Programmazione ad Oggetti

Collezioni:
Insiemi generici

Concetti introdotti

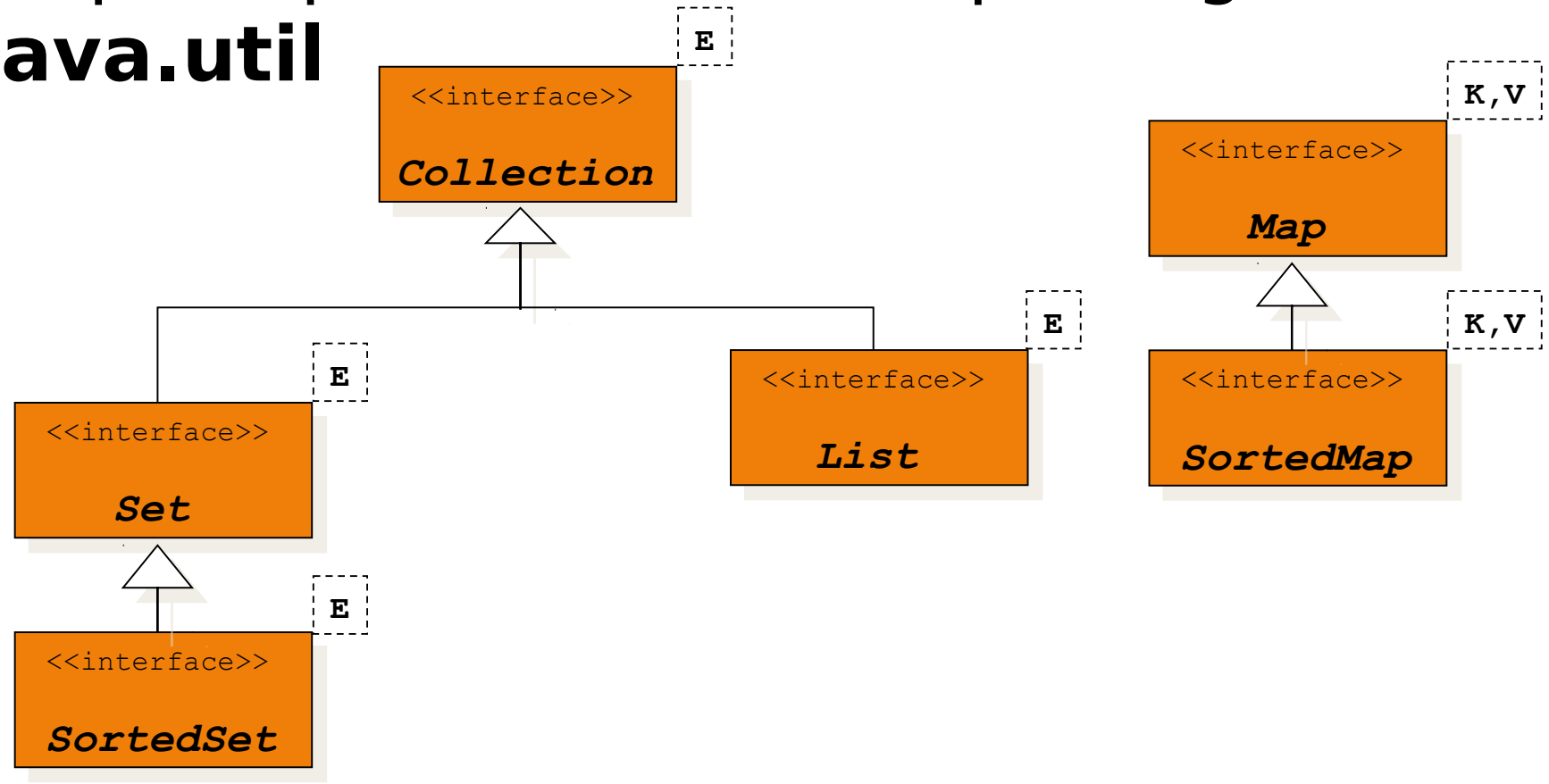
- L'interface **`Set<E>`**
- Criteri equivalenza tra elementi
- **`HashSet<E>`**
  - Tavole Hash (intuizione)
  - **`hashCode()`, `equals()`**
- **`TreeSet<E>`**
  - **`compare()`, `compareTo()`**

Concetti introdotti

- L'interface **`Set<E>`**
- Criteri equivalenza tra elementi
- **`HashSet<E>`**
  - Tavole Hash (intuizione)
  - **`hashCode()`, `equals()`**
- **`TreeSet<E>`**
  - **`compare()`, `compareTo()`**

Collezioni: Interface

- Le principali *interface* del package **java.util**



- Per ognuna di queste interface il

Insiemi: interface `Set<E>`

- Un insieme (set) è una collezione *che non contiene duplicati*
- L'interface **`Set<E>`**, che estende l'interface **`Collection<E>`**, offre tutti e soli i metodi della interface **`Collection<E>`**, con la restrizione che le classi che la implementano si impegnano a non ammettere la presenza di elementi *duplicati*
- E’ necessario stabilire un criterio di equivalenza tra gli elementi dell’insieme al fine di rilevare (e non permettere) l'inserimento di duplicati

Concetti introdotti

- L'interface **`Set<E>`**
- Criteri equivalenza tra elementi
- Tavole Hash (intuizione)
- **`HashSet<E>`**
  - **`hashCode(), equals()`**
- **`TreeSet<E>`**
  - **`compare(), compareTo()`**

Insiemi: criterio di equivalenza

- Nelle librerie Java Collection Framework abbiamo due implementazioni di **`Set<E>`**:
  - **`HashSet<E>`**
  - **`TreeSet<E>`**
- Per dettagli puramente implementativi, nelle due classi concrete il criterio di equivalenza tra elementi non è definito nella stessa maniera:
  - **`HashSet<E>`**
    si basa sui metodi **`equals()`** e **`hashCode()`**
  - **`TreeSet<E>`**
    si basa sul metodo **`compareTo()`** o **`compare()`** (di una classe esterna)

Insiemi: criterio di equivalenza

- Per usare correttamente le implementazioni di **`Set<E>`** è necessario che le classi degli oggetti destinati a svolgere il ruolo di elementi dell'insieme, definiscano un criterio di equivalenza tra oggetti
- **`HashSet<E>`** richiede che tali classi ridefiniscano opportunamente due metodi (ereditati da **`Object`**) che servono a verificare ed evitare la presenza di duplicati
  - il metodo *equals*
    `public boolean equals(Object that)`
  - **e** il metodo *hashCode*
    `public int hashCode()`
- **`TreeSet<E>`** richiede
  - che le classi elemento abbiano un ordinamento naturale (quindi che implementino **`Comparable<E>`**)
  - **oppure** che al momento della costruzione dell'insieme venga passato un comparatore (**`Comparator<E>`**) che implementa una relazione d'ordine su tali classi

Concetti introdotti

- L'interface **`Set<E>`**
- Criteri equivalenza tra elementi
- **`HashSet<E>`**
  - Tavole Hash (intuizione)
  - **`hashCode(), equals()`**
- **`TreeSet<E>`**
  - **`compare(), compareTo()`**

Insiemi: implementazione
`HashSet<E>`

- Per comprendere le motivazioni alla base di questa scelta è necessario discutere alcuni dettagli relativi all'implementazione
- L'implementazione di **`HashSet<E>`** si basa su *Tavole Hash*
- Vediamo intuitivamente di cosa si tratta (per una trattazione più approfondita, vedi il corso di *Algoritmi e Programmazione Avanzata*)

Insiemi: implementazione con Tavole Hash

- Una *funzione di hash* è una funzione che calcola un numero intero, *codice hash*, a partire dai dati di un oggetto, in modo che sia molto probabile che oggetti *non uguali* abbiano codici diversi
- Due o più oggetti possono avere lo stesso codice di hash: questa situazione genera una *collisione*
- Una buona funzione di hash deve minimizzare le collisioni

Codici hash

- Esempi di codici hash per una stringa
  - Il numero di caratteri che compongono la stringa
    - "Pippo": 5
    - "Pluto": 5
    - "Paperino": 8
    - Non e' un buon codice: troppe collisioni
  - La somma dei codici ASCII dei caratteri che compongono la stringa
    - "Pippo": 80+73+80+80+79=392
    - "Pluto": 80+76+85+84+79=400
    - "Paperino": 80+65+80+69+82+73+78+79=626
    - Va meglio ...
- Osservazione fondamentale: se i codice hash sono diversi allora le stringhe non sono eguali; il contrario non è necessariamente vero

Tavole hash

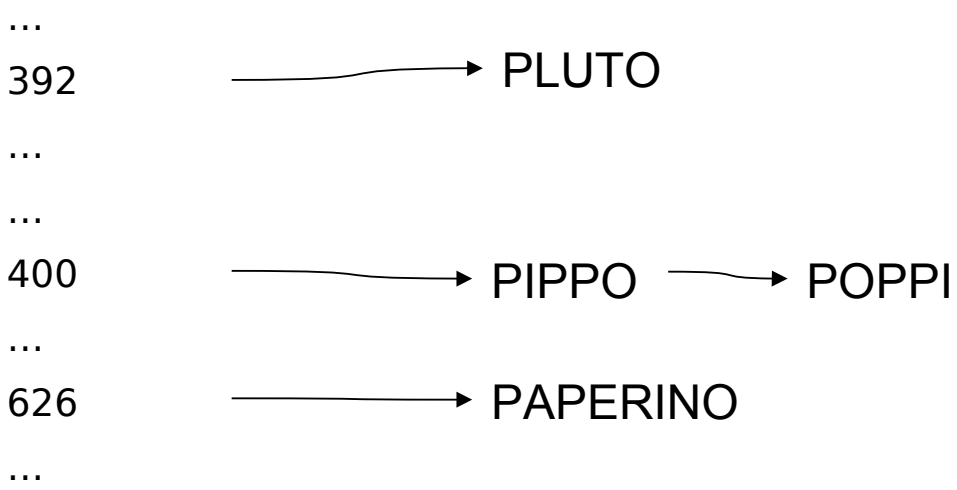
- Le funzioni di hash vengono usate per creare collezioni (mappe e insiemi) molto efficienti
- L'idea è quella di avere un array i cui indici siano i codici hash degli elementi

```
...
392    PLUTO
...
...
400    PIPPO
...
626    PAPERINO
...
```

Tavole hash

- Questa idea però ha due problemi
  - La dimensione dell'array
  - Le collisioni
- Per ovviare al primo problema si deve scegliere una funzione di hash che generi codici in un range ragionevolmente ridotto
- Per ovviare al secondo problema di usano liste concatenate

Tavole hash



- Se la funzione di hash è ben definita (range piccolo e poche collisioni) le operazioni di verifica di appartenenza, rimozione e inserimento in una collezione hanno costo costante

Tavole hash

- Le implementazioni degli insiemi (e delle mappe) usano tavole hash molto sofisticate
- In Java il codice hash di un oggetto deve essere restituito dal metodo

  `int hashCode()`
- Se vogliamo usare l'implementazione **`HashSet<E>`** di **`Set<E>`**, gli oggetti della collezione devono avere i metodi **`hashCode()`** e metodo **`equals()`** definiti opportunamente
  - Se non li definiamo, questi metodi vengono ereditati da **`java.lang.Object`** secondo una semantica che, di solito, è inutile se non dannosa: **`hashCode()`** restituisce l'indirizzo in memoria, **`equals()`** equivale a **`==`**

Concetti introdotti

- L'interface **`Set<E>`**
- Criteri equivalenza tra elementi
- **`HashSet<E>`**
  - Tavole Hash (intuizione)
  - **`hashCode(), equals()`**
- **`TreeSet<E>`**
  - **`compare(), compareTo()`**

Eguaglianza: il metodo `equals()`

- Per ogni classe va definito accuratamente il metodo **`equals()`**
- Il metodo **`equals()`** deve soddisfare le proprietà:
  - Riflessività: per qualsiasi riferimento **`x`**, **`x.equals(x)`** deve restituire **`true`**
  - Simmetria: per qualsiasi riferimento **`x`** e **`y`**, **`x.equals(y)`** deve restituire **`true`** se e solo se **`y.equals(x)`** restituisce **`true`**
  - Transitività: per qualsiasi riferimento **`x`**, **`y`** e **`z`**, se **`x.equals(y)`** restituisce **`true`** e **`y.equals(z)`** restituisce **`true`**, allora **`x.equals(z)`** deve restituire **`true`**
  - Per qualsiasi riferimento **`x`** non nullo, **`x.equals(null)`** restituisce **`false`**
  - Se due riferimenti **`x`** e **`y`** sono identici (x==y), allora **`x.equals(y)`** deve restituire **`true`**

Gestione duplicati in `HashSet<E>`

- In sintesi, per verificare la presenza di duplicati **`HashSet<E>`** usa **`equals()`** in combinazione con il valore restituito dal metodo **`hashCode()`**.
- In particolare, per verificare se due oggetti sono eguali **`HashSet`**
  - prima verifica se il loro codice hash è identico:
  - solo in caso affermativo (collisione) invoca il metodo **`equals()`**
- Per questo motivo sbagliato scrivere parte di **`equals()`** in funzione di **`hashCode()`**: sarebbe tutto lavoro sprecato
  - il metodo **`hashCode()`** dovrebbe essere meno oneroso rispetto ad **`equals()`**

Due metodi al posto di uno

- Attenzione che un metodo **`hashCode()`** così definito sarebbe sempre corretto:

```
public int hashCode() { return 0; }
```

  - con questa definizione ci sono *sempre* collisioni
- Ma allora perché costringere i programmatori utilizzatori a dover conoscere questi dettagli, non bastava il metodo **`equals()`**?
- La risposta è che il metodo **`hashCode()`** è l'unica strada per ottenere implementazioni efficienti
  - è una scelta a favore del programmatore-realizzatore (e quindi dell'efficienza)
  - a scapito del programmatore-utilizzatore (e quindi della semplicità di utilizzo)

Gestione duplicati in `HashSet<E>`: esempio

- Consideriamo la seguente classe

```
public class Persona {

   private String nome;

   Persona(String nome)      { this.nome = nome; }
   public String toString()  { return this.nome; }
   public String getNome()   { return this.nome; }

   public boolean equals(Object p) {
       return this.nome.equals(((Persona)p).getNome());
   }
}
```

Gestione duplicati in `HashSet<E>`: test

```
public class HashSetTest {
  @Test public void testAddDuplicatiEnon() {
      Set<Persona> c = new HashSet<Persona>();
      assertEquals(0, c.size());
      Persona paolo = new Persona("Paolo");
      Persona valter = new Persona("Valter");
      assertTrue(c.add(paolo));
      assertEquals(1, c.size());
      assertTrue(c.add(valter));
      assertEquals(2, c.size());
      assertFalse(c.add(paolo));
      assertEquals(2, c.size());

      Persona paolo2 = new Persona("Paolo");
      assertFalse(c.add(paolo2));
      assertEquals(2, c.size());
  }
}
```

`equals()` orfano di `hashCode()`

- Se eseguiamo il test "sorprendentemente" fallisce, perché alcuni duplicati non vengono rilevati anche se il metodo **`equals()`** stabilisce correttamente il criterio di equivalenza desiderato
- Il problema è dovuto al fatto che non abbiamo definito il metodo **`hashCode()`**
- provare a stampare i codici hash, inserendo nel codice:

```
Persona p1 = new Persona(“Paolo”);
Persona p2 = new Persona(“Paolo”);
System.out.println("hash code p1: " +p1.hashCode());
System.out.println("hash code p2: " +p2.hashCode());
```

`hashCode()` ed `equals()` compatibili

- L'implementazione usata dalla macchina evidentemente assegna due codici hash diversi ai due oggetti persona eguali
- Per ovviare al problema dobbiamo definire nella classe **`Persona`** un corpo del metodo **`hashCode()`** compatibile con il criterio di equivalenza stabilito dal metodo **`equals()`**
- Ogni qualvolta si scrive un metodo **`equals()`** è necessario (leggi OBBLIGATORIO) scrivere anche il corrispondente metodo **`hashCode()`**

`hashCode()` ed `equals()` compatibili

- In sintesi, per implementare efficacemente il metodo **`hashCode()`** nella produzione del codice hash conviene usare le stesse informazioni usate dal metodo **`equals()`**
- Esempio se **`equals()`** si basa su nome e cognome, **`hashCode()`** e' bene che usi le stesse informazioni
  - ritornando ad esempio alla classe Persona, si usa l'**`hashCode()`** della stringa corrispondente al nome
  - avessimo nome e cognome, con equals() definito su questi due, un buon hashCode potrebbe essere la somma degli hashCode delle due stringhe

Gestione duplicati in `HashSet<E>`: esempio

- Aggiungiamo il metodo **`hashCode()`**

```
public class Persona {
   private String nome;

   Persona(String nome)      { this.nome = nome; }
   public String toString()  { return this.nome; }
   public String getNome()   { return this.nome; }

   public int hashCode() {
       return this.nome.hashCode();
   }

   public boolean equals(Object p) {
       return this.nome.equals(((Persona)p).getNome());
   }
}
```

Gestione duplicati in `HashSet<E>`: esempio

- Se facciamo girare nuovamente il codice di test in **`HashSetTest`**, con la nuova definizione della classe **`Persona`**, possiamo osservare che correttamente non vengono inseriti duplicati nella collezione
- Per prova, facciamo nuovamente stampare anche il codice hash così come implementato dal nostro metodo ed osserveremo che ora oggetti eguali ma distinti possiedono stesso codice hash

`hashCode()`

- Tutte le classi della libreria standard hanno una implementazione (ben definita) del metodo **`hashCode()`**
- Per scrivere il metodo **`hashCode()`** delle nostre classi conviene usare una combinazione (ad esempio la somma) dei codici hash restituiti dai metodi **`hashCode()`** delle variabili di istanza utilizzate nell'implementazione di **`equals()`**
  - Nell'esempio precedente abbiamo usato il valore restituito dal metodo **`hashCode()`** della variabile **`nome`**, che è di tipo **`String`**

Insiemi: implementazione `HashSet<E>`

- Ricapitoliamo:
  - Se usiamo una collezione **`HashSet<E>`**:
    - gli elementi della collezione devono avere i metodi **`hashCode()`** e **`equals()`** appropriatamente definiti e in maniera mutuamente compatibile affinché **`hashCode()`** realizzi una funzione di hash rispetto al criterio di equivalenza stabilito da **`equals()`**
  - Indipendentemente dal fatto che gli oggetti della classe saranno elementi di un **`HashSet`**:
    - ogni qualvolta si scrive un metodo **`equals()`** è necessario (leggi OBBLIGATORIO) scrivere anche il corrispondente metodo **`hashCode()`** e viceversa

Concetti introdotti

- L'interface **`Set<E>`**
- Criteri equivalenza tra elementi
- **`HashSet<E>`**
  - Tavole Hash (intuizione)
  - **`hashCode()`**, **`equals()`**
- **`TreeSet<E>`**
  - Alberi binari di ricerca
  - **`compare()`**, **`compareTo()`**

Insiemi: criterio di equivalenza

- Nelle librerie Java Collection Framework abbiamo due implementazioni di **`Set<E>`**:
  - **`HashSet<E>`**
  - **`TreeSet<E>`**
- Per dettagli puramente implementativi, nelle due classi concrete il criterio di equivalenza tra elementi non è definito nella stessa maniera:
  - **`HashSet<E>`**
    si basa sui metodi **`equals()`** e **`hashCode()`**
  - **`TreeSet<E>`**
    si basa sul metodo **`compareTo()`** o **`compare()`**
    (di una classe esterna)

`Set<E>`: implementazione `TreeSet<E>`

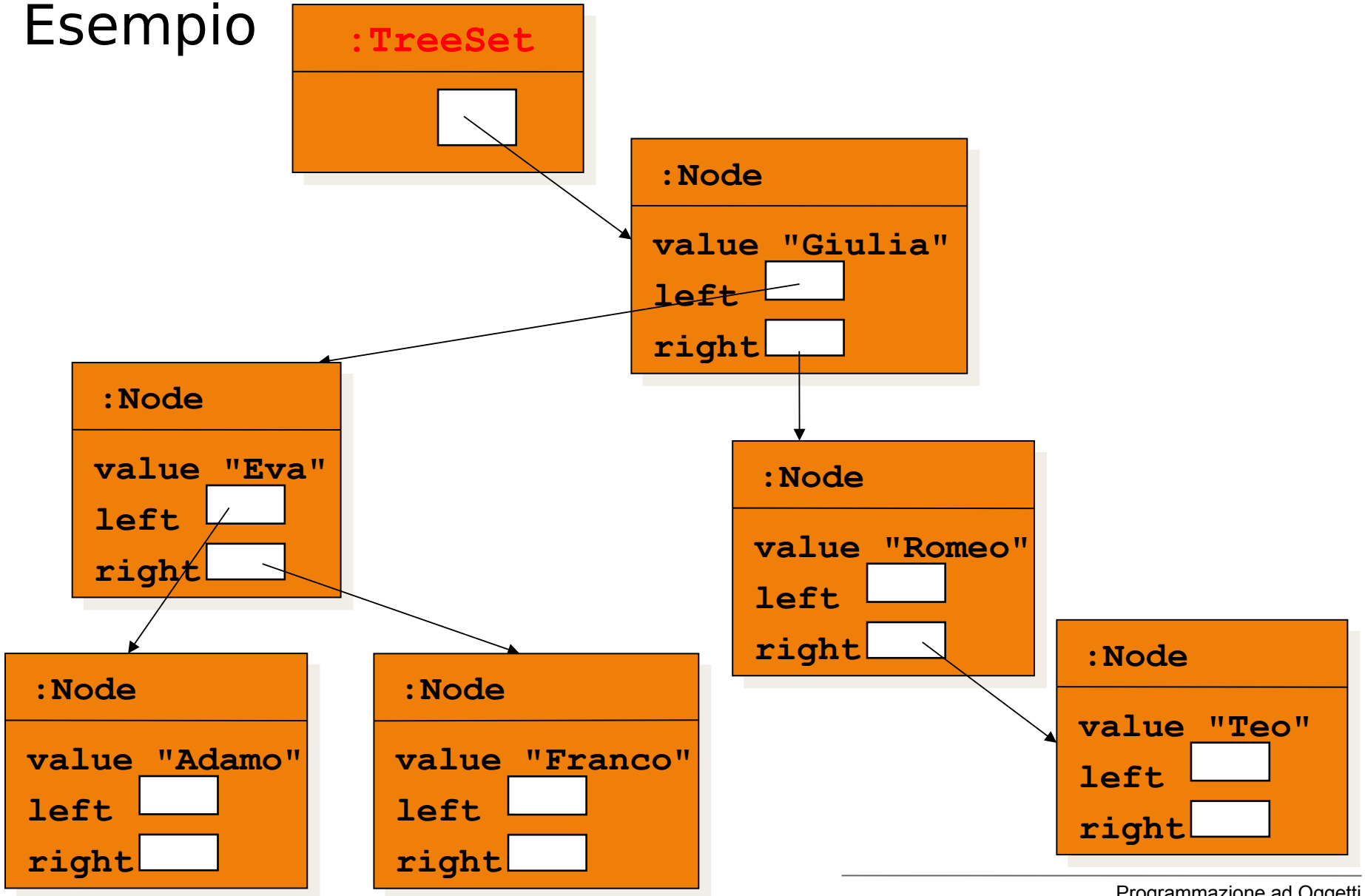
- L'implementazione **`TreeSet<E>`** garantisce (oltre all'assenza di duplicati) che gli elementi siano ordinati in accordo a
  - l'ordinamento naturale degli elementi, oppure
  - un ordinamento stabilito da un comparatore esterno, noto all'insieme stesso (perché ricevuto al momento della sua creazione attraverso uno dei suoi molteplici costruttori)
- Costruttori:
  - **TreeSet**(): Constructs a new, empty tree set, sorted according to the natural ordering of its elements.
  - **TreeSet**(Collection<? extends E> c): Constructs a new tree set containing the elements in the specified collection, sorted according to the *natural ordering* of its elements.
  - **TreeSet**(Comparator<? super E> comparator): Constructs a new, empty tree set, sorted according to the specified comparator.
- Attenzione: se gli elementi non implementano **`Comparable<E>`** (o se non viene usato un comparatore **`Comparator<E>`** in fase di costruzione dell'oggetto **`TreeSet<E>`**) si può sollevare un errore a tempo di esecuzione!

TreeSet: alberi di ricerca binari

- L'implementazione TreeSet è basata su alberi di ricerca binari
  - gli elementi dell'albero sono nodi che (a differenza di quelli delle liste concatenate) hanno più riferimenti ad altri nodi
  - in un albero binario ogni nodo ha de figli, *nodo destro* e *nodo sinistro,* che rispettano la seguente proprietà:
    - i valori dei dati di tutti i discendenti alla sinistra di qualunque nodo sono inferiori al valore del dato memorizzato in quel nodo, mentre tutti i discendenti alla destra contengono valori maggiori

TreeSet: alberi di ricerca binari

- Esempio



TreeSet: alberi binari di ricerca

- Per utilizzare una simile struttura dati è necessario che gli elementi si possano comparare
  - per stabilire se un nodo deve andare a destra o a sinistra dobbiamo sapere se i suoi dati sono minori o maggiori dei dati del nodo genitore
- A tal fine, gli elementi devono implementare l'interface **`Comparable`**
  - in alternativa è possibile che TreeSet affidi la gestione di questo aspetto ad un comparatore (implementazione di **`Comparator`**) esterno

Gestione duplicati in `TreeSet<E>`: esempio

- Consideriamo nuovamente la classe

```
public class Persona {
   private String nome;

   Persona(String nome)      { this.nome = nome; }
   public String toString()  { return this.nome; }
   public String getNome()   { return this.nome; }

   public int hashCode() {
       return this.nome.hashCode();
   }

   public boolean equals(Object p) {
       return this.nome.equals(((Persona)p).getNome());
   }
}
```

Gestione duplicati in `TreeSet<E>`: test

```
public class TreeSetTest {
   @Test public void testAddDuplicatiEnonConClassCastExc() {
        Set<Persona> c = new TreeSet<Persona>();
        Persona paolo = new Persona("Paolo");
        Persona valter = new Persona("Valter");
        assertTrue(c.add(paolo));
        assertTrue(c.add(valter));
        assertFalse(c.add(valter));
        assertEquals(2, c.size());
        Iterator<Persona> it = c.iterator();
        assertSame(paolo,  it.next());
        assertSame(valter, it.next());
   }
}
```

`TreeSet<E>`: criterio di equivalenza non definito

- Se compiliamo e facciamo girare il codice precedente, si verifica un errore a tempo di esecuzione
- L'errore per un programmatore inesperto può essere di non facile interpretazione: è una **`ClassCastException`**
- Il problema nasce dal fatto che non si verifica nessuna delle due condizioni (una è sufficiente ad evitare l'errore):
  - **`Persona`** non implementa **`Comparable`**
  - **`TreeSet c`** all'atto della creazione non riceve nessun comparatore nel costruttore

Gestione duplicati in `TreeSet<E>`: esempio (1)

- La classe implementa **`Comparable<Persona>`**

```
public class Persona implements Comparable<Persona> {
   private String nome;

   Persona(String nome)      { this.nome = nome; }
   public String toString()  { return this.nome; }
   public String getNome()   { return this.nome; }

   public int hashCode() {
        return this.nome.hashCode();
   }

   public int compareTo(Persona p) {
        return this.nome.compareTo(p.getNome());
   }

   public boolean equals(Object p) {
        return this.nome.equals(((Persona)p).getNome());
   }
}
```

Gestione duplicati in `TreeSet<E>`: esempio (2)

- La classe implementa non implementa **`Comparable<Persona>`**, ma passiamo un **`Comparator<Persona>`** al costruttore dell'insieme

```
public class Persona {
   private String nome;

   Persona(String nome)      { this.nome = nome; }
   public String toString()  { return this.nome; }
   public String getNome()   { return this.nome; }

}

public class ComparatorePersone implements Comparator<Persona>{

   public int compare(Persona p1, Persona p2) {
        return p1.getNome().compareTo(p2.getNome());
   }

}
```

Gestione duplicati in `TreeSet<E>`: esempio (2) cont.

```
public class TreeSetTest {
   @Test public void testAddDuplicatiEnonConClassCastExc() {
        ComparatorePersone cmp = new ComparatorePersone();
        Set<Persona> c = new TreeSet<Persona>(cmp);
        Persona paolo = new Persona("Paolo");
        Persona valter = new Persona("Valter");
        assertTrue(c.add(paolo));
        assertTrue(c.add(valter));
        assertFalse(c.add(valter));
        assertEquals(2, c.size());
        Iterator<Persona> it = c.iterator();
        assertSame(paolo,  it.next());
        assertSame(valter, it.next());
   }
}
```

Gestione duplicati in `TreeSet<E>`: esempio

- Ci siamo basati sul fatto che **`java.lang.String`** implementa **`Comparable<String>`**
- A questo punto se facciamo girare nuovamente il codice di **`TreeSetTest`**, il comportamento è quello atteso:
  - viene fatto un solo inserimento
  - non si verificano errori a tempo di esecuzione,
  - gli elementi sono ordinati secondo l'ordinamento naturale (quello lessicografico delle stringhe)

`TreeSet<E>`: gestione duplicati

- Riassumendo, per verificare la presenza di duplicati (e per mantenere ordinata la collezione)
  - **`TreeSet<E>`** usa il metodo **`compareTo()`** quindi gli oggetti che appartengono alla collezione devono implementare **`Comparable<E>`**
  - Oppure l'oggetto **`TreeSet<E>`** deve essere creato passando al costruttore un oggetto **`Comparator<E>`**

Eguaglianza e `Set<E>`

- Ovviamente le implementazioni di **`compareTo()`**, **`hashCode()`** e **`equals()`** devono avere una semantica coerente
  - Ogni volta che definiamo il metodo **`equals()`** dobbiamo definire anche il metodo **`hashCode()`**
  - Se definiamo il metodo **`compareTo()`** (cioè se la classe implementa **`Comparable<E>`**), questo è bene che sia coerente con **`equals()`**
- Dati due riferimenti ad oggetti **`x`** e **`y`**, allora

`x.compareTo(y)` restituisce **`0`**

se e solo se

`x.equals(y)` restituisce **`true`**

Implementazioni di `Set<E>`: verifica duplicati

- Riassumendo:
  - **`TreeSet<E>`** verifica l'esistenza di duplicati
    - tramite il metodo **`compareTo()`**, e la classe **`E`** deve implementare l'interface **`Comparable<E>`**;
    - oppure tramite il metodo **`compare()`** dell'interfaccia **`Comparator`** una cui istanza gli è stata fornita all'atto dell'istanziamento (vedi i costruttori di **`TreeSet<E>`** nella documentazione)
  - **`HashSet<E>`** verifica l'esistenza di duplicati tramite i metodi **`hashCode()`** e **`equals()`** della classe **`E`**

`Set<E>`: quale implementazione?

- **`TreeSet<E>`** mantiene ordinata la collezione, ma è meno efficiente
  - Pertanto va utilizzata solo se esiste l'esigenza di mantenere ordinata la collezione
- Altrimenti **`HashSet<E>`**

Questi aspetti sono stati affrontati approfonditamente nel corso di *Algoritmi e Programmazione Avanzata*

Esercizio

- Date le classi **`Studente`** e **`Aula`**

```
public class Studente {
    private String nome;

    public Studente(String nome) {this.nome = nome;}
    public String getNome() {return this.nome;}
}

public class Aula {
    private Set<Studente> studenti;
    public Aula(){// scrivere il codice}
    public boolean addStudente(Studente studente){
      //scrivere il codice
    }
}
```

Esercizio (cont.)

- Scrivere il codice del costruttore di **`Aula`** e del metodo **`addStudente(Studente s)`**
- Domanda 1:
  - produrre una soluzione considerando che è possibile modificare la classe **`Studente`**
- Domanda 2:
  - produrre una soluzione considerando che NON è possibile modificare la classe **`Studente`**, ma è possibile definire altre classi
- Domanda 3:
  - come la domanda 1, ma l'insieme degli studenti deve essere ordinato e non è possibile introdurre altre classi

Una soluzione alla domanda 1

```
public class Studente {
    private String nome;

    public Studente(String nome) {this.nome = nome;}
    public String getNome() {return this.nome;}
    public int hashCode() {return this.nome.hashCode();}
    public boolean equals(Object o) {
       Studente s = (Studente)o;
       return this.nome.equals(s.getNome());
    }
}

public class Aula {
    private Set<Studente> studenti;
    public Aula(){this.studenti = new HashSet<Studente>();}
    public boolean addStudente(Studente studente){
       return this.studenti.add(studente);
    }
}
```

Una soluzione alla domanda 2

```
public class Studente {
    private String nome;

    public Studente(String nome) {this.nome = nome;}
    public String getNome() {return this.nome;}
}

public class Aula {
    private Set<Studente> studenti;
    public Aula(){
      this.studenti = new TreeSet<Studente>(
                                    new ComparatoreStudenti());
    }
    public boolean addStudente(Studente studente){
      return this.studenti.add(studente);
    }
}
```

Una soluzione alla domanda 2 (cont.)

```
import java.util.*;

public class ComparatoreStudenti
                    implements Comparator<Studente> {

   public int compare(Studente s1, Studente s2) {
        return s1.getNome().compareTo(s2.getNome());
   }
}
```

Una soluzione alla domanda 3

```
public class Studente implements Comparable<Studente>{
    private String nome;

    public Studente(String nome) {this.nome = nome;}
    public String getNome() {return this.nome;}
    public int hashCode() {return this.nome.hashCode();}
    public boolean equals(Object o) {
       Studente s = (Studente)o;
       return this.nome.equals(s.getNome());
    }

    public int compareTo(Studente s){
       return this.getNome().compareTo(s.getNome());
    }
}

public class Aula {
    private Set<Studente> studenti;
    public Aula(){this.studenti = new TreeSet<Studente>();}
    public boolean addStudente(Studente studente){
       return this.studenti.add(studente);
    }
}
```