Luca Cabibbo

Architettura dei Sistemi Software

Introduzione ai connettori

dispensa asw810

marzo 2021

Relationships among the elements are what give systems their added value.

Eberhardt Rechtin

- Riferimenti

- Luca Cabibbo. **Architettura del Software**: Strutture e Qualità. Edizioni Efesto, 2021.
  - Capitolo 21, Introduzione ai sistemi distribuiti
- Shaw, M. Procedure Calls are the Assembly Language of Software Interconnections: Connectors Deserve First-Class Status. Technical report CMU/SEI-1994-TR-2, 1996.
- Bernstein, P. Middleware. Communications of the ACM, 1996.

- Obiettivi e argomenti

- Obiettivi
  - introdurre i connettori
  - presentare alcuni semplici esempi di connettori
  - introdurre brevemente il middleware
  - motivare le successive dispense di questa parte del corso
- Argomenti
  - introduzione
  - introduzione ai connettori
  - componenti e connettori: esempi
  - introduzione al middleware
  - discussione

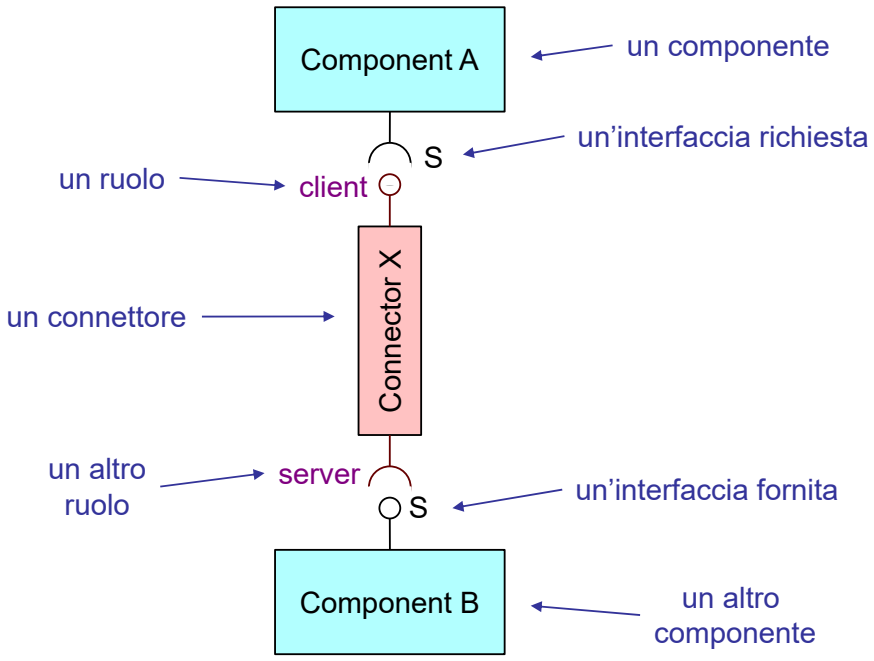
* Introduzione

- Questa parte del corso (dispense 8xx) è costituita da un insieme di “esercitazioni” che esemplificano e discutono alcuni aspetti “tecnologici” dell’architettura del software
  - connettori e middleware
  - il framework Spring, Spring Boot e Spring Cloud
  - architettura esagonale
  - invocazione remota (REST/gRPC)
  - comunicazione asincrona (Kafka)
  - componenti (Spring)
  - servizi REST
  - container (Docker)
  - orchestrazione di container (Kubernetes)
  - in questa edizione del corso, le esercitazioni enfatizzano i microservizi con Spring Boot, Docker e Kubernetes

* Introduzione ai connettori

- Nell'architettura di un sistema software è possibile distinguere due tipi principali di elementi software
  - *componenti*
    - elementi responsabili dell'implementazione di *funzionalità* e della gestione di *dati* e *informazioni*
  - *connettori*
    - elementi responsabili delle *interazioni* tra componenti – i connettori caratterizzano assemblaggio e integrazione di componenti
- Sia i componenti che i connettori sono "elementi software"
  - dunque, entrambi i tipi di elementi sono basati su del "codice"

Componenti e connettori



Perché i connettori?

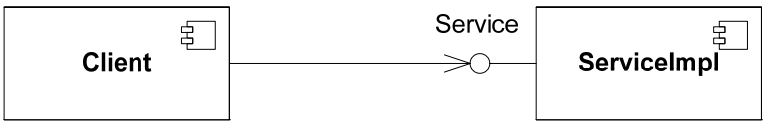
- Ecco alcune motivazioni per la distinzione tra componenti e connettori – dimostrate dall'esperienza pratica
  - i componenti si occupano di aspetti funzionali – i connettori delle interazioni
  - la scelta e progettazione dei connettori (ovvero, delle interazioni) è importante tanto quanto quella dei componenti
    - i connettori possono essere responsabili di qualità importanti di un sistema
  - la progettazione dei connettori può effettivamente essere fatta separatamente da quella dei componenti
  - i connettori sono tipicamente indipendenti dalle applicazioni
    - per questo, la generalizzazione di connettori di uso comune ha portato allo sviluppo dei servizi di middleware – tecnologie software per l'implementazione di connettori, utili soprattutto nello sviluppo di sistemi distribuiti

* Componenti e connettori: esempi

- In pratica, un sistema software comprende diversi componenti "funzionali"
  - ogni componente può avere delle dipendenze (ovvero, dipendere) da altri componenti
    - intuitivamente, ogni componente dipende (in genere mediante delle interfacce) dai componenti a cui vuole richiedere dei servizi
  - queste dipendenze vanno soddisfatte
    - ogni componente deve poter effettivamente richiedere servizi ai componenti da cui dipende, interagendo con essi
  - i connettori hanno a che fare con la gestione di queste interazioni tra componenti, nonché della gestione delle dipendenze tra componenti
    - come verrà mostrato nei seguenti esempi

- Studio di caso di riferimento

- Si supponga di aver identificato un'interfaccia e due componenti "funzionali"
  - un'interfaccia che definisce un servizio **Service**
  - un componente **ServiceImpl** (o **Servant** o **Server**) in grado di fornire il servizio **Service**
  - un componente **Client**, che richiede l'erogazione del servizio **Service** – a **ServiceImpl** o a chiunque sappia erogarlo



  - si dice che **Service** è
    - un'*interfaccia fornita* da **ServiceImpl**
    - un'*interfaccia richiesta* da **Client**
- A che cosa corrisponde/può corrispondere ciò nel codice?

- Servizio e implementazione del servizio (tutte le versioni)

- Supponiamo, per semplicità, di avere la seguente definizione di **Service**
  - in effetti, limitata ai soli aspetti "funzionali" del servizio

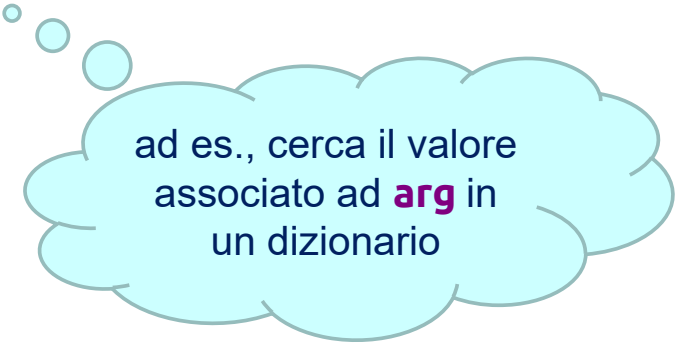
```
package asw.intro.service;

/* Interfaccia del servizio Service. */
public interface Service {

    /* Fa qualcosa con arg. */
    public String alpha(String arg);

}
```

in **violetto** indichiamo il codice relativo ad aspetti funzionali

Servizio e implementazione del servizio (tutte le versioni)

- Inoltre, supponiamo di avere la seguente definizione di **ServiceImpl**

```
package asw.intro.server;

import asw.intro.service.Service;

/* Implementazione del servizio Service. */
public class ServiceImpl implements Service {

    public String alpha(String arg) {
        ... fa qualcosa con arg ...
    }

}
```



- Una prima versione (versione a)

- Applicazione **Main** che crea e avvia il **Client**

```
package asw.intro.main;

import asw.intro.client.Client;

/* Applicazione che crea e avvia il client. */
public class Main {

   /* Crea e avvia un oggetto Client. */
   public static void main(String[] args) {
      Client client = new Client();
      client.run();
   }

}
```

Una prima versione

- Inoltre, supponiamo che il contesto – sempre limitato ai soli aspetti funzionali – dell'uso di **Service** da parte del **Client** sia il seguente

```
package asw.intro.client;

import asw.intro.service.Service;


/* Client del servizio Service. */
public class Client {

    private Service service;

    public Client() {

    }

    public void run(...) {
        ... service.alpha(...) ...
    }

}
```

in **rosso** indichiamo l'invocazione del servizio – è ancora un aspetto funzionale

Una prima versione

- Inoltre, supponiamo che il contesto – sempre limitato ai soli aspetti funzionali – dell'uso di **Service** da parte del **Client** sia il seguente

```
package asw.intro.client;

import asw.intro.service.Service;


/* Client del servizio Service. */
public class Client {

    private Service service;

    public Client() {

    }

    public void run(...) {
        ... service.alpha(...) ...
    }

}
```

questa variabile d'istanza rappresenta una **dipendenza**, che deve essere soddisfatta prima di poter eseguire **run()**

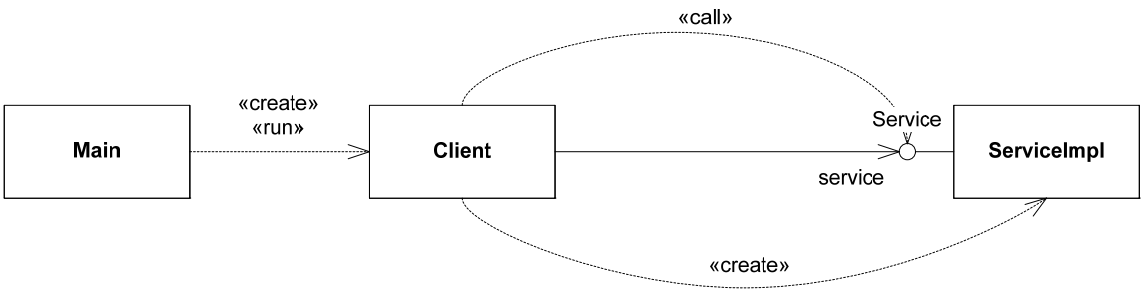
Una prima versione

- Il connettore più semplice è la *chiamata di procedura* – o *invocazione di metodo* nei linguaggi OO

```
package asw.intro.client;

import asw.intro.service.Service;
import asw.intro.server.ServiceImpl;

/* Client del servizio Service. */
public class Client {

    private Service service;

    public Client() {
        this.service = new ServiceImpl();
    }

    public void run(...) {
        ... service.alpha(...) ...
    }

}
```

in **nero** indichiamo il codice relativo al connettore – ovvero, all'interazione tra componenti

Una prima versione



Una prima versione

- Caratteristiche dell'uso che è stato appena fatto della chiamata di procedura
  - una *chiamata di procedura locale*
    - **Client** e **ServiceImpl** vivono nello stesso processo – tuttavia, le scelte funzionali dovrebbero essere indipendenti da scelte relative, ad es., a concorrenza e deployment
  - una chiamata sincrona
    - durante l'esecuzione del **Service**, il **Client** rimane in attesa di **ServiceImpl** – non c'è nessuna concorrenza
  - il **Client** è accoppiato alla particolare implementazione del **Service** offerta da **ServiceImpl**
    - non c'è indipendenza dall'implementazione del servizio
  - **Client** e **ServiceImpl** devono essere scritti nello stesso linguaggio di programmazione
    - anche questo potrebbe essere un vincolo indesiderato

- Uso di una factory (versione b)

- Concentriamoci, per ora, sull'eliminazione della dipendenza tra il **Client** e la particolare implementazione **ServiceImpl** del **Service**
  - si può rompere questa dipendenza utilizzando degli oggetti di supporto – in particolare, applicando degli opportuni design pattern
    - ad es., usando una factory – ovvero, un singleton che si occupa della creazione di un'istanza del **Service**

Uso di una factory

- La **ServiceFactory** incapsula la creazione di un **Service**

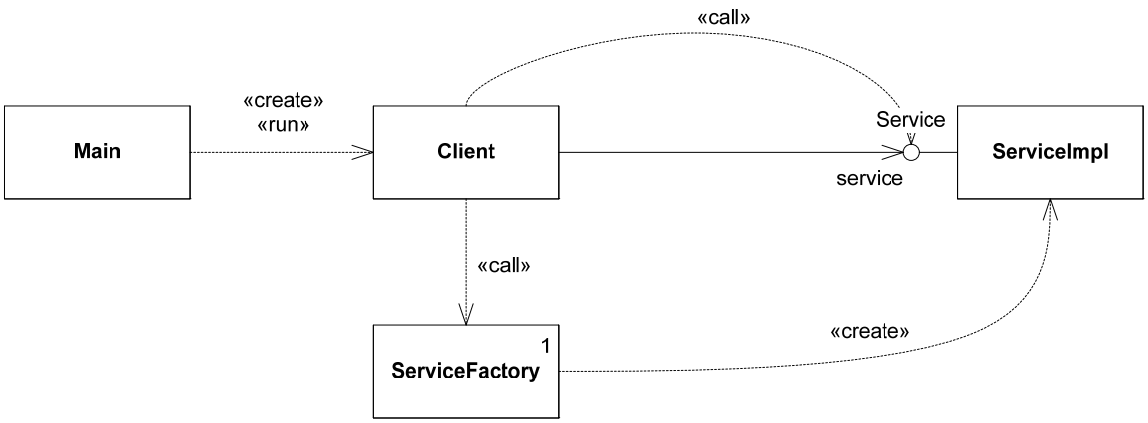
```
package asw.intro.connector;

import asw.intro.service.Service;
import asw.intro.server.ServiceImpl;

/* Factory per il servizio Service. */
public class ServiceFactory {

    private static ServiceFactory instance = null;    // la factory
    private Service service = null;    // il servizio

    private ServiceFactory() { }    // costruttore privato

    public static synchronized ServiceFactory getInstance() {
        if (instance==null) { instance = new ServiceFactory(); }
        return instance;
    }

    /* Factory method per il servizio Service. */
    public synchronized Service getService() {
        if (service==null) { service = new ServiceImpl(); }
        return service;
    }

}
```


Uso di una factory

- Ecco la nuova versione per il client – il connettore sarà ancora una chiamata di procedura

```
package asw.intro.client;

import asw.intro.service.Service;
import asw.intro.connector.*;

/* Client del servizio Service. */
public class Client {

    private Service service;

    public Client() {
        this.service = ServiceFactory.getInstance().getService();
    }

    public void run(...) {
        ... service.alpha(...) ...
    }

}
```

Uso di una factory



Uso di una factory

- Alcune caratteristiche della nuova soluzione
  - in pratica, si tratta ancora di una chiamata di procedura locale e di una chiamata sincrona
  - tuttavia, non c'è più l'accoppiamento diretto tra il **Client** e la particolare implementazione **ServiceImpl** del **Service**
    - o meglio, l'accoppiamento è localizzato nella factory – che possiamo considerare parte del connettore
    - l'accoppiamento può essere ulteriormente ridotto usando per la factory un progetto data-driven
      - ad es., usando un file di configurazione con il nome della classe che implementa il servizio che si vuole utilizzare – in modo che sia possibile cambiare questa scelta senza modificare né il client né il servizio né la factory
  - c'è ancora il vincolo che **Client** e **ServiceImpl** devono essere scritti nello stesso linguaggio di programmazione

- Iniezione delle dipendenze (versione c)

- Ci sono anche altri modi per eliminare la dipendenza tra il **Client** e la particolare implementazione **ServiceImpl** del **Service**
  - in particolare, l'*iniezione delle dipendenze* è un design pattern che prevede quanto segue
    - ciascun oggetto definisce le sue dipendenze (altri oggetti da cui dipende)
    - le dipendenze di un oggetto non vengono risolte dall'oggetto stesso, ma piuttosto vengono risolte da altri oggetti di supporto, mediante un'iniezione delle dipendenze (di solito al momento della creazione dell'oggetto)
    - l'iniezione delle dipendenze può essere scritta nel codice, oppure basata su file di configurazione o su annotazioni
  - chiamato anche *inversione del controllo* – poiché un oggetto non deve creare o cercare da solo gli oggetti da cui dipende
  - vediamo una possibilità

Iniezione delle dipendenze

- Ecco la nuova versione per il client – che ora dipende solo dal servizio, e non più dal connettore

```
package asw.intro.client;

import asw.intro.service.Service;

/* Client del servizio Service. */
public class Client {

    private Service service;

    public Client() {}

    public void setService(Service service) {
        this.service = service;
    }

    public void run(...) {
        ... service.alpha(...) ...
    }
}
```

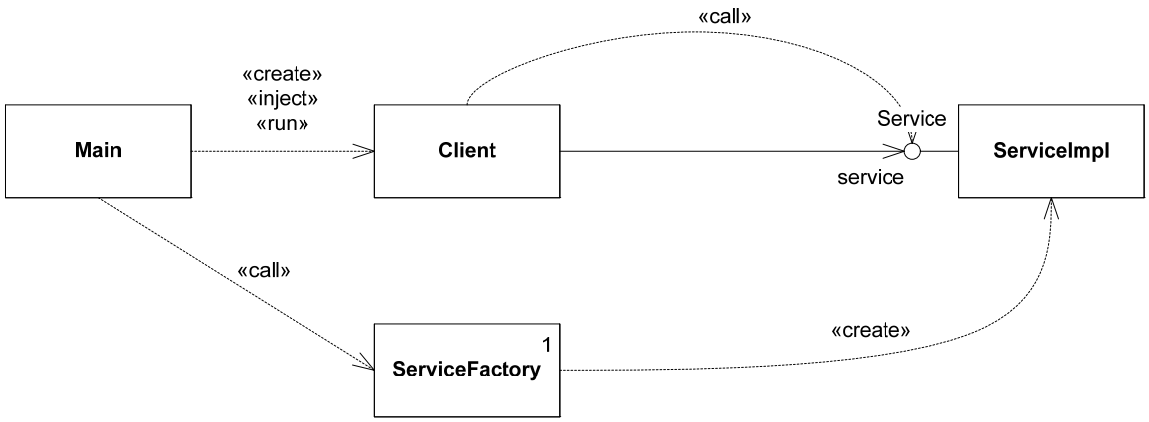
l'iniezione della dipendenza avverrà tramite questo metodo setter

Iniezione delle dipendenze

- L'iniezione della dipendenza viene effettuata, in questo caso, dall'applicazione **Main**

```
package asw.intro.main;

import asw.intro.client.Client;
import asw.intro.service.Service;
import asw.intro.connector.ServiceFactory;

/* Applicazione che crea e avvia il client. */
public class Main {

   /* Crea e avvia un oggetto Client. */
   public static void main(String[] args) {
      Service service = ServiceFactory.getInstance().getService();
      Client client = new Client();
      /* iniezione della dipendenza service */
      client.setService(service);
      client.run();
   }

}
```


Iniezione delle dipendenze



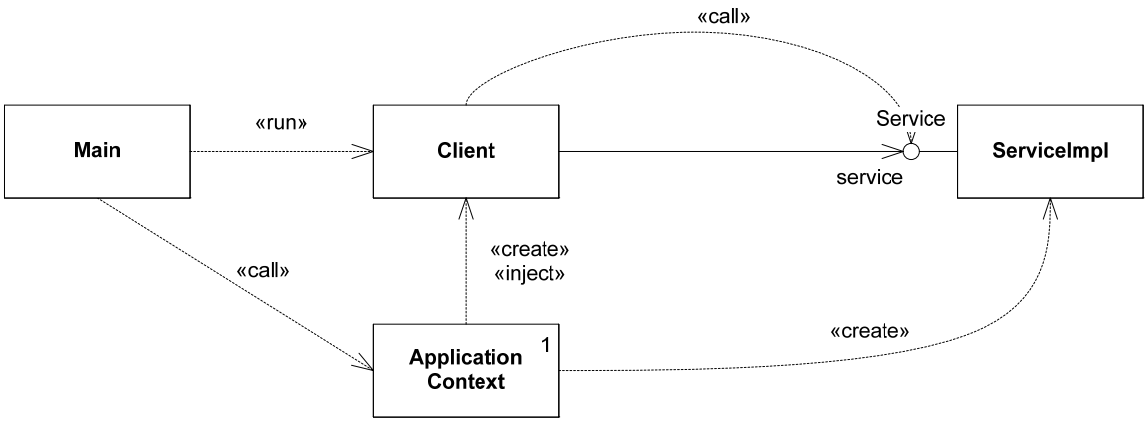
Iniezione delle dipendenze

- Alcune caratteristiche della nuova soluzione
  - rispetto a quanto fatto in precedenza, ora il **Client** non dipende più dalla factory
    - in pratica, nel codice del "componente" **Client** non c'è più nessuna traccia di codice "connettore"
  - ciò che è "connettore" è ora completamente separato da ciò che è "componente"!
- Varianti
  - nell'esempio mostrato, la dipendenza **service** viene iniettata tramite il metodo **setService()**
    - è anche possibile effettuare l'iniezione delle dipendenze mediante il costruttore – in questo caso, mediante un costruttore **Client(Service service)**

- Uso di un application context (versione d)

- Può essere utile avere un oggetto che si occupa sia della creazione di tutti gli oggetti – nel nostro esempio, non solo del servizio, ma anche del client – che delle iniezioni di tutte le dipendenze necessarie
  - in genere, un tale oggetto è chiamato un *application context*
  - un application context ha le seguenti responsabilità
    - fornire l'accesso a un certo insieme di oggetti
    - creare questi oggetti – se e quando è necessario
    - risolvere le dipendenze tra di essi – mediante iniezione delle dipendenze

Uso di un application context



Uso di un application context

- L'application context è simile alla service factory
  - ma ora ha anche un metodo per creare il client

```
package asw.intro.context;

import asw.intro. ...

/* Application context. */
public class ApplicationContext {

    ... variabile, costruttore e metodo per singleton, come prima ...

    ... variabile per service e metodo getService, come prima ...

    /* Factory method per il client Client.
     * Ogni volta viene restituito un nuovo client. */
    public Client getClient() {
        Client client = new Client();
        client.setService( this.getService() );
        return client;
    }

}
```

Uso di un application context

- La classe **Main** è semplificata

```
package asw.intro.main;

import asw.client.Client;
import asw.intro.context.ApplicationContext;

/* Applicazione che ottiene e avvia il client. */
public class Main {

   /* Crea e avvia un oggetto Client. */
   public static void main(String[] args) {
      Client client = ApplicationContext.getInstance().getClient();
      client.run();
   }

}
```


Uso di un application context

- La creazione di oggetti e l'iniezione delle dipendenze sono compiti comuni nelle applicazioni complesse
  - questi compiti possono essere svolti da un opportuno framework – anziché dover scrivere ogni volta del codice apposito
  - ad es., è possibile usare *Spring Framework* (http://spring.io/)
  - in pratica, questo framework consente di
    - utilizzare un "application context" predefinito
    - specificare la configurazione dei componenti ("bean") di interesse, insieme alle loro dipendenze (ad es., mediante un file di configurazione)
    - creare un bean (con le dipendenze già soddisfatte) a partire dal suo nome
  - il framework Spring verrà introdotto in una successiva dispensa

- Uso di proxy (versione e)

- Discutiamo ora di un altro aspetto importante
  - nelle soluzioni precedenti, la factory (o l'application context) crea un'istanza del servizio e ne restituisce un riferimento che viene memorizzato direttamente dal client
  - è invece spesso utile (e pertanto comune) utilizzare anche un ulteriore intermediario, un *proxy* – un rappresentante del servizio presso il client
    - il proxy, per ora
      - memorizza un riferimento al vero servizio
      - gira tutte le chiamate che riceve al vero servizio
    - la factory (o l'application context) restituisce (o inietta) non il vero servizio, ma piuttosto un suo proxy
    - il client memorizza un riferimento al proxy – pensando che sia un riferimento al servizio

Uso di proxy

- Il **ServiceProxy** è un'indirezione verso il vero servizio, che implementa la stessa interfaccia del servizio

```
package asw.intro.connector;

import asw.intro.service.Service;

public class ServiceProxy implements Service {

   private Service service;    // il vero servizio

   public ServiceProxy(Service service) {
      this.service = service;
   }

   /* questo è proprio il metodo alpha che verrà invocato
    * dal client (anche se il client penserà di parlare
    * direttamente con il servizio) */
   public String alpha(String arg) {
      /* chiama il vero servizio */
      return service.alpha(arg);
   }

}
```

Uso di proxy

- L'application context (o la service factory) crea la **ServiceImpl** (se necessario) – ma restituisce un **ServiceProxy**

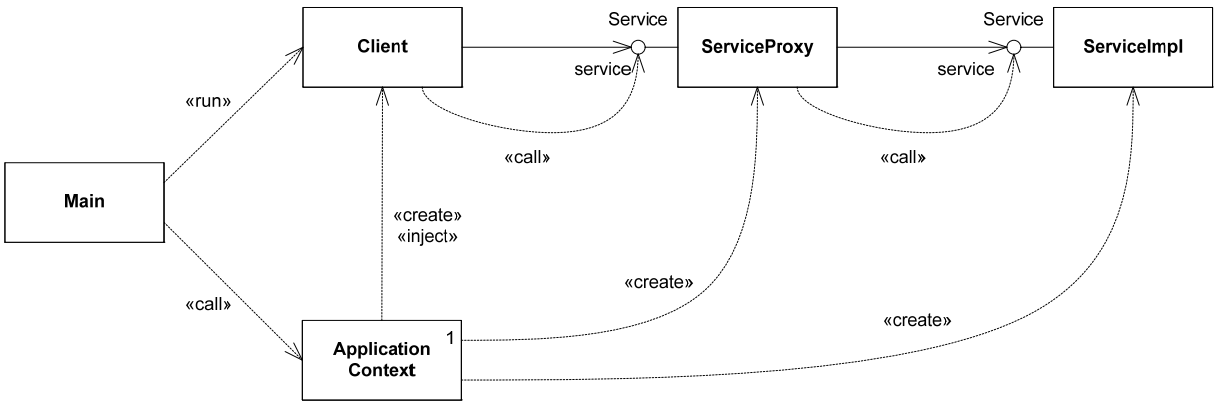
```
package asw.intro.context;

import asw.intro. ...

/* Application context. */
public class ApplicationContext {

    ... variabile, costruttore e metodo per singleton, come prima ...

    ... metodo getClient, come prima ...

    private Service service = null;

    /* Factory method per il Servizio.
     * Restituisce un proxy al servizio. */
    public synchronized Service getService() {
        if (service==null) { service = new ServiceImpl(); }
        return new ServiceProxy( service );
    }

}
```


Uso di proxy

- Non cambia né il **Client** né l'applicazione **Main**
  - il connettore è ancora, a tutti gli effetti, una chiamata di procedura locale

```
package asw.intro.client;

import asw.intro.service.Service;

/* Client del servizio Service. */
public class Client {

    private Service service;

    public Client() { }

    public void setService(Service service) {
        this.service = service;
    }

    public void run(...) {
        ... service.alpha(...) ...
    }

}
```

Uso di proxy



Uso di proxy

- Che cosa è cambiato?
  - in pratica, sembra tutto come prima – ovvero, sembra che abbiamo “cambiato tutto, per non cambiare nulla”
- Ora però abbiamo introdotto un elemento (il proxy) a cui possiamo dare delle responsabilità accessorie “da connettore”
  - ad esempio, se si vuole effettuare il logging degli accessi al servizio, le istruzioni per la gestione del logging possono essere localizzate proprio nel proxy
    - senza cambiare né client né servizio – ovvero, i componenti che si occupano degli aspetti funzionali
  - oppure, se la computazione eseguita dal servizio è onerosa, possiamo fare caching delle richieste e delle risposte
    - aggiungendo codice nel proxy (nell’es., nel metodo **alpha**)
    - senza cambiare né client né servizio

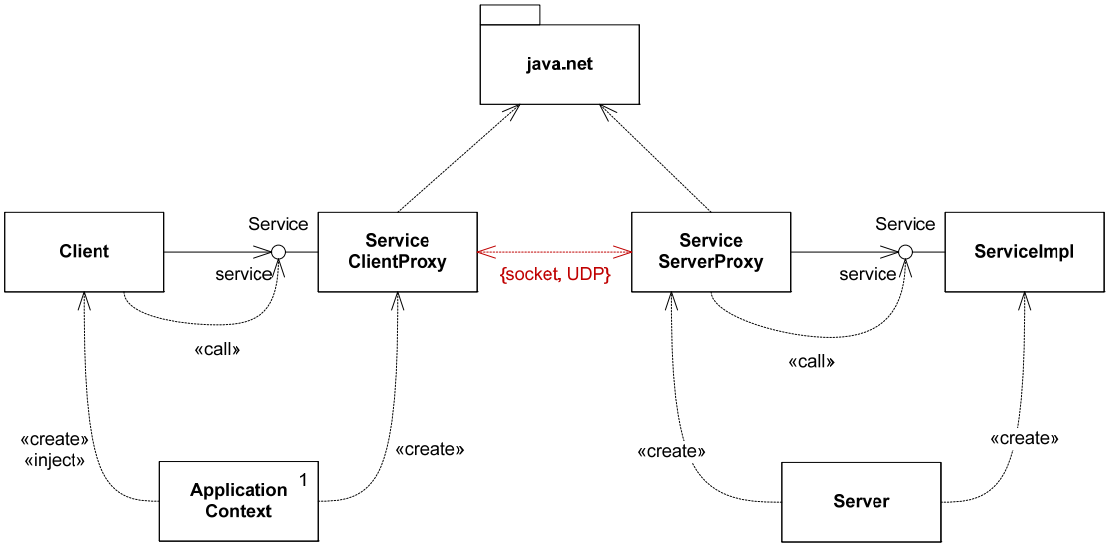
- Una versione distribuita (versione f)

- Per esemplificare questa importante osservazione – “al proxy possiamo dare delle responsabilità accessorie, da connettore” – consideriamo ora l’eliminazione della co-localizzazione tra **Client** e **ServiceImpl**
  - è possibile gestire una comunicazione remota tra client e servizio usando un meccanismo di comunicazione interprocesso
    - ad es., i socket – un meccanismo di IPC, fornito dal sistema operativo, basato sullo scambio di messaggi (datagrammi, con UDP) oppure su un canale di comunicazione bidirezionale (con TCP)
  - in questa dispensa siamo interessati a comprendere chi può gestire questa comunicazione remota
    - l’aspetto di come gestire la comunicazione remota è invece discusso in una successiva dispensa

Una versione distribuita

- La comunicazione remota tra **Client** e **ServiceImpl** può essere separata dagli aspetti funzionali tramite una coppia di *remote proxy*
  - un *remote proxy lato client*
    - un intermediario che si occupa dell’interazione remota tra **Client** e **ServiceImpl** – che vive nello stesso processo del **Client**
  - un *remote proxy lato server*
    - un altro intermediario che si occupa dell’interazione remota – che vive nello stesso processo di **ServiceImpl**

Una versione distribuita



Una versione distribuita

- Utilizzando i socket UDP, client e server possono comunicare scambiandosi messaggi – richiesta e risposta – come segue
  - il client (qui inteso come processo) vuole invocare un'operazione del server (sempre inteso come processo)
  - il client forma un messaggio di richiesta che codifica l'invocazione – con il nome dell'operazione e l'elenco dei parametri – e invia questo messaggio al server
  - il server riceve il messaggio di richiesta e lo decodifica – identificando il nome dell'operazione e l'elenco dei parametri
  - il server esegue l'operazione invocata, e genera un risultato
  - il server forma un messaggio di risposta che codifica il risultato – e lo invia al client
  - il client riceve il messaggio di risposta e lo decodifica – estraendo il risultato
  - il client ha così ricevuto il risultato della sua invocazione

Una versione distribuita

- Il **ServiceClientProxy** è un “remote proxy” lato client, con la seguente struttura

```
package asw.intro.client.connector;

import asw.intro.service.Service;
import java.net.*;    // per le socket

/* remote proxy lato client per il servizio */
public class ServiceClientProxy implements Service {

    private InetAddress address;    // indirizzo del server
    private int port;               // porta per il servizio

    public ServiceClientProxy(InetAddress address, int port) {
        this.address = address;    this.port = port;
    }

    public String alpha(String arg) {
        ... segue ...
    }

}
```


Una versione distribuita

- Il metodo **alpha** del “remote proxy” lato client

```
/* questo è proprio il metodo alpha invocato
 * dal client (anche se il client pensa di parlare
 * direttamente con l'implementazione del service) */
public String alpha(String arg) {

    ... crea un datagramma di richiesta che codifica
        l'invocazione del servizio, con i relativi parametri ...
    ... invia il datagramma di richiesta ...
    ... riceve il datagramma di risposta ...
    ... estrae il risultato dal datagramma di risposta ...
    return reply;

}
```

Una versione distribuita

- Lato client, l'application context (o la service factory) può essere usato per incapsulare la creazione del proxy lato client
  - si può usare un approccio data-driven per quanto riguarda, ad es., l'indirizzo di rete e la porta del server
    - qui ipotizziamo che il server sia in esecuzione su **10.11.1.111** e ascolti sulla porta **6789**
    - l'approccio data-driven può essere usato anche per specificare il tipo del proxy da creare – se sono disponibili più proxy relativi a modalità di connessione diverse
  - tuttavia, l'application context (o la factory) lato client non si può più occupare della creazione del vero **ServiceImpl** – poiché questi vive nel processo del server
- Il **Client** e il **ServiceImpl** (i "componenti") possono rimanere ancora immutati rispetto alla versione precedente

Una versione distribuita

```
package asw.intro.client.context;

import asw.intro. ...

/* Application context. */
public class ApplicationContext {

    ... variabile, costruttore e metodo per singleton, come prima ...

    ... metodo getClient, come prima ...

    private Service service = null;

    /* Factory method per il Servizio.
     * Restituisce un remote proxy al servizio. */
    public Service getService() {
        InetAddress address = InetAddress.getByName("10.11.1.111");
        int port = 6789;
        Service proxy = new ServiceClientProxy(address, port);
        return proxy;
    }

}
```

Una versione distribuita

- Il “remote proxy” lato client non comunica direttamente con il **ServiceImpl**
  - piuttosto, è necessario un ulteriore intermediario – un “remote proxy” lato server
  - il “remote proxy” lato server
    - riceve richieste – tramite socket – dal proxy lato client, e le decodifica ed effettua le corrispondenti invocazioni a **ServiceImpl**
    - riceve risultati da **ServiceImpl** – e li gira al proxy lato client

Una versione distribuita

- Struttura del “remote proxy” lato server

```
package asw.intro.server.connector;

import asw.intro.service.Service;
import asw.intro.server.ServiceImpl;
import java.net.*;

/* remote proxy lato server per il servizio */
public class ServiceServerProxy {

    private Service service;    // il vero servizio
    private int port;           // porta per il servizio

    public ServiceServerProxy(Service service, int port) {
        this.service = service;    this.port = port;
    }

    public void run() {
        ... segue ...
    }

}
```

Una versione distribuita

- Il metodo **run** del “remote proxy” lato server
  - per semplicità, un server “sequenziale” – anche in questo caso si potrebbe fare di meglio

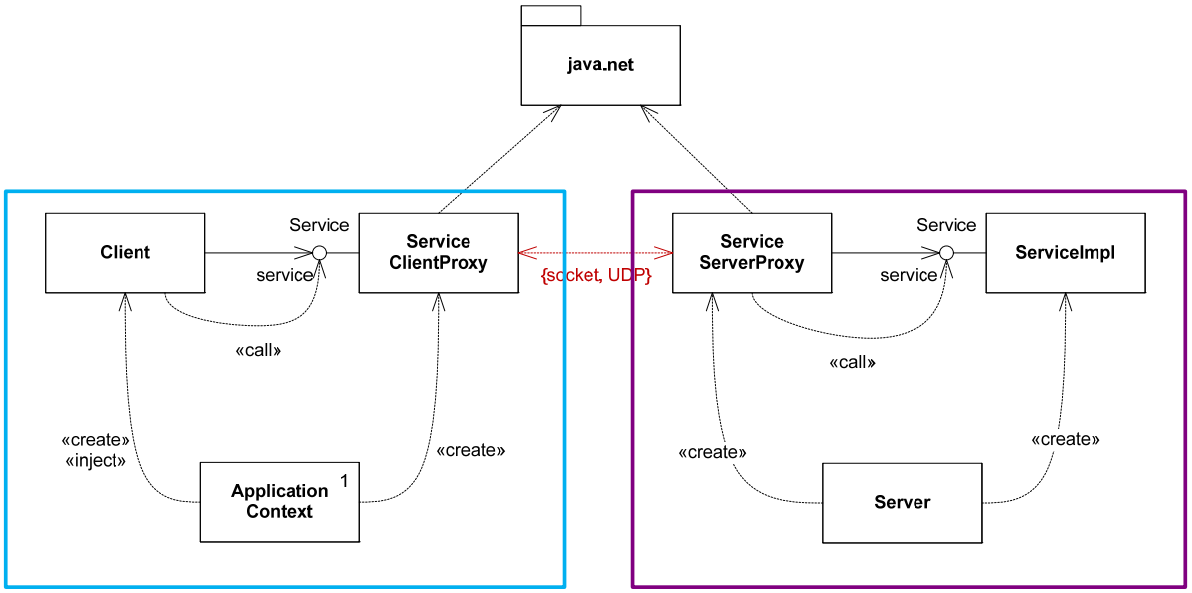
```
public void run() {
    ... crea la socket su cui ricevere le richieste ...
    while (true) {
        ... aspetta un datagramma di richiesta ...
        ... estrae l'invocazione dal datagramma di richiesta ...
        ... effettua l'invocazione del servizio
            e ottiene il risultato ...
        ... crea il datagramma di risposta ...
        ... invia il datagramma di risposta ...
    }
}
```


Una versione distribuita

- Lato server, serve un oggetto **Server** – supponiamo che il server venga eseguito su **10.11.1.111** e ascolti sulla porta **6789**
  - il **Server** è responsabile della creazione di **ServiceImpl**
  - è responsabile della creazione e dell’avvio del proxy lato server

```
package asw.intro.server.connector;

import asw.intro.service.Service;
import asw.intro.server.ServiceImpl;

/* server per il servizio */
public class Server {

    public static void main(String[] args) {
        Service service = new ServiceImpl();
        int port = 6789;
        ServiceServerProxy server =
                            new ServiceServerProxy(service, port);
        server.run();
    }

}
```

Una versione distribuita



processo client

processo server

Una versione distribuita

Anche se sono due classi distinte, sono parte della definizione di un unico connettore!

processo client

processo server

Una versione distribuita

- Alcune caratteristiche della nuova soluzione
  - si tratta ancora di una chiamata di procedura
    - è però una *chiamata di procedura remota*
  - si tratta ancora di una chiamata sincrona
  - l'accoppiamento tra **Client** e **ServiceImpl** è localizzato nel connettore – che comprende diverse classi
    - attenzione, a livello di codice, non c'è più nessun accoppiamento diretto, se non tramite l'interfaccia **Service**
    - l'accoppiamento – localizzato nel connettore – è finito nel protocollo di comunicazione adottato per la comunicazione remota
  - in linea di principio, **Client** e **ServiceImpl** potrebbero essere scritti con linguaggi di programmazione diversi, in esecuzione in ambienti hardware/software differenti – grazie al supporto "universale" dei socket

- Discussione

- L'esempio (con le sue varianti) ha mostrato la comunicazione – locale e remota – tra due componenti
  - scopo dell'esempio era soprattutto mostrare che gli aspetti funzionali (codice in "violetto" e "rosso") possono – e in genere devono – essere considerati separatamente da quelli relativi all'interazione/comunicazione (codice in "nero")
  - nello specifico, l'esempio ha mostrato (anche se in modo parziale) l'uso dei socket come API per realizzare connettori nel contesto dei sistemi distribuiti
    - ma, come vedremo, spesso si utilizzano soluzioni basate su API e librerie più ricche per l'implementazione dei connettori – il cosiddetto middleware
  - inoltre, l'esempio ha mostrato l'uso di factory, application context, proxy e dell'iniezione delle dipendenze – sono dei pattern che è comune incontrare nell'uso degli strumenti di middleware

Discussione

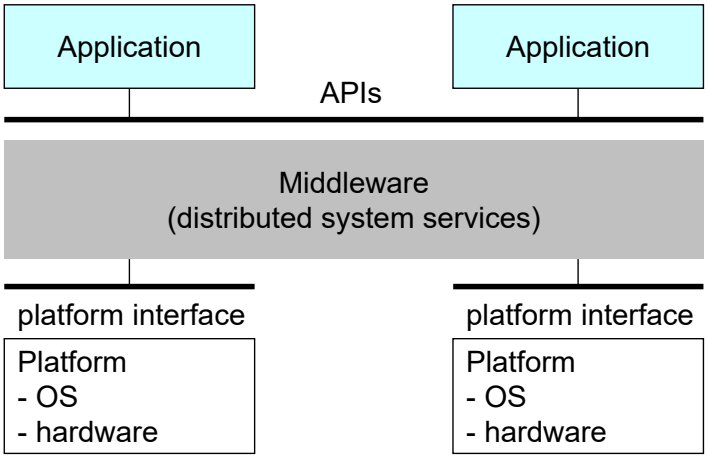
- Alcune domande relative all'esempio visto
  - come realizzare il logging degli accessi al servizio?
    - questi aspetti possono essere gestiti dal connettore
  - come rendere confidenziale lo scambio di messaggi in rete – in particolare, sulla base di meccanismi di cifratura?
    - questi aspetti possono essere gestiti dal connettore
  - come realizzare un meccanismo di autenticazione e autorizzazioni basato su id e password?
    - questi aspetti possono essere gestiti dal connettore
  - che cosa fare, ad es., se si verifica un guasto nella rete o si perde un datagramma UDP? usare socket TCP è una soluzione o no?
    - questi aspetti possono essere gestiti dal connettore

* Introduzione al middleware

- Meccanismi di base come i socket possono essere considerati l'"assembler" per lo sviluppo dei connettori
  - usando questi meccanismi e altre librerie di base è possibile realizzare connettori molto complessi – che gestiscono qualità complesse del software – separati dai componenti, che si possono così occupare dei soli aspetti funzionali
- In pratica, diversi connettori di uso comune sono stati generalizzati – definendo la classe degli strumenti di middleware
  - il middleware è un insieme di tecnologie che offre una molteplicità di paradigmi di interazione tra componenti – sostenendo e semplificando la realizzazione dei connettori
  - il middleware è uno strato software "in mezzo"
    - tra componenti distribuiti
    - ma anche sotto ai componenti applicativi e sopra al sistema operativo e la piattaforma

Middleware

- Un **servizio di middleware** è [Bernstein]
  - un servizio distribuito, general-purpose e multi-piattaforma
  - che si colloca tra piattaforme e applicazioni
  - fornisce un'astrazione di programmazione distribuita – di solito implementa un insieme di protocolli e API standard
  - per aiutare a risolvere problemi di eterogeneità e distribuzione



Middleware – esempi

- Alcuni esempi di (famiglie di) prodotti di middleware
  - invocazione remota (RPC e RMI)
  - comunicazione asincrona (MOM)
  - SQL Stored Procedures
  - ORB
  - component middleware (EJB)
  - Web Services
  - REST
  - ...

* Discussione

- Che cosa vedremo in questa parte del corso (dispense 8xx)
  - alcune tecnologie di middleware
    - di ciascun servizio di middleware, vedremo solo alcuni semplici esempi di uso
    - lo scopo è introdurre ed esemplificare alcune tecnologie rappresentative, le loro principali finalità, alcuni dei problemi affrontati e risolti, alcuni del problemi non risolti o che devono essere presi in considerazione dal programmatore
    - talvolta cercheremo anche di comprendere la modalità di funzionamento e/o la struttura interna di questi strumenti
  - inoltre, vedremo alcuni tecnologie e strumenti per gli ambienti di esecuzione
    - macchine virtuali, container e orchestrazione di container

Discussione

- Tecnologie di middleware che vedremo in questa parte del corso
  - socket
    - meccanismo di base della IPC
    - non è uno strumento di middleware – ma consente di discutere alcune problematiche affrontate dal middleware
  - chiamata di procedura remota (RPC) e invocazione remota (RMI)
  - comunicazione asincrona
    - basata sullo scambio di messaggi o sulla notifica di eventi
  - componenti
  - servizi REST
  - soprattutto nel contesto del framework Spring, di Spring Boot e di Spring Cloud