



Il modello Java RMI

SCD

Anno accademico 2015/16
Sistemi Concorrenti e Distribuiti

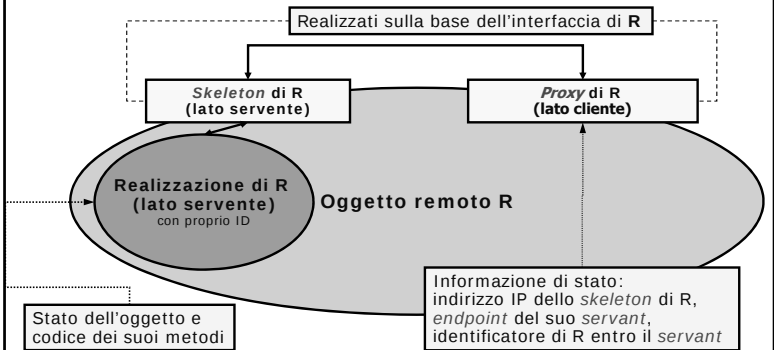
Tullio Vardanega, tullio.vardanega@math.unipd.it

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova1/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 2



Realizzati sulla base dell'interfaccia di R

Skeleton di R (lato servente)

Proxy di R (lato cliente)

Realizzazione di R (lato servente) con proprio ID

Oggetto remoto R

Informazione di stato: indirizzo IP dello skeleton di R, endpoint del suo servant, identificatore di R entro il servant

Stato dell'oggetto e codice dei suoi metodi

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova3/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 1

❑ L'oggetto remoto è l'unità di distribuzione

- L'interfaccia è accessibile a clienti remoti
 - Tramite l'implementazione in un particolare oggetto
- Lo stato risiede sempre su un singolo nodo
 - Presso l'oggetto che implementa l'interfaccia remoto

❑ Ma il modello concreto non riesce a offrire trasparenza totale!

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova2/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 3

❑ Oggetto remoto $\neq$ oggetto locale / I

- **Rispetto alla clonazione: oggetto remoto $\neq$ proxy**
 - Solo il *servant* (servente di oggetto) può clonare un oggetto remoto
 - L'oggetto viene creato nello spazio di indirizzamento del *servant*
 - I *proxy* dell'oggetto remoto originale non vengono clonati con esso
 - Il cliente che volesse utilizzare il clone deve localizzarlo come tale e connettersi esplicitamente con esso
- **Rispetto alla mutua esclusione: i proxy non si coordinano**
 - L'accesso concorrente a metodi di oggetto remoto è sempre intrinsecamente possibile: ogni *proxy* di oggetto remoto garantisce infatti (solo e al più) mutua esclusione ai chiamanti appartenenti al medesimo programma di lato *client*
 - Se il metodo remoto non è protetto da *synchronized* l'esecuzione è esposta a rischio di *data race*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova4/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 4

□ Oggetto remoto ≠ oggetto locale /II

○ Rispetto ai parametri passati ai metodi

- Il tipo dell'oggetto passato come parametro a RMI deve permettere *marshalling* e *unmarshalling* → deve essere di tipo *serializable*
- Quindi no ai tipi dipendenti dall'istanza di JVM (p.es. *Thread*, descrittori di *file*, *socket*) o quelli inerentemente "insicuri" (p.es. *FileInputStream*)

○ Rispetto al passaggio dell'oggetto come parametro

- Oggetto locale → passaggio per valore in modalità *deep copy* (non *by-ref*!)
- Oggetto remoto → per riferimento

□ Un oggetto remoto è indistinguibile da un oggetto locale a meno di queste differenze

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

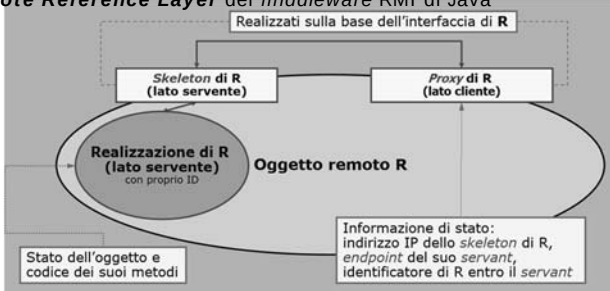
5/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 5

Il *proxy* converte ogni invocazione a un metodo di R in un messaggio di livello *Transport* inviato attraverso una connessione TCP temporanea verso il nodo destinatario (oppure utilizzandone una esistente) identificando l'oggetto remoto con un identificatore unico assegnato dal componente **Remote Reference Layer** del *middleware* RMI di Java



Realizzati sulla base dell'interfaccia di R

Skeleton di R (lato servente)

Proxy di R (lato cliente)

Realizzazione di R (lato servente) con proprio ID

Oggetto remoto R

Stato dell'oggetto e codice dei suoi metodi

Informazione di stato: indirizzo IP dello *skeleton* di R, *endpoint* del suo *servant*, identificatore di R entro il *servant*

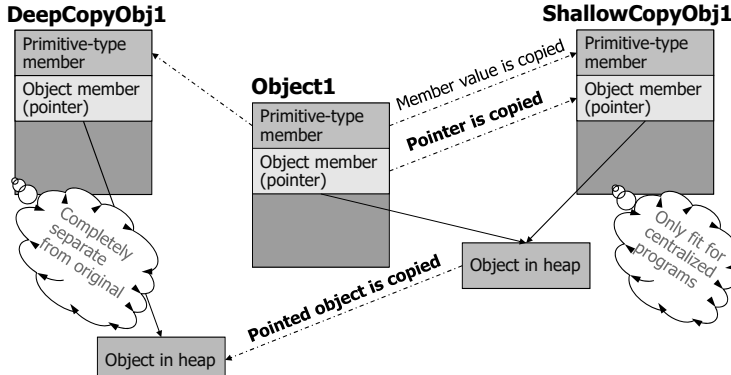
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

7/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Shallow copy vs Deep Copy



DeepCopyObj1

ShallowCopyObj1

Object1

Primitive-type member

Object member (pointer)

Member value is copied

Pointer is copied

Object in heap

Only fit for centralized programs

Pointed object is copied

Completely separate from original

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

6/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 6

□ Riferimento all'oggetto remoto

○ Indirizzo IP del nodo di residenza dello *skeleton*

○ *Endpoint* del servente

- Nel cui spazio di indirizzamento si trova l'oggetto remoto

○ Modalità di comunicazione (*protocol stack*)

- Usato dal *proxy* (chiamato *stub* dallo standard Java)

○ Identificatore locale dell'oggetto nello spazio del servente

- Usato esclusivamente dal lato servente

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

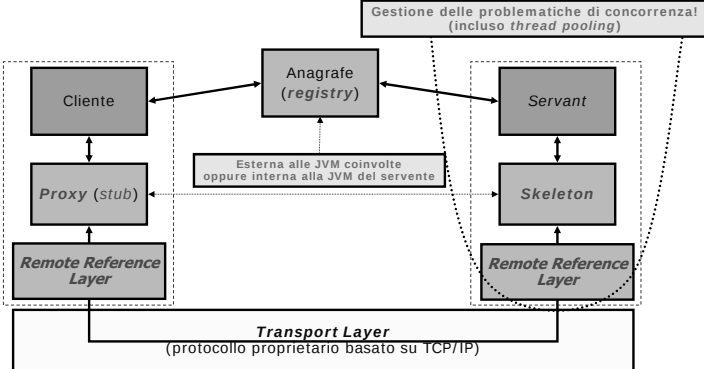
8/35

Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 7



Gestione delle problematiche di concorrenza!
(incluso *thread pooling*)

Esterna alle JVM coinvolte
oppure interna alla JVM del servente

Transport Layer
(protocollo proprietario basato su TCP/IP)

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

9/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 9

❑ Solo per oggetti “serializzabili”

- Non viene trasferito l’oggetto ma solo le informazioni che ne caratterizzano l’istanza così da poterla riprodurre a destinazione
- Passaggio «*by-value*» tramite il `.class` originario → come farlo passare?
 - Gli oggetti parametro sono passati per *deep copy*
- Passaggio «*by reference*» per quelli legati indissolubilmente al nodo di residenza

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

11/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 8

❑ *Proxy* e *skeleton* si fanno carico trasparentemente del *marshalling* e dell’*unmarshalling* tramite meccanismi nativi di “serializzazione”

- `writeObject()` – metodo di `ObjectOutputStream`
- `readObject()` – metodo di `ObjectInputStream`

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

10/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 10

❑ Il *proxy* stesso è serializzabile

- Può essere passato come parametro (per valore) e usato dal ricevente come riferimento all’oggetto remoto
- Poiché tutto esegue su JVM standard non occorre copiare il codice del *proxy* presso il cliente → basta indicare le classi che occorrono per rigenerarlo a destinazione
 - Mobilità **forte** rispetto allo stato
 - Legame **debole** rispetto al codice come risorsa (*binding by value*)

❑ L’uso di RMI consente riproduzione del *proxy* presso il chiamante

- Tramite migrazione di copia del *proxy* presente in registro

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

12/35

UnipD - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Architettura del modello – 11

❑ Il *proxy* riceve la chiamata del cliente

○ La “reifica” (serializzandola)

○ E poi la invia al suo RRL tramite il metodo `invoke()` di `java.rmi.server.RemoteRef`

❑ Lo *skeleton* riceve la chiamata remota come parametro del metodo `dispatch()` invocato dal suo RRL

○ La deserializza

○ E poi la effettua localmente al (riferimento del) *servant*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

13/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

A look under the hood – 2

4. A client obtains the stub by calling the RMI registry

○ If the server specified a “codebase” for clients to obtain the classfile for the stub, that information will also be passed to the client via the registry

○ The client can then use the codebase to resolve the stub class to load the stub classfile

○ All the RMIRegistry does is to hold remote object stubs and hand them off to clients when requested

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

15/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

A look under the hood – 1

1. The servant creates an instance of the remote object which extends *UnicastRemoteObject*

2. The constructor for *UnicastRemoteObject* makes the remote object able and ready to service incoming RMI calls

○ A TCP socket bound to an arbitrary port number is created

○ A thread is also created to listen for connections on that socket

3. The servant registers the remote object with the RMI registry and hands it the corresponding stub (proxy)

○ The stub contains the information needed to “call back” to the servant when it (the stub) is invoked

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

14/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

A look under the hood – 3

5. When the client issues an RMI to the servant the stub class creates a “RemoteCall”

○ This opens a socket to the servant on the port specified in the stub and sends the RMI header information to it

6. The stub class marshals the arguments over the connection by using *RemoteCall* methods which serializes them into a Java object

7. The stub class calls *RemoteCall.executeCall* to cause the RMI to happen

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

16/35

UnipD - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

A look under the hood – 4

8. When a client connects to the servant's socket a new thread is forked on the servant's side to service the incoming call

- The original thread can continue listening to the original socket so that new calls from other clients can be made

9. The servant reads the RMI header information and creates a RemoteCall to unmarshal the incoming RMI arguments

10. The servant calls the "dispatch" method of the skeleton class which calls the target method on the object and pushes the result back to the socket

11. On the client side, the return value of the RMI is unmarshaled and returned from the proxy (stub) back to the client code

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

17/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

A look under the hood – 6

```
// continues ...
// call the registry to know the target
Object targetObject = services.get(ic.getName());
// call the skeleton to handle the method call
Object result = targetObject.getClass().getMethod(
    ic.getMethod(), args2Class(ic.getArgs())).
    invoke(targetObject, ic.getArgs());
// send return value back to caller
oos.writeObject(result);
} catch (Exception e) { // if connection broke or invocation failed
    throw new RMIIInvocationException(e.getMessage(), e);}
}
}.start();
}
} catch (Exception e) {
    throw new RMIIInvocationException(e.getMessage(), e);}
}
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

19/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

A look under the hood – 5

```
private Socket server;
private ObjectInputStream ois;
private ObjectOutputStream oos;
private ServerSocket ss;
public void publish(int port) { // this is the rmid implementation in the RRL
    ... // in case the socket is available
    try {
        ss = new ServerSocket(port);
        while(true) { // for every connection
            final Socket s = ss.accept();
            new Thread() { // one thread per connection
                public void run() {
                    try {
                        ObjectOutputStream oos = new ObjectOutputStream(s.getOutputStream());
                        ObjectInputStream ois = new ObjectInputStream(s.getInputStream());
                        InvocationContext ic = (InvocationContext) ois.readObject();
                        // continues ...
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

18/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 1

- L'oggetto remoto deriva da una interfaccia pubblica che estende java.rmi.Remote

```
import java.rmi.*;
public interface Echo extends Remote {
    String call (String message) throws RemoteException;}
```
- Ogni suo metodo può emettere eccezione java.rmi.RemoteException
 - Semantica *at-most-once*
- Ogni uso dell'oggetto come argomento o valore di ritorno ha il tipo dell'interfaccia e non della sua realizzazione concreta

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

20/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 2

□ Il *servant* dell’oggetto remoto deve

○ Estendere `java.rmi.UnicastRemoteObject`

○ Fornire implementazione dei metodi dell’oggetto

○ Definire esplicitamente un costruttore che possa emettere eccezione `java.rmi.RemoteException`

Invocabile solo localmente al nodo di residenza del registry!

```
import java.rmi.*;
import java.rmi.server.*;
public class EchoServer extends UnicastRemoteObject implements Echo{
    public EchoServer( String name ) throws RemoteException {
        Naming.rebind( name, this); }
    public String call (String message) throws RemoteException {
        return "From EchoServer:- message: [" + message + "];" }
    public static void main (String args[]) {
        // il main è nel servente, che può anche essere distinto dalla
        // classe che realizza l’oggetto remoto }
    }
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

21/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 4

□ Il *name server* può essere attivato a parte

○ `start rmiregistry [portnumber]` ← Win32

○ `rmiregistry [portnumber] &` ← GNU/Linux

□ Una singola istanza di *NS* opera per conto di tutti i serventi di oggetti remoti del nodo

□ Prima di j5.0, le componenti di lato servente venivano compilate in 2 fasi distinte → `javac` e `rmic`

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

23/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 3

□ La logica del servente è specificata nel suo main che crea istanze dell’oggetto remoto

□ Ogni istanza va registrata presso l’anagrafe degli oggetti remoti del nodo del servente, mantenuto da un processo dedicato (`rmiregistry`)

○ `Naming.bind` lega un nome (stringa URL) all’oggetto remoto (al suo riferimento) in una associazione unica e non modificabile

○ `Naming.rebind` crea una nuova associazione (nome, riferimento) sovrascrivendo quella precedente

□ Il gestore del registro (*name server* locale) ascolta su una porta assegnata (*default*: 1099)

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

22/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 5

□ Il cliente dell’oggetto remoto

○ Fa *look-up* presso il NS locale tramite

• `Naming.lookup (String name)`

name è l’URI della specifica dell’oggetto remoto (la sua interfaccia pubblica) presso il nodo e la porta dove è in ascolto il NS

○ Ottenendo un riferimento con il tipo dell’interfaccia e non della classe che lo realizza!

○ Il NS ha un `ObjID` riservato → *closure* implicita

□ Da ora in avanti l’oggetto remoto è usabile come un oggetto locale

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

24/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 6

- ❑ *For security reasons an application can only bind, unbind, or rebind remote object references with a registry running on the same host*
 - *This restriction prevents a remote client from removing or overwriting any of the entries in a server's registry*
- ❑ *A look-up however can be requested from any host, local or remote*
 - "Niente impedisce di esporre esternamente una interfaccia remota che registri localmente oggetti realizzati in altri nodi"

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

25/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 8

- ❑ **rmic (compilatore Java RMI) /II**
 - Lo *skeleton* è una entità di lato servente che contiene un metodo che recepisce le chiamate remote all'oggetto e le indirizza verso la sua istanza concreta
 - Il protocollo utilizzato è specifico di Java RMI (JRMP)
 - Lo *stub* è il *proxy* dell'oggetto remoto che indirizza le chiamate a esso verso il servente corrispondente
 - Il riferimento all'oggetto remoto in possesso del cliente riferisce in realtà lo *stub* dell'oggetto ossia il *proxy* locale al cliente
 - Lo *stub* di lato servente riproduce le chiamate remote in ingresso e le gira localmente allo *skeleton* corrispondente

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

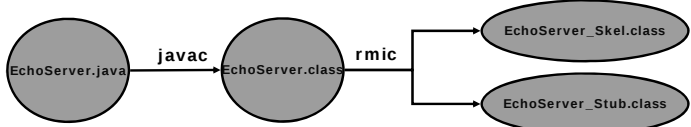
27/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Utilizzo del modello – 7

- ❑ **rmic (compilatore Java RMI) /I**
 - Genera *stub* e *skeleton* per oggetti remoti a partire dalle classi compilate che ne contengono la realizzazione
 - Le classi compilate di partenza devono essere identificate rispetto ai *package* che le contengono



```
graph LR; A(EchoServer.java) -- javac --> B(EchoServer.class); B -- rmic --> C(EchoServer_Skel.class); B -- rmic --> D(EchoServer_Stub.class);
```

- Da j5.0, gli *stub* vengono generati a tempo d'esecuzione

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

26/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Applicazione del modello – 1

- ❑ La JVM consente di caricare dinamicamente codice Java (in forma di *bytecode*) da qualsiasi URL
 - Capacità utilizzabile da RMI
- ❑ Le classi locali vengono normalmente caricate a partire dalla locazione CLASSPATH
- ❑ Le classi remote possono essere caricate a partire dall'URL codebase
 - Locazione configurata come proprietà
 - java -Djava.rmi.server.codebase=file://<path>/

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

28/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Applicazione del modello – 2

L’accesso a classi sconosciute può essere regolato da un gestore della sicurezza

Lato servente → consentire la copia di proprie classi

Lato cliente → impedire l’accesso a siti non affidabili

Accesso regolato da politica configurata in un file passato come proprietà

java -Djava.security.policy = <policy_file>

```
grant {
  permission java.io.FilePermission "<<ALL FILES>>", "read";
  permission java.net.SocketPermission "*",1234", "accept, connect, listen, resolve";
  permission java.lang.RuntimePermission "accessClassInPackage.sun.jdbc.odbc";
  permission java.util.PropertyPermission "file.encoding", "read";
};
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

29/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Esempio: cliente

```
package echo; import java.rmi.*; import java.rmi.server.*;
public class EchoClient {
  public static void main (String args[]) {
    int i;
    if (System.getSecurityManager() == null)
      System.setSecurityManager ( new RMISecurityManager() );
    try {
      System.out.println ("EchoClient ready!");
      String url = "rmi://" + args[0] + "/Echo";
      System.out.println ("Looking up remote object " + url + " ...");
      Echo echo = (Echo) Naming.lookup (url);
      String toMsg = (String) args[1];
      for (i = 1; i<6; i++) {
        toMsg = toMsg + "-" + i;
        System.out.println ("Message " + i + " to Echo: [" + toMsg + "]");
        String fromMsg = echo.call (toMsg);
        Thread.sleep (2000);
        System.out.println ("Message from Echo: \n\t" + fromMsg + "\n");
      }
    } catch (Exception e) {
      System.out.println ("Exception in EchoClient: " + e.getMessage());
      e.printStackTrace();
    }
  }
}
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

31/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Esempio: servant

```
package echo;
public interface Echo extends java.rmi.Remote {
  String call (String message) throws java.rmi.RemoteException;
}

package echo; import java.rmi.*; import java.rmi.server.*;
public class EchoServer extends UnicastRemoteObject implements Echo {
  public EchoServer( String name ) throws RemoteException {
    try { Naming.rebind (name,this); } catch (Exception e) {
      System.out.println ("Exception in EchoServer: " + e.getMessage());
      e.printStackTrace();
    }
  }
  public String call (String message) throws RemoteException {
    System.out.println("Echo's method call invoked: [" + message + "]");
    return "From EchoServer:- Thanks for your message: [" + message + "]";
  }
  public static void main (String args[]) throws Exception {
    if (System.getSecurityManager() == null)
      System.setSecurityManager ( new RMISecurityManager() );
    String url = "rmi://" + args[0] + "/Echo";
    EchoServer echo = new EchoServer (url);
    System.out.println("EchoServer ready!");
  }
}
```

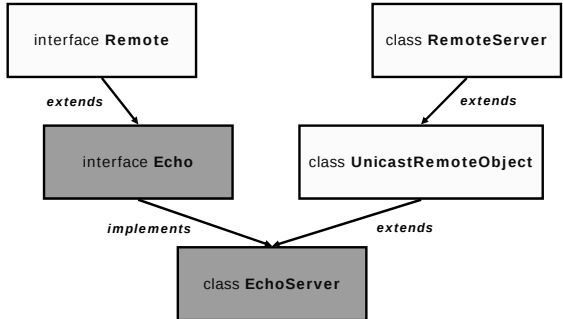
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

30/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Esempio – 3



```
graph TD
    Remote[interface Remote] -- extends --> Echo[interface Echo]
    RemoteServer[class RemoteServer] -- extends --> UnicastRemoteObject[class UnicastRemoteObject]
    EchoServer[class EchoServer] -- implements --> Echo
    EchoServer -- extends --> UnicastRemoteObject
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

32/35

Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

Esempio – 4

Generato staticamente per motivi di retrocompatibilità

Generato dinamicamente a partire JDK 1.2

Compilazione

```
javac -d . Echo.java
javac -d . EchoServer.java
javac -d . EchoClient.java
rmic -d . echo.EchoServer
```

Nel package echo

```
EchoServer_Skel.class
EchoServer_Stub.class
```

Attivazione del name server di lato servente sul nodo localhost alla porta 1234

```
rmiregistry 1234 &
```

Attivazione del servente con parametro indicante l'endpoint del name server

```
java -classpath . -Djava.security.policy=pol.policy
echo.EchoServer localhost:1234
```

Attivazione del cliente con parametro indicante l'endpoint del name server

```
java -classpath . -Djava.security.policy=pol.policy
echo.EchoClient localhost:1234 Initial_Message
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

33/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

RMI e concorrenza – 2

□ L'invocazione di lato cliente è bloccante

○ Quindi uno stesso cliente non può inviare richieste concorrenti allo stesso oggetto remoto

○ Quindi il proxy di quel cliente non rischia data race

- A meno di aver condiviso il proxy...

□ Ogni invocazione in arrivo al nodo del servente è ricevuta da un thread distinto

○ Quindi una implementazione thread-safe dell'oggetto remoto deve gestire la sincronizzazione di chiamate concorrenti

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

35/35



Sistemi distribuiti: il modello Java RMI

RMI e concorrenza – 1

□ RMI Spec @ 3.2 Thread Usage in RMI

○ A method dispatched by the RMI runtime to a remote object implementation may or may not execute in a separate thread

○ The RMI runtime makes no guarantees with respect to mapping invocations to threads

○ Since remote method invocation on the same remote object may execute concurrently, a remote object implementation needs to make sure its implementation is thread-safe

- "it's your problem, baby"



Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

34/35

Unipd - SCD 2015/16 - Sistemi Concorrenti e Distribuiti