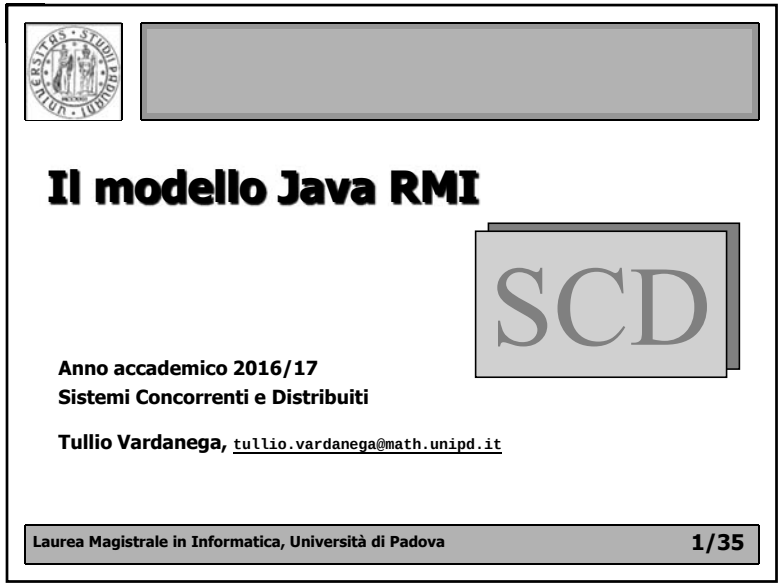


Il modello Java RMI

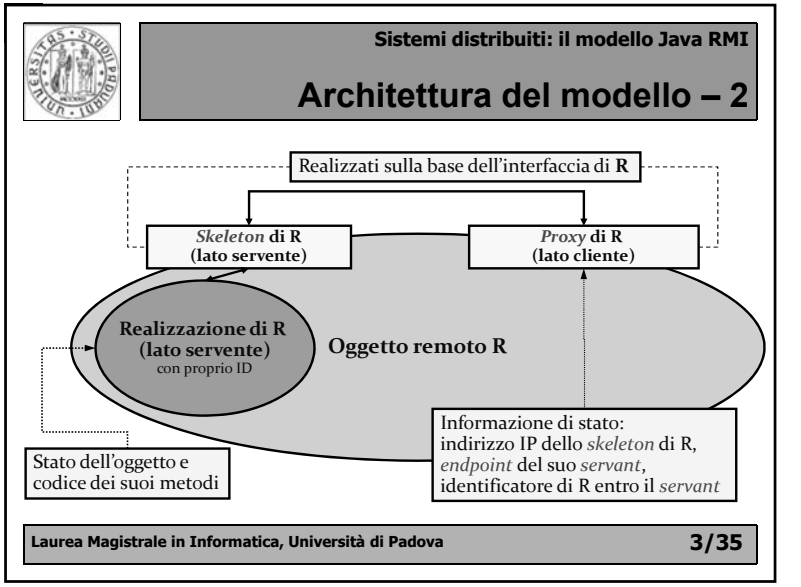
SCD

Anno accademico 2016/17
Sistemi Concorrenti e Distribuiti

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

Architettura del modello – 1

- **Fondamentalmente un «*lifting*» di RPC**
- **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!**



Architettura del modello – 2

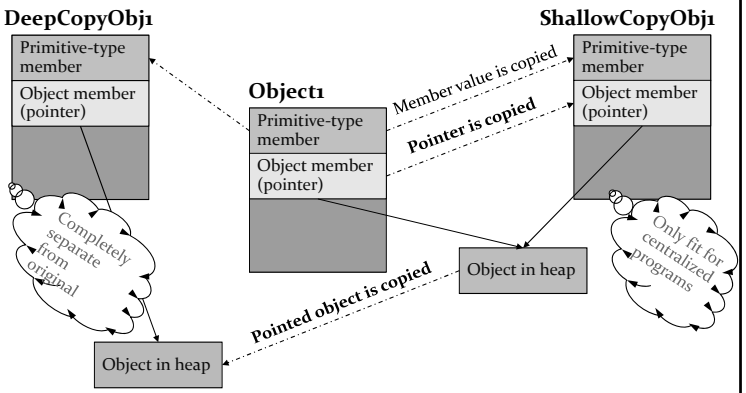
Architettura del modello – 3

- **Oggetto remoto ≠ oggetto locale /I**
  - **Rispetto alla clonazione: oggetto remoto ≠ *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*

Architettura del modello – 4

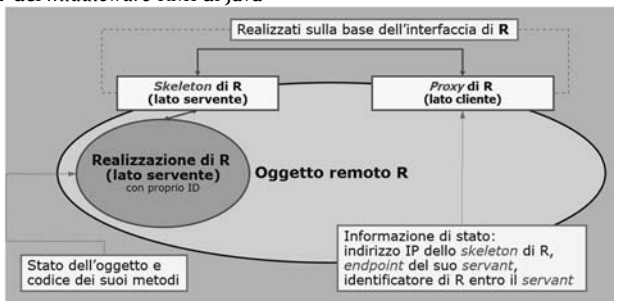
- **Oggetto remoto ≠ oggetto locale /II**
  - **Rispetto ai parametri passati ai metodi**
    - Il tipo dell'oggetto passato come parametro a RMI deve permettere *marshalling* e *unmarshalling* → deve essere di tipo *serializable*
    - Quindi no ai tipi dipendenti dall' istanza di JVM (p.es. *Thread*, 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**

Shallow copy vs Deep Copy



Architettura del modello – 5

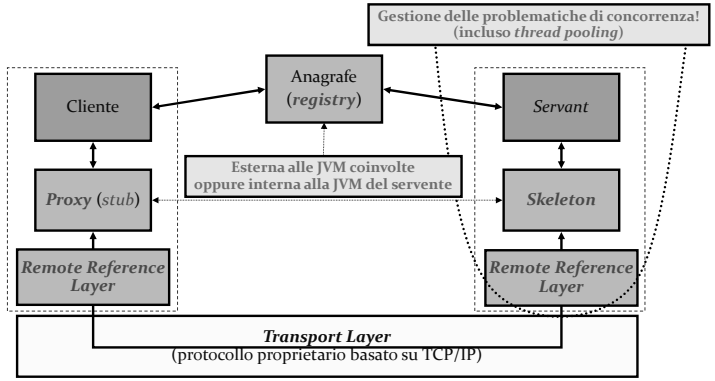
Il *proxy* converte ogni invocazione a R in un messaggio di livello *Transport* inviato attraverso una connessione TCP verso il nodo destinatario, identificando l'oggetto remoto con un ID unico assegnato dal componente ***Remote Reference Layer*** del *middleware* RMI di Java



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

Architettura del modello – 7



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`

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**

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 la riproduzione del** ***proxy*** **presso il chiamante**
  - **Tramite migrazione della copia presente in registro**

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*

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*

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*

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*

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***

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 …
```


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 RMIInvocationException(e.getMessage(), e);}
            }
         }.start();
      }
   } catch (Exception e) {
      throw new RMIInvocationException(e.getMessage(), e);}
}
```


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"*

Reentrancy?

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* …
- **Dal lato servente, ogni invocazione in arrivo è servita in un *thread* distinto**
  - **Quindi una implementazione *thread-safe* dell'oggetto remoto deve gestire la sincronizzazione di chiamate concorrenti**

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**

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 }
```


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)**

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`

Utilizzo del modello – 5

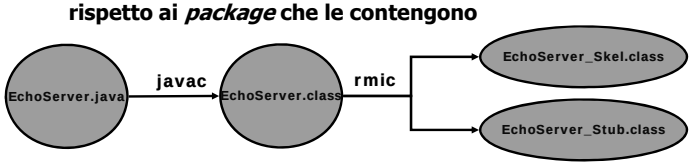
- Il cliente dell'oggetto remoto
  - Fa *look-up* presso il NS locale tramite
    - `Naming.lookup (String name)`
      - *name* è l'**URI della specifica dell'oggetto remoto** (la sua interfaccia pubblica) presso il nodo e **la porta** dove è in ascolto il NS
  - Ottenendo un riferimento con il tipo 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

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"

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



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

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

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>/`

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"; };
```


Esempio: *servant*

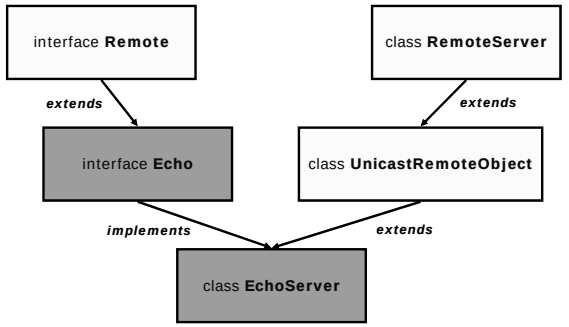
```
package echo;
public interface Echo extends java.rmi.Remote {
  String call (String message) throws java.rmi.RemoteException;
}
```

```
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!"); }
}
```

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(); } }
}
```


Esempio – 3



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
```