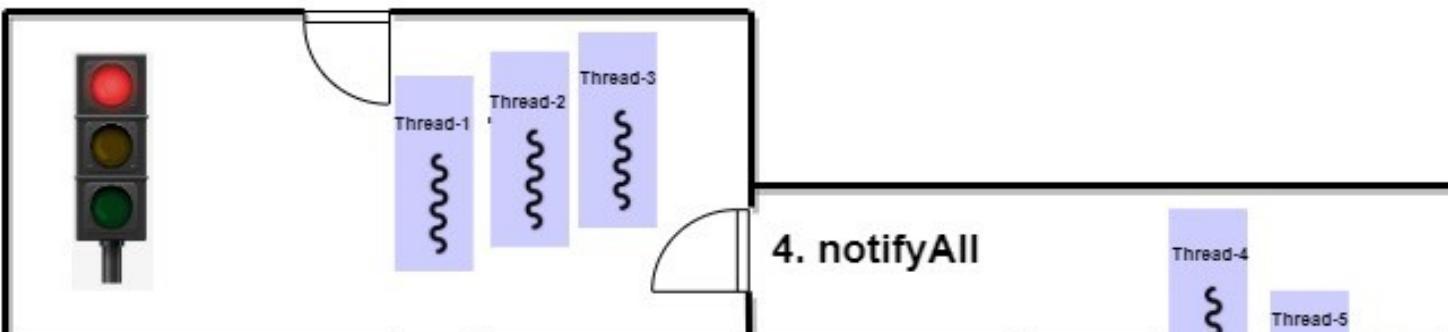
Cell value 0

Cell value 0

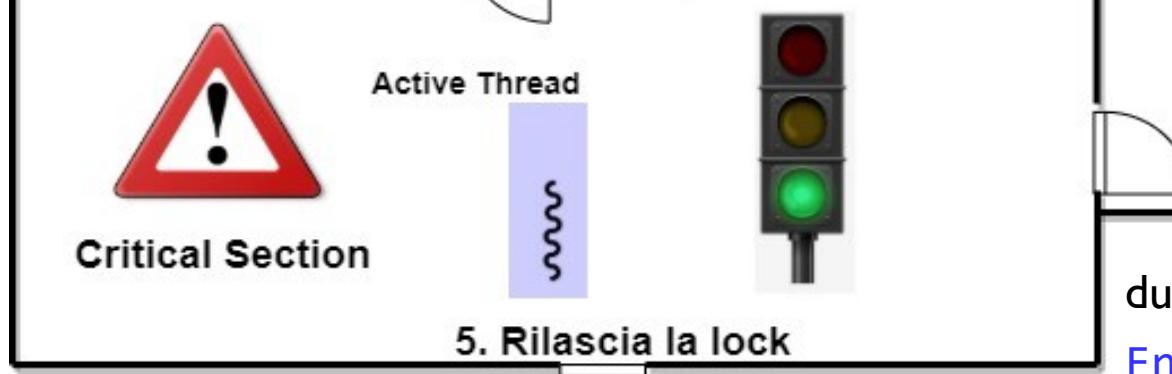
- JAVA built-in monitor: classe di oggetti utilizzabili concorrentemente in modo thread safe
 - meccanismi di sincronizzazione “ad alto livello”
- come viene implementato? ad **ogni oggetto** (non **int** o **long**, solo gli oggetti), cioè ad ogni **istanza di una classe**, viene associata
 - una “**intrinsic lock**” o **lock implicita**
 - acquisita con metodi o blocchi di codice `synchronized`. Garantisce la mutua esclusione nell'accesso all'oggetto
 - gestione automatica della coda di attesa, da parte della JVM
 - una “**wait queue**” gestita dalla JVM utilizzata per memorizzare i thread che hanno acquisito la lock, ma sono poi in attesa di una condizione sullo stato della risorsa
 - `wait`
 - `notify/notifyAll`

UN'OCCHIATA ALL'INTERNO DI UN MONITOR

1. Entra nell'oggetto monitor

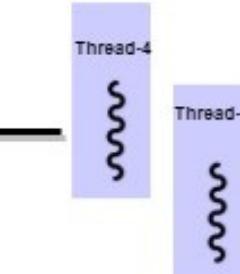


2. Acquisisci la lock



5. Rilascia la lock

3.wait



Critical Section

6. Lascia l'oggetto monitor

due code gestite in modo隐式: (Entry Set)

Entry Set

- threads in attesa di acquisire la lock

Wait Set

- threads che hanno eseguito una wait e sono in attesa di una notifyAll

METODI SINCRONIZZATI

- i metodi di un built-in monitor possono essere resi thread safe annotandoli con la parola chiave `synchronized`
- coda thread-safe, implementata con monitor

```
public class MessageQueue {  
    public MessageQueue(int size)  
    {  
        // ...  
    }  
    public synchronized void produce(Object x)  
    {  
        // ...  
    }  
    public synchronized Object consume()  
    {  
        // ...  
    }  
}
```

- l'esecuzione di un metodo `synchronized` richiede automaticamente l'acquisizione della lock intrinseca associata all'oggetto
- l'intero codice del metodo sincronizzato viene serializzato rispetto agli altri metodi sincronizzati definiti per lo stesso oggetto
 - solo una thread alla volta può essere eseguire uno dei metodi `synchronized` del monitor sulla stessa istanza di una classe

- i costruttori non devono essere dichiarati synchronized
 - il compilatore solleva una eccezione
 - di default, solo il thread che crea l'oggetto accede ad esso mentre l'oggetto viene creato
- non ha senso specificare synchronized nelle interfacce
- synchronized non è ereditato da overriding
 - metodo nella sottoclasse deve essere esplicitamente definito synchronized, se necessario
- la lock è associata ad un'istanza dell'oggetto, non alla classe, metodi su oggetti che sono istanze diverse della stessa classe possono essere eseguiti in modo concorrente!

WAITING AND COORDINATION MECHANISMS

- JAVA fornisce 3 metodi di base per coordinare i thread
- invocati su un oggetto, appartengono alla classe **Object**
- occorre acquisire la lock intrinseca prima di invocarli, altrimenti viene sollevata l'eccezione **IllegalMonitorException()**
 - eseguiti all'interno di metodi sincronizzati
- se non si mette il riferimento ad un oggetto, il riferimento隐式 (implicito) è **this**

void wait()

- sospende il thread fino a che un altro thread invoca una **notify()** /**notifyAll()** sullo stesso oggetto.
- implementa una “attesa passiva” del verificarsi di una condizione
- rilascia la lock sull'oggetto

void notify()

- sveglia un singolo thread in attesa su questo oggetto
- nop se nessun thread è in attesa

void notifyAll()

- sveglia tutti i thread in attesa su questo oggetto, che competono per riacquisire della lock

PRODUTTORE CONSUMATORE CON MONITOR

```
public class MessageQueue {  
    int putptr, takeptr, count;  
    final Object[] items;  
    public MessageQueue(int size){  
        items = new Object[size];  
        count=0;putptr=0;takeptr=0;}  
    public synchronized void produce(Object x)  
    { while (count == items.length)  
        try {  
            wait();}  
        catch(Exception e) {}  
        // gestione puntatoricoda  
        items[putptr] = x; putptr++;++count;  
        if (putptr == items.length) putptr = 0;  
        System.out.println("Message Produced"+x);  
        notifyAll();}
```

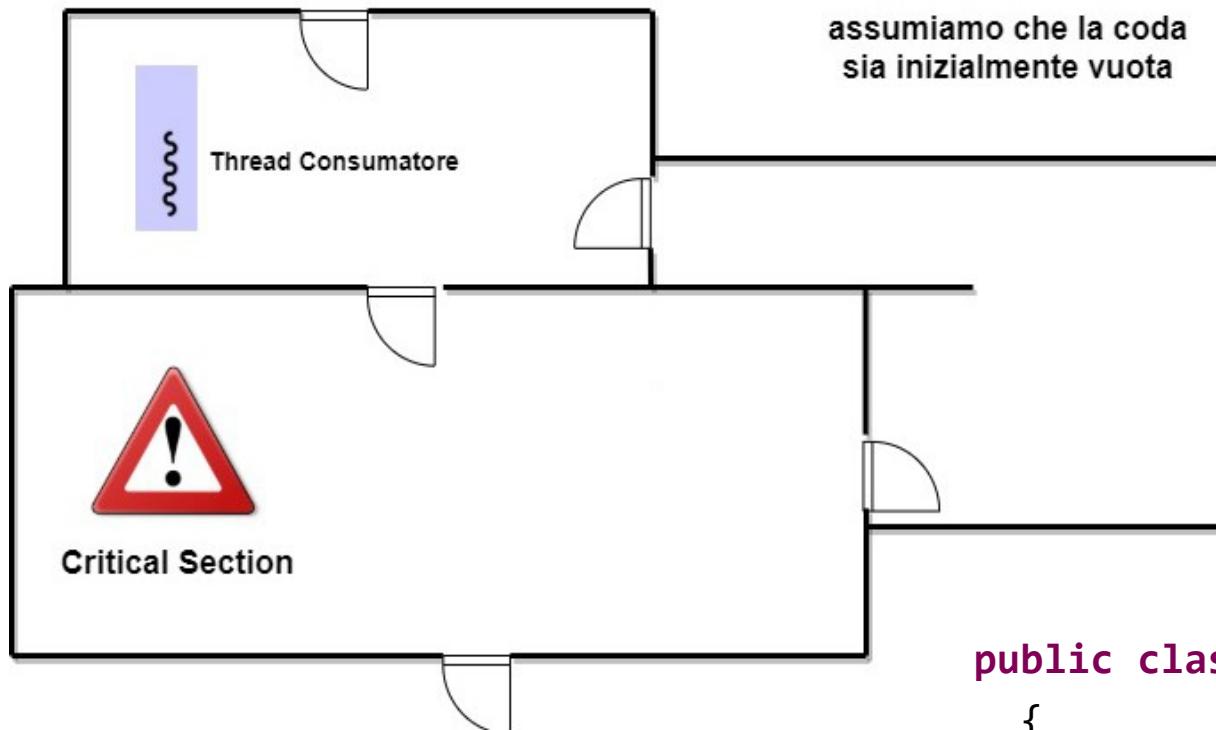


PRODUTTORE CONSUMATORE CON MONITOR

```
public synchronized Object consume() {  
    while (count == 0)  
        try {  
            wait();}  
        catch(InterruptedException e) {}  
    // gestione puntatori coda  
    Object data = items[takeptr]; takeptr=takeptr+1; --count;  
    if (takeptr == items.length) {takeptr = 0;}  
    notifyAll();  
    System.out.println("Message Consumed"+data);  
    return data;  
}
```

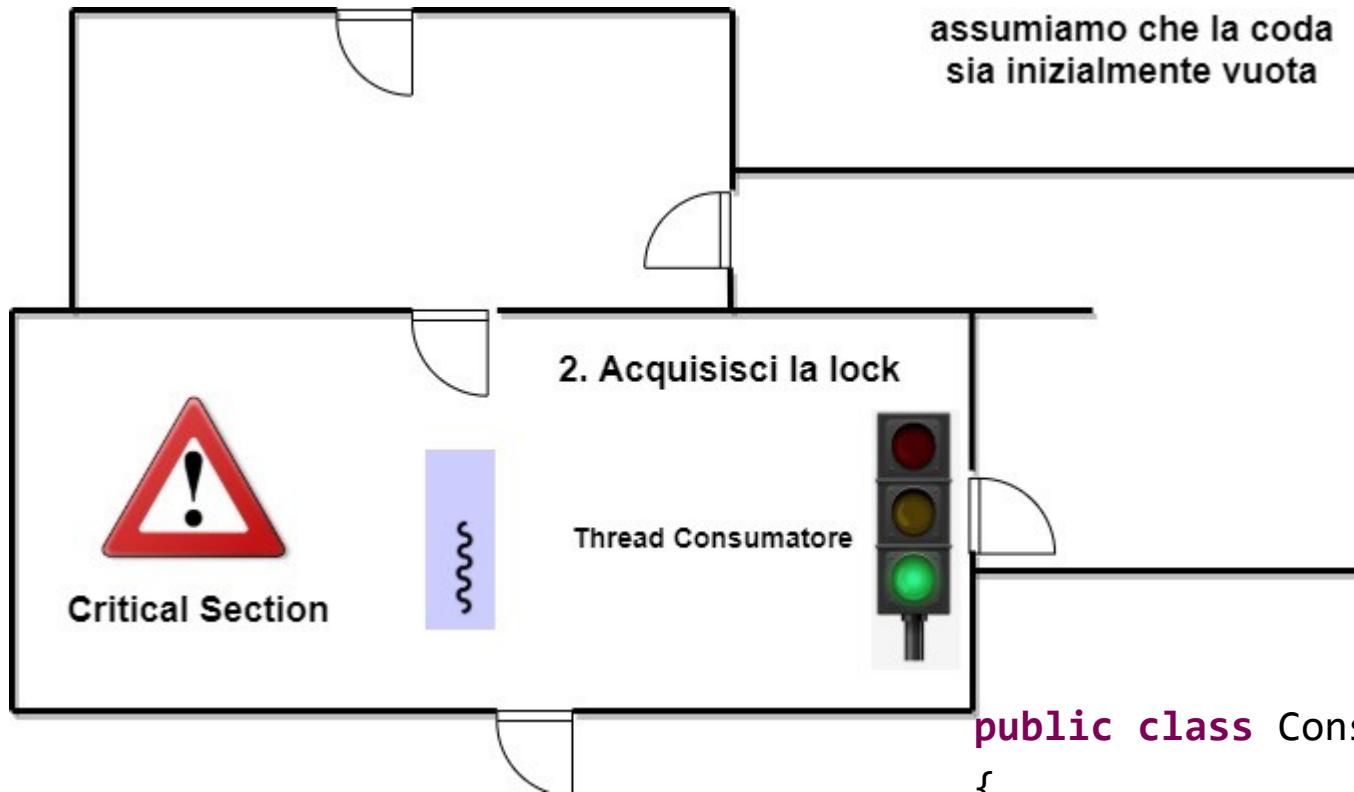
PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”

1. Entra nell'oggetto monitor



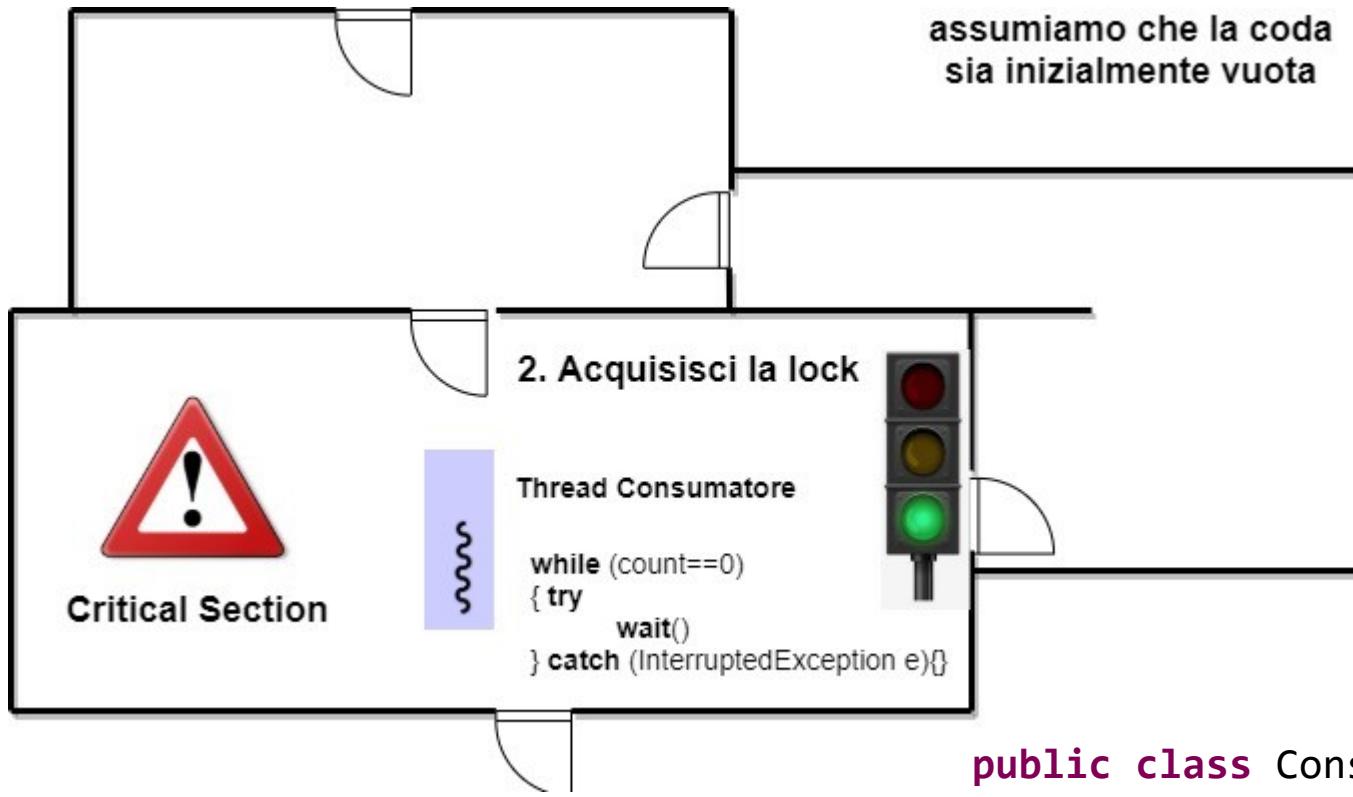
```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            ...
        }
    }
}
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



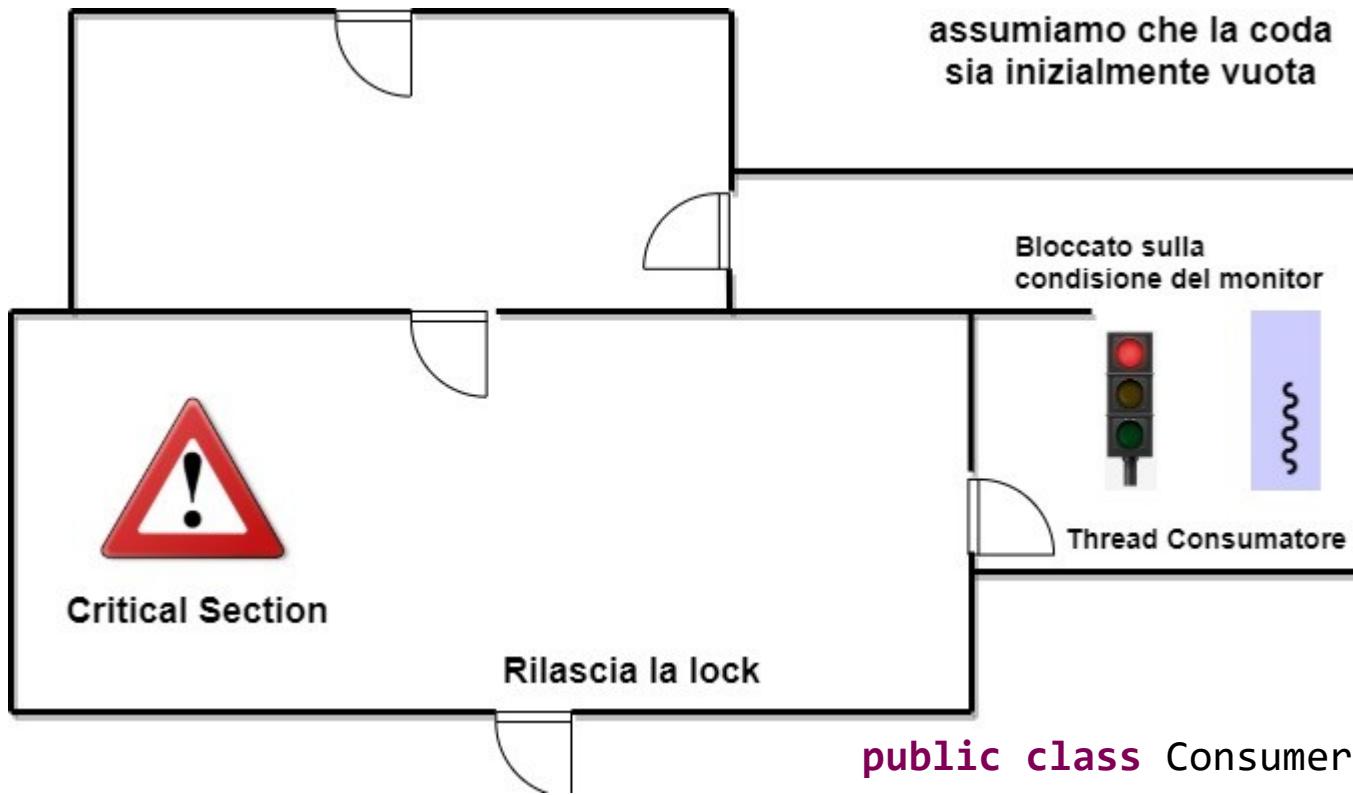
```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            ....
        }
    }
}
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            ...
        }
    }
}
```

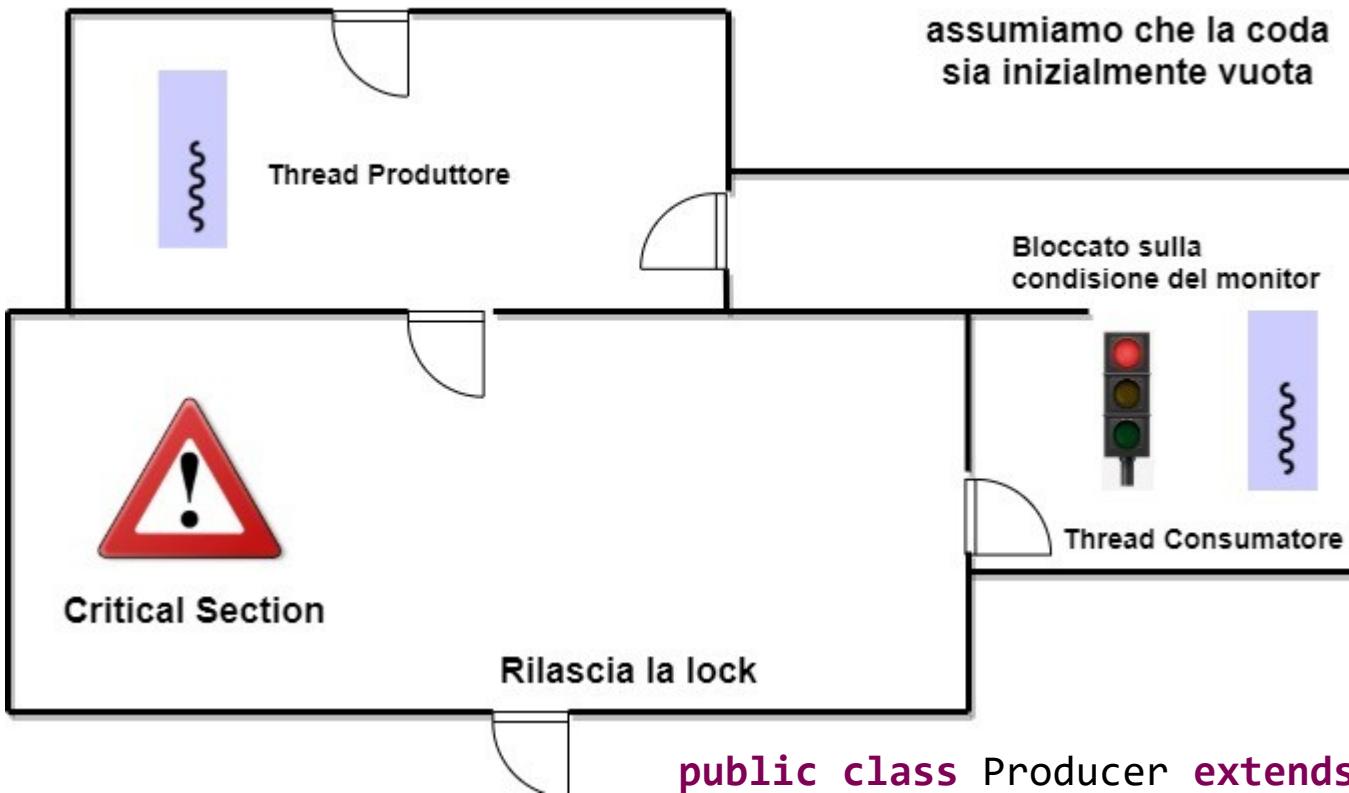
PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            ...
        }
    }
}
```

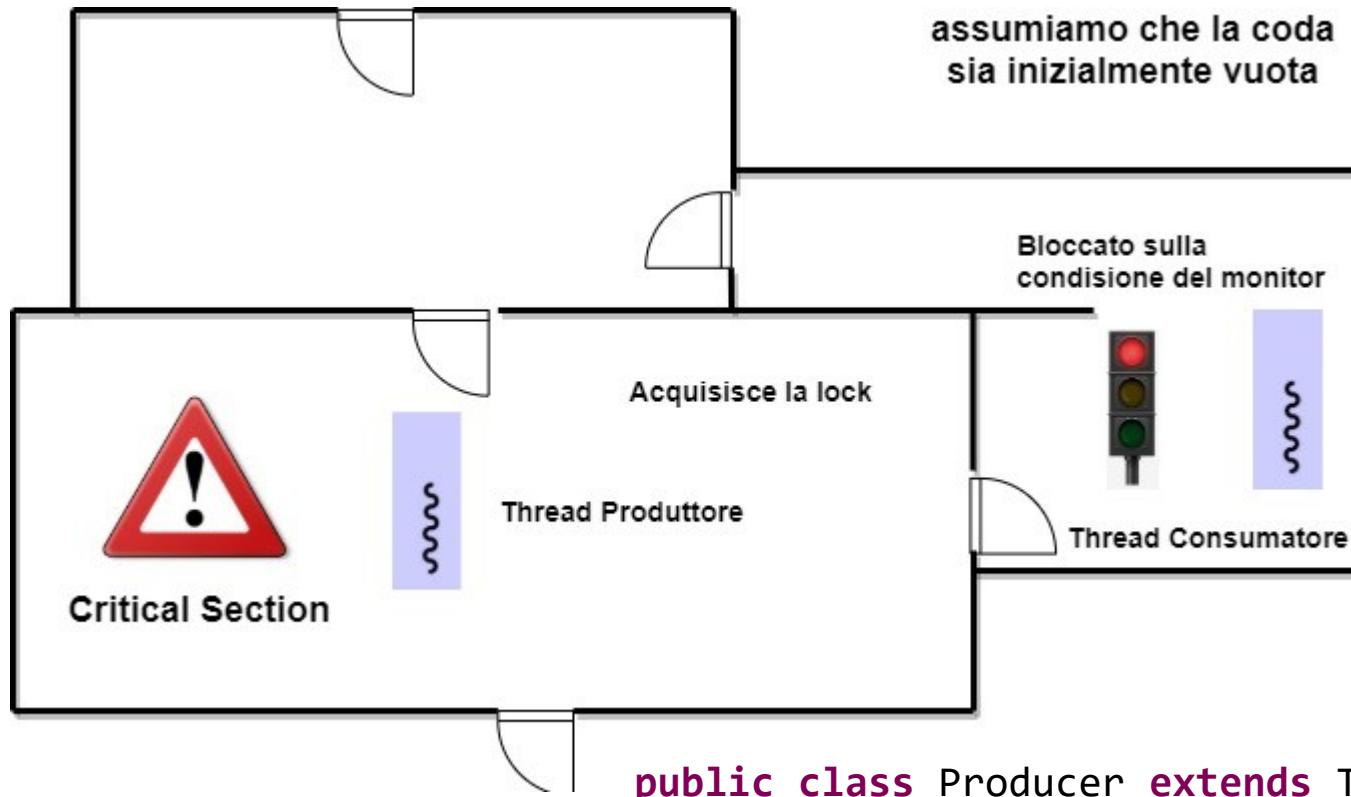
PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”

1. Entra nell'oggetto monitor



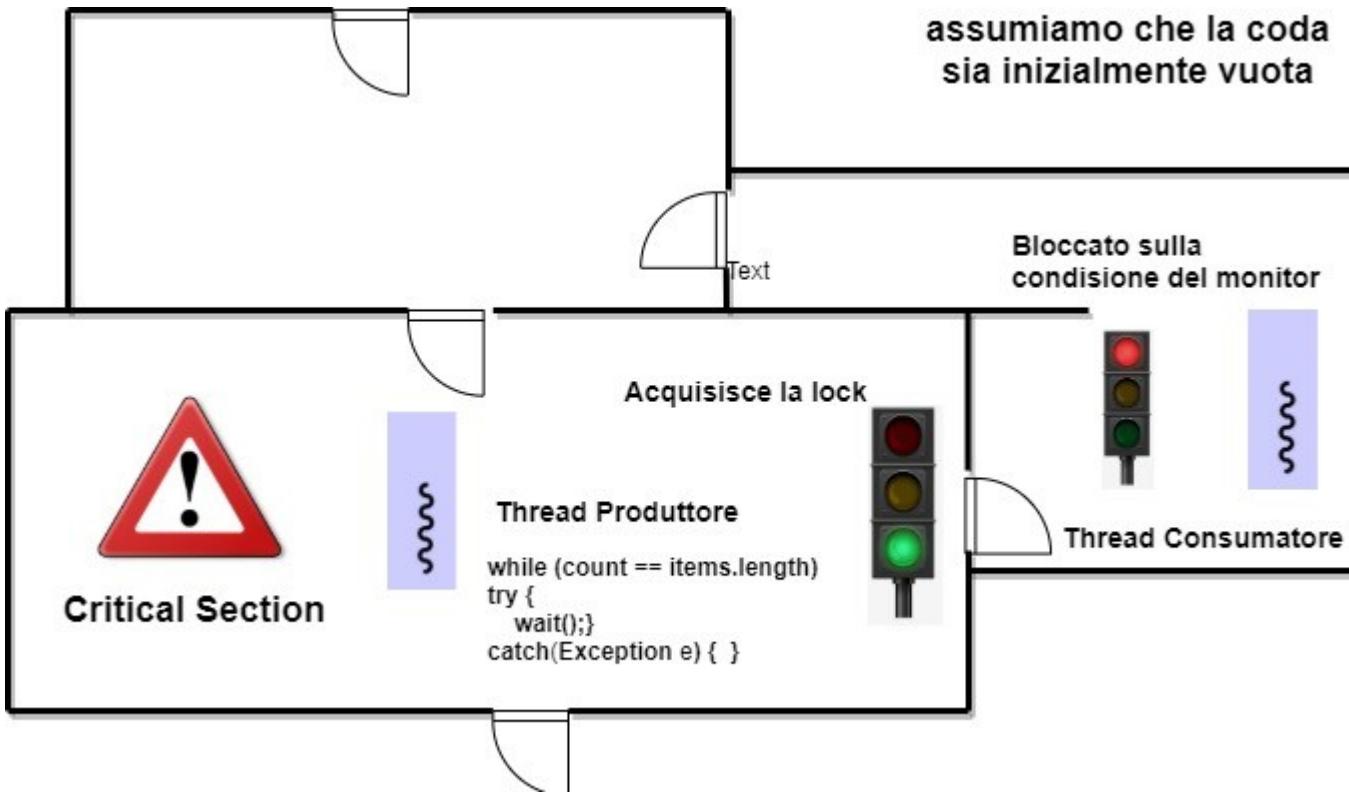
```
public class Producer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++)
        {queue.produce("MSG#"+count+Thread.currentThread());
        .....
    }
}
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



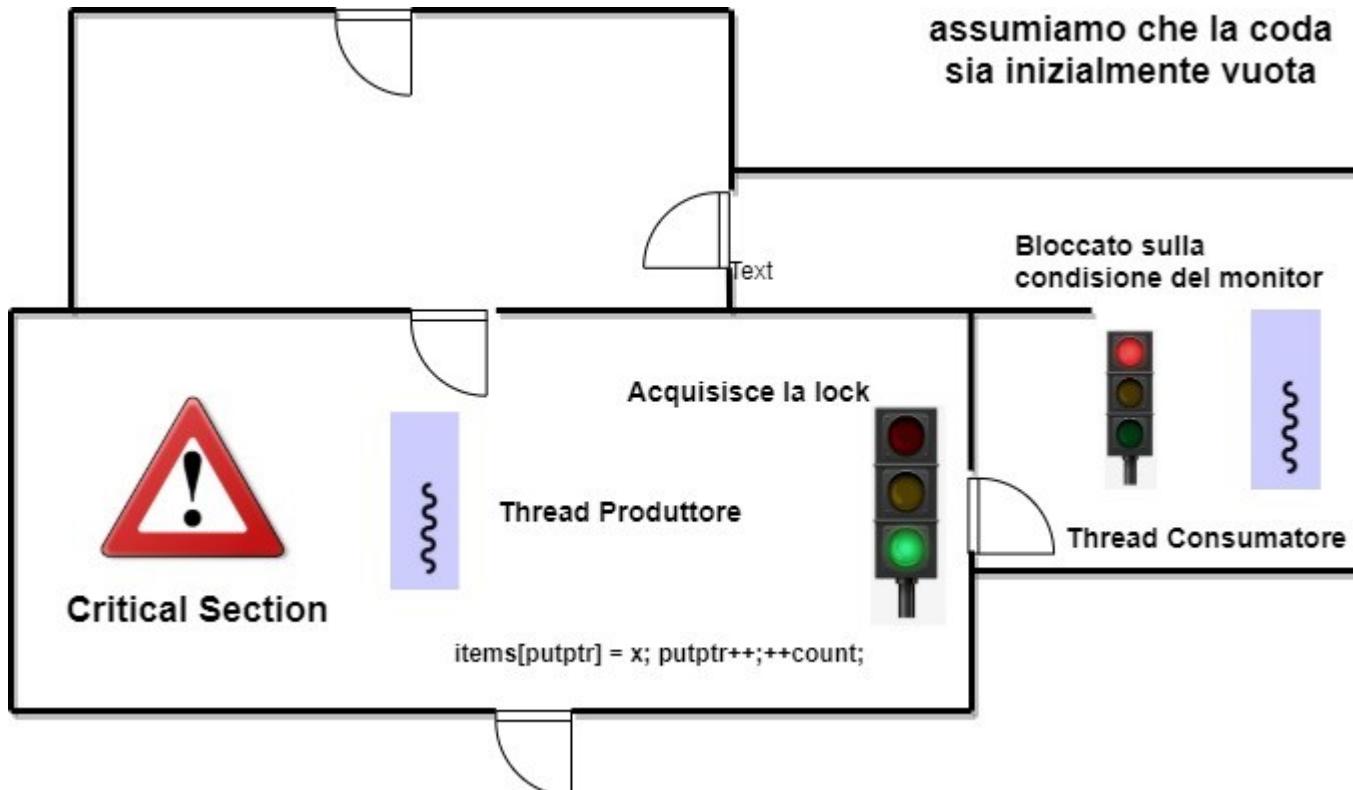
```
public class Producer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++)
        {queue.produce("MSG#"+count+Thread.currentThread());
        .....
    }
}
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



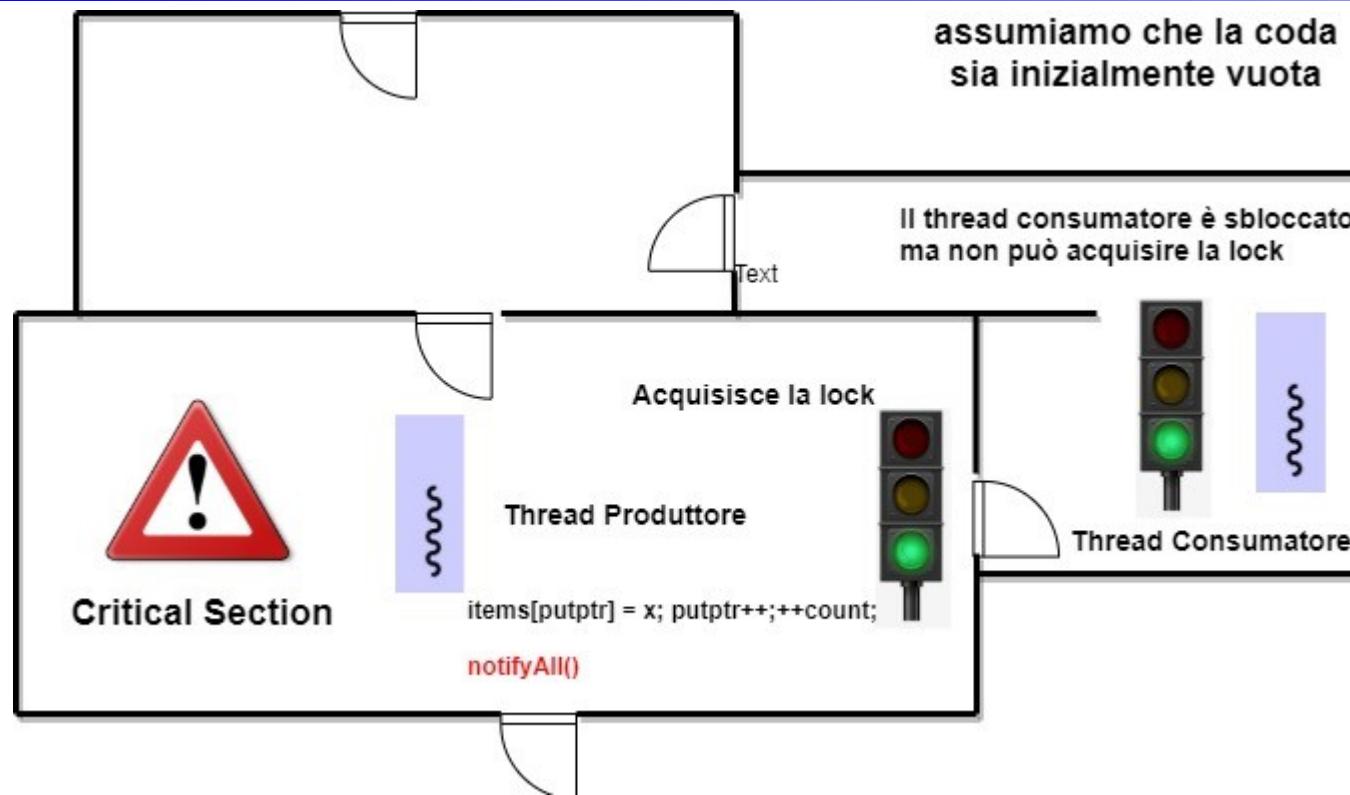
```
public class Producer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++)
        {queue.produce("MSG#" + count + Thread.currentThread())
        . . . . . }
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



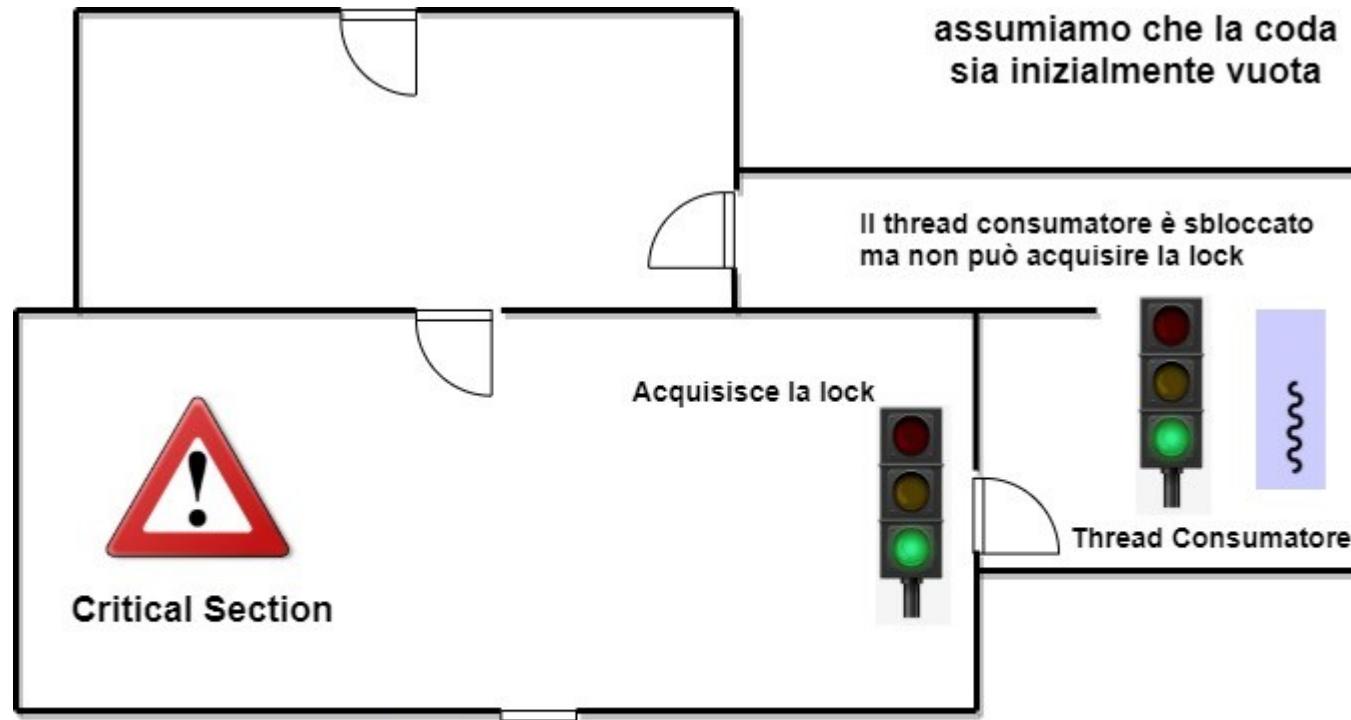
```
public class Producer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++)
        {queue.produce("MSG#"+count+Thread.currentThread());
        .....
    }
}
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



```
public class Producer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++)
        {queue.produce("MSG#"+count+Thread.currentThread());
        .....
    }
}
```

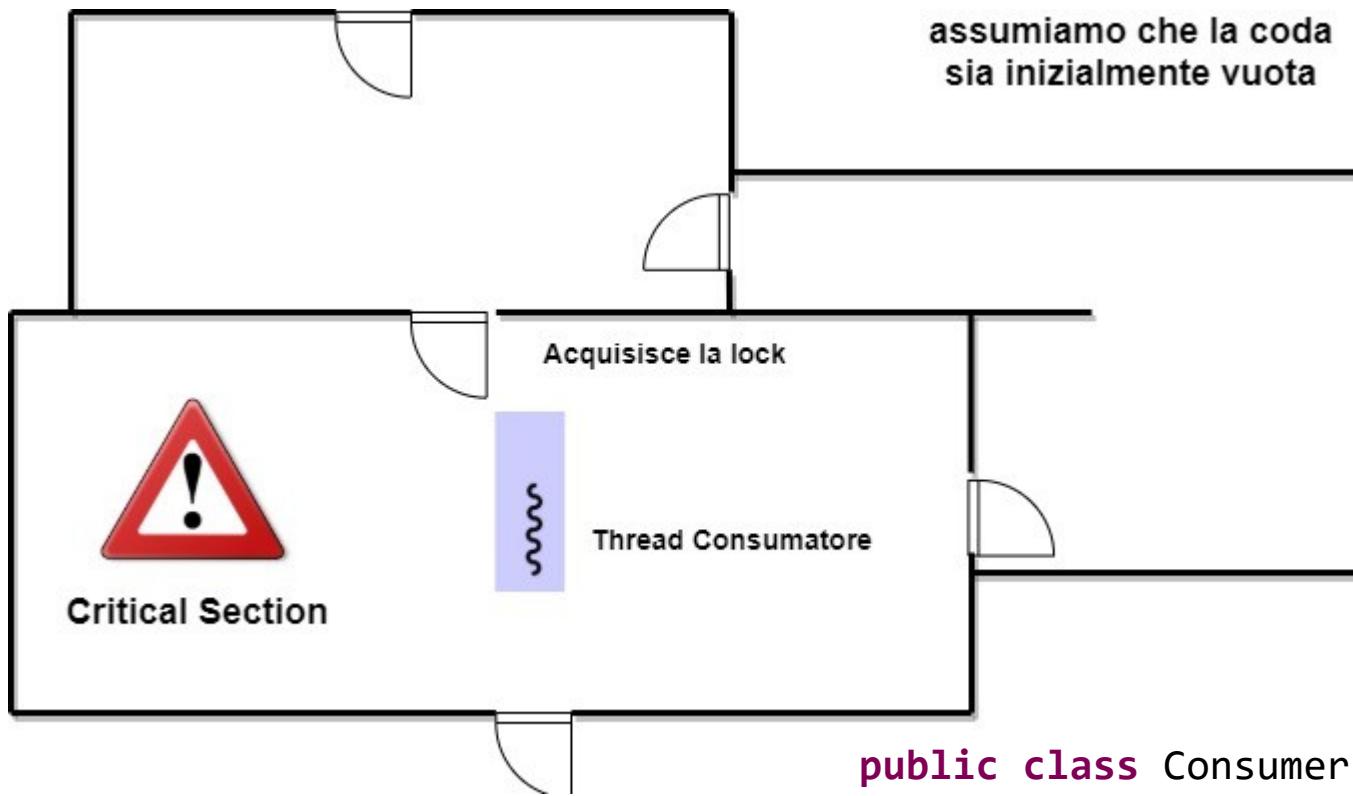
PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



Lascia l'oggetto monitor

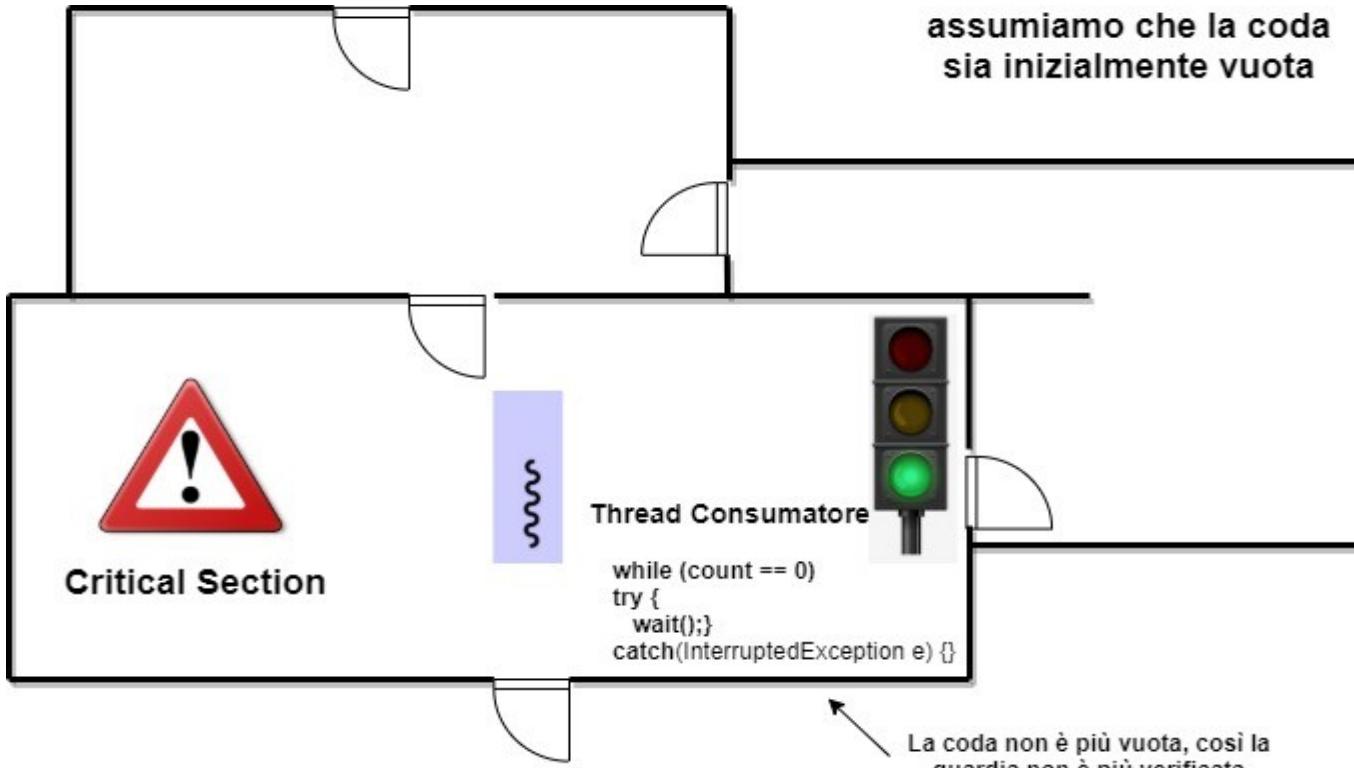
```
public class Producer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++)
        {queue.produce("MSG#" + count + Thread.currentThread());
        .....
    }
}
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            ...
        }
    }
}
```

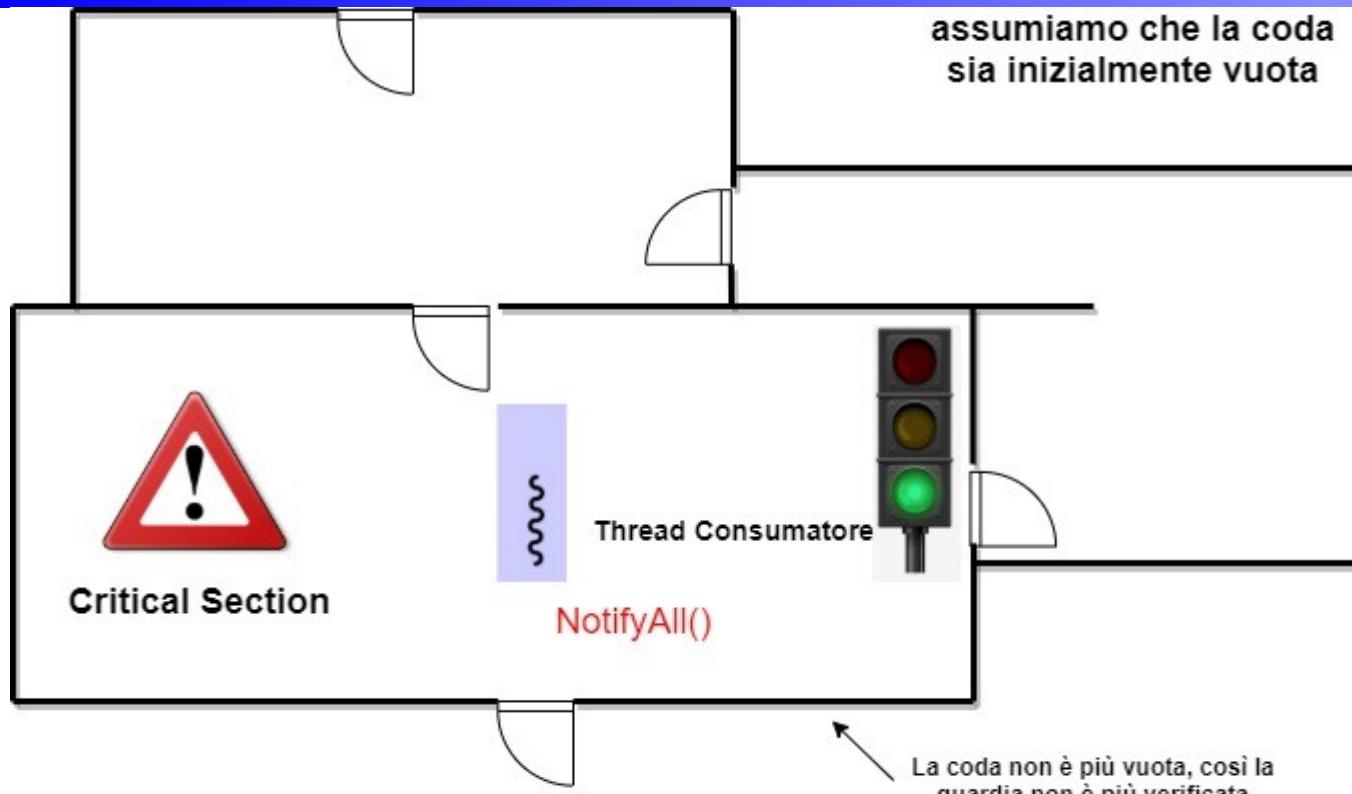
PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



La coda non è più vuota, così la guardia non è più verificata

```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            ....
        }
    }
}
```

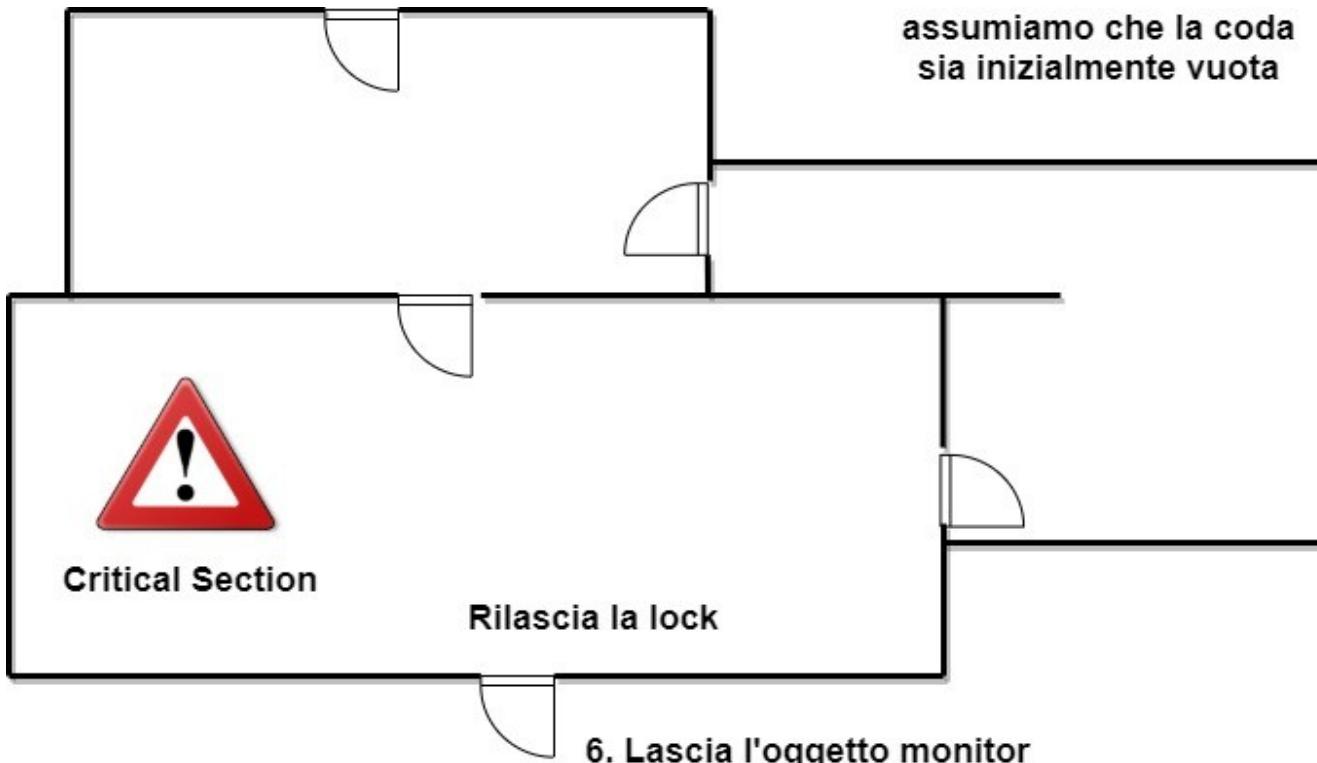
PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



La coda non è più vuota, così la guardia non è più verificata

```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            .... }
    }
}
```

PRODUTTORE CONSUMATORE “ILLUSTRATO”



6. Lascia l'oggetto monitor

```
public class Consumer extends Thread
{
    public void run(){
        for(int i=0;i<10;i++){
            Object o=queue.consume();
            ....
        }
    }
}
```

ASSIGNMENT 3: GESTIONE LABORATORIO

Il laboratorio di Informatica del Polo Marzotto è utilizzato da tre tipi di utenti, studenti, tesisti e professori ed ogni utente deve fare una richiesta al tutor per accedere al laboratorio. I computers del laboratorio sono numerati da 1 a 20. Le richieste di accesso sono diverse a seconda del tipo dell'utente:

- a) i professori accedono in modo esclusivo a tutto il laboratorio, poichè hanno necessità di utilizzare tutti i computers per effettuare prove in rete.
- b) i tesisti richiedono l'uso esclusivo di un solo computer, identificato dall'indice i , poichè su quel computer è installato un particolare software necessario per lo sviluppo della tesi.
- c) gli studenti richiedono l'uso esclusivo di un qualsiasi computer.

I professori hanno priorità su tutti nell'accesso al laboratorio, i tesisti hanno priorità sugli studenti.

Nessuno però può essere interrotto mentre sta usando un computer (prosegue nella pagina successiva)

ASSIGNMENT 3: GESTIONE LABORATORIO

Scrivere un programma JAVA che simuli il comportamento degli utenti e del tutor. Il programma riceve in ingresso il numero di studenti, tesisti e professori che utilizzano il laboratorio ed attiva un thread per ogni utente. Ogni utente accede k volte al laboratorio, con k generato casualmente. Simulare l'intervallo di tempo che intercorre tra un accesso ed il successivo e l'intervallo di permanenza in laboratorio mediante il metodo sleep della classe Thread. Il tutor deve coordinare gli accessi al laboratorio. Il programma deve terminare quando tutti gli utenti hanno completato i loro accessi al laboratorio.

Simulare gli utenti con dei thread e incapsulare la logica di gestione del laboratorio all'interno di un monitor.

