Le gerarchie di tipi

Sotto-tipo

- *B è un sotto-tipo di A: "every object that satisfies interface B also satisfies interface A"*

- Obiettivo metodologico: il codice scritto guardando la specifica di A opera correttamente anche se viene usata la specifica di B

Sotto-tipi e Principio di Sostituzione

- B è un sotto-tipo di A: B può essere sostituito per A
  - una istanza del sotto-tipo B soddisfa le proprietà del super-tipo A
  - una istanza del sotto-tipo B può avere maggiori vincoli di quella del super-tipo A

Terminologia

- Quella di sotto-tipo è una nozione semantica (specifica delle proprietà)
- B è un sotto-tipo di A se e solo se un oggetto di B si può mascherare come un oggetto di A in tutti i possibili contesti

- L'ereditarietà è una nozione di implementazione
  - creare una nuova classe evidenziando solo le differenze (il codice nuovo)

Principio di sostituzione

- Un oggetto del sotto-tipo può essere sostituito a un oggetto del super-tipo senza influire sul comportamento dei programmi che utilizzano il tipo
  - i sotto-tipi supportano il comportamento del super-tipo
- Astrazione via specifica per una famiglia di tipi
  - astraiamo diversi sotto-tipi a quello che hanno in comune

Vogliamo che la specifica del sottotipo soddisfi quella del supertipo!!!

Gerarchia di tipi: specifica

- Specifica del tipo superiore della gerarchia
  - come quelle che già conosciamo
  - l'unica differenza è che può essere parziale, e per esempio possono mancare i costruttori
- Specifica di un sotto-tipo
  - la specifica di un sotto-tipo è data relativamente a quella dei suoi super-tipi
  - non si definiscono nuovamente quelle parti delle specifiche del super-tipo che non cambiano
  - vanno specificati solo
    - i costruttori del sotto-tipo
    - i metodi "nuovi" forniti dal sotto-tipo
    - i metodi del super-tipo che il sotto-tipo ridefinisce

Gerarchia di tipi: implementazione

- Implementazione del super-tipo
  - può non essere implementato affatto
  - può avere implementazioni parziali, ovvero alcuni metodi sono implementati e altri no
  - può fornire informazioni a potenziali sotto-tipi dando accesso a variabili o metodi di istanza
    - ✓ che un "normale" utente del super-tipo non può vedere
- I sotto-tipi sono implementati come estensioni dell'implementazione del super-tipo
  - la *rep* degli oggetti del sotto-tipo contiene anche le variabili di istanza definite nell'implementazione del super-tipo
  - alcuni metodi possono essere ereditati
  - di altri il sotto-tipo può definire una nuova implementazione

Gerarchie di tipi in Java

- Attraverso l'ereditarietà
  - una classe può essere sotto-classe di un'altra (la sua super-classe) e implementare zero o più interfacce
- Il super-tipo (classe o interfaccia) fornisce in ogni caso la specifica del tipo
  - le interfacce fanno solo questo
  - le classi possono anche fornire parte dell'implementazione

Gerarchie di tipi in Java

- I super-tipi sono definiti da: classi o interfacce
- Le classi possono essere
  - astratte (forniscono un'implementazione parziale del tipo)
    - ✓ non hanno oggetti
    - ✓ il codice esterno non può chiamare i loro costruttori
    - ✓ possono avere metodi astratti la cui implementazione è lasciata a qualche sotto-classe
  - concrete (forniscono un'implementazione piena del tipo)
- Le classi astratte e concrete possono contenere metodi finali
  - non possono essere reimplementati da sotto-classi

Interfacce in Java

- Le interfacce definiscono solo il tipo (specifica) e non implementano nulla
  - contengono solo (le specifiche di) metodi
    - ✓ pubblici
    - ✓ non statici
    - ✓ astratti

Gerarchie di tipi in Java

- Una sotto-classe dichiara la super-classe che estende (e/o le interfacce che implementa)
  - ha tutti i metodi della super-classe con gli stessi nomi e segnature
  - può implementare i metodi astratti e reimplementare gli altri (purché non final)
  - qualunque metodo sovrascritto deve avere segnatura identica a quella della super-classe
    - ma i metodi della sotto-classe possono sollevare meno eccezioni
- La rappresentazione di un oggetto di una sotto-classe consiste delle variabili di istanza proprie e di quelle della super-classe
  - quelle della super-classe non possono essere accedute direttamente se sono (come dovrebbero essere) dichiarate private

Gerarchie di tipi in Java

- La super-classe può lasciare parti della sua implementazione accessibili alle sotto-classi
  - dichiarando metodi e variabili protected
    - ✓ implementazioni delle sotto-classi più efficienti
    - ✓ si perde l'astrazione completa, che dovrebbe consentire di reimplementare la super-classe senza influenzare l'implementazione delle sotto-classi
    - ✓ le entità protected sono visibili anche all'interno dell'eventuale package che contiene la super-classe
- Meglio interagire con le super-classi attraverso le loro interfacce pubbliche

Esempio: gerarchia con super-tipo classe

- In cima alla gerarchia si trova una variante di `IntSet`
  - la classe è concreta
  - fornisce un insieme di metodi che le sotto-classi possono ereditare, estendere o sovra-scrivere

Specifica del super-tipo


```
public class IntSet {
   // OVERVIEW: un IntSet e' un insieme modificabile
   // di interi di dimensione qualunque
   public IntSet ( )
       // EFFECTS: inizializza this a vuoto
   public void insert(int x)
       // EFFECTS: aggiunge x a this
   public void remove(int x)
       // EFFECTS: toglie x da this
   public boolean isIn(int x)
       // EFFECTSS: se x appartiene a this
       // ritorna true, altrimenti false
   public int size( )
       // EFFECTS: ritorna la cardinalità di this
   public boolean subset (IntSet s)
       // EFFECTS: se this e' un sottoinsieme di s
       // ritorna true, altrimenti false
}
```

Implementazione del super-tipo


```
public class IntSet {
   // OVERVIEW: un IntSet e' un insieme modificabile
   // di interi di dimensione qualunque

private Vector els; // la rappresentazione

   public IntSet ( )
        // EFFECTS: inizializza this a vuoto
 { els = new Vector( ); }

private int getIndex(Integer x) { ... }
      // EFFECTS: se x occorre in this ritorna la posizione
      // in cui si trova, altrimenti -1

public boolean isIn(int x)
      // EFFECTS: se x appartiene a this ritorna true,
      // altrimenti false
      { return getIndex(new Integer(x)) >= 0; }
```

Implementazione del super-tipo


```
public class IntSet {
   // OVERVIEW: un IntSet e' un insieme modificabile
   // di interi di dimensione qualunque

private Vector els; // la rappresentazione

public boolean subset(IntSet s) {
      // EFFECTS: se this e' un sottoinsieme di s
      // ritorna true, altrimenti false

      if  (s == null) return false;
      for (int i = 0; i < els.size( ); i++)
         if (!s.isIn(((Integer) els.get(i)).intValue()))
            return false;
      return true;
   }
}
```

Un sotto-tipo: `MaxIntSet`

- Si comporta come **`IntSet`**
  - ma ha un metodo nuovo *max*, che ritorna l'elemento massimo nell'insieme
  - la specifica di **`MaxIntSet`** definisce solo quel che c'è di nuovo
    - ✓ il costruttore e il metodo max
  - tutto il resto della specifica viene ereditato da **`IntSet`**

Specifica del sotto-tipo


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
   // OVERVIEW: un MaxIntSet è un sotto-tipo di IntSet che
   // lo estende con il metodo max
   public MaxIntSet( )
        // EFFECTS: inizializza this al MaxIntSet vuoto
   public int max( ) throws EmptyException
        // EFFECTS: se this è vuoto solleva EmptyException,
        // altrimenti ritorna l'elemento massimo in this
}
```

- la specifica di **`MaxIntSet`** definisce solo quel che c'è di nuovo
  - ✓ il costruttore
  - ✓ il metodo max
- tutto il resto della specifica viene ereditato da **`IntSet`**

Implementazione del sotto-tipo

- Per evitare di generare ogni volta tutti gli elementi dell'insieme, memorizziamo in una variabile di istanza di `MaxIntSet` il valore massimo corrente
  - oltre ad implementare max
  - dobbiamo reimplementare insert e remove per tenere aggiornato il valore massimo corrente
  - sono i soli metodi per cui c'è overriding
  - tutti gli altri vengono ereditati da `IntSet`

Implementazione del sotto-tipo 1


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
// OVERVIEW: un MaxIntSet è un sotto-tipo di IntSet che
// lo estende con il metodo max

private int mass;

public MaxIntSet ( ) {
 // EFFECTS: inizializza this al MaxIntSet vuoto
   super( ); }
```

- Chiamata esplicita del costruttore del super-tipo
- Nient'altro da fare
  - perché mass non ha valore quando els è vuoto

Implementazione del sotto-tipo 2


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
// OVERVIEW: un MaxIntSet è un sotto-tipo di IntSet
   che
// lo estende con il metodo max

private int mass;
   ...
public int max( ) throws EmptyException {
 // EFFECTS: se this e' vuoto solleva
// EmptyException, altrimenti
// ritorna l'elemento massimo in this

 if (size( ) == 0) throw
              new EmptyException("MaxIntSet.max");
 return mass;
  }
```

- Usa un metodo ereditato dal super-tipo (`size`)

Implementazione del sotto-tipo 3


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
// OVERVIEW: un MaxIntSet è un sotto-tipo di IntSet che
// lo estende con il metodo max

private int mass;
   ...

   ...
public void insert (int x) {
       if (size( ) == 0 || x > mass) mass = x;
       super.insert(x);
   }
```

- Chiama il metodo insert del super-tipo
  - attraverso il prefisso **super**

Implementazione del sotto-tipo 4


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
//OVERVIEW:un MaxIntSet è un sotto-tipo di IntSet
// che lo estende con il metodo max

private int mass;
   ...
public void remove(int x) { … }
```

- Problema: come possiamo riscrivere remove se non abbiamo accesso agli elementi del super-tipo? Ovvero **alla rappresentazione (els)**
- Lo discutiamo dopo!!

AF di una sottoclasse

- Definita in termini di quella del super-tipo, nome della classe come indice per distinguerle
- Funzione di astrazione per **`MaxIntSet`**

$$AF_{\texttt{MaxntSet}}(c) = AF_{\texttt{IntSet}}(c)$$

- La funzione di astrazione è la stessa di **`IntSet`**: produce lo stesso insieme di elementi dalla stessa rappresentazione (els)
  - il valore della variabile mass non ha influenza sull'astrazione

IR di una sottoclasse

- Invariante di rappresentazione per **`MaxIntSet`**

$$I_{\texttt{MaxIntSet}}(c) = \; c.size() > 0 \implies$$
$$(c.mass \text{ appartiene a } AF_{\texttt{IntSet}}(c) \;\&\&$$
$$\text{per tutti gli } x \text{ in } AF_{\texttt{IntSet}}(c),\; x <= c.\, mass)$$

- L'invariante non include (e dunque non utilizza) l'invariante di **`IntSet`** perché tocca all'implementazione di **`IntSet`** preservarlo
  - le operazioni di **`MaxIntSet`** non possono interferire perché operano sulla IR del super-tipo solo attraverso i metodi pubblici
- Usa la funzione di astrazione del super-tipo

`repOk` di sotto-classi

- Invariante di rappresentazione per **`MaxIntSet`**

- L'implementazione di `repOk` deve verificare l'invariante della super-classe perché la correttezza di questo è necessaria per la correttezza dell'invariante della sotto-classe

E se il super-tipo espone la rappresentazione?

- Il problema della remove si potrebbe risolvere facendo vedere alla sotto-classe la rappresentazione della super-classe
  - dichiarando il vettore els **protected** nell'implementazione di **`IntSet`**

- in questo caso, l'invariante di rappresentazione di **`MaxIntSet`** deve includere quello di **`IntSet`**
  - perché l'implementazione di **`MaxIntSet`** potrebbe violarlo

$I_{\texttt{MaxIntSet}}(c) = I_{\texttt{IntSet}}(c)$ && *c.size() > 0 ==>*

(c.mass appartiene a $AF_{\texttt{IntSet}}(c)$ &&

per tutti gli x in $AF_{\texttt{IntSet}}(c)$*, x <= c. mass)*

Classi astratte come super-tipi

- Implementazione parziale di un tipo
- Può avere variabili di istanza e uno o più costruttori
- Non ha oggetti
- I costruttori possono esser chiamati solo dalle sotto-classi per inizializzare la parte di rappresentazione della super-classe
- Può contenere metodi astratti (senza implementazione)
- Può contenere metodi regolari (implementati) usando anche i metodi astratti

Classi astratte come super-tipi

- Implementazione parziale di un tipo
  - ✓la parte generica dell'implementazione è fornita dalla super-classe astratta
  - ✓le sotto-classi forniscono i dettagli

- Questa evita di implementare più volte i metodi quando la classe abbia più sotto-classi e permette di dimostrare più facilmente la correttezza

Di nuovo `IntSet`

- Vogliamo definire (come sotto-tipo di `IntSet`) il tipo `SortedIntSet`
  - un nuovo metodo subset (overloaded) per ottenere una implementazione più efficiente quando l'argomento è di tipo `SortedIntSet`
- Vediamo la specifica di `SortedIntSet`
- Può convenire che `IntSet` sia astratta!!!!

Specifica del sotto-tipo


```
public class SortedIntSet extends IntSet {
   // OVERVIEW: un SortedIntSet e' un sotto-tipo di IntSet
   // che lo estende con i metodi max e subset e in cui
   // gli elementi sono accessibili in modo ordinato
 public SortedIntSet( )
        // EFFECTS:: inizializza this all'insieme vuoto
 public int max( ) throws EmptyException
        // EFFECTS: se this e' vuoto solleva EmptyException,
        // altrimenti ritorna l'elemento massimo in this
public boolean subset(SortedIntSet s)
        // EFFECTS: se this e' un sottoinsieme di s
        // ritorna true, altrimenti false
}
```

- La rappresentazione degli oggetti di tipo **SortedIntSet** potrebbe utilizzare una lista ordinata
  - non serve più a nulla la variabile di istanza ereditata da **IntSet**
  - il vettore els andrebbe eliminato da **IntSet**
  - senza els, **IntSet** non può avere oggetti e quindi deve essere astratta

`IntSet` come classe astratta

- Specifiche uguali a quelle già viste
- Dato che la parte importante della rappresentazione (gli elementi dell'insieme) non è definita qui, sono astratti i metodi insert, remove e repOk
- isIn, subset e toString sono implementati in termini del metodo astratto elements
- Teniamo traccia nella super-classe della dimensione con una variabile intera dim
  - che è ragionevole sia visibile dalle sotto-classi (protected)
  - la super-classe non può nemmeno garantire le proprietà di dim
    - ✓ il metodo repOk è astratto
- Non c'è funzione di rappresentazione
  - tipico delle classi astratte, perché la vera implementazione è fatta nelle sotto-classi

`IntSet` come classe astratta


```
public abstract class IntSet{
   protected int dim; // la dimensione

   // costruttore
   public IntSet( ) { dim = 0; }

   // metodi astratti
   public abstract void insert(int x);
   public abstract void remove(int x);
   public abstract boolean repOk( );
   public abstract Vector<Integer> elements( );

   // metodi
   public boolean isIn (int x)
   // implementazione
   public int size( ) { return dim; }
   // implementazioni di subset e toString
}
```

SortedIntSet


```
public class SortedIntSet extends IntSet {

private OrderedIntList els; // la rappresentazione

//costruttore
public SortedIntSet ( ) { els = new OrderedIntList(); }

// metodi
public int max( ) throws EmptyException {
   if (dim == 0) throw new
   EmptyException("SortedIntSet.max");
        return els.max( );
   }

   // implementazione di insert, remove e repOk, elements

}
```

- Si assume esistano per OrderedIntList anche size e max

SortedIntSet


```
public class SortedIntSet extends IntSet {

private OrderedIntList els; // la rappresentazione

   public boolean subset(IntSet s) {
      try { return subset((SortedIntSet) s); }
      catch (ClassCastException e) { return super.subset(s); }
   }
   public boolean subset(SortedIntSet s)
      // qui si approfitta del fatto che smallToBig
      // di OrderedIntList
      // ritorna gli elementi in ordine crescente
}
```

Funzione di Astrazione ed IR


```
public class SortedIntSet extends IntSet

private OrderedIntList els; //la rappresentazione
```

la funzione di astrazione:

a(c) = {c.els[1] , . . . , c.els[c.dim]}

l'invariante di rappresentazione:

```
I(c) = c.els != null &&
          c.dim =c.els.size()
```

Gerarchie di classi astratte

- Anche le sotto-classi possono essere astratte
- Possono continuare a elencare come astratti alcuni dei metodi astratti della super-classe
- Possono introdurre nuovi metodi astratti

Ereditarietà multipla

- Una classe può estendere soltanto una classe
- Ma può implementare una o più interfacce
- Si riesce così a realizzare una forma di ereditarietà multipla
  - nel senso di super-tipi multipli
  - anche se niente di implementato è ereditato dalle interfacce

Discussione finale: quadrati vs. rettangoli

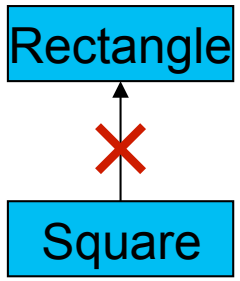

```
interface Rectangle {
      // effects: this_post.width = w, this_post.height = h
      void setSize(int w, int h);
}
interface Square extends Rectangle { ... }
```

Quale è la scelta ottimale per la specifica di **setSize** per **Square**?

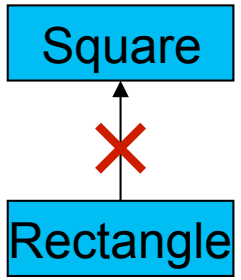
```
1. // requires: w = h
   // effects: ... come sopra
   void setSize(int w, int h);
2. // effects: esattamente come sopra unico parametro
   void setSize(int edgeLength);
3. // effects: come sopra
   // throws BadSizeException if w != h
   void setSize(int w, int h) throws BadSizeException;
```

Discussione finale

- **Square** non è un sotto-tipo di **Rectangle**
  - gli oggetti di **Rectangle** hanno variabili di istanza (base e altezza) indipendenti
  - **Square** viola questa proprietà



- **Rectangle** non è sotto-tipo di **Square**
  - **Square** base e altezza sono identici
  - **Rectangle** viola questa proprietà



- La nozione di sotto-tipo non è sempre quella suggerita dall'intuizione
- Possibile soluzione
  - aggiungere Shape
  - trasformarli in oggetti immutabili