
PROGRAMMAZIONE 2

9. Astrazioni sui dati: ragionare sui tipi di dato astratti

ADR: Verifica & Validazione

- Proprietà dell'astrazione
 - modificabilità
 - categorie di operazioni
 - dimostrare proprietà dell'astrazione
- Dimostrare proprietà dell'implementazione
 - funzione di astrazione
 - invariante di rappresentazione
 - dimostrazione mediante induzione sui dati

Modificabilità 1

- I tipi non modificabili sono più “sicuri”
 - la condivisione di sottostrutture non crea problemi
 - thread safe
- I tipi non modificabili sono spesso più inefficienti
 - la necessità di costruire spesso copie di oggetti può complicare la vita al garbage collector
- La scelta deve tener conto delle caratteristiche dei concetti matematici o degli oggetti del mondo reale modellati dal tipo
 - gli interi non sono modificabili
 - gli insiemi sono modificabili
 - i conti correnti sono modificabili
 -

Modificabilità 2

- Un tipo non modificabile può essere implementato utilizzando strutture modificabili
 - array, vector, tipi record, tipi astratti modificabili

```
public class MyString{  
    // OVERVIEW: una stringa è una sequenza di  
    // caratteri non modificabile  
    private final char[] data; // la rappresentazione
```

- Attenzione comunque agli effetti laterali “nascosti”
 - un metodo può restituire la rappresentazione modificabile (esporre la rappresentazione)
 - un tipo non modificabile può contenerne uno modificabile che può essere restituito da un metodo (e poi modificato)

Categorie di operazioni 1

- ***creatori***

- creano oggetti del loro tipo “dal nulla”
 - ✓ sicuramente costruttori

```
public IntSet( )  
    // EFFECTS: inizializza this a vuoto
```

- ***produttori***

- prendono come argomenti oggetti del loro tipo e ne costruiscono altri. Possono essere costruttori o metodi

```
public IntSet sub(IntSet s) throws NullPointerException  
    // EFFECTS: s=null solleva NullPointerException  
    // altrimenti ritorna this \ s
```

Categorie di operazioni 2

- **Modificatori:** modificano gli oggetti del loro tipo

```
public void insert (int x)
    // EFFECTS: aggiunge x a this
```

- **Osservatori:** prendono oggetti del loro tipo e restituiscono valori di altri tipi per ottenere informazioni sugli oggetti

```
public boolean isIn (int x)
    // EFFECTS: se x appartiene a this ritorna
    // true, altrimenti false
```

Operazioni

- Quali e quante operazioni in una astrazione?
 - almeno un creatore
 - qualche produttore, se il tipo non è modificabile
 - qualche modificatore, se il tipo è modificabile
 - attraverso creatori e produttori (o modificatori) dovremmo essere in grado di generare tutti i valori astratti
 - qualche osservatore
- Come operare?
 - bilanciando l'efficienza dell'implementazione dei metodi e la complessità della classe

Dimostrare proprietà dell'astrazione

- Aspetto significativo dello sviluppo di sw “safe”: garantire proprietà delle astrazioni
 - storicamente sviluppato per le astrazioni procedurali, ma più interessante per le astrazioni sui dati
- Per dimostrare la proprietà dobbiamo usare le specifiche
- Tecnica di dimostrazione: induzione strutturale
 - si dimostra che la proprietà vale sui valori astratti costruiti dai costruttori
 - si dimostra che se la proprietà vale prima allora vale anche dopo per ogni applicazione di modificatore o produttore

Una proprietà di IntSet

```
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
```

- Proprietà: per ogni IntSet la sua size è ≥ 0
- Per provarla, dobbiamo considerare il costruttore e i due modificatori

Una proprietà di IntSet

- Per ogni IntSet la sua size è ≥ 0
- Per il costruttore

```
public IntSet( )  
    // EFFECTS: inizializza this a vuoto
```

- L'insieme vuoto ha cardinalità 0
 - la proprietà vale per il costruttore

Una proprietà di IntSet

- Per ogni IntSet la sua size è ≥ 0
- Per ogni modificatore

```
public void insert(int x)
    // EFFECTS: aggiunge x a this
```

- Se la proprietà vale prima dell'inserimento, vale anche dopo perché l'inserimento può solo incrementare la cardinalità

Una proprietà di IntSet

- Per ogni IntSet la sua size è ≥ 0
- Per ogni modificatore

```
public void remove(int x)
    // EFFECTS: toglie x da this
```

- Se la proprietà vale prima della rimozione, vale anche dopo perché la rimozione può ridurre la cardinalità solo se l'elemento era contenuto al momento della chiamata

Correttezza dell'implementazione

- Dimostrare che le implementazioni dei metodi soddisfano le rispettive specifiche
 - non possiamo utilizzare la metodologia appena vista
- L'implementazione utilizza la rappresentazione
 - nel caso di `IntSet`: **private Vector els**;
- Le specifiche esprimono proprietà dell'astrazione
 - nel caso di `IntSet`

```
public boolean isIn (int x)
    // EFFECTS: se x appartiene a this ritorna
    // true, altrimenti false
```

- È necessario mettere in relazione tra loro due “insiemi di valori”: i valori astratti e quelli concreti

La funzione di astrazione

- La funzione di astrazione cattura l'intenzione del progettista nello scegliere una particolare rappresentazione
- La funzione di astrazione $\alpha : C \rightarrow A$ porta da uno stato concreto
 - lo stato di un oggetto della implementazione definito in termini della sua rappresentazione
a uno stato astratto
 - lo stato dell'oggetto astratto è definito nella clausola OVERVIEW

```
public class IntSet {  
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile  
    // di interi di dimensione qualunque  
    private Vector els; // la rappresentazione
```

- La funzione di astrazione porta vettori in insiemi

La funzione di astrazione

- La funzione di astrazione può essere multi-a-uno

```
public class IntSet {  
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile  
    // di interi di dimensione qualunque  
    private Vector els; // la rappresentazione
```

- più stati concreti (vettori) vengono portati nello stesso stato astratto (insieme)
 - $\alpha([1,2]) = \{1,2\} = \alpha([2,1])$
- La funzione di astrazione deve sempre essere definita
 - perché è una parte importante delle decisioni relative all'implementazione
 - sintatticamente, è inserita come commento all'implementazione, dopo le dichiarazioni di variabili di istanza che definiscono la rappresentazione
 - senza funzione di astrazione, non si può dimostrare la correttezza dell'implementazione

La funzione di astrazione

- Per definire formalmente la funzione di astrazione dobbiamo avere una notazione per i valori astratti
- Quando è necessario, forniamo (sempre nella OVERVIEW) la notazione per descrivere un tipico stato (valore) astratto
- Nella definizione della funzione di astrazione, useremo la notazione di Java

La funzione di astrazione di IntSet

```
public class IntSet {
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
    // di interi di dimensione qualunque
    // un tipico IntSet è {x1, ..., xn}
    private Vector els; // la rappresentazione
        // la funzione di astrazione:
        //  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue( ) \mid$ 
        //  $0 \leq i < c.els.size( ) \}$ 
}
```

La funzione di astrazione e toString

- Se pensiamo a valori astratti rappresentati come stringhe
 - possiamo implementare la funzione di astrazione, che è esattamente il metodo `toString`
 - utile per stampare valori astratti

```
//  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue( ) \mid$   
//  $0 \leq i < c.els.size( ) \}$ 
```

toString per IntSet

```
//  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue( ) \mid$   
//            $0 \leq i < c.els.size( ) \}$   
  
public String toString( ) {  
    String s = "{";  
    for (int i = 0; i < els.size() - 1; i++)  
        s = s + els.get(i).toString() + ",";  
  
    if (els.size( ) > 0)  
        s = s + els.get(els.size( ) - 1).toString( );  
    s = s + "}";  
    return (s);  
}
```

Verso l'invariante di rappresentazione

- Non tutti gli stati concreti “rappresentano” correttamente uno stato astratto

```
public class IntSet {
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
    // di interi di dimensione qualunque
    // un tipico IntSet è {x1, ..., xn}
    private Vector els; // la rappresentazione
    // la funzione di astrazione:
    //  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue( ) \mid$ 
    //            $0 \leq i < c.els.size( ) \}$ 
```

- Il vettore els potrebbe contenere più occorrenze di un elemento
 - questo potrebbe anche essere coerente con la funzione di astrazione
 - ma non rispecchierebbe la nostra scelta di progetto riflessa nell'implementazione dei metodi

L'invariante di rappresentazione

- L'invariante di rappresentazione è un predicato $I : C \rightarrow \text{Bool}$ che è verificato solo per gli stati concreti che sono rappresentazioni legittime di uno stato astratto
- L'invariante di rappresentazione, insieme alla funzione di astrazione, riflette le scelte relative alla rappresentazione
 - deve essere inserito nella documentazione della implementazione come commento, insieme alla funzione di astrazione
- La funzione di astrazione è una funzione parziale definita solo per stati concreti che soddisfano l'invariante

L'invariante di IntSet

```
public class IntSet {
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
    // di interi di dimensione qualunque
    // un tipico IntSet è {x1, ..., xn}
    private Vector els; // la rappresentazione
    // la funzione di astrazione:
    //  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue() \mid$ 
    //  $0 \leq i < c.els.size()\}$ 
    // l'invariante di rappresentazione:
    //  $I(c) = c.els \neq null$  e
    // per ogni  $i$  tale che  $0 \leq i < c.els.size()$ ,
    //  $c.els.get(i)$  è un Integer e
    // per tutti gli  $i, j$  tali che  $0 \leq i < j < c.els.size()$ ,
    //  $c.els.get(i).intValue() \neq c.els.get(j).intValue()$ 
}
```

- Il vettore non deve essere null
- Gli elementi del vettore devono essere Integer
- Tutti gli elementi sono distinti

Un'altra implementazione per IntSet

```
public class IntSet {  
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile  
    // di interi di dimensione qualunque  
    // un tipico IntSet è {x1, ..., xn}  
    private boolean[100] els;  
    private Vector altriels;  
    private int dim;
```

- L'appartenenza di un elemento n compreso tra 0 e 99 viene realizzata mettendo a true `els[n]`
- Gli elementi maggiori di 99 sono inseriti nel vettore `altriels` gestito come nell'implementazione precedente
- `dim` contiene esplicitamente la cardinalità
 - che sarebbe complessa da calcolare a partire da `els`
- Implementazione sensata solo se la maggior parte degli elementi sono compresi nell'intervallo 0-99

Un'altra implementazione per IntSet

```
public class IntSet {
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
    // di interi di dimensione qualunque
    // un tipico IntSet è  $\{x_1, \dots, x_n\}$ 
    private boolean[100] els;
    private Vector altriels;
    private int dim;
    // la funzione di astrazione:
    //  $\alpha(c) = \{ c.altriels.get(i).intValue() \mid$ 
    //  $0 \leq i < c.altriels.size() \} \cup$ 
    //  $\{j \mid 0 \leq j < 100 \ \& \ c.els[j] \}$ 
}
```


Un'altra implementazione per IntSet

```
public class IntSet {
    // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
    // di interi di dimensione qualunque
    // un tipico IntSet è {x1, ..., xn}
    private boolean[100] els;
    private Vector altriels;
    private int dim;
    // l'invariante di rappresentazione
    // l(c) = c.els != null e
    // c.altriels != null e
    // els.length = 100 e
    // per ogni i tale che 0 <= i < c.altriels.size( ),
    //     c.altriels.get(i) è un Integer e
    //     c.altriels.get(i).intValue( ) non appartiene
    //     all'intervallo 0-99 e
    // per tutti gli i,j tali che
    //     0 <= i < j < c.altriels.size( ),
    //     c.altriels.get(i).intValue( ) !=
    //     c.altriels.get(j).intValue( ) e
    // c.dim = c.altriels.size() + conta(c.els,0)
}
```

Funzione ausiliaria di rep invariant

```
conta(a,i) = if (i >= a.length) return 0;  
             else if (a[i]) return 1+conta(a, i-1);  
             else return conta(a, i-1);
```

Implementare l'invariante

- Il metodo **repOk** che verifica l'invariante può essere fornito dalla astrazione sui dati
 - pubblico perché deve poter essere chiamato da fuori della sua classe, ma non è proprio essenziale
- Ha sempre la seguente specifica

```
public boolean repOk( )  
    // EFFECTS: ritorna true se il rep invariant  
    // vale per this, altrimenti ritorna false
```

repOK

- Può esser usato da programmi di test per verificare se una implementazione preserva l'invariante
- Può venir usato nell'implementazione di costruttori e metodi
 - creatori, modificatori e produttori dovrebbero chiamarlo prima di ritornare per assicurarsi che per l'oggetto costruito o modificato vale l'invariante
 - ✓ per esempio, dovrebbero chiamarlo `insert` e `remove` di `IntSet`, se l'invariante non vale si può sollevare `FailureException`
- In alternativa, l'implementazione è accompagnata da una *dimostrazione formale*, che ci garantisce *che tutti i metodi preservano l'invariante* (vedi dopo)
- La verifica “dinamica” via `repOK` diventa inutile!

repOK per IntSet

```
public class IntSet {
    private Vector els; // la rappresentazione
    // l(c) = c.els != null e
    // per ogni i tale che 0 <= i < j < c. els.size( ),
    //   c.els.get(i) è un Integer e
    // per tutti gli i, j tali che 0 <= i < j < c. els.size( ),
    //   c.els.get(i).intValue( ) != c.els.get(j).intValue( )

    public boolean repOk( ) {
        if (els == null) return false;
        for (int i = 0; i < els.size( ); i++) {
            Object x = els.get(i);
            if (! (x instanceof Integer)) return false;
            for (int j = i + 1; j < els.size( ); j++)
                if (x.equals(els.get(j))) return false;
        }
        return true;
    }
}
```

Correttezza di un'implementazione

- Invece di “eseguire” `repOk` (controllo dinamico), possiamo dimostrare formalmente che, ogniqualvolta un oggetto del nuovo tipo è manipolato all'esterno della classe, esso soddisfa l'invariante
 - induzione sul tipo di dato
- Dobbiamo poi dimostrare, per ogni metodo, che l'implementazione soddisfa la specifica
 - usando la funzione di rappresentazione

Verifica del rep invariant

- (Base) dimostriamo che l'invariante vale per gli oggetti restituiti dai costruttori
- (Passo induttivo) dimostriamo che vale per tutti i metodi (produttori e modificatori)
 - assumiamo che l'invariante valga per **this** e per tutti gli argomenti del tipo
 - dimostriamo che vale quando il metodo ritorna
 - ✓ per **this**
 - ✓ per tutti gli argomenti del tipo
 - ✓ per gli oggetti del tipo ritornati
- Induzione sul numero di invocazioni di metodi usati per produrre il valore corrente dell'oggetto
 - la base dell'induzione è fornita dai costruttori

Correttezza di IntSet

```
public class IntSet {
    private Vector els; // la rappresentazione
        //  $l(c) = c.els \neq \text{null}$  e
        // per ogni  $i$  tale che  $0 \leq i < c.els.size()$ ,
        //  $c.els.get(i)$  è un Integer, e
        // per tutti gli  $i, j$  tali che
        //  $0 \leq i < j < c.els.size()$ ,
        //  $c.els.get(i).intValue() \neq$ 
        //  $c.els.get(j).intValue()$ 

    public IntSet( ) {
        els = new Vector( );
    }
}
```

- Il costruttore soddisfa l'IR perché restituisce un vector vuoto

Correttezza di IntSet

```
public class IntSet {
    private Vector els; // la rappresentazione
        // l(c) = c.els != null e
        // per ogni i tale che 0 <= i < c.els.size( ),
        // c.els.get(i) è un Integer, e
        // per tutti gli i, j tali che
        // 0 <= i < j < c.els.size( ),
        // c.els.get(i).intValue( ) !=
        // c.els.get(j).intValue( )
    public void insert (int x) {
        Integer y = new Integer(x);
        if (getIndex(y) < 0) els.add(y);
    }
    private int getIndex (Integer x)
        // EFFECTS: se x occorre in this ritorna la
        // posizione in cui si trova, altrimenti -1
}
```

- Il metodo `insert` soddisfa l'invariante perché aggiunge `x` a `this` solo se `x` non è già in `this`

Correttezza di IntSet

```
public class IntSet {
    private Vector els; // la rappresentazione
        //  $l(c) = c.els \neq \text{null}$  e
        // per ogni  $i$  tale che  $0 \leq i < c.els.size()$ ,
        //  $c.els.get(i)$  è un Integer, e
        // per tutti gli  $i, j$  tali che
        //  $0 \leq i < j < c.els.size()$ ,
        //  $c.els.get(i).intValue() \neq$ 
        //  $c.els.get(j).intValue()$ 
    public void remove (int x) {
        int i = getIndex(new Integer(x));
        if (i < 0) return;
        els.set(i, els.lastElement());
        els.remove(els.size() - 1);
    }
}
```

- Il metodo `remove` soddisfa l'invariante perché rimuove `x` da `this` solo se `x` è in `this`

I metodi soddisfano la specifica

- Si ragiona un metodo alla volta
- Ciò è possibile solo perché abbiamo già dimostrato che il rep invariant è soddisfatto da tutte le operazioni
 - il rep invariant cattura le assunzioni comuni fra le varie operazioni
 - permette di trattarle separatamente

Correttezza dei metodi di un tipo astratto

l'induzione sulle chiamate di procedura nel caso di astrazioni procedurali

```

Procedura P {
    // REQUIRES: preP
    // EFFECTS: postP

    ...
    Q;
    ...
}
Procedura Q {
    // REQUIRES: preQ
    // EFFECTS: postQ

1.    assumo preP
2.    ...
3.    dimostro preQ
4.    assumo postQ
5.    ...
6.    dimostro postP
}

```

l'induzione sulle chiamate di metodo nel caso di astrazioni sui dati

```

Metodo P {
    // REQUIRES: preP
    // EFFECTS: postP

    ...
    Q;
    ...
}
Metodo Q {
    // REQUIRES: preQ
    // EFFECTS: postQ

1.    assumo preP
2.    ...
3.    dimostro preQ
4.    assumo postQ
5.    ...
6.    dimostro postP
}

```

- devo dimostrare che post_P vale in uno stato concreto σ
- devo prima trasformare σ in uno stato astratto $\alpha(\sigma)$, usando la funzione di astrazione α , perché post_P è definito sugli stati astratti

Correttezza di IntSet

```
public class IntSet {
    private Vector els; // la rappresentazione
        // la funzione di astrazione:
        //  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue( ) \mid$ 
        //  $0 \leq i < c.els.size( ) \}$ 
    public IntSet( ) [
        // EFFECTS: inizializza this a vuoto
        els = new Vector( );
    }
```

- L'astrazione di un vettore vuoto è proprio l'insieme vuoto

Correttezza di IntSet 2

```
public class IntSet {
    private Vector els; // la rappresentazione
    // la funzione di astrazione
    //  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue( ) \mid$ 
    //  $0 \leq i < c.els.size( ) \}$ 
    public int size( ) {
        // EFFECTS: ritorna la cardinalità di this
        return els.size( );
    }
}
```

- Il numero di elementi del vettore è la cardinalità dell'insieme perché
 - la funzione di astrazione mappa gli elementi del vettore in quelli dell'insieme
 - il rep invariant garantisce che non ci sono elementi duplicati in els senza dover andare a guardare come è fatta insert

Correttezza di IntSet 3

```
public class IntSet {
    private Vector els; // la rappresentazione
    // la funzione di astrazione
    //  $\alpha(c) = \{ c.els.get(i).intValue( ) \mid$ 
    //  $0 \leq i < c.els.size( ) \}$ 
    public void remove(int x) {
        // EFFECTS: toglie x da this
        int i = getIndex(new Integer(x));
        if (i < 0) return;
        els.set(i, els.lastElement( ));
        els.remove(els.size( ) - 1);
    }
}
```

- se x non occorre nel vettore non fa niente
 - corretto perché in base alla funzione di astrazione x non appartiene all'insieme
- se x occorre nel vettore lo rimuove
 - e quindi in base alla funzione di astrazione x non appartiene all'insieme modificato