AA 2016-2017

11. Le gerarchie di tipi

Sottotipo

- *B è un sottotipo 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

Sottotipi e principio di sostituzione

- B è un sottotipo di A: B può essere sostituito per A
  - una istanza del sottotipo soddisfa le proprietà del supertipo
  - una istanza del sottotipo può avere maggiori vincoli di quella del supertipo
- Questo non è sempre vero in Java

- Quella di sottotipo è una nozione semantica (specifica delle proprietà)
- B è un sottotipo 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 sottotipo può essere sostituito a un oggetto del supertipo senza influire sul comportamento dei programmi che utilizzano il tipo
  - i sottotipi supportano il comportamento del supertipo
  - per esempio, un programma scritto in termini del tipo AbstractSet può lavorare correttamente su oggetti del tipo TreeSet
- Il sottotipo deve soddisfare le specifiche del supertipo
- Astrazione via specifica per una famiglia di tipi
  - astraiamo diversi sottotipi a quello che hanno in comune

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 sottotipo
  - la specifica di un sottotipo è data relativamente a quella dei suoi supertipi
  - non si definiscono nuovamente quelle parti delle specifiche del supertipo che non cambiano
  - vanno specificati
    - ✓i costruttori del sottotipo
    - ✓i metodi "nuovi" forniti dal sottotipo
    - ✓i metodi del supertipo che il sottotipo ridefinisce

Gerarchia di tipi: implementazione

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

Gerarchie di tipi in Java

- Attraverso l'ereditarietà
  - una classe può essere sottoclasse di un'altra (la sua superclasse) e implementare zero o più interfacce
- il supertipo (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 supertipi sono definiti da
  - classi
  - 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 sottoclasse
  - concrete (forniscono un'implementazione piena del tipo)
- Le classi astratte e concrete possono contenere metodi finali
  - non possono essere reimplementati da sottoclassi

Gerarchie di tipi 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 sottoclasse dichiara la superclasse che estende (e/o le interfacce che implementa)
  - ha tutti i metodi della superclasse con gli stessi nomi e segnature
  - può implementare i metodi astratti e reimplementare i metodi normali (purché non final)
  - qualunque metodo sovrascritto deve avere segnatura identica a quella della superclasse
    - ✓ ma i metodi della sottoclasse possono sollevare meno eccezioni
- La rappresentazione di un oggetto di una sottoclasse consiste delle variabili di istanza proprie e di quelle dichiarate per la superclasse
  - quelle della superclasse non possono essere accedute direttamente se sono (come dovrebbero essere) dichiarate private
- Ogni classe che non estenda esplicitamente un'altra classe estende implicitamente Object

Gerarchie di tipi in Java

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

Esempio: gerarchia con supertipo classe concreta

- In cima alla gerarchia c'è una variante di IntSet
  - la solita, con in più il metodo subset
  - la classe non è astratta
  - fornisce un insieme di metodi che le sottoclassi possono ereditare, estendere o sovrascrivere

Specifica del supertipo


```
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)
      // EFFECTS: 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 s e' un sottoinsieme di this
      // ritorna true, altrimenti false
}
```

Implementazione del supertipo


```
public class IntSet {
    // OVERVIEW: un IntSet e' un insieme modificabile di interi di
    // dimensione qualunque
    private Vector els; // la rappresentazione
    public IntSet( ) { els = new Vector( ); }
        // EFFECTS: inizializza this a vuoto
    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; }
    public boolean subset(IntSet s) {
        // EFFECTS: se s e' un sottoinsieme di this 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 sottotipo: `MaxIntSet`

- Si comporta come IntSet
  - ma ha un metodo nuovo max, che ritorna l'elemento massimo nell'insieme
  - la specifica di MaxIntSet definisce solo quello che c'è di nuovo
    - ✓il costruttore e il metodo max
  - tutto il resto della specifica viene ereditato da IntSet
- Perché non realizzare semplicemente un metodo max *stand alone* esterno alla classe IntSet?
  - facendo un sottotipo si riesce ad implementare max in modo più efficiente

Specifica del sottotipo


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
    // OVERVIEW: un MaxIntSet è un sottotipo 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 quello che c'è di nuovo
  - ✓il costruttore
  - ✓il metodo max
- tutto il resto della specifica viene ereditato da IntSet

Implementazione di `MaxIntSet`

- 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 sottotipo 1


```
public class MaxIntSet {
    // OVERVIEW: un MaxIntSet e' un sottotipo di IntSet che
    // lo estende con il metodo max
    private int mass;
        // l'elemento massimo, se this non e' vuoto
    public MaxIntSet( ) { super( ); }
        // EFFECTS: inizializza this al MaxIntSet vuoto
     ...
}
```

- Chiamata esplicita del costruttore del supertipo
  - potrebbe in questo caso essere omessa
  - necessaria se il costruttore ha parametri
- Nient'altro da fare
  - perché mass non ha valore quando els è vuoto

Implementazione del sottotipo 2


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
    // OVERVIEW: un MaxIntSet e' un sottotipo di
    // IntSet che lo estende con il metodo max

    private int mass;
        // l'elemento massimo, se this non e' vuoto
    ...
    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 supertipo (`size`)

Implementazione del sottotipo 3


```
public class MaxIntSet extends IntSet {
    // OVERVIEW: un MaxIntSet e' un sottotipo di
    // IntSet che lo estende con il metodo max

    private int mass;
        // l'elemento massimo, se this non e' vuoto
    ...
    public void insert (int x) {
        if (size( ) == 0 || x > mass) mass = x;
        super.insert(x);
    }
    ...
}
```

- Ha bisogno di usare il metodo insert del supertipo, anche se overriden
  - attraverso il prefisso super
- Per un programma esterno che usi un oggetto di tipo MaxIntSet il metodo overriden insert del supertipo non è accessibile

Implementazione del sottotipo 4

```
public class MaxIntSet extends IntSet {
    // OVERVIEW: un MaxIntSet e' un sottotipo di IntSet che lo estende con
    // il metodo max

    private int mass; // l'elemento massimo, se this non e' vuoto
    ...
    public void remove(int x) { … }
```

- Problema: come possiamo riscrivere remove se non abbiamo accesso agli elementi del supertipo?
  Lo discutiamo dopo!!

- Invariante di rappresentazione per `MaxIntSet`

  // $I_{MaxIntSet}$ (c) = c.size( ) > 0 ==>

  // (c.mass appartiene a AF_{IntSet}(c) &&

  // per tutti gli x in AF_{IntSet}(c), x <= c. mass

Funzione di astrazione di sottoclassi di una classe concreta

- Definita in termini di quella del supertipo, nome della classe come indice per distinguerle
- Funzione di astrazione per MaxIntSet

```
// la funzione di astrazione è
// AF_MaxIntSet(c) = AF_IntSet(c)
```

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

Invariante di rappresentazione di sottoclassi di una classe concreta

- Invariante di rappresentazione per MaxIntSet

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

- L'invariante non include (e non utilizza in questo caso) l'invariante di IntSet perché tocca all'implementazione di IntSet preservarlo
  - le operazioni di MaxIntSet non possono interferire perché operano sulla rep del supertipo solo attraverso i suoi metodi pubblici
- Usa la funzione di astrazione del supertipo

`repOk` di sottoclassi di una classe concreta

- Invariante di rappresentazione per MaxIntSet

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

- L'implementazione di repOk deve verificare l'invariante della superclasse perché la correttezza di questo è necessaria per la correttezza dell'invariante della sottoclasse

Cosa succede se il supertipo fa vedere la rappresentazione?

- Il problema della remove si potrebbe risolvere facendo vedere alla sottoclasse la rappresentazione della superclasse
  - dichiarando 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

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

Classi astratte come supertipi

- Implementazione parziale di un tipo
- Può avere variabili di istanza e uno o più costruttori
- Non ha oggetti
- I costruttori possono essere chiamati solo dalle sottoclassi per inizializzare la parte di rappresentazione della superclasse
- Può contenere metodi astratti (senza implementazione)
- Può contenere metodi regolari (implementati)
  - questo evita di implementare più volte i metodi quando la classe abbia più sottoclassi e permette di dimostrare più facilmente la correttezza
  - l'implementazione può utilizzare i metodi astratti
    - ✓ la parte generica dell'implementazione è fornita dalla superclasse
    - ✓ le sottoclassi forniscono i dettagli

Perché può convenire trasformare `IntSet` in una classe astratta

- Vogliamo definire (come sottotipo 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

Specifica del sottotipo


```
public class SortedIntSet extends IntSet {
    // OVERVIEW: un SortedIntSet e' un sottotipo 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(Intset s)
        // EFFECTS: se s e' un sottoinsieme di this
        // 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 superclasse della dimensione con una variabile intera dim
  - che è ragionevole sia visibile dalle sottoclassi (protected)
  - la superclasse 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 sottoclassi

Implementazione di `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 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
    // la funzione di astrazione:
    // α(c) = {c.els[1] , . . . , c.els[c.dim]}
    // l'invariante di rappresentazione:
    // I(c) = c.els != null && c.dim = c.els.size()

    // 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
    ...
}
```

- La funzione di astrazione va da liste ordinate a insiemi
  - gli elementi della lista si accedono con la notazione [ ]
- L'invariante di rappresentazione pone vincoli su tutte e due le variabili di istanza (anche quella ereditata)
  - els è assunto ordinato (perché così è in OrderedIntList)
- Si assume che esistano per OrderedIntList anche le operazioni size e max

SortedIntSet


```
public class SortedIntSet extends IntSet {
    private OrderedIntList els; // la rappresentazione
    // la funzione di astrazione:
    // α(c) = {c.els[0] , . . . , c.els[c.(dim-1)]}
    // l'invariante di rappresentazione:
    // I(c) = c.els != null && c.dim = c.els.size()
    ...
    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
}
```

Gerarchie di classi astratte

- Anche le sottoclassi possono essere astratte
- Possono continuare ad elencare come astratti alcuni dei metodi astratti della superclasse
- 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 supertipi multipli
  - anche se non c'è niente di implementato che si eredita dalle interfacce

```
public class SortedIntSet extends IntSet
                    implements SortedCollection { ... }
```

`SortedIntSet` è sottotipo sia di `IntSet` che di `SortedCollection`

Discussione finale

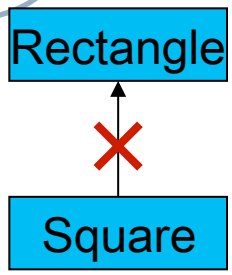
Quadrati vs. rettangoli


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

Quale è la specifica 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

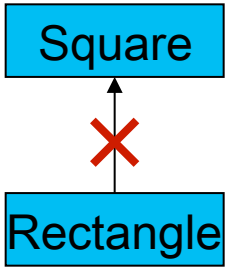


`Square` non è un sottotipo di **`Rectangle`**

- gli oggetti di **`Rectangle`** hanno variabili di istanza (base e altezza) indipendenti
- **`Square`** viola questa proprietà

`Rectangle` non è sottotipo di **`Square`**

- **`Square`** base e altezza sono identici
- **`Rectangle`** non vale questa proprietà



La nozione di sottotipo non è sempre quella suggerita dall'intuizione

Possibile soluzione

- aggiungere Shape
- trasformarli in oggetti immutabili