



AA 2014-2015

12. 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 ad 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 Reader può lavorare correttamente su oggetti del tipo BufferedReader
- ✎ Il sottotipo deve soddisfare le specifiche del supertipo
- ✎ Astrazione via specifica per una famiglia di tipi
 - astraiano 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 è 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 è un sottoinsieme di this
        // ritorna true, altrimenti false
}
```

Implementazione del supertipo



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

⌨ 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 è un sottotipo di
    // IntSet che lo estende con il metodo max

    private int mass;
        // l'elemento massimo, se this non è vuoto
    ...
    public int max( ) throws EmptyException {
        // EFFECTS: se this è 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 è un sottotipo di
    // IntSet che lo estende con il metodo max

    private int mass;
    // l'elemento massimo, se this non è 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 overridden
 - attraverso il prefisso super
- ⌚ Per un programma esterno che usi un oggetto di tipo MaxIntSet il metodo overridden insert del supertipo non è accessibile

Implementazione del sottotipo 4



```
public class MaxIntSet extends IntSet {  
    // OVERVIEW: un MaxIntSet è un sottotipo di IntSet che lo estende con  
    // il metodo max  
  
    private int mass; // l'elemento massimo, se this non è 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

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

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  
//  $AF_{\text{MaxIntSet}}(c) = AF_{\text{IntSet}}(c)$ 
```

- 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

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

- ✎ 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

```
// IMaxIntSet(c) = c.size() > 0 ==>  
// (c.mass appartiene a AFIntSet(c) &&  
// per tutti gli x in AFIntSet(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

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

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 è 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 è vuoto solleva EmptyException,
        // altrimenti ritorna l'elemento massimo in this
    public boolean subset(Intset s)
        // EFFECTS: se s è 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 sz
 - che è ragionevole sia visibile dalle sottoclassi (protected)
 - la superclasse non può nemmeno garantire le proprietà di sz
 - ✓ 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 sz; // la dimensione

    // costruttore
    public IntSet( ) { sz = 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 sz; }
    // implementazioni di subset e toString
}
```

SortedIntSet



```
public class SortedIntSet extends IntSet {
    private OrderedIntList els; // la rappresentazione
    // la funzione di astrazione:
    //  $\alpha(c) = \{c.els[1], \dots, c.els[c.sz]\}$ 
    // l'invariante di rappresentazione:
    //  $I(c) = c.els \neq \text{null} \ \&\& \ c.sz = c.els.size()$ 

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

    // implementations of 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:
    //  $\alpha(c) = \{c.els[0], \dots, c.els[c.sz-1]\}$ 
    // l'invariante di rappresentazione:
    //  $I(c) = c.els \neq null \ \&\& \ c.sz = c.els.size()$ 
    ...
    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: thispost.width = w, thispost.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 dalla intuizione

Rectangle



Square

Square



Rectangle

Possibile soluzione

- aggiungere Shape
- trasformarli in oggetti immutabili

