Lezione n.8
LPR-A-09
RMI: Remote Method Invocation

1/12/2009

Vincenzo Gervasi

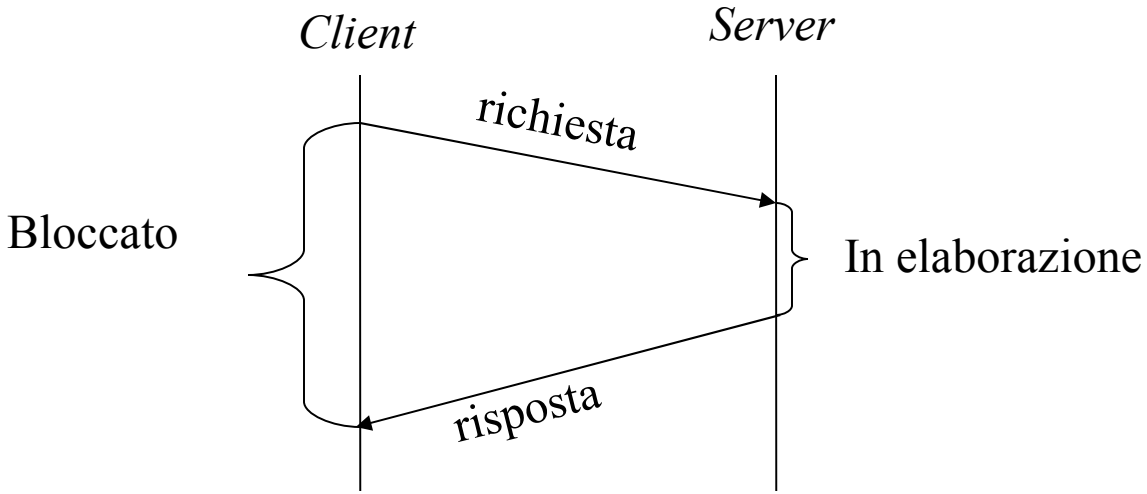
Da UDP/TCP a RPC/RMI

- I protocolli visti (UDP, TCP) permettono a processi su host diversi di scambiarsi dati, più o meno strutturati:
  - sequenze di byte
  - dati primitivi
  - oggetti (con serializzazione)
- In molte applicazioni distribuite il livello di astrazione dei socket, non è adeguato.
- Il paradigma **Remote Procedure Call (RPC)** permette di astrarre da questi concetti: un programma può eseguire del codice su un host remoto con una normale chiamata di procedura.
- Nel contesto Object Oriented una "procedura" corrisponde a un metodo; in Java si parla quindi di **Remote Method Invocation (RMI)**.

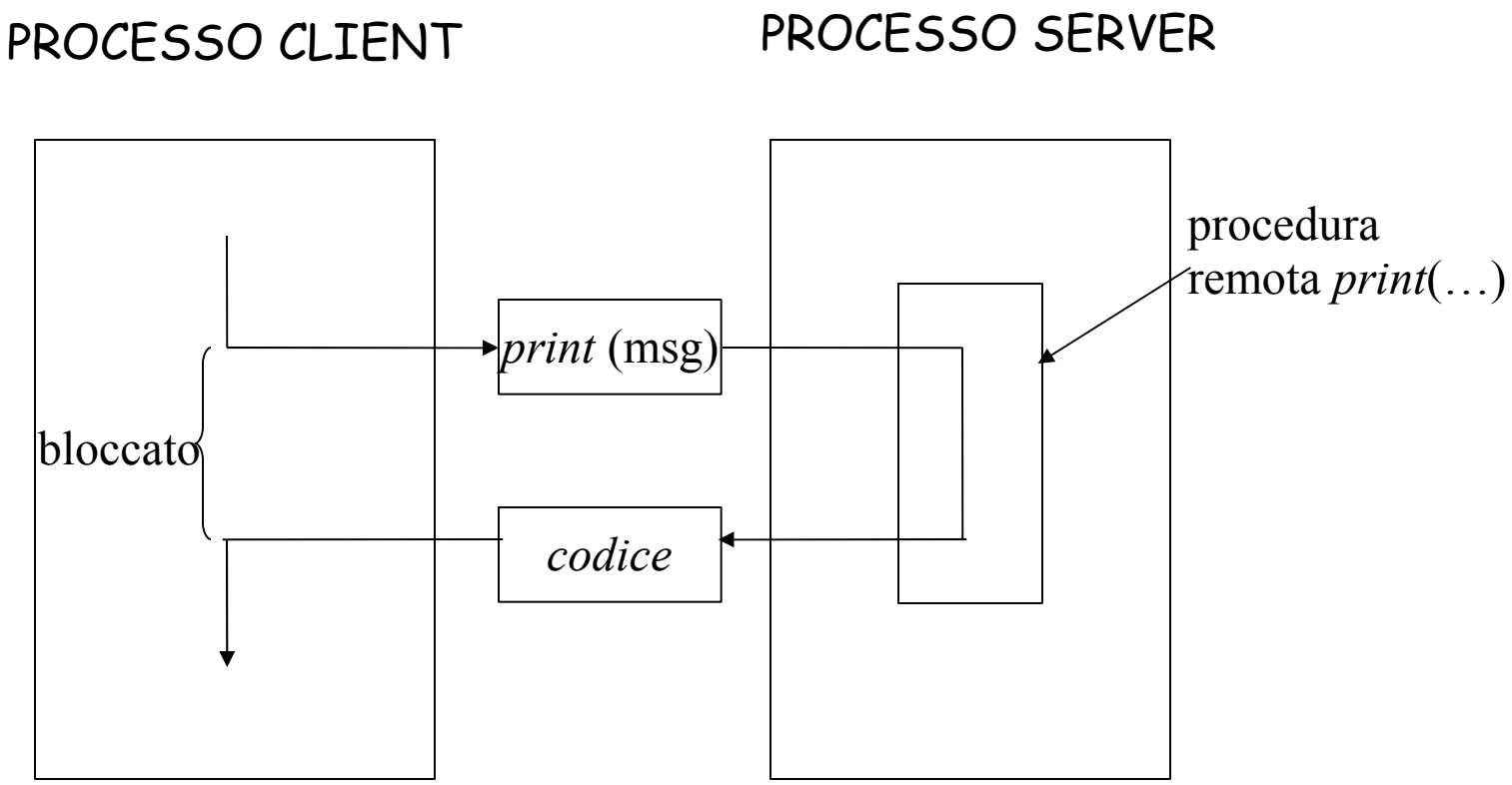
RPC/RMI: PARADIGMA DI INTERAZIONE A DOMANDA/RISPOSTA

Paradigma di interazione basato su richiesta/risposta

- il client invia ad un server un messaggio di richiesta (*invocazione di procedura/metodo*)
- il server risponde con un messaggio di risposta (*risultato*)
- il client rimane bloccato finchè non riceve la risposta dal server



REMOTE PROCEDURE CALL: ESEMPIO



Esempio: richiesta stampa di messaggio e restituzione esito operazione

Esempi di Remote Procedure Call

Possibili esempi in cui RPC è utile:

- Esecuzione su un server molto potente di codice molto complesso
- Esecuzione su host remoto di interrogazioni su database, compreso elaborazione parziale dei risultati (es: media salari impiegati, ...)
- In generale, distribuzione del carico computazionale di un programma CPU-intensive tra più host
- Multiplayer games con stato centralizzato su di un server

RPC: schema generale di implementazione

- Il server implementa delle procedure (metodi) e li offre come procedure remote tramite un'interfaccia
- Per invocare una procedura remota del servere, il client si procura un handle ("maniglia"), una specie di *rappresentazione locale* della procedura
- L'invocazione comprende:
  - marshalling dei parametri;
  - spedizione al server;
  - unmarshalling;
  - invocazione della procedura.
- Il ritorno comprende:
  - marshalling del risultato;
  - spedizione al client;
  - unmarshalling;
  - consegna del valore di ritorno.

RPC tra piattaforme eterogenee

- Se client e server sono scritti in linguaggi arbitrari, eventualmente diversi e su piattaforme diverse, per realizzare RPC bisogna:
  - fissare un formato per lo scambio di dati, per esempio XDR (eXternal Data Representation)
  - fornire traduzione tra formato nativo e formato di scambio
- Strumenti per il supporto di RPC:
  - IDL (Interface Description Language)
  - Compilatore
    - IDL -> Stub (lato client)
      - procedura che sostituisce quella del server implementando marshalling e unmarshalling
    - IDL -> Skeleton (lato server)
      - routine che realizza unmarshalling dei paramentri, invocazione della procedura, marshalling del risultato

USER VIEW

- Si crea handle della procedura:

  ProcedureHandle = lookup(registro, "nome");

- Successivamente si invoca la procedura:

  result = ProcedureHandle(param1, param2, ...);

- Queste semplici operazioni sostituiscono:
  - apertura di connessione con host remoto
  - spedizione dei parametri
  - ricezione del risultato e sua memorizzazione
  - ... oltre all'implementazione del server remoto...

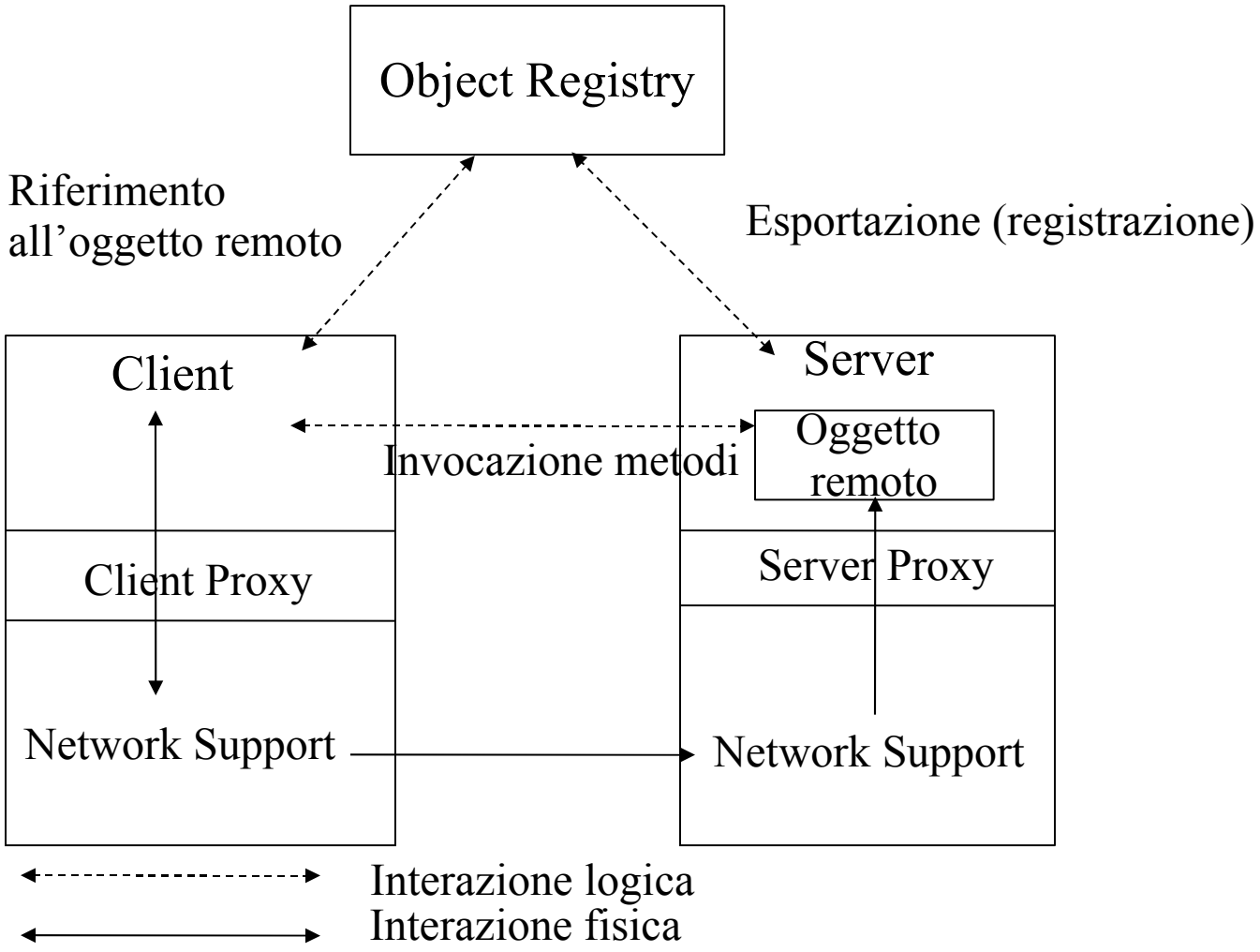
RPC NEL PARADIGMA ORIENTATO AD OGGETTI

Implementazioni RPC

- Open Network Computing Remote Procedure Call (Sun)
- Open Group Distributed Computing Environment (DCE)
- …

- Nel contesto della Programmazione Orientata ad Oggetti, naturale evoluzione di RPC:
  - procedure remote ==> **oggetti remoti**
  - chiamata di procedura ==> **invocazione di metodo**
- **CORBA** (Common Object Request Broker Architecture)) è un'architettura che supporta RPC in contesto OO tra sistemi eterogenei (es: Java e C++)
- **JAVA RMI**: API Java per la programmazione distribuita ad oggetti. Sfrutta il fatto che client e server sono entrambi in Java.

OGGETTI REMOTI: ARCHITETTURA GENERALE



RMI: ARCHITETTURA LATO SERVER

Il server che definisce l'oggetto remoto:

- definisce un'**interfaccia remota** che contiene i metodi che possono essere invocati da parte di processi in esecuzione su hosts remoti
- crea un oggetto che implementa l'interfaccia remota, lo **esporta** per farlo diventare un "RMI server", e lo **pubblica** in un **registry** (registro) associandolo a un nome simbolico
- i metodi invocati da client diversi sono eseguiti **concorrentemente**, se non sono sincronizzati.

- Importante la separazione tra interfaccia pubblica e implementazione (privata)

RMI: ARCHITETTURA LATO CLIENT

- Quando il client vuole accedere all'oggetto remoto ricerca un riferimento all'oggetto remoto mediante i servizi offerti dal registry
  - operazione di **lookup**
  - il cliente deve conoscere
    - host su cui è eseguito il registry
    - nome simbolico pubblicato nel registry per l'oggetto
  - il risultato del lookup è un oggetto (handle) il cui tipo è l'**interfaccia remota** implementata dall'oggetto remoto
  - sullo handle ottenuto il cliente invoca i metodi definiti dall'oggetto remoto (remote method invocation).

RMI: JAVA API lato Server

- Interfaccia remota:
  - extends **java.rmi.Remote** (marker interface)
- Nell'implementazione dell'oggetto remoto
  - i metodi invocabili da remoto devono prevedere il lancio di

    java.rmi.RemoteException
- Per **esportare l'oggetto remoto** e farlo diventare **"sever RMI"**, due tecniche:
  - **extends UnicastRemoteObject** nella dichiarazione della classe che definisce l'oggetto remoto
  - oppure prima della pubblicazione si usa il metodo statico **UnicastRemoteObject.exportObject(Object);**
    - bisogna prima creare la classe dello stub usando
      - **rmic ClasseOggettoRemoto**

RMI: JAVA API lato Server II

- **Pubblicazione dell'oggetto**:
  - crea un binding (associazione)

    nome simbolico oggetto/ riferimento all'oggetto
  - lo pubblica mediante un servizio di tipo registry (registro)

    (simile ad un DNS per oggetti distribuiti)
- Attivazione del RMI registry (porta default **1099**):
  - rmiregistry & (Linux)
  - start rmiregistry (Windows)

RMI: JAVA API lato Server II

- Accesso al registro usando la classe **java.rmi.Naming**
  - void Naming.**bind**(String name, Remote obj)
  - void Naming.**rebind**(String name, Remote obj)
  - **Remote** Naming.**lookup**(String name)
- Accesso al registro usando la classe **java.rmi.LocateRegistry**
  - Registry LocateRegistry.getRegistry(...)

ESEMPIO DI REMOTE INTERFACE

Esempio: un Host è connesso a una stazione metereologica che rileva temperatura, umidità, ecc. mediante diversi strumenti di rilevazione. Sull'host è in esecuzione un server che fornisce queste informazioni agli utenti interessati.

```
import java.rmi.*;
public interface Weather extends Remote {
    public double getTemperature ( )  throws RemoteException;
    public double getHumidity    ( )  throws RemoteException;
    public double getWindSpeed   ( )  throws RemoteException;
  ...
```

ESEMPIO RMI: un servizio di ECHO

Definiamo un oggetto remoto che fornisce un servizio di echo,
cioè ricevuto un valore come parametro, restituisce al chiamante lo stesso valore

- Passo 1. Definire una interfaccia che includa le segnature dei metodi che possono essere invocati da remoto
- Passo 2. Definire una classe che implementi l'interfaccia. Questa classe include l'implementazione di tutti i metodi che possono essere invocati da remoto
- Passo 3. Pubblicare il servizio.

ESEMPIO RMI: un servizio di ECHO

Passo1. Definizione dell'interfaccia

```
import java.rmi.*;
public interface EchoInt extends Remote {
        String getEcho (String echo) throws RemoteException;  }
```

Passo2. Implementazione dell'interfaccia

```
public class Server implements EchoInt {
public Server(   ){   }
public String getEcho (String echo) {return echo ;     }   }
```

- la classe può definire ulteriori metodi pubblici, ma solamente quelli definiti nella interfaccia remota possono essere invocati da un altro host

ESEMPIO RMI: un servizio di ECHO

Passo 3. Creare, esportare e pubblicare un'istanza dell'oggetto remoto

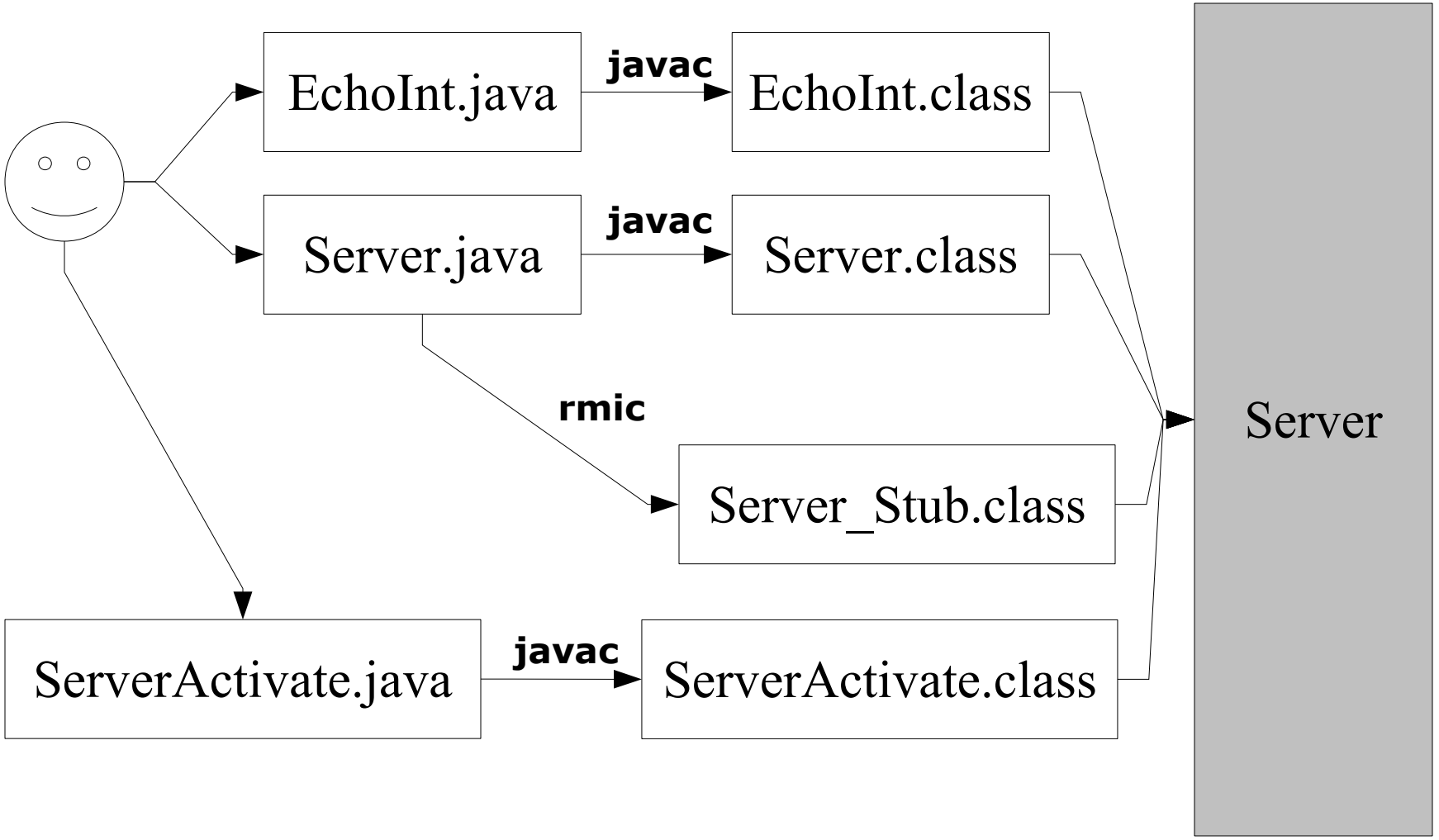
```
import java.rmi.registry.Registry;
import java.rmi.registry.LocateRegistry;
import java.rmi.server.UnicastRemoteObject;
public class ServerActivate{
  public static void main(String args[]) {
    try {
      Server obj = new Server(   );
      EchoInt stub = (EchoInt) UnicastRemoteObject.exportObject(obj);
      Registry registry = LocateRegistry.getRegistry (  );
      registry.bind  ("Echo", stub);
      System.err.println("Server ready");
   } catch (Exception e)  {
      System.err.println("Server exception: " + e.toString());
}}}
```

CREAZIONE E PUBBLICAZIONE DELL'OGGETTO REMOTO

Il server

- crea un'istanza dell'oggetto (new)
- invoca il metodo statico **UnicastRemoteObject.exportObject**(obj) che
  - esporta l'oggetto remoto obj creato in modo che le invocazioni ai suoi metodi possano essere ricevute su una porta anonima.
  - restituisce lo stub dell'oggetto remoto. Il client deve reperire questo stub per poter invocare i metodi remoti
- NOTA BENE: la classe dello stub deve essere creata prima esplicitamente, mediante il comando rmic (rmi compiler): > **rmic Server**
- dopo aver eseguito il metodo, sulla porta P specificata, un server RMI aspetta invocazioni di metodi remoti su un serversocket legato a P
- Nello stub generato (da passare al client) contiene indirizzo IP e porta su cui è attivo il server RMI

Riassunto


EchoInt.java
javac
EchoInt.class
Server.java
javac
Server.class
rmic
Server_Stub.class
ServerActivate.java
javac
ServerActivate.class
Server

Codice di Server_Stub.java

```
// Stub class generated by rmic, do not edit.
// Contents subject to change without notice.

public final class Server_Stub extends java.rmi.server.RemoteStub
    implements EchoInt
{
  private static final long serialVersionUID = 2;
  private static java.lang.reflect.Method $method_getEcho_0;
  static {
    try {
      $method_getEcho_0 = EchoInt.class.getMethod("getEcho", new
        java.lang.Class[] {java.lang.String.class});
    } catch (java.lang.NoSuchMethodException e) {
      throw new java.lang.NoSuchMethodError(
        "stub class initialization failed");
    }
  }
```

Codice di Server_Stub.java

```
// constructors
public Server_Stub(java.rmi.server.RemoteRef ref) {
   super(ref);
}

// methods from remote interfaces

// implementation of getEcho(String)
public java.lang.String getEcho(java.lang.String $param_String_1)
   throws java.rmi.RemoteException    {
   try {
       Object $result = ref.invoke(this, $method_getEcho_0, new java.lang.Object[]
 {$param_String_1}, -7552877047248934609L);
       return ((java.lang.String) $result);
   } catch (... e) {
       throw e;
   }
}}
```

CREAZIONE DELLO STUB

- Per invocare i metodi dell'oggetto remoto, il client deve avere a disposizione lo stub dell'oggetto
- Stub = contiene uno scheletro per ogni metodo definito nell'interfaccia (con le solite segnature), ma trasforma l'invocazione di un metodo in una richiesta ad un host ed ad una porta remoto
- Il client deve reperire lo stub ed utilizzarlo per invocare i metodi remoti
- JAVA mette a disposizione del programmatore un semplice name server (registry) che consente
  - Al server di registrare lo stub con un nome simbolico
  - Al client di reperire lo stub tramite il suo nome simbolico

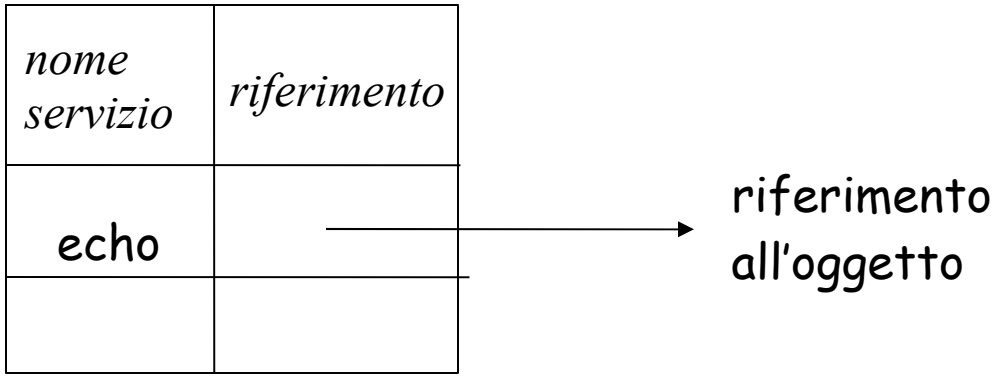
JAVA : ESPORTAZIONE DELLO STUB

Il Server

- per rendere disponibile lo stub creato agli eventuali clients, inserisce un riferimento allo stub creato nel registry locale (che deve essere attivo su local host sulla porta di default 1099)

```
Registry registry = LocateRegistry.getRegistry( );
registry.bind  ("Echo", stub);
```

- Registry = simile ad un DNS per oggetti remoti, contiene legami tra il nome simbolico dell'oggetto remoto ed il riferimento all'oggetto



JAVA: IL REGISTRY

- la classe LocateRegistry contiene metodi per la gestione dei registry
- La getRegistry( ) restituisce un riferimento ad un registry allocato sull'host locale e sulla porta di default 1099
- Si può anche specificare il nome di un host e/o una porta per individuare il servizio di registry su uno specifico host e/o porta
- nel caso più semplice si utilizza un registry locale, attivato sullo stesso host su cui è in esecuzione il server
- se non ci sono parametri oppure se il nome dell'host è uguale a null, allora l'host di riferimento è quello locale

JAVA : IL REGISTRY

Supponiamo che registry sia l'istanza di un registro individuato mediante getregistry( )

- registry.bind ( ) crea un collegamento tra un nome simbolico (qualsiasi) ed un riferimento all'oggetto. Se esiste già un collegamento per lo stesso oggetto all'interno dello stesso registry, viene sollevata una eccezione
- registry.rebind ( ) crea un collegamento tra un nome simbolico (qualsiasi) ed un riferimento all'oggetto. Se esiste già un collegamento per lo stesso oggetto all'interno dello stesso registry, tale collegamento viene sovrascritto
- è possibile inserire più istanze dello stesso oggetto remoto nel registry, con nomi simbolici diversi

JAVA: ATTIVAZIONE DEL SERVIZIO

Per rendere disponibile i metodi dell'oggetto remoto, è necessario attivare due tipi di servizi

- il server registry che fornisce il servizio di registrazione di oggetti remoti
- Il server implementato fornisce accesso ai metodi remoti

Attivazione del registry in background:

$ rmiregistry & (in LINUX)

$ start rmiregistry (in WINDOWS)

- viene attivato un registry associato per default alla porta 1099
- Se la porta è già utilizzata, viene sollevata un'eccezione. Si può anche scegliere esplicitamente una porta

$ rmiregistry 2048 &

RMI REGISTRY

- Il registry viene eseguito per default sulla porta 1099
- Se si vuole eseguire il registry su una porta diversa, occorre specificare il numero di porta da linea di comando, al momento dell'attivazione

  start rmiregistry 2100

- la stessa porta va indicata sia nel client che nel server al momento del reperimento del riferimento al registro, mediante LocateRegistry.getRegistry

  Registry registry = LocateRegistry.getRegistry(2100);

- NOTA BENE: il registry ha bisogno dell'interfaccia e dei .class, per cui occorre che siano impostati correttamente i vari path!

IL CLIENT RMI

Il client:

- ricerca uno stub per l'oggetto remoto
- invoca i metodi dell'oggetto remoto come fossero metodi locali (l'unica differenza è che occorre intercettare RemoteException)

Per ricercare il riferimento allo stub, il client

- deve accedere al registry attivato sul server.

- il riferimento restituito dal registry è un riferimento ad un oggetto di tipo Object: è necessario effettuare il casting dell'oggetto restituito al tipo definito nell'interfaccia remota

IL CLIENT RMI

```
import java.rmi.registry.LocateRegistry;
import java.rmi.registry.Registry;
import java.util.*;
  public class Client {
    private Client( ) {  }
  public static void main(String[ ] args) throws Exception
   {
     String host = args[0];
              Scanner s = new Scanner(System.in);
              String next = s.next();
```

IL CLIENT RMI

```
try {
      Registry registry = LocateRegistry.getRegistry(host);
      EchoInt stub = (EchoInt) registry.lookup("Echo");
      String response = stub.getEcho(next);
      System.out.println("response: " + response);
} catch (Exception e) {
    System.err.println("Client exception: " + e.toString());
    e.printStackTrace();
}}}
```

LOCALIZZARE IL REGISTRY

- Forma generale del metodo LocateRegistry.getRegistry

```
public static Registry getRegistry(String host,  int port)
                                                  throws RemoteException
```

  Restituisce un riferimento (stub) ad un oggetto Registry attivato sull'host e sulla porta specificata

- Il metodo può essere utilizzato dal client per individuare il servizio di registry attivato sul server

L'esecuzione del client richiede

- la classe Client.class, risultante della compilazione del client
- la classe EchoInterface.class

ESEMPIO: FIBONACCI

- Il server calcola il numero di **Fibonacci** per numeri di grandezza arbitraria.
- Rispetto all'esempio **Echo**, questo esempio usa API più semplici per esportare e pubblicare l'oggetto remoto.

L'**Interfaccia Remota**

```
import java.rmi.*;
import java.math.BigInteger;
public interface RemoteFibonacci extends Remote {
    public BigInteger getFibonacci(BigInteger n)
                                        throws RemoteException;
}
```

ESEMPIO: FIBONACCI - L'OGGETTO REMOTO

```
import java.rmi.*; import java.rmi.server.UnicastRemoteObject;
import java.math.BigInteger;
public class FibonacciImpl extends UnicastRemoteObject implements
                                                    RemoteFibonacci {
    public FibonacciImpl( ) throws RemoteException {
        super( );
    }
    public BigInteger getFibonacci(BigInteger n)
                                                throws RemoteException {
    System.out.println("Calculating the " + n + "th Fibonacci number");
    //CONTINUA
```

ESEMPIO: FIBONACCI - L'OGGETTO REMOTO

```
        // Continua...
        BigInteger zero = new BigInteger("0");
        BigInteger one  = new BigInteger("1");
        if (n.equals(zero)) return one;
        if (n.equals(one)) return one;
        BigInteger i  = one, low  = one, high  = one;
        while (i.compareTo(n) == -1) {
              BigInteger temp = high;
              high = high.add(low);
              low = temp;
              i = i.add(one);
        }
  return high;       }}
```

ESEMPIO: FIBONACCI - PUBBLICAZIONE

```
import java.net.*;     import java.rmi.*;
public class FibonacciServer {
    public static void main(String[] args) {
        try {
            FibonacciImpl f = new FibonacciImpl( );
            Naming.rebind("fibonacci", f);
            System.out.println("Fibonacci Server ready.");
        } catch (RemoteException rex) {
        System.out.println("Exception in FibonacciImpl.main: " + rex);
        } catch (MalformedURLException ex) {
        System.out.println("MalformedURLException " + ex);
        }
}}
```

ESEMPIO: FIBONACCI - IL CLIENT

```
import java.rmi.*; import java.net.*; import java.math.BigInteger;
public class RemoteFibonacciClient {
    public static void main(String args[]) {
    if (args.length == 0 || !args[0].startsWith("rmi:")) {
        System.err.println("Usage: java FibonacciClient " +
            " rmi://host.domain:port/fibonacci number"); return;   }
    try {Object o = Naming.lookup(args[0]);
        RemoteFibonacci calculator = (RemoteFibonacci) o;
        for (int i = 1; i < args.length; i++) {
            try {BigInteger index = new BigInteger(args[i]);
                BigInteger f = calculator.getFibonacci(index);
                System.out.println("The " + args[i] +
                                    "th Fibonacci number is " + f); }
```

ESEMPIO: FIBONACCI - IL CLIENT

```
                catch (NumberFormatException e) {
                    System.err.println(args[i] + "is not an integer.");
                }
            }
        } catch (MalformedURLException ex) {
            System.err.println(args[0] + " is not a valid RMI URL");
        } catch (RemoteException ex) {
            System.err.println("Remote object threw exception " + ex);
        } catch (NotBoundException ex) {
            System.err.println(
            "Could not find the requested remote object on the server");
        }
}}
```

ESERCIZIO

Sviluppare una applicazione RMI per la gestione di un'elezione. Il server esporta un insieme di metodi

- **public void vota (String nome)**. Accetta come parametro il nome del candidato. Non restituisce alcun valore. Registra il voto di un candidato in una struttura dati opportunamente scelta.

- **public int risultato (String nome)** Accetta come parametro il nome di un candidato e restituisce i voti accumulati da tale candidato fino a quel momento.

- un metodo che consenta di ottenere i nomi di tutti i candidati, con i rispettivi voti, ordinati rispetto ai voti ottenuti