Università degli Studi dell'Insubria
Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate

Programmazione Concorrente e Distribuita
Thread e MultiThread
parte B

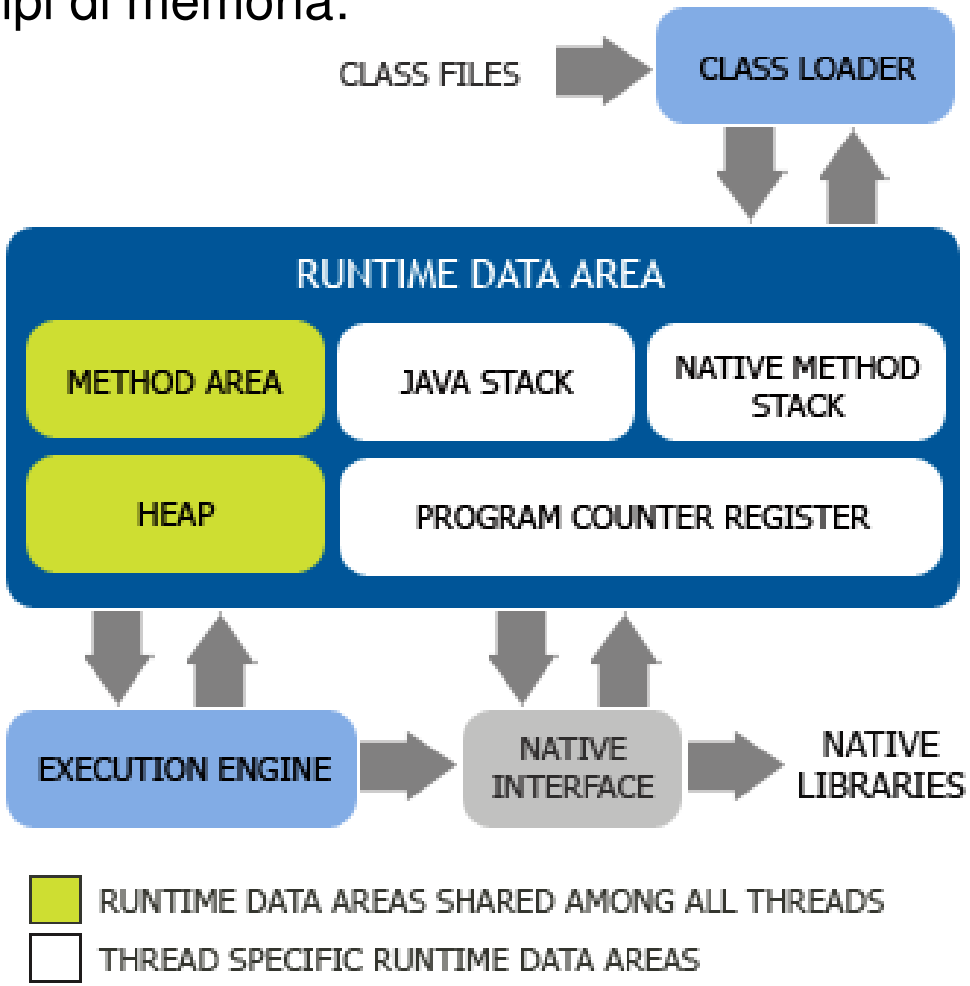
Luigi Lavazza
Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate
luigi.lavazza@uninsubria.it

Modello di Esecuzione Semplificato

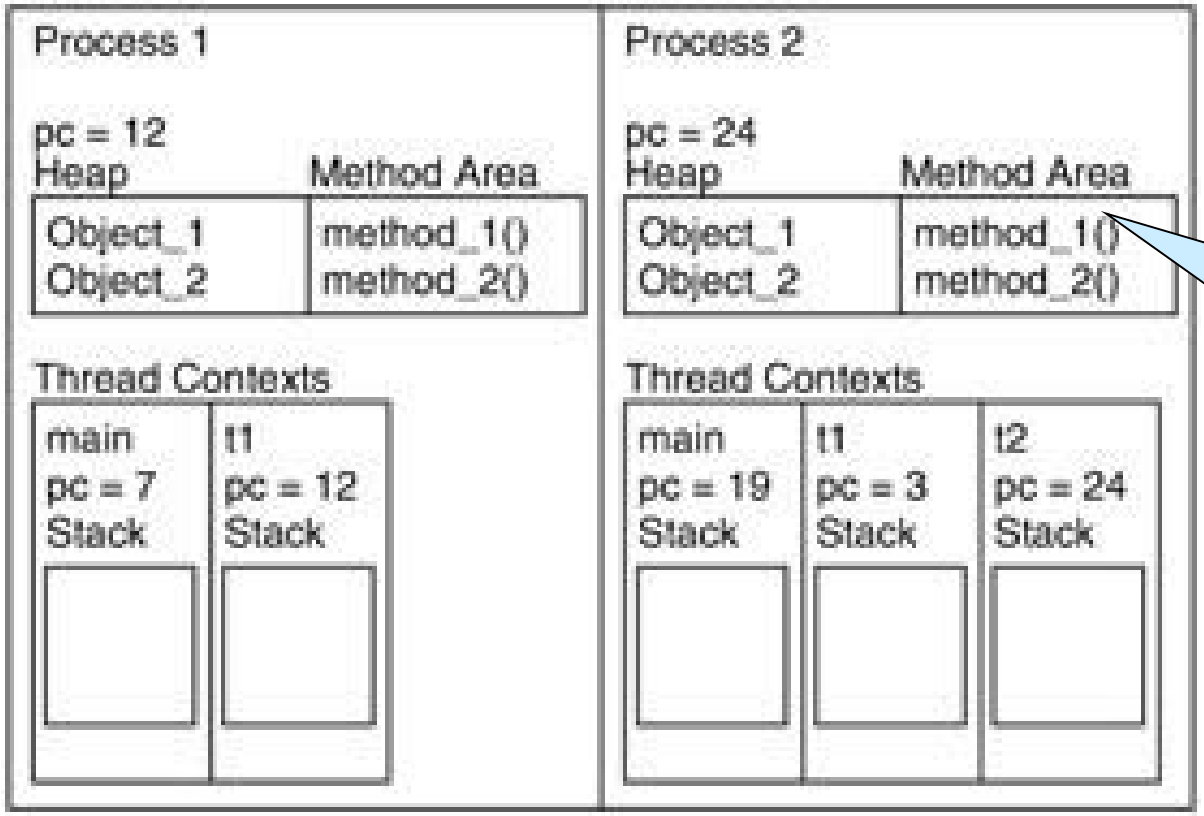
- Come un programma viene istanziato ed eseguito su un computer è un argomento complesso
- Per gli scopi di questo corso, il comportamento di base di programmi concorrenti può essere spiegato usando un'architettura di computer semplificata
- Svilupperemo un modello per spiegare il comportamento dei programmi concorrenti

Modello di Memoria Semplificato (SMM)

- Il modello di memoria semplificato utilizzato dalla Macchina Virtuale Semplificata (SVM) utilizza diversi tipi di memoria:
  - heap: utilizzato per memorizzare tutti gli oggetti e i loro dati
  - method area: contiene le definizioni delle classi e le istruzioni compilate
  - program context: informazioni uniche per ogni thread, come le stack e il program counter (PC)



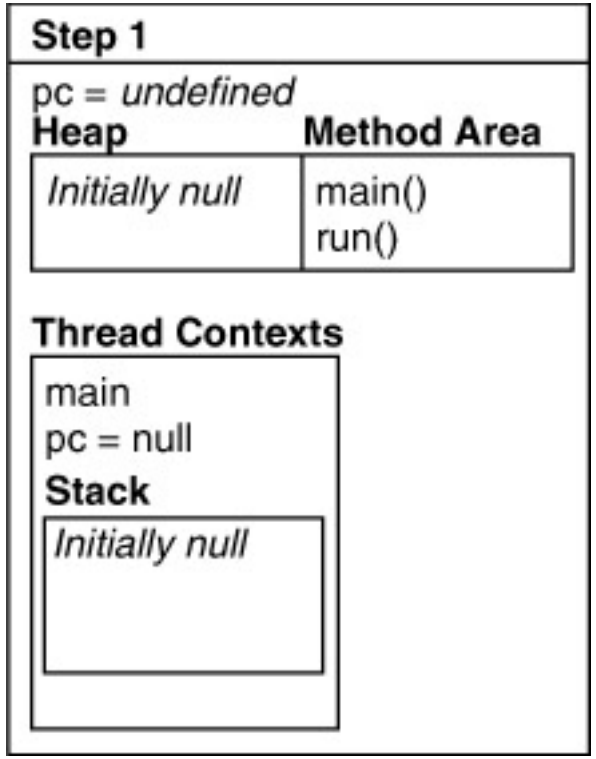
Modello di Memoria Semplificato



- La figura mostra la SMM di un computer che esegue due processi,
  - il primo con thread main e t1
  - il secondo con thread main, t1 e t2

SMM durante l'esecuzione di un programma single thread

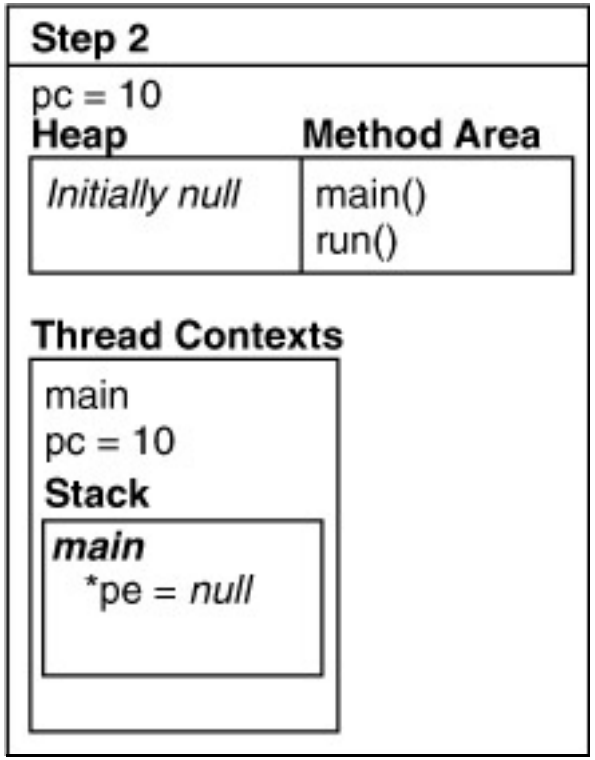
```
1  public class PExec {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    PExec pe = new PExec ( ) ;
11    pe.run();
12    return;
13   }
14  }
```



- La SVM crea lo heap e il thread context.
- Crea anche la method area e ci carica i metodi per la classe PExec.
- Infine, crea il PC con valore per il momento non definito.

SMM durante l'esecuzione di un programma single thread

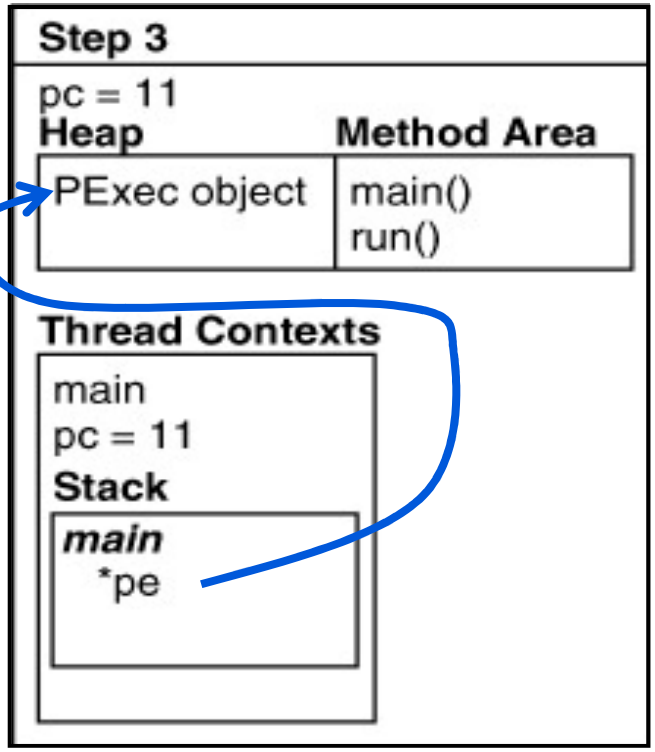
```
1  public class PExec {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     PExec pe = new PExec ( ) ;
11     pe.run();
12     return;
13   }
14 }
```



- La SVM inserisce un activation record per il metodo main nello stack.
  - Contenente un riferimento all'oggetto PExec.
- La SVM assegna la linea 10 al process PC e al thread PC (la prima riga eseguibile nel metodo main)

SMM durante l'esecuzione di un programma single thread

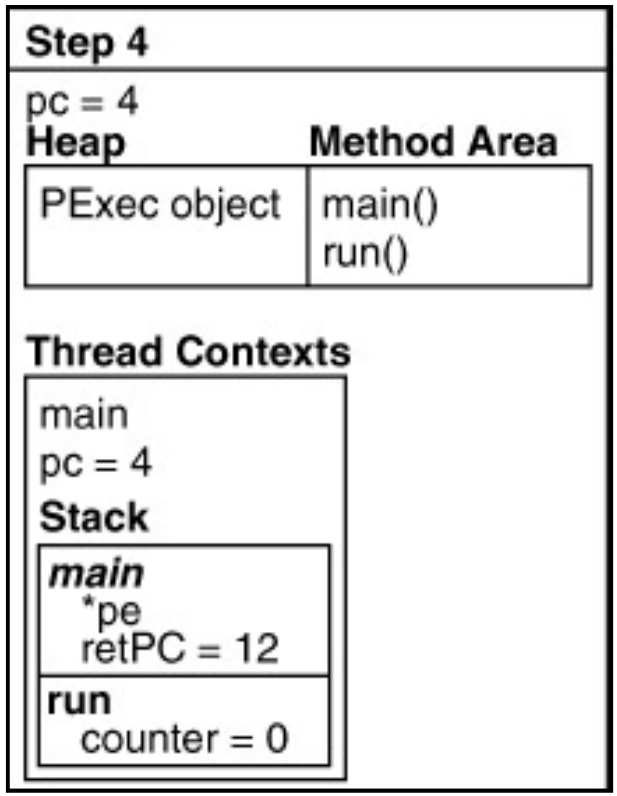
```
1  public class PExec {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    PExec pe = new PExec ( ) ;
11    pe.run();
12    return;
13   }
14  }
```



- La SVM esegue la riga 10, che crea una istanza della classe PExec nello heap.
- Quindi l'SVM aggiorna il PC, che indica la riga seguente, cioè la 11.

SMM durante l'esecuzione di un programma single thread

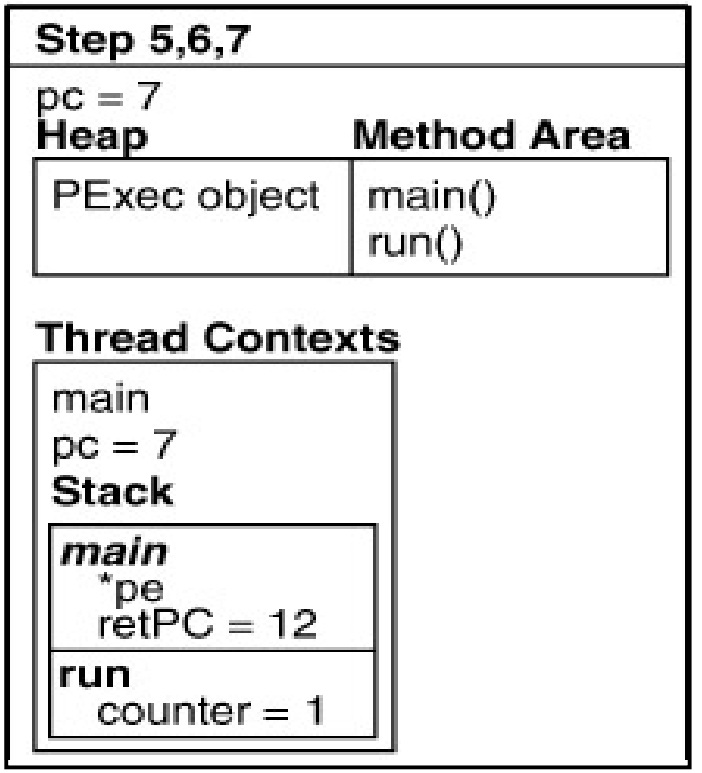
```
1  public class PExec {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    PExec pe = new PExec ( ) ;
11    pe.run();
12    return;
13   }
14  }
```



- La SVM chiama il metodo run.
  - Il PC della riga successiva viene memorizzato sulla pila in retPC.
- La SVM crea quindi un nuovo activation record per il metodo run, contenente la variabile locale counter, già inizializzata a zero.
- Infine, aggiorna il PC, che diventa 4 (indirizzo prima istruzione di run).

SMM durante l'esecuzione di un programma single thread

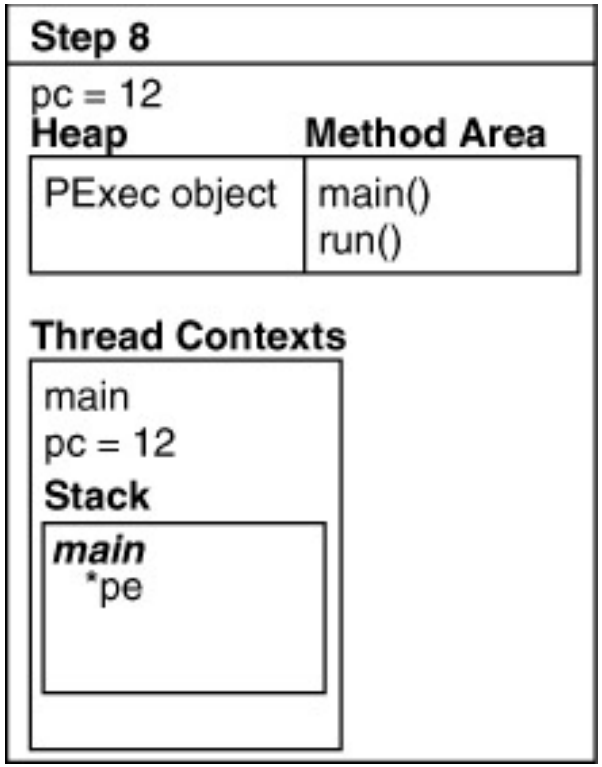
```
1  public class PExec {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    PExec pe = new PExec ( ) ;
11    pe.run();
12    return;
13   }
14  }
```



- Negli step 5, 6 e 7, la SVM esegue le righe da 4 a 6 comprese
  - stampa la variabile counter, l'incrementa e la stampa nuovamente.
- Alla fine il PC punta alla linea 7, e counter vale 1.

SMM durante l'esecuzione di un programma single thread

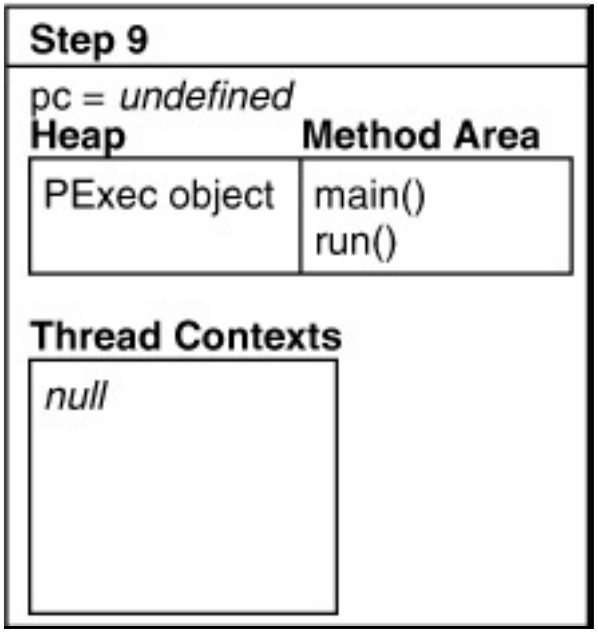
```
1  public class PExec {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    PExec pe = new PExec ( ) ;
11    pe.run();
12    return;
13   }
14  }
```



- La SVM esegue il return. Questo causa l'eliminazione dell'activation record del metodo run dallo stack, e al PC viene assegnato il valore di retPC.

SMM durante l'esecuzione di un programma single thread

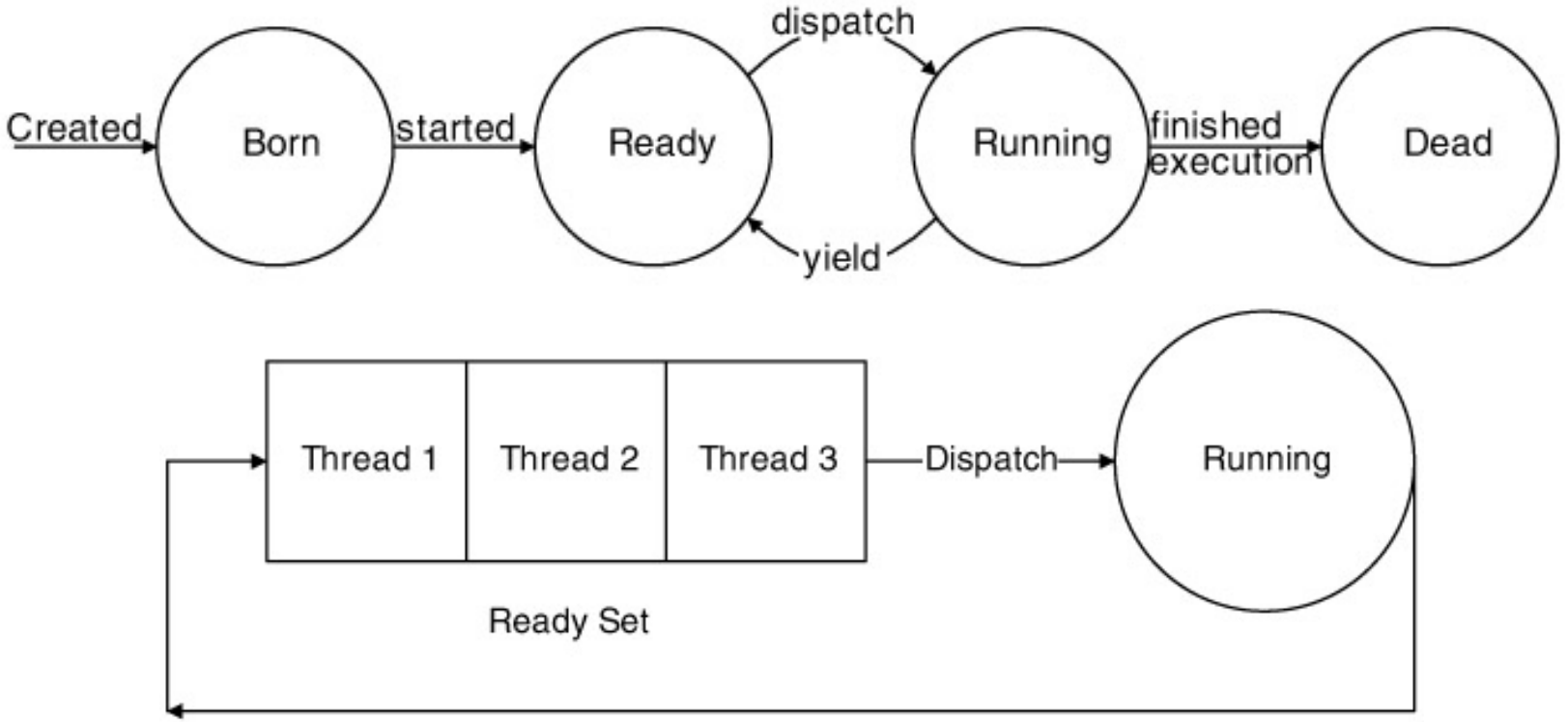
```
1  public class PExec {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    PExec pe = new PExec ( ) ;
11    pe.run();
12    return;
13   }
14  }
```



- Il metodo main esegue il return, e anche l'activation record del metodo main viene eliminato dallo stack.
  - Il riferimento all'oggetto PExec viene cancellato, ma l'oggetto stesso no: verrà eliminato in seguito dal garbage collector.

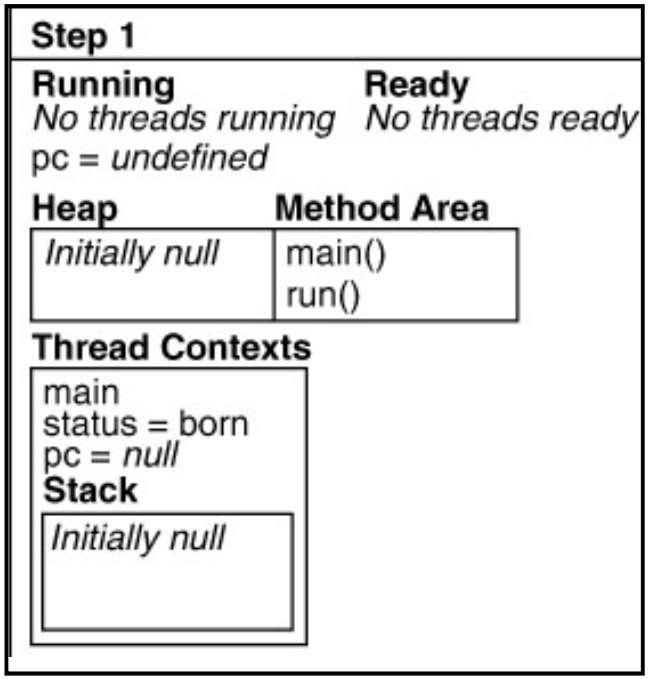
SVM Thread States

- Poiché un programma concorrente ha più thread, ognuno con il suo contesto e PC, la SVM deve scegliere quale thread mandare in esecuzione.
- La decisione su quale Thread mandare in esecuzione dipende da molti fattori. . .



SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

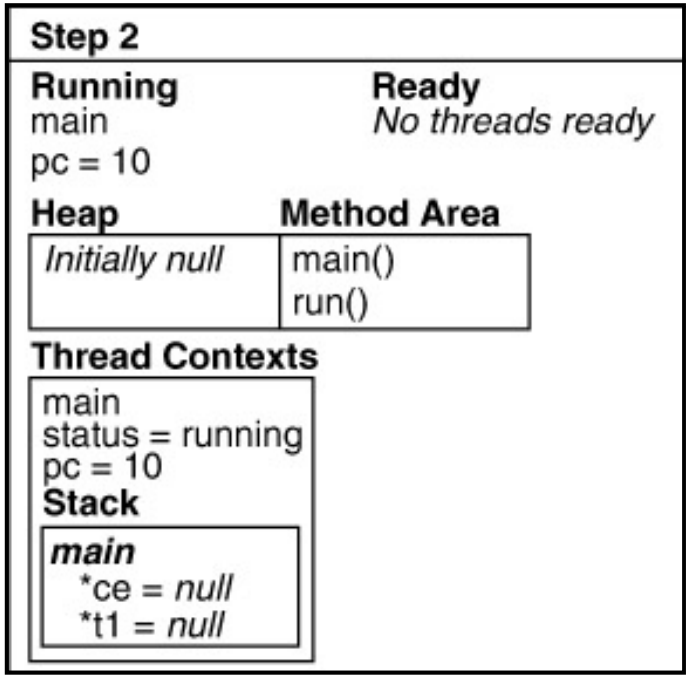
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
16 }
```



- La SVM crea lo heap e il thread context.
- Crea anche la method area e ci carica i metodi per la classe CExec.
- Infine, crea il PC, con valore per il momento non definito

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

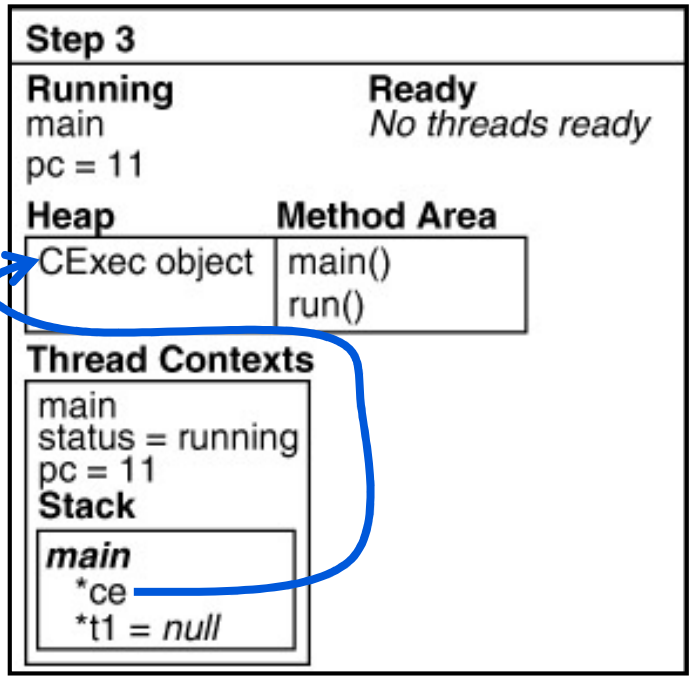
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
16 }
```



- La SVM inserisce un activation record per il metodo main nello stack, contenente un riferimento per l'oggetto ce e uno per il thread t1
- La SVM assegna la linea 10 al process PC e al thread PC (la prima riga eseguibile nel metodo main)

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

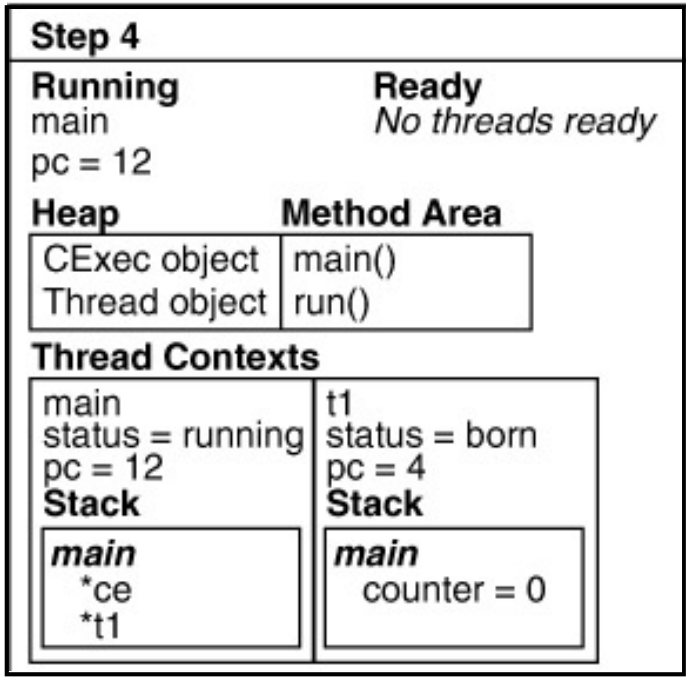
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
16 }
```



- La SVM esegue la riga 10, che crea una istanza della classe PExec nello heap (il riferimento nell'area di attivazione viene aggiornato)
- Il PC diventa 11

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

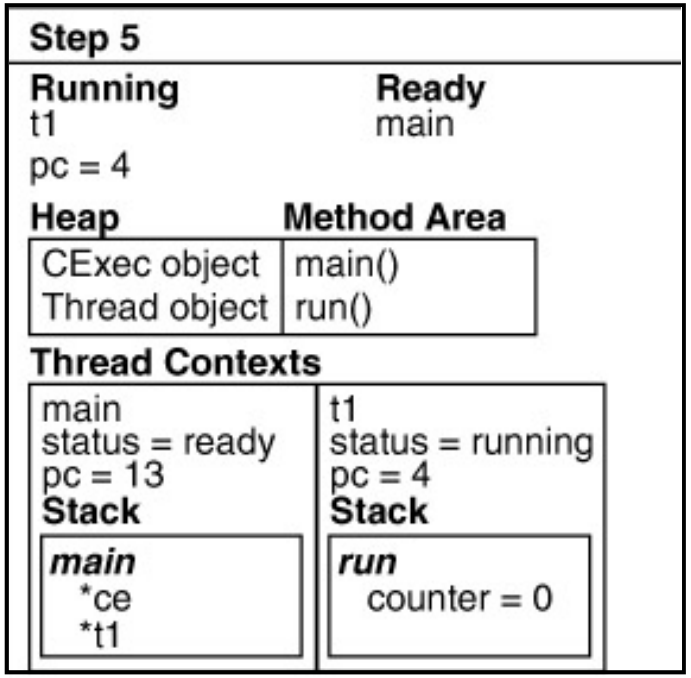
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
16 }
```



- La SVM esegue la linea 11, creando
  - un'istanza del Thread nello heap (e aggiornando il riferimento nel record di attivazione)
  - un nuovo context per il thread (status = born), completo di record di attivazione per il metodo run.
- Il PC viene incrementato a 12

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

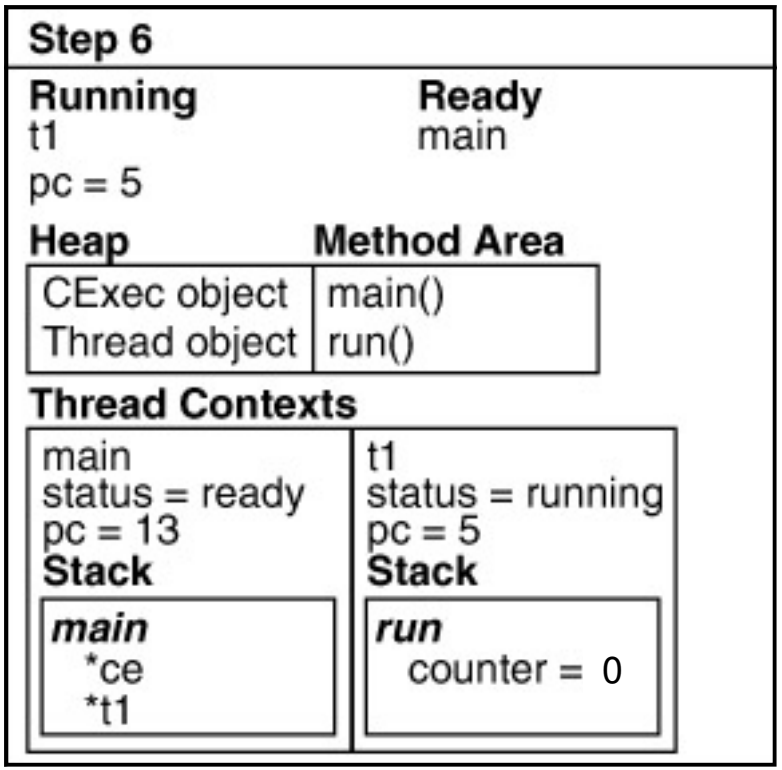
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
16 }
```



- La SVM esegue la linea 12: il thread t1 diventa ready.
  - Quindi si possono eseguire sia main sia t1.
- Lo scheduler sceglie il thread t1, con conseguente context switch dal thread main a t1.
  - Il PC di processo assume il valore del PC del thread t1

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

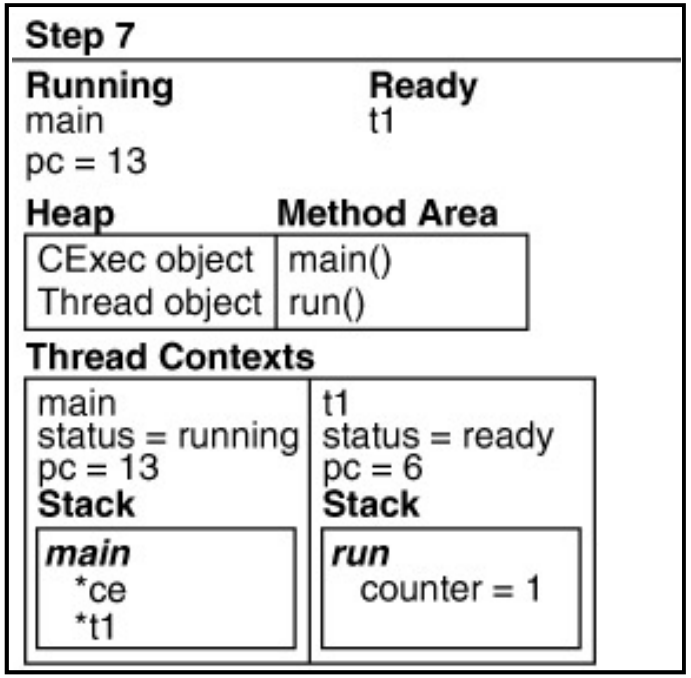
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
16 }
```



- Viene eseguita l'istruzione 4 del thread t1.
- L'SVM deve nuovamente scegliere quale thread eseguire e sceglie ancora t1

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

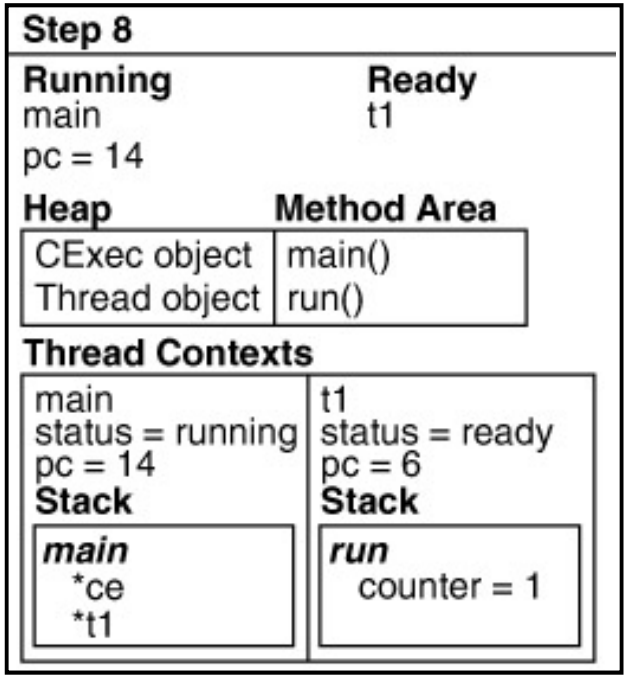
```
1  public class CExec implements Runnable {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    CExec ce = new CExec ( ) ;
11    Thread t1 = new Thread(ce);
12    t1.start();
13    System.out.println("In main");
14    return;
15   }
16 }
```



- Viene eseguita la linea 5: counter viene incrementato nel record di attivazione di run.
- La SVM adesso sceglie di eseguire il thread main ed esegue quindi un nuovo context switch.
  - Il PC di processo diventa = al PC di main, che vale 13

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

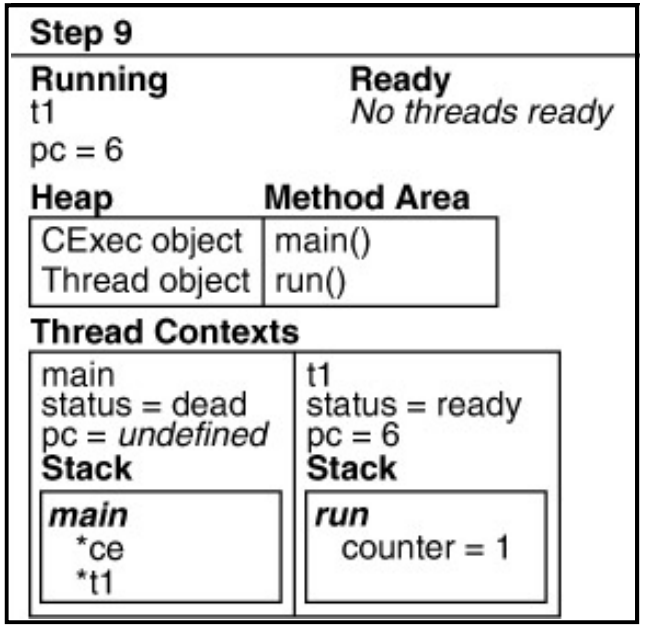
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
16 }
```



- Viene eseguita la linea 13.
- L'SVM sceglie di continuare con il thread main, aggiornando il PC alla linea 14.

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

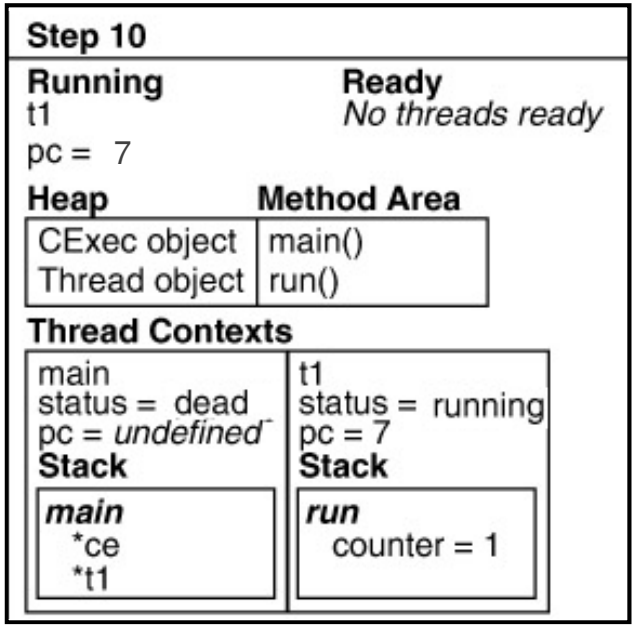
```
1  public class CExec implements Runnable {
2   public void run ( ) {
3    int counter = 0;
4    System.out.println("In run, counter= " + counter);
5    counter++;
6    System.out.println("In run, counter= " + counter);
7    return;
8   }
9   public static void main (String args[]) {
10    CExec ce = new CExec ( ) ;
11    Thread t1 = new Thread(ce);
12    t1.start();
13    System.out.println("In main");
14    return;
15   }
16 }
```



- Eseguendo la linea 14 il thread main viene completato e passa nello stato dead ma non può terminare.
  - È il parent thread di t1, e deve quindi esistere fino a quando t1 non diventa dead (questo vale in generale per tutti i thread figli non deamon).
- Si ritorna ad eseguire t1, che è l'unico thread ready.
  - Il process PC diventa uguale al PC di t1

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

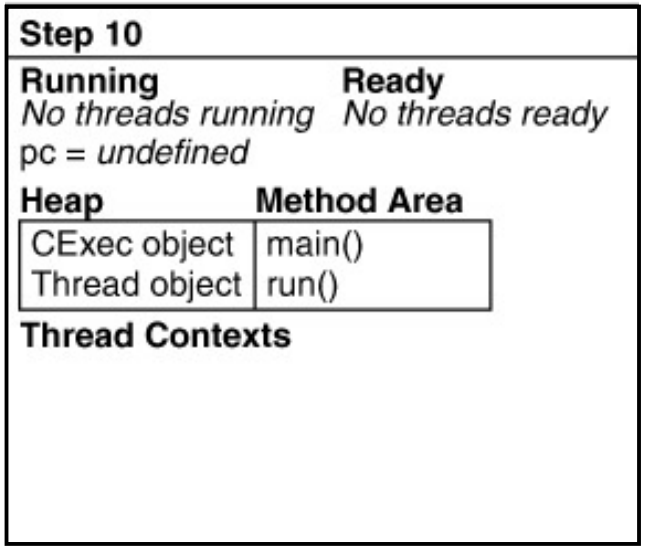
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
14     return;
15   }
1 6
```



- Viene eseguita la linea 6 del thread t1.
- La SVM continua ad eseguire il thread t1, aggiornando il PC.

SMM durante l'esecuzione di un programma multithread

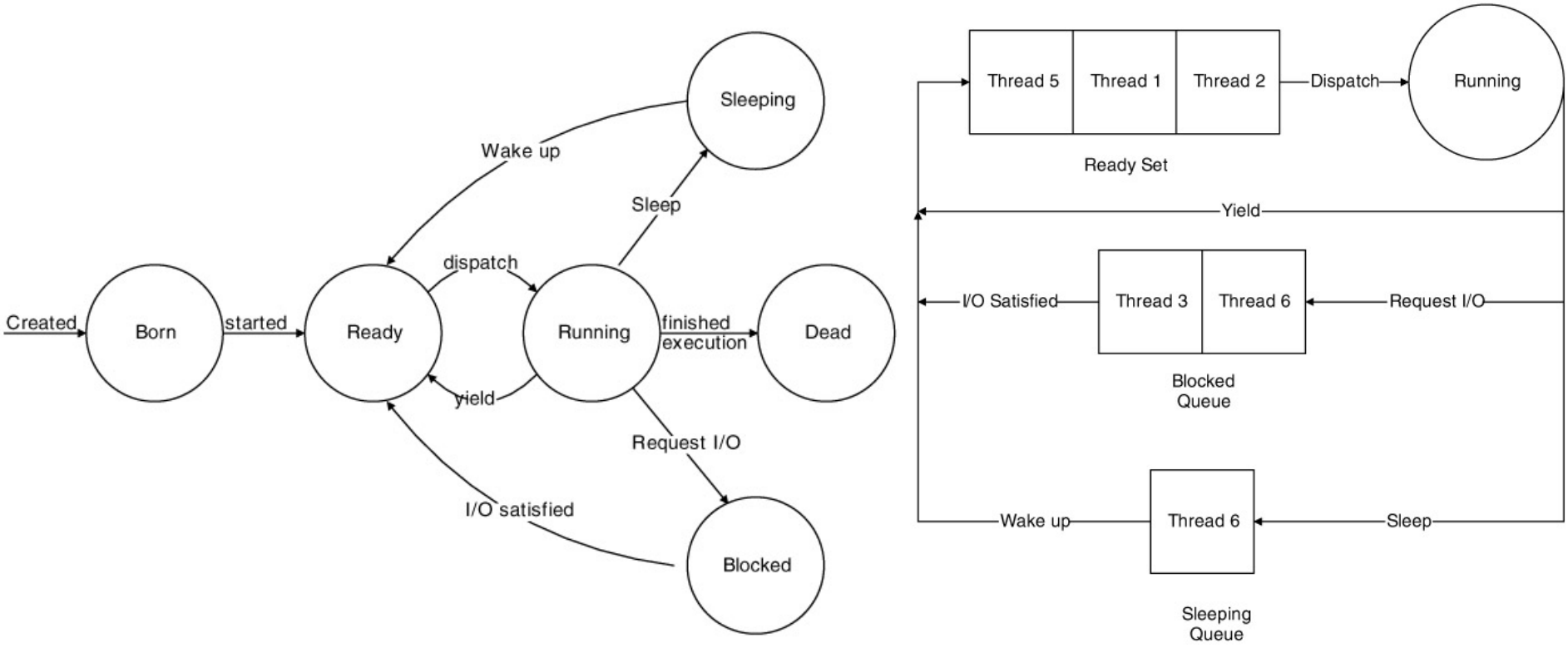
```
1  public class CExec implements Runnable {
2    public void run ( ) {
3      int counter = 0;
4      System.out.println("In run, counter= " + counter);
5      counter++;
6      System.out.println("In run, counter= " + counter);
7      return;
8    }
9    public static void main (String args[]) {
10     CExec ce = new CExec ( ) ;
11     Thread t1 = new Thread(ce);
12     t1.start();
13     System.out.println("In main");
12     return;
13   }
14 }
```



- L'esecuzione della linea 7 completa il thread t1 cambiando il suo stato a dead.
- Il thread main adesso non ha altri children, e il suo context viene cancellato. Il programma può terminare.

Sleeping and Blocking

- Il modello visto è sufficiente a spiegare un programma in cui tutti i thread sono sempre ready o running.
- Spesso un thread può essere sospeso per un certo periodo di tempo (ad es. dopo **`Thread.Sleep`** o per un I/O), in questo caso, il thread assume lo stato di sleeping o blocked.



Far partire i thread: `start()`

- Una chiamata `t.start()` rende il thread `t` pronto all'esecuzione.
- Il controllo ritorna al chiamante
- Prima o poi (quando lo scheduler lo riterrà opportuno) verrà invocato il metodo `run()` del thread `t`
- I due thread saranno eseguiti in modo concorrente ed indipendente

- Importante
  - L'ordine con cui ogni thread eseguirà le proprie istruzioni è noto, ma l'ordine in cui le istruzioni dei vari thread saranno eseguite effettivamente è indeterminato (nondeterminismo).

Un esempio di programma concorrente

- Che tipo di output produrrà questo esempio? E perché?

```
public class NondeterminismExample extends Thread{
  final static int numIterations=10;
  public void run() {
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
      System.out.println("Nuovo thread");
    }
  }
  public static void main(String args []) {
    NondeterminismExample t=new NondeterminismExample();
    t.start();
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
       System.out.println("Main");
    }
  }
}
```

Un esempio di programma concorrente

- Che tipo di output produrrà questo esempio?

```
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
```

Se dopo t.start() esegue main

Se dopo t.start() esegue il thread t

```
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
```

Sleep

- Se vogliamo essere sicuri che dopo t.start() inizi ad eseguire il task t, un modo sicuro consiste nel mandare in sleep il main:

```
public class NondeterminismExample extends Thread{
  final static int numIterations=5;
  public void run() {
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
      System.out.println("Nuovo thread");
    }
  }
  public static void main(String args []) {
    NondeterminismExample t=new NondeterminismExample();
    t.start();
    try { Thread.sleep(1);
    } catch (InterruptedException e) {  }
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
      System.out.println("Main");
    }
  }
}
```

Output

- Naturalmente, nulla vieta che succeda questo:

```
Nuovo thread
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Main
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
Nuovo thread
```

Fare una pausa: `sleep()`

```
public static native void sleep (long msToSleep)
    throws InterruptedException
```

- Il metodo **`sleep()`**
  - Non utilizza cicli del processore
  - è un metodo statico e mette in pausa il thread corrente
    - non è possibile per un thread mettere in pausa un altro thread
  - mentre un thread è in sleep può essere interrotto (via **`Interrupt`**) da un altro thread in tal caso viene sollevata un'eccezione **`InterruptedException`**, quindi **`sleep()`** va eseguito in un blocco **`try/catch`** (oppure il metodo che lo esegue deve dichiarare di sollevare tale eccezione)
    - **`Interrupt`** dovrebbe essere usata con **`wait`**, non con **`sleep`**.

Un esempio di programma concorrente con `sleep()`

```
public class ExampleWithSleeps extends Thread{
  final static int numIterations=10;
  public void run() {
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
      System.out.println("Nuovo thread");
      try {
        Thread.sleep(300);
      } catch (InterruptedException e) {  }
    }
  }
  public static void main(String args []) {
    ExampleWithSleeps t=new ExampleWithSleeps();
    t.start();
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
      System.out.println("Main");
      try {
        Thread.sleep(300);
      } catch (InterruptedException e) {  }
    }
  }
}
```

- Che tipo di output produrrà questo esempio? e perché?

Output tipico

```
Main
Nuovo thread
Nuovo thread
Main
Nuovo thread
Main
Nuovo thread
Main
Nuovo thread
Main
Nuovo thread
Main
Nuovo thread
Main
Main
Nuovo thread
Nuovo thread
Main
Nuovo thread
Main
```

Fare una pausa: busy loop?

- Per rallentare l'esecuzione dei due Thread potremmo creare un metodo privato che cicla a vuoto allo scopo di perdere del tempo

```
private void busyLoop() {
  long startTime=System.currentTimeMillis();
  long stopTime=startTime+600000; // 60 seconds in the future
  while(System.currentTimeMillis()<stopTime){
    // do nothing
  }
}
```

- È una buona soluzione?
  - Generalmente no: si sprecano cicli di processore mentre si potrebbero impiegare in qualche attività utile.
  - Inoltre, se ci sono molti thread, è possibile (probabile) che nel momento in cui si raggiunge il momento in cui bisogna uscire dal ciclo, il thread non sia in esecuzione. Con la conseguenza che esce in ritardo, rispetto al momento desiderato.

Il metodo `isAlive()`

- Può essere utilizzato per testare se un thread è “vivo”
- Quando viene chiamato **`start()`** il thread è considerato “alive”
- Il thread è considerato “alive” finche il metodo **`run()`** non ritorna

- Usare **`isAlive()`** per “attendere” un thread?
  - Si potrebbe utilizzare **`isAlive()`** per testare periodicamente se un thread è ancora “vivo”, ma non è efficiente.

- Ad esempio il thread chiamante potrebbe attendere t1:

```
while(t1.isAlive()) {
    Thread.sleep(100) ;
}
```

Esempio: Attendere la terminazione di altri **`Thread`**

```
public class ExampleWithSleeps extends Thread{
  final static int numIterations=10;
  public ExampleWithSleeps(String s) {
    super(s);
  }
  public void run() {
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
    System.out.println("thread "+getName()+" in esec.");
      try {
        Thread.sleep(200);
      } catch (InterruptedException e) {  }
    }
    System.out.println("thread "+getName()+": finito.");
  }
}
```

Esempio: Attendere la terminazione di altri **Thread**

```
public class AliveTestExit {
  public static void main(String args[])throws Exception {
    System.err.println("I thread stanno per partire");
    Thread t1 = new ExampleWithSleeps("t1"); t1.start();
    Thread t2 = new ExampleWithSleeps("t2"); t2.start();
    Thread t3 = new ExampleWithSleeps("t3"); t3.start();
    System.err.println("I thread sono partiti\n");
    System.err.println("chiude l'applicazione");
    System.exit(0); //chiude l'applicazione in ogni caso
  }
}
```

```
I thread stanno per partire
thread t1 in esec.I thread sono partiti

thread t3 in esec.

chiude l'applicazione
```

Attenzione
L'applicazione esce prima della terminazione dei suoi task

Esempio: Attendere la terminazione di altri Thread

```
public class AliveTestExit {
  public static void main(String args[]) throws Exception
{
    System.err.println("I thread stanno per partire");
    Thread t1 = new ExampleWithSleeps("t1"); t1.start();
    Thread t2 = new ExampleWithSleeps("t2"); t2.start();
    Thread t3 = new ExampleWithSleeps("t3"); t3.start();
    System.err.println("I thread sono partiti\n");
    while (t1.isAlive() || t2.isAlive() || t3.isAlive()){
      Thread.sleep(100);
    }
    System.err.println("chiude l'applicazione");
    System.exit(0); //chiude l'applicazione in ogni caso
  }
}
```

Output

```
I thread stanno per partire
I thread sono partiti

t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t2: finito
t3: finito
t1: finito
chiude l'applicazione
```

Attendere la terminazione: `join()`

- Il metodo **`join()`** attende la terminazione del thread sul quale è richiamato
- Il thread che esegue **`join()`** rimane così bloccato in attesa della terminazione dell'altro thread
- Il metodo **`join()`** può lanciare una **`InterruptedException`**

applicazione

Attendere la terminazione: `join()`

```
public class JoinWaitExit {
  public static void main(String args[]) {
    System.err.println("I thread stanno per partire");
    Thread t1 = new ExampleWithSleeps("t1"); t1.start();
    Thread t2 = new ExampleWithSleeps("t2"); t2.start();
    Thread t3 = new ExampleWithSleeps("t3"); t3.start();
    System.err.println("I thread sono partiti\n");
    try {
      t1.join();
      t2.join();
      t3.join();
    } catch (InterruptedException e) { }
    System.err.println("chiude l'applicazione");
    System.exit(0); //chiude l'applicazione in ogni caso
  }
}
```

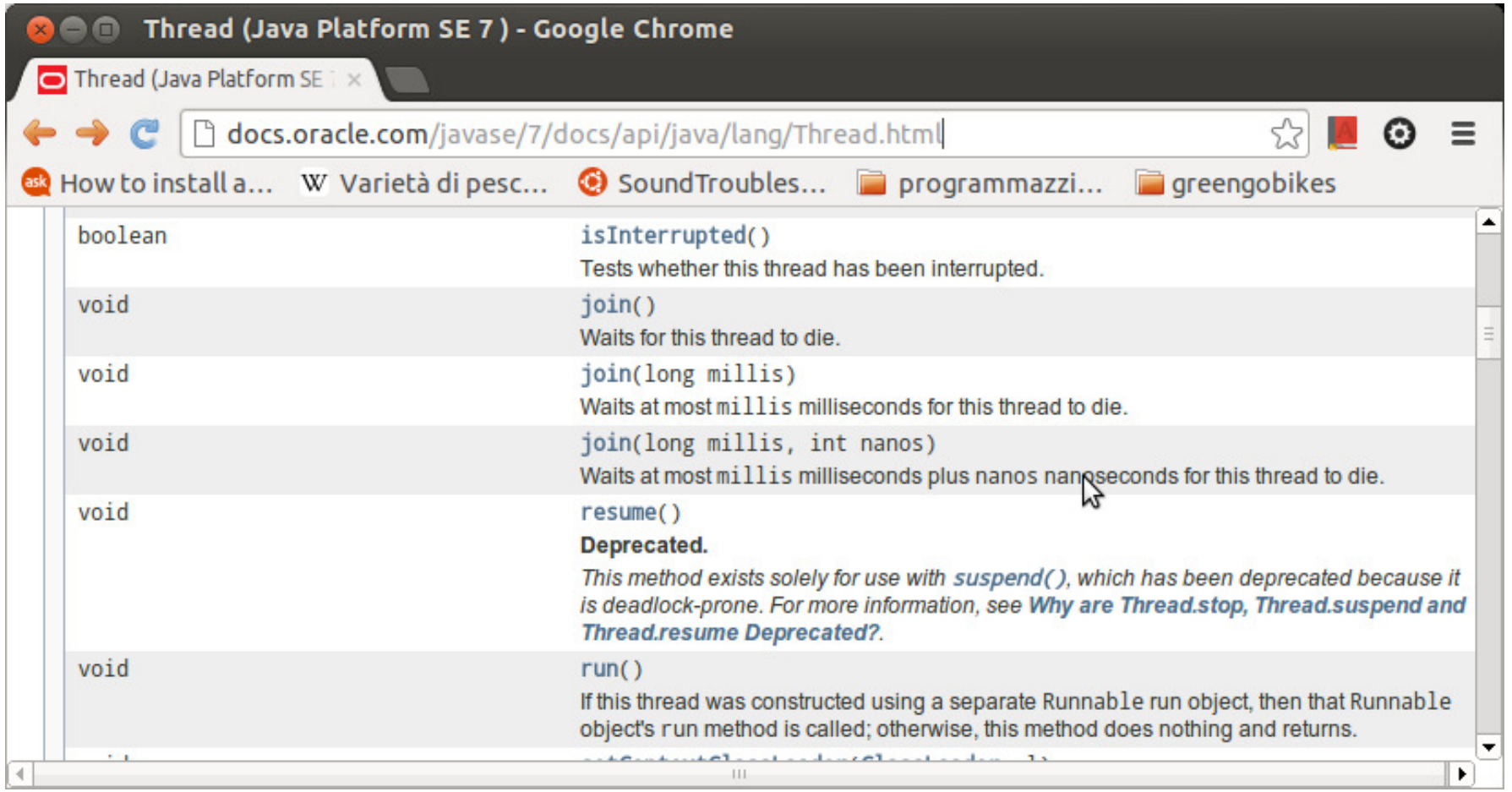
Output

```
I thread stanno per partire
I thread sono partiti

t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t1: in esecuzione.
t2: in esecuzione.
t3: in esecuzione.
t1: finito
t3: finito
t2: finito
chiude l'applicazione
```

Attendere la terminazione: `join()`

- Il metodo `join()` può essere chiamato con diversi parametri.
- Vedi JavaDoc...



How to Stop a Thread?

- Java è stato concepito fin dall'inizio come un linguaggio multi-thread. Purtroppo, i progettisti di Java non sono riusciti nel loro tentativo di fornire un mezzo sicuro ed efficace per fermare un thread dopo il suo avvio.
- La classe **`java.lang.Thread`** originale include i metodi, **`start()`**, **`stop()`**, **`stop(Throwable)`**, **`suspend()`**, **`destroy()`** e **`resume()`**, che avevano lo scopo di fornire le funzionalità di base per l'avvio e l'arresto di un thread.
- Di questi solo il metodo **`start()`** non è stato deprecato.

- Come fermare un thread è una questione ricorrente per i programmatori Java
  - Con il rilascio di Java V5.0 (o V1.5), la risposta definitiva è "un thread si interrompe utilizzando **`interrupt()`**".

Terminare un thread: `interrupt()`

- Il metodo **`interrupt()`** setta un flag di interruzione nel thread di destinazione e ritorna.
- Il thread che riceve l'interruzione non viene effettivamente interrotto (quindi al ritorno di **`interrupt()`** non si può assumere che il thread sia stato effettivamente interrotto).
- Il thread può controllare se tale flag è settato e nel caso uscire (dal **`run()`**)
- I metodi che mettono in pausa (**`sleep`**, **`join`**, ...) un thread controllano il flag di interruzione prima e durante lo stato di pausa
- Se tale flag risulta settato, allora lanciano un eccezione **`InterruptedException`** (e resettano il flag)
- Il thread che era stato interrotto intercetta l'eccezione e "dovrebbe" terminare l'esecuzione
  - Il fatto che il thread termini o no dipende da cosa viene scritto nel codice che gestisce l'eccezione.

Esempio: Interrompere i Thread con `interrupt()`

```
public class JoinWaitExit {
  public static void main(String args[]) {
    System.err.println("I thread stanno per partire");
    Thread t1 = new ExampleWithSleeps("t1"); t1.start();
    Thread t2 = new ExampleWithSleeps("t2"); t2.start();
    Thread t3 = new ExampleWithSleeps("t3"); t3.start();
    System.err.println("I thread sono partiti\n");
    t1.interrupt();
    t2.interrupt();
    t3.interrupt();
    try {
      t1.join();
      t2.join();
      t3.join();
    } catch (InterruptedException e) { }
    System.err.println("chiude l'applicazione");
    System.exit(0); //chiude l'applicazione in ogni caso
  }
}
```

Output:
Come prima! Perché l'eccezione **`InterruptedException`** non è gestita.

Esempio: Attendere la terminazione di altri Thread

```
public class ExampleWithSleeps extends Thread{
  final static int numIterations=10;
  public ExampleWithSleeps(String s) {
    super(s);
  }
  public void run() {
    for(int i=0; i<numIterations; i++) {
      System.out.println("thread "+getName()+" in esec.");
      try {
        Thread.sleep(200);
      } catch (InterruptedException e) {
        System.err.println(getName() + ": interrotto");
        break;
      }
    }
    System.out.println("thread "+getName()+": finito.");
  }
}
```

Gestisce l'interruzione uscendo dal loop e quindi terminando

Esempio: Interrompere i Thread con `interrupt()`

```
public class JoinWaitExit {
  public static void main(String args[]) {
    System.err.println("I thread stanno per partire");
    Thread t1 = new ExampleWithSleeps("t1"); t1.start();
    Thread t2 = new ExampleWithSleeps("t2"); t2.start();
    Thread t3 = new ExampleWithSleeps("t3"); t3.start();
    System.err.println("I thread sono partiti\n");
    t1.interrupt();
    t2.interrupt();
    t3.interrupt();
    try {
      t1.join();
      t2.join();
      t3.join();
    } catch (InterruptedException e) { }
    System.err.println("chiude l'applicazione");
    System.exit(0); //chiude l'applicazione in ogni caso
  }
}
```

Cosa succede, adesso che gli interrupt sono gestiti dal thread che li riceve?

Esempio: Interrompere i Thread con `interrupt()`

Nuovo output

```
I thread stanno per partire
I thread sono partiti
thread t1 in esec.

thread t3 in esec.
thread t2 in esec.
t1: interrotto
t3: interrottothread t1: finito.

t2: interrottothread t3: finito.

thread t2: finito.
chiude l'applicazione
```

Problemi con `interrupt()`

- Il metodo **`interrupt()`** non funziona se il thread “interrotto” non esegue mai metodi di attesa (sleep, join, ...)
- Ad es. se un thread si occupa di effettuare calcoli in memoria, non potrà essere interrotto in questo modo
- I thread devono cooperare, ad esempio controllando periodicamente il loro stato di “interruzione”:
  - **`isInterrupted()`** controlla il flag di interruzione senza resettarlo
  - **`Thread.interrupted()`** controlla il flag di interruzione del thread corrente e se settato lo resetta

Thread che controlla la ricezione di interrupt

```
public void run(){
  boolean interrupted=false;
  while(condizione){
      // esegue un'operazione complessa
      if (Thread.interrupted()){
         interrupted=true;
         break;
      }
  }
  if(interrupted) {
     // gestisce l'interruzione
  }
}
```

Collaborazione: `Thread.yield()`

- La chiamata al metodo statico **`Thread.yield( )`** è un suggerimento per il thread che dice,

  Ho fatto una parte importante del mio lavoro e questo sarebbe un buon momento per passare a un altro thread per un po'
- Permette ad un thread di lasciare volontariamente il processore ad un altro thread
- Utile nel caso di un thread che non esegue spesso operazioni che lo mettano in attesa

Collaborazione: `Thread.yield()`

- Con **`yield()`** si cede il controllo allo scheduler, che sceglierà un altro thread (se esiste) da mandare in esecuzione al posto di quello che ha fatto **`yield()`**.
- Quando usare **`yield()`**?
  - Quando non c'è preemption.
    - Attenzione: se mi dimentico di fare **`yield()`** posso provocare starvation.
  - In casi molto particolari.
    - Ad es. quando tutto il programma è concepito in modo da rendere naturale l'uso di **`yield()`**
- Ci sono alternative che possono essere preferibili in vari casi
  - se siete interessati a "usare solo parte della CPU", potete ad esempio stimare la quantità di CPU che il thread ha utilizzato nel suo ultimo blocco di elaborazione, quindi chiamare **`sleep()`** per una certa quantità di tempo per compensare

Esempio completo con `Thread.yield()`

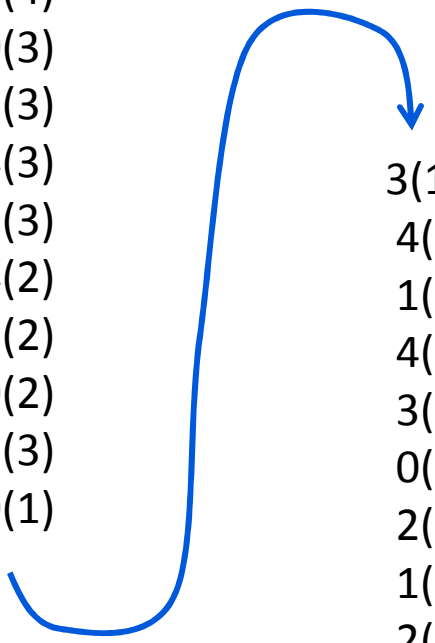
```
public class Decollo implements Runnable {
  protected int countDown = 10;
  private static int taskCount = 0;
  private final int id = taskCount++;
  public String status () {
    return " "+id+"("+
           (countDown > 0 ? countDown: "Decollo !")+")";
  }
  public void run() {
    while(countDown-- > 0) {
      System.out.println(status());
      Thread.yield();
    }
  }
}
```

Esempio completo con `Thread.yield()`

```
public class YieldExample {
  public static void main(String[] args) {
    for (int i=0; i<5; i++) {
      new Thread (new Decollo()).start();
    }
    System.out.println("In attesa del decollo");
  }
}
```

Esempio completo con `Thread.yield()`

In attesa del decollo
1(4)
4(4)
3(4)
0(4)
2(4)
0(3)
3(3)
4(3)
1(3)
4(2)
3(2)
0(2)
2(3)
0(1)



3(1)
4(1)
1(2)
4(Decollo !)
3(Decollo !)
0(Decollo !)
2(2)
1(1)
2(1)
1(Decollo !)
2(Decollo !)

Nessun thread scrive mai due volte di fila!

Conclusioni

- La programmazione Thread-based in Java implica la comprensione di come creare i thread e come controllarli
- Questo aspetto non è banale, in quanto la presenza di thread produce un comportamento non deterministico nei programmi.
- La comprensione di cosa avviene in memoria durante l'esecuzione di un programma concorrente è molto importante
- Questa lezione introduttiva vi mette in grado di iniziare a creare i vostri primi programmi concorrenti

Riferimenti

- Molte delle informazioni presentate sono presenti
  - nel capitolo 2 di: Creating Components: Object Oriented, Concurrent, and Ditributed Computing in Java by Charles W. Kann
  - nel capitolo ‘Concurrency’ di: Thinking in Java by Bruce Eckel et. Al.