08
Polimorfismo (inclusivo, con le classi)

Mirko Viroli
mirko.viroli@unibo.it

C.D.L. Ingegneria e Scienze Informatiche
Alma Mater Studiorum—Università di Bologna, Cesena

a.a. 2015/2016

Outline

Goal della lezione

- Illustrare la connessione fra polimorfismo inclusivo e ereditarietà
- Mostrare le interconnessioni con interfacce e classi astratte
- Mostrare le varie ripercussioni nel linguaggio

Argomenti

- Polimorfismo inclusivo con le classi
- Layout oggetti in memoria
- Autoboxing dei tipi primitivi
- Tipi a run-time (cast, `instanceof`)
- Classi astratte

Outline

Ereditarietà e polimorfismo

Ricordando il principio di sostituibilità

Se `B` è un sottotipo di `A` allora ogni oggetto di `B` può essere utilizzato dove ci si attende un oggetto di `A`

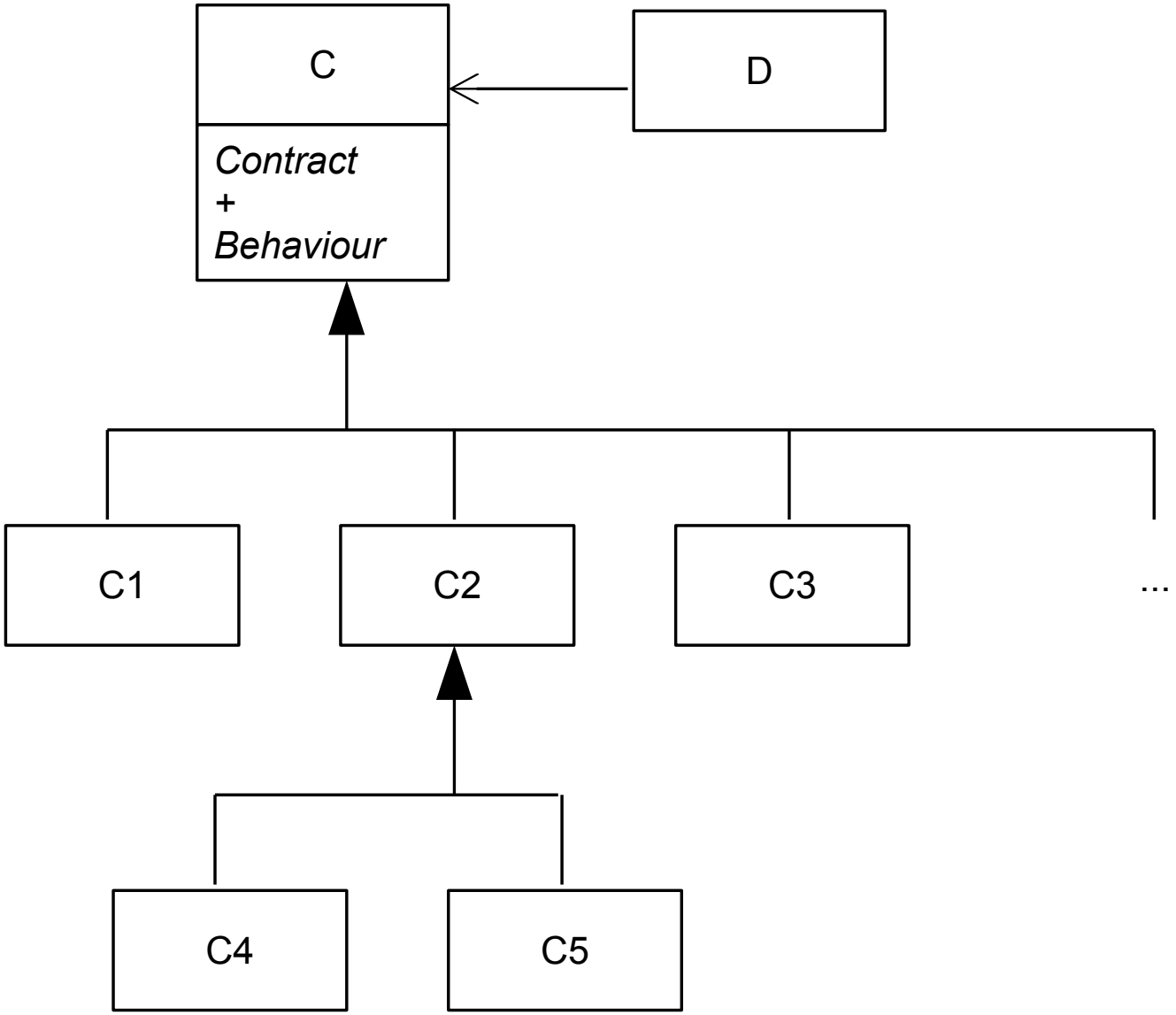
Con l'ereditarietà

- Con la definizione: `class B extends A{..}`
- Gli oggetti della classe `B` rispondo a tutti i messaggi previsti dalla classe `A`, ed eventualmente a qualcuno in più
- Quindi un oggetto della classe `B` potrebbe essere passato dove se ne aspetta uno della classe `A`, senza comportare problemi

Conseguenza:

Visto che è possibile, corretto, ed utile, allora in Java si considera `B` come un sottotipo di `A` a tutti gli effetti!

Polimorfismo con le classi



Polimorfismo con le classi

Ovunque una classe `D` usi una classe `C`...

- vi saranno punti di `D` in cui ci si attende oggetti della classe `C`
- (come argomenti a metodi, o da depositare nei campi)
- si potranno effettivamente passare oggetti della classe `C`, ma anche delle classi `C1`, `C2`,..,`C5`, o di ogni altra classe successivamente creata che estende, direttamente o indirettamente `C`

Le sottoclassi di `C`

A tutti gli effetti, gli oggetti delle sottoclassi di `C` sono compatibili con gli oggetti della classe `C`

- hanno medesimo contratto (in generale, qualche operazione in più)
- hanno tutti i campi definiti in `C` (in generale, qualcuno in più)
- hanno auspicabilmente un comportamento compatibile

Layout oggetti in memoria

Alcuni aspetti del layout degli oggetti in memoria...

Diamo alcune informazioni generali e astratte. Ogni JVM potrebbe realizzare gli oggetti in modo un po' diverso. Questi elementi sono tuttavia comuni.

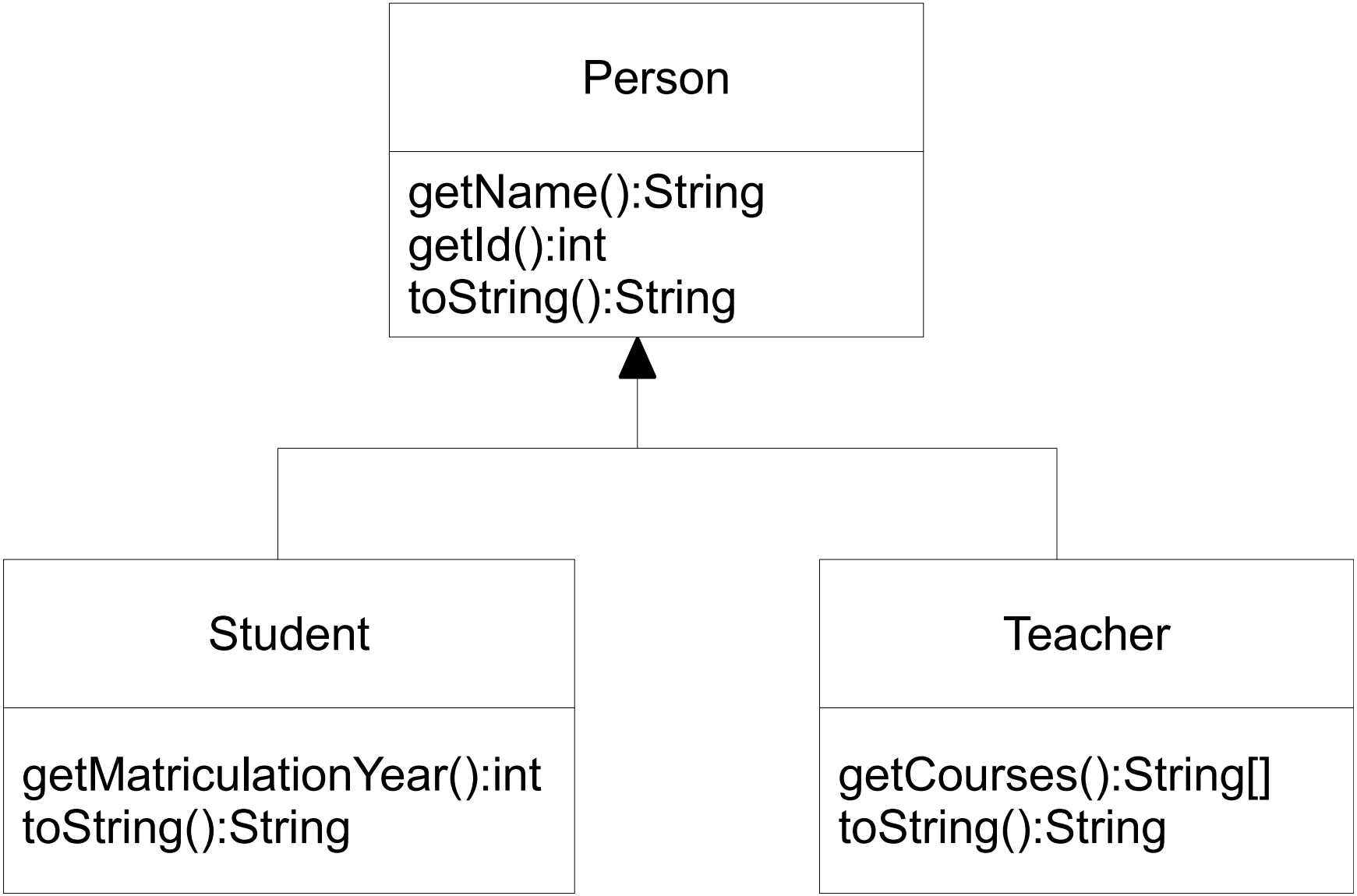
Struttura di un oggetto in memoria

- Inizia con una intestazione ereditata da `Object` (16 byte circa), che include
  - Indicazione di quale sia la classe dell'oggetto (runtime type information)
  - Tabella dei puntatori ai metodi, per supportare il late-binding
  - I campi (privati) della classe `Object`
- Via via tutti i campi della classe, a partire da quelli delle superclassi

Conseguenze: se la classe `C` è sottoclasse di `A`...

Allora un oggetto di `C` è simile ad un oggetto di `A`, ha solo informazioni aggiuntive in fondo, e questo semplifica la sostituibilità!

Esempio applicazione polimorfismo fra classi – UML



Person

```
1  public class Person {
2
3    private final String name;
4    private final int id;
5
6    public Person(final String name, final int id) {
7      super();
8      this.name = name;
9      this.id = id;
10   }
11
12   public String getName() {
13     return name;
14   }
15
16   public int getId() {
17     return id;
18   }
19
20   public String toString() {
21     return "Person [name=" + name + ", id=" + id + "]";
22   }
23 }
```

Student

```
1  public class Student extends Person {
2
3    final private int matriculationYear;
4
5    public Student(final String name, final int id,
6                   final int matriculationYear) {
7      super(name, id);
8      this.matriculationYear = matriculationYear;
9    }
10
11   public int getMatriculationYear() {
12     return matriculationYear;
13   }
14
15   public String toString() {
16     return "Student [getName()=" + getName() +
17         ", getId()=" + getId() +
18         ", matriculationYear=" + matriculationYear + "]";
19   }
20
21 }
```

Teacher

```java
import java.util.Arrays;

public class Teacher extends Person {

  final private String[] courses;

  public Teacher(final String name, final int id,
                 final String[] courses) {
    super(name, id);
    this.courses = courses;
  }

  public String[] getCourses() {
    // copia difensiva necessaria a preservare incapsulamento
    return Arrays.copyOf(courses,courses.length);
  }

  public String toString() {
    return "Teacher [getName()=" + getName() +
        ", getId()=" + getId() +
        ", courses=" + Arrays.toString(courses) + "]";
  }
}
```

UsePerson

```
1  public class UsePerson {
2
3    public static void main(String[] args) {
4
5      final Person[] people = new Person[]{
6          new Student("Marco Rossi",334612,2013),
7          new Student("Gino Bianchi",352001,2013),
8          new Student("Carlo Verdi",354100,2012),
9          new Teacher("Mirko Viroli",34121,new String[]{
10             "PO","FINF-A","ISAC"
11         })
12     };
13
14     for (final Person p: people){
15       System.out.println(p.getName()+": "+p);
16     }
17   }
18 }
```

La differenza col caso del polimorfismo con le interfacce

Polimorfismo con le interfacce

- La classe `D` usa una interfaccia `I`, non un'altra classe `C`
- Si può assumere vi sia un certo contratto, ma non che vi sia uno specifico comportamento (quello di `C`) che sia stato eventualmente specializzato

Le classi non consentono "ereditarietà multipla" (in C++ si)

- *NON* è possibile in Java dichiarare: `class C extends D1,D2 ...`
  - si creerebbero problemi se `D1` e `D2` avessero proprietà comuni
  - diventerebbe complicato gestire la struttura in memoria dell'oggetto
- Con le interfacce non ci sono questi problemi, risultato:
  - è molto più semplice prendere una classe esistente e renderla compatibile con una interfaccia `I`, piuttosto che con una classe `C`

Riassunto polimorfismo inclusivo

Polimorfismo

- Fornisce sopratipi che raccolgono classi uniformi tra loro
- Usabili da funzionalità ad alta riusabilità
- Utile per costruire collezioni omogenee di oggetti

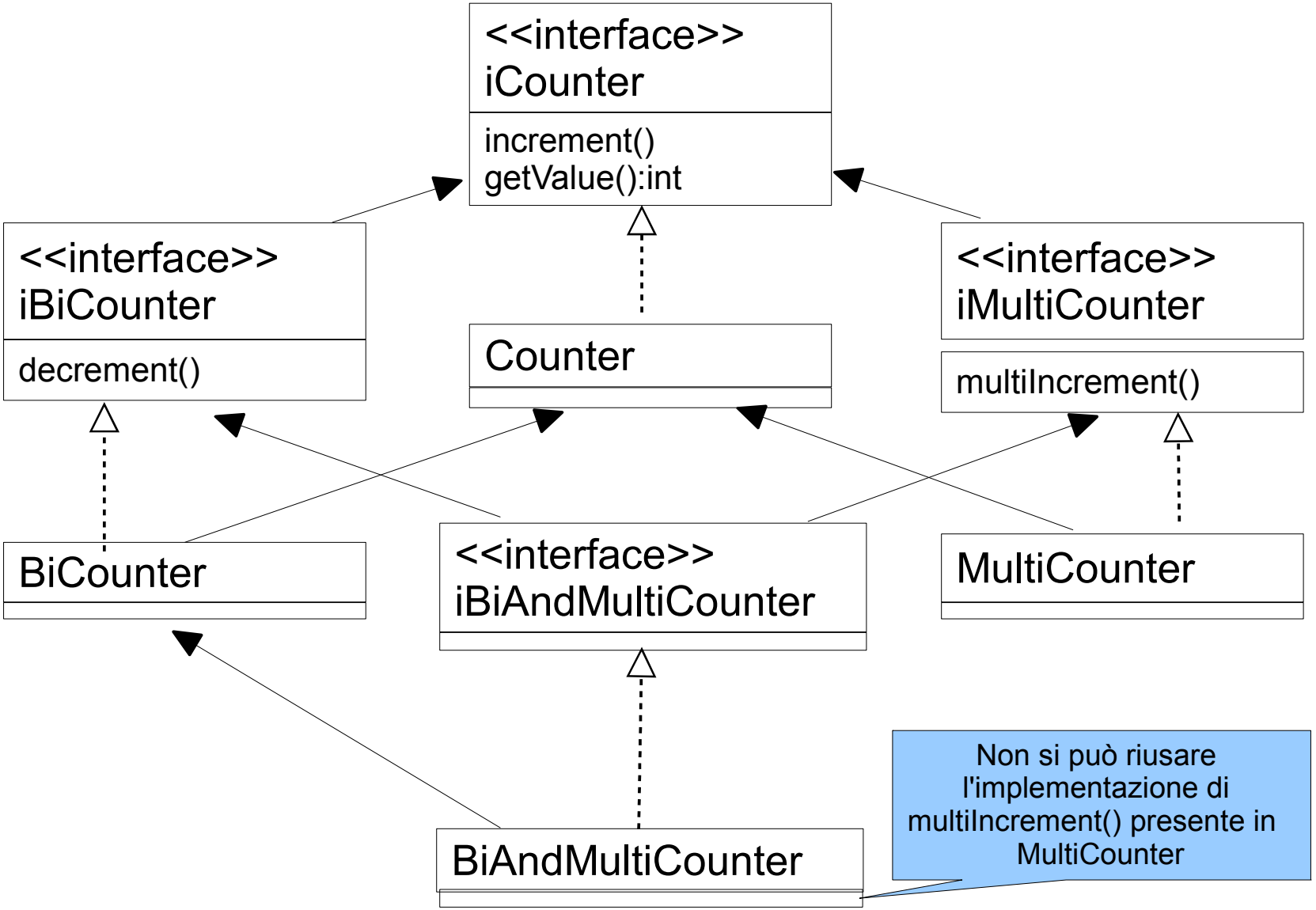
Polimorfismo con le interfacce

- Solo relativo ad un contratto
- Facilità nel far aderire al contratto classi esistenti
- Spesso vi è la tendenza a creare un alto numero di interfacce

Polimorfismo con le classi

- Relativo a contratto e comportamento
- In genere ci si aderisce per costruzione dall'inizio
- Vincolato dall'ereditarietà singola

Come simulare ereditarietà multipla?



Outline

Everything is an `Object`

Perché avere una radice comune per tutte le classi?

- Consente di fattorizzare lì comportamento comune
- Consente la costruzione di funzionalità che lavorano su qualunque oggetto

Esempi di applicazione:

- Container polimorfici, ad esempio via array di tipo `Object[]`
  - permette di costruire un elenco di oggetti di natura anche diversa
  - `new Object[]{new SimpleLamp(),new Integer(10)}`
- Definizione di metodi con numero variabile di argomenti
  - argomenti codificati come `Object[]`

Uso di Object[]

```
1  /* Tutti gli oggetti possono formare un elenco Object[] */
2  public class AObject {
3    public static void main(String[] s) {
4      final Object[] os = new Object[5];
5      os[0] = new Object();
6      os[1] = "stringa";
7      os[2] = new Integer(10);
8      os[3] = new int[] { 10, 20, 30 };
9      os[4] = new java.util.Date();
10     printAll(os);
11     System.out.println(Arrays.toString(os));
12     System.out.println(Arrays.deepToString(os));
13   }
14
15   public static void printAll(final Object[] array) {
16     for (final Object o : array) {
17       System.out.println("Oggetto:" + o.toString());
18     }
19   }
20 }
```

Tipo statico e tipo a run-time

Una dualità introdotta dal subtyping (polimorfismo inclusivo)

- Tipo statico: il tipo di dato di una espressione desumibile dal compilatore
- Tipo run-time: il tipo di dato del valore(/oggetto) effettivamente presente (potrebbe essere un sottotipo di quello statico)
  - in questo caso le chiamate di metodo son fate per late-binding

Esempio nel codice di `printAll()`, dentro al `for`

- Tipo statico di o è `Object`
- Tipo run-time di o varia di volta in volta: `Object`,`String`,`Integer`,..

Ispezione tipo a run-time

- In alcuni casi è necessario ispezionare il tipo a run-time
- Lo si fa con l'operatore `instanceof`

instanceof e conversione di tipo

```java
/* Everything is an Object, ma quale?? */
public class AObject2 {
  public static void main(String[] s) {
    final Object[] os = new Object[5];
    os[0] = new Object();
    os[1] = new Integer(10);
    os[2] = new Integer(20);
    os[3] = new int[] { 10, 20, 30 };
    os[4] = new Integer(30);
    printAllAndSum(os);
  }

  /* Voglio anche stampare la somma degli Integer presenti */
  public static void printAllAndSum(final Object[] array) {
    int sum = 0;
    for (final Object o : array) {
      System.out.println("Oggetto:" + o.toString());
      if (o instanceof Integer) { // test a runtime
        final Integer i = (Integer) o; // (down)cast
        sum = sum + i.intValue();
      }
    }
    System.out.println("Somme degli Integer: " + sum);
  }
```

`instanceof` e conversione di tipo

Ispezione ed uso della sottoclasse effettiva

Data una variabile (o espressione) del tipo statico `C` può essere necessario capire se sia della sottoclasse `D`, in tal caso, su tale oggetto si vuole richiamare un metodo specifico della classe `D`.

Coppia `instanceof` + conversione

- con l'operatore `instanceof` si verifica se effettivamente sia di tipo `D`
- con la conversione si deposita il riferimento in una espressione con tipo statico `D`
- a questo punto si può invocare il metodo

Solo due tipi di conversione fra classi consentite

- Upcast: da sottoclasse a superclasse (spesso automatica)
- Downcast: da superclasse a sottoclasse (potrebbe fallire)

Errori possibili connessi alle conversioni

Errori semantici (a tempo di compilazione, quindi innocui)

- Tentativo di conversione che non sia né upcast né downcast
- Chiamata ad un metodo non definito dalla classe (statica) del receiver

Errori d'esecuzione (molto pericolosi, evitabili con l'`instanceof`)

- Downcast verso una classe incompatibile col tipo dinamico, riportato come `ClassCastException`

```
1  /* Showing ClassCastException */
2  public class ShowCCE {
3    public static void main(String[] as) {
4      Object o = new Integer(10);
5      Integer i = (Integer) o; // OK
6      String s = (String) o; // ClassCastException
7      // int i = o.intValue(); // No, intValue() non def.
8      // String s = (String)i; // No, tipi inconvertibili
9    }
10 }
```

instanceof, conversioni e Person

```
1  public class UsePerson2 {
2
3    public static void main(String[] args) {
4
5      final Person[] people = new Person[] {
6          new Student("Marco Rossi", 334612, 2013),
7          new Student("Gino Bianchi", 352001, 2013),
8          new Student("Carlo Verdi", 354100, 2012),
9          new Teacher("Mirko Viroli", 34121,
10                 new String[] { "PO", "FINF-A", "ISAC" }) };
11
12     for (final Person p : people) {
13       if (p instanceof Student) {
14         final Student s = (Student) p; // Qui non fallisce
15         System.out.println(s.getName() + " " +
16                            s.getMatriculationYear());
17       }
18     }
19   }
20 }
```

Outline

Motivazioni

Fra interfacce e classi

- Le interfacce descrivono solo un contratto
- Le classi definiscono un comportamento completo
- ...c'è margine per costrutti intermedi?

Classi astratte

- Sono usate per descrivere classi dal comportamento parziale, ossia in cui alcuni metodi sono dicharati ma non implementati
- Tali classi non sono istanziabili (l'operatore `new` non può essere usato)
- Possono essere estese e ivi completate, da cui la generazione di oggetti

Tipica applicazione: pattern Template Method

Serve a dichiare uno schema di strategia con un metodo che definisce un comportamente comune (spesso `final`), ma che usa metodi da concretizzare in sottoclassi

Classi astratte

Una classe astratta:

- è dichiarata tale: `abstract class C ... {...}`
- non può essere usata per generare oggetti
- può opzionalmente dichiarare metodi astratti:
  - hanno forma ad esempio: `abstract int m(int a, String s);`
  - ossia senza body, come nelle dichiarazioni delle interfacce

Altri aspetti

- può definire campi, costruttori, metodi, concreti e non
- ...deve definire con cura il loro livello d'accesso
- può estendere da una classe astratta o non astratta
- può implementare interfacce, senza essere tenuta ad ottemperarne il contratto
- chi estende una classe astratta può essere non-astratto solo se implementa tutti i metodi definiti

Esempio: `LimitedLamp` come classe astratta

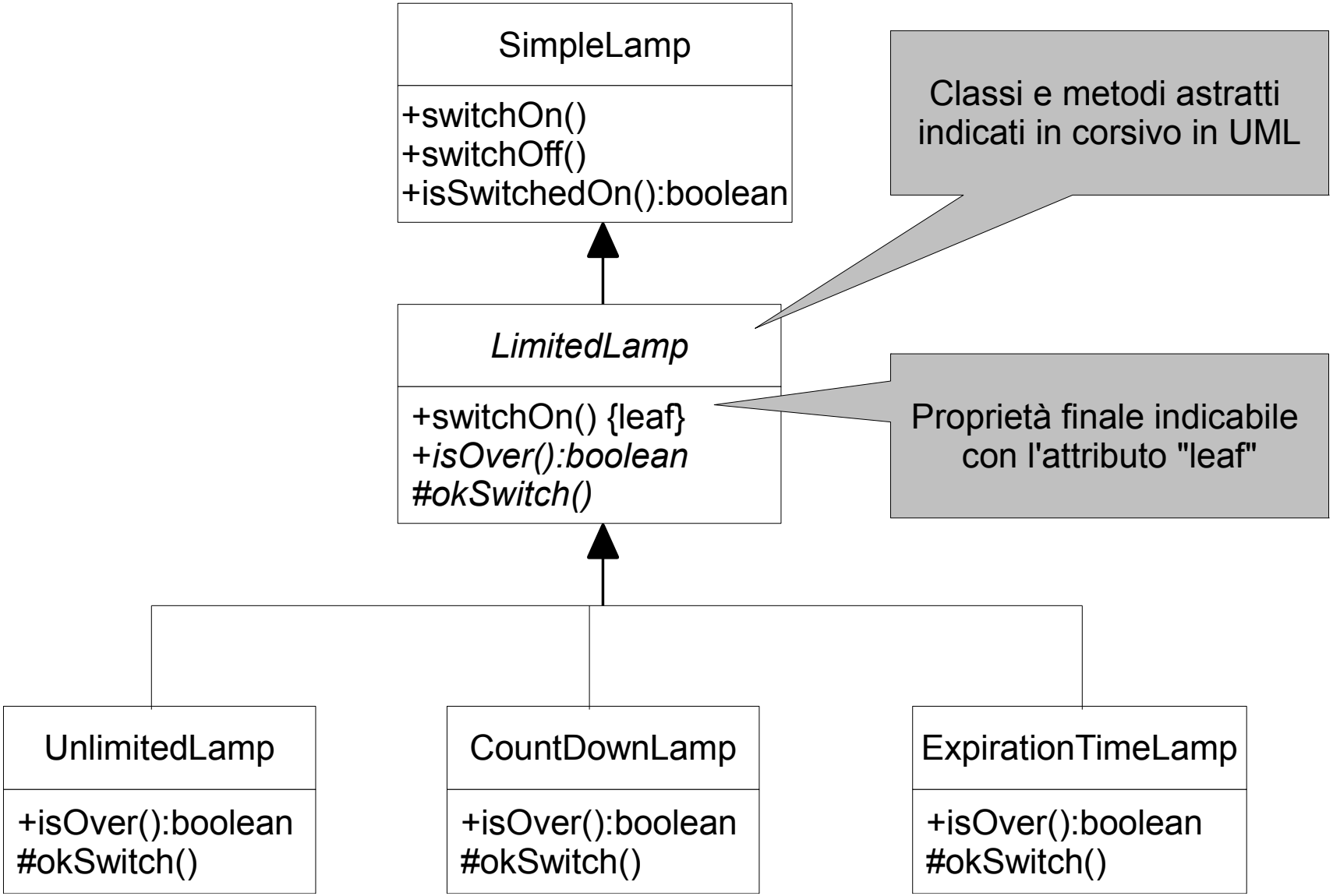
Obbiettivo

- Vogliamo progettare una estensione di `SimpleLamp` col concetto di esaurimento
- La strategia con la quale gestire tale esaurimento può essere varia
- Ma bisogna far sì che qualunque strategia si specifichi, sia garantito che:
  - la lampadina si accenda solo se non esaurita
  - in caso di effettiva accensione sia possibile tenerne traccia ai fini della strategia

Soluzione

- Un uso accurato di `abstract`, `final`, e `protected`
- Daremo tre possibili specializzazioni per una `LimitedLamp`
  - che non si esaurisce mai
  - che si esaurisce all'n-esima accensione
  - che si esaurisce dopo un certo tempo dalla prima accensione

UML complessivo



SimpleLamp

```
1  public class SimpleLamp {
2
3    private boolean switchedOn;
4
5    public SimpleLamp() {
6      this.switchedOn = false;
7    }
8
9    public void switchOn() {
10     this.switchedOn = true;
11   }
12
13   public void switchOff() {
14     this.switchedOn = false;
15   }
16
17   public boolean isSwitchedOn() {
18     return this.switchedOn;
19   }
20 }
```

LimitedLamp

```
1  public abstract class LimitedLamp extends SimpleLamp {
2
3    public LimitedLamp() {
4      super();
5    }
6
7    /* Questo metodo è finale: - regola la coerenza con okSwitch() e isOver()
       */
8    public final void switchOn() {
9      if (!this.isSwitchedOn() && !this.isOver()) {
10       super.switchOn();
11       this.okSwitch();
12     }
13   }
14
15   /* Cosa facciamo se abbiamo effettivamente acceso? Dipende dalla strategia
16    */
17   protected abstract void okSwitch();
18
19   /* Strategia per riconoscere se la lamp è esaurita */
20   public abstract boolean isOver();
21
22   public String toString() {
23     return "Over: " + this.isOver() + ", switchedOn: "  + this.isSwitchedOn
       ();
24   }
25 }
```

UnlimitedLamp

```
1  /* Non si esaurisce mai */
2  public class UnlimitedLamp extends LimitedLamp {
3
4    /* Nessuna informazione extra da tenere */
5    public UnlimitedLamp() {
6      super();
7    }
8
9    /* Allo switchOn.. non faccio nulla */
10   protected void okSwitch() {
11   }
12
13   /* Non è mai esaurita */
14   public boolean isOver() {
15     return false;
16   }
17 }
```

CountdownLamp

```java
/* Si esaurisce all'n-esima accensione */
public class CountdownLamp extends LimitedLamp {

  /* Quanti switch mancano */
  private int countdown;

  public CountdownLamp(final int countdown) {
    super();
    this.countdown = countdown;
  }

  /* Allo switchOn.. decremento il count */
  protected void okSwitch() {
    this.countdown--;
  }

  /* Finito il count.. lamp esaurita */
  public boolean isOver() {
    return this.countdown == 0;
  }
}
```

ExpirationTimeLamp

```java
/* Si esaurisce dopo un certo tempo (reale) dopo la prima accensione */
public class ExpirationTimeLamp extends LimitedLamp {

  /* Tengo il momento dell'accensione e la durata */
  private Date firstSwitchDate;
  private long duration;

  public ExpirationTimeLamp(final long duration) {
    super();
    this.duration = duration;
    this.firstSwitchDate = null;
  }

  /* Alla prima accensione, registro la data */
  protected void okSwitch() {
    if (this.firstSwitchDate == null) {
      this.firstSwitchDate = new java.util.Date();
    }
  }

  /* Esaurita se è passato troppo tempo */
  public boolean isOver() {
    return this.firstSwitchDate != null &&
       (new Date().getTime() - this.firstSwitchDate.getTime()
           >= this.duration);
  }
```

UseLamps

```
1  public class UseLamps {
2    // clausola throws Exception qui sotto necessaria!!
3    public static void main(String[] s) throws Exception {
4      LimitedLamp lamp = new UnlimitedLamp();
5      lamp.switchOn();
6      System.out.println("ul| " + lamp);
7      for (int i = 0; i < 1000; i++) {
8        lamp.switchOff();
9        lamp.switchOn();
10     }
11     System.out.println("ul| " + lamp); // non si è esaurita
12
13     lamp = new CountdownLamp(5);
14     for (int i = 0; i < 4; i++) {
15       lamp.switchOn();
16       lamp.switchOff();
17     }
18     System.out.println("cl| " + lamp);
19     lamp.switchOn();
20     System.out.println("cl| " + lamp); // al quinto switch si esaurisce
21
22     lamp = new ExpirationTimeLamp(1000); // 1 sec
23     lamp.switchOn();
24     System.out.println("el| " + lamp);
25     Thread.sleep(10000); // attendo 1.1 secs
26     System.out.println("el| " + lamp); // dopo 1.1 secs si è esaurita
27   }
28 }
```

Classi astratte vs interfacce

- Due versione quasi equivalenti
- Unica differenza, ereditarietà multipla per le interfacce

```
1  /* Versione interfaccia */
2  public interface Counter{
3      void increment();
4      int getValue();
5  }
6
7  /* Versione classe astratta */
8  public abstract class Counter{
9      public abstract void increment();
10     public abstract int getValue();
11 }
```

Wrap-up su ereditarietà

Il caso più generale:

```
class C extends D implements I,J,K,L {..}
```

Cosa deve/può fare la classe `C`

- deve implementare tutti i metodi dichiarati in `I,J,K,L` e super-interfacce
- può fare overriding dei metodi (non finali) definiti in `D` e superclassi

Classe astratta:

```
abstract class CA extends D implements I,J,K,L {..}
```

Cosa deve/può fare la classe `CA`

- non è tenuta a implementare alcun metodo
- può implementare qualche metodo per definire un comportamento parziale

Outline

Autoboxing dei tipi primitivi

Già conosciamo i Wrapper dei tipi primitivi

- `Integer i=new Integer(10);`
- `Double d=new Double(10.5);`
- ..ossia, ogni valore primitivo può essere "boxed" in un oggetto

Autoboxing

- Una tecnica recente di Java
- Si simula l'equivalenza fra tipi primitivi e loro Wrapper
- Due meccanismi:
  - Se si trova un primitivo dove ci si attende un oggetto, se ne fa il boxing
  - Se si trova un wrapper dove ci si attende un primitivo, si fa il de-boxing

Risultato

- Si simula meglio l'idea "Everything is an Object"
- Anche i tipi primitivi sono usabili ad esempio con `Object[]`

Uso dell'autoboxing

```java
/* Showcase dell'autoboxing */
public class Boxing {
  public static void main(String[] s) {
    final Object[] os = new Object[5];
    os[0] = new Object();
    os[1] = 5; // equivale a os[1]=new Integer(5);
    os[2] = 10; // equivale a os[2]=new Integer(10);
    os[3] = true; // equivale a os[3]=new Boolean(true);
    os[4] = 20.5; // equivale a os[4]=new Double(20.5);
    final Integer[] is = new Integer[] { 10, 20, 30, 40 };
    final int i = is[0] + is[1] + is[2] + is[3];
    // equivale a: is[0].intValue()+ is[1].intValue()+..
    // non funzionerebbe se 'is' avesse tipo Object[]..
    System.out.println("Somma: " + i); // 100
  }
}
```

Variable arguments

A volte è utile che i metodi abbiano un numero variabile di argomenti

- `int i=sum(10,20,30,40,50,60,70);`
- `printAll(10,20,3.5,new Object());`
- prima di Java 5 si simulava passando un unico array

Variable arguments

- L'ultimo (o unico) argomento di un metodo può essere del tipo "`Type... argname`"
  - p.e. `void m(int a,float b,Object... args){...}`
- Nel body del metodo, `argname` è trattato come un `Type[]`
- Chi chiama il metodo, invece che passare un array, passa una lista di argomenti di tipo `Type`
- Funziona automaticamente con polimorfismo, autoboxing, `instanceof`,...

Uso dei variable arguments

```
1  public class VarArgs {
2    // somma un numero variabile di Integer
3    public static int sum(final Integer... args) {
4      int sum = 0;
5      for (int i : args) {
6        sum = sum + i;
7      }
8      return sum;
9    }
10
11   // stampa il contenuto degli argomenti, se meno di 10
12   public static void printAll(final String start, final Object... args) {
13     System.out.println(start);
14     if (args.length < 10) {
15       for (final Object o : args) {
16         System.out.println(o);
17       }
18     }
19   }
20
21   public static void main(String[] s) {
22     System.out.println(sum(10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80));
23     printAll("inizio", 1, 2, 3.2, true, new int[] { 10 }, new Object());
24     System.out.format("%d %d\n", 10, 20); // C-like printf
25   }
26 }
```

Preview del prossimo laboratorio

Obbiettivi

Familiarizzare con:

- Estensione delle classi e corrsipondente polimorfismo
- Classi astratte
- Tipi a run-time e boxing