10
Java Collections Framework

Mirko Viroli
mirko.viroli@unibo.it

C.D.L. Ingegneria e Scienze Informatiche
Alma Mater Studiorum—Università di Bologna, Cesena

a.a. 2015/2016

Outline

Goal della lezione

- Illustrare la struttura del Java Collections Framework
- Mostrare gli utilizzi delle funzonalità base
- Discutere alcune tecniche di programmazione correlate

Argomenti

- Presentazione Java Collections Framework
- Iteratori e foreach
- Collezioni, Liste e Set
- `HashSet` e `TreeSet`

Java Collections Framework

Java Collections Framework (JCF)

- È una libreria del linguaggio Java
- È una parte del package `java.util`
- Gestisce strutture dati (o collezioni) e relativi algoritmi

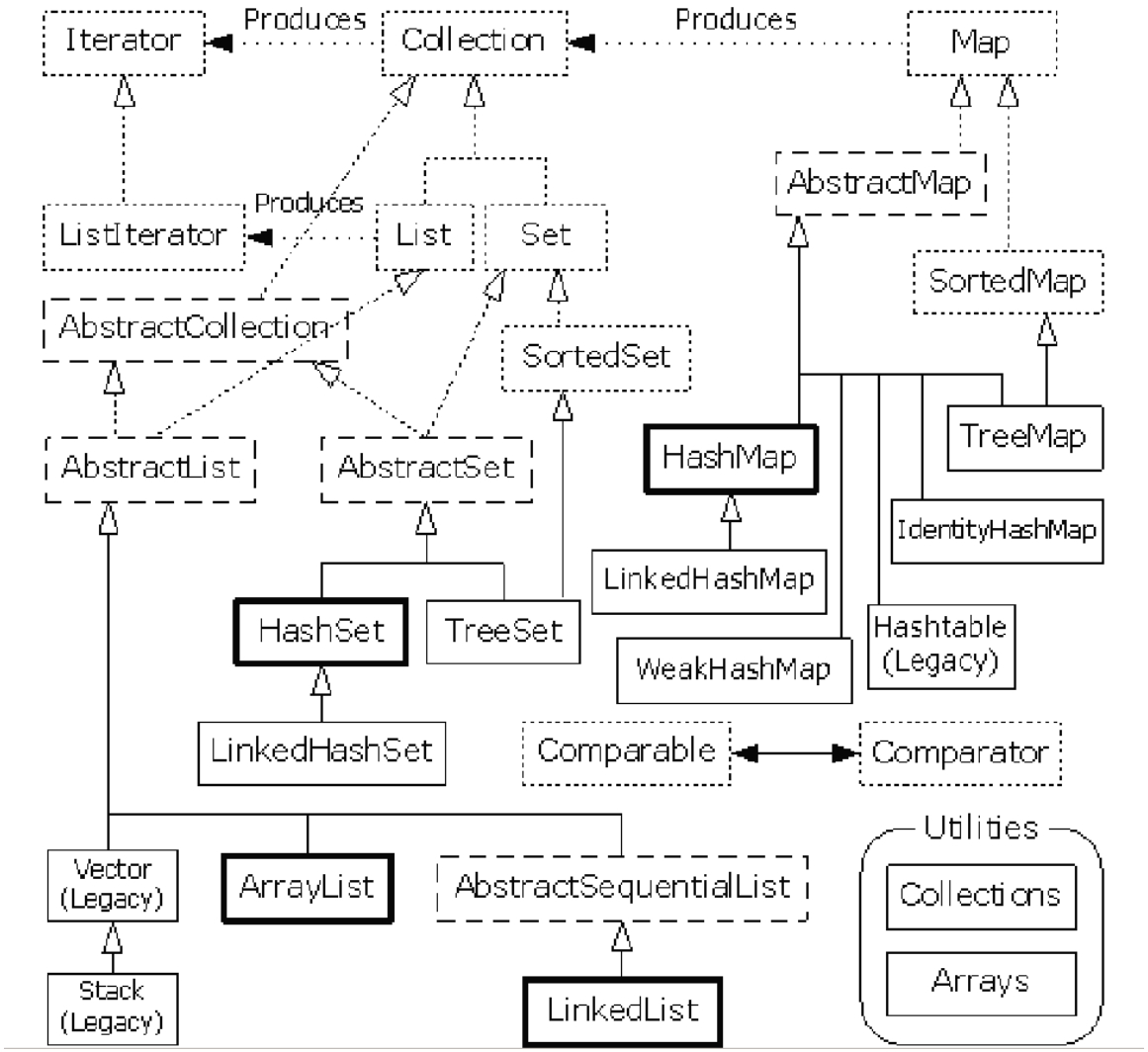
Importanza pratica

- Virtualmente ogni sistema fa uso di collezioni di oggetti
- Conoscerne struttura e dettagli vi farà programmatori migliori

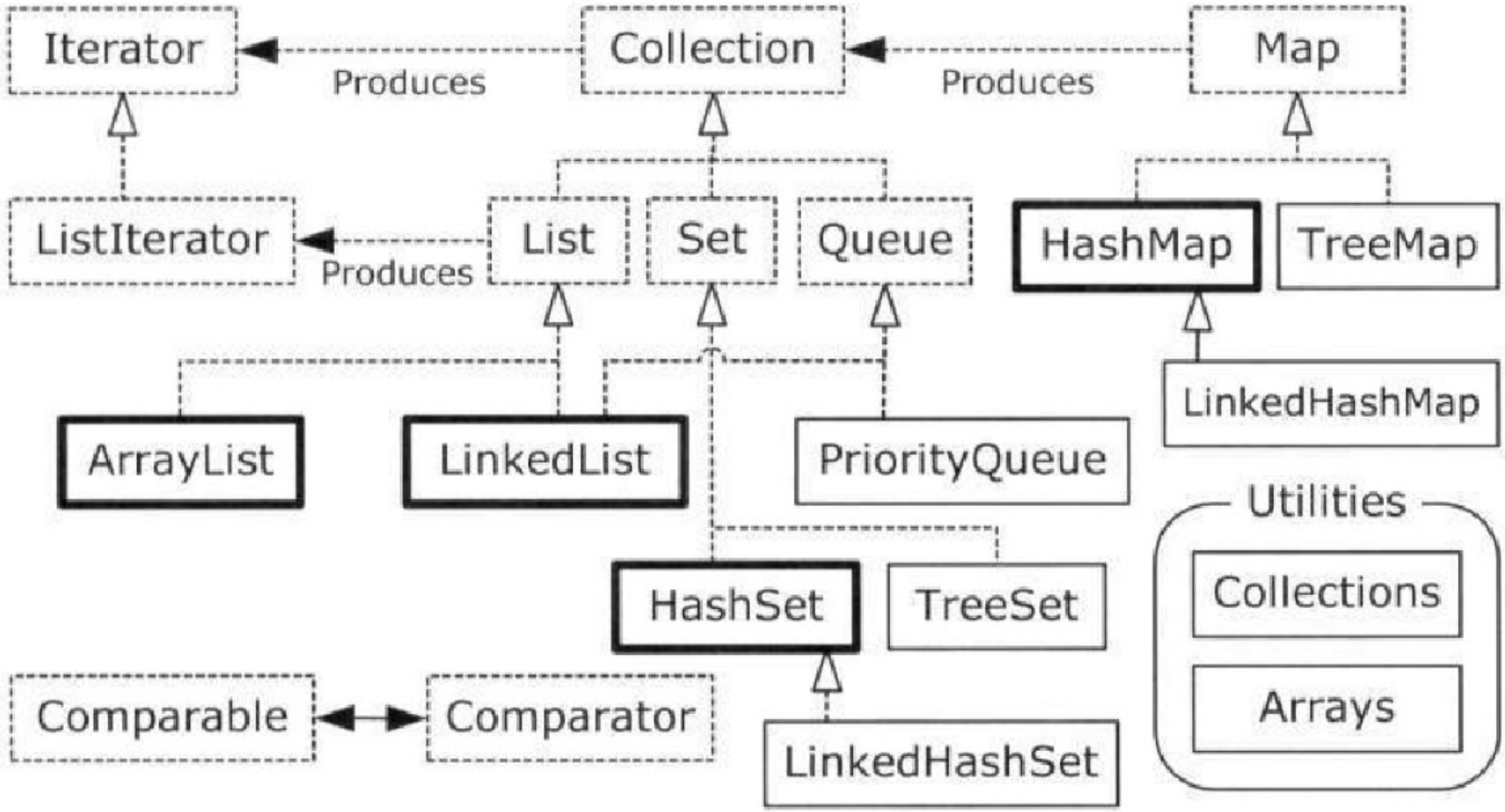
Importanza didattica

- Fornisce ottimi esempi di uso di composizione, ereditarietà, genericità
- Mette in pratica pattern di programmazione di interesse
- Impatta su alcuni aspetti del linguaggio da approfondire

JCF – struttura complessiva



JCF – struttura semplificata



JCF – alcuni aspetti generali

È complessivamente piuttosto articolato

- Un nostro obbiettivo è quello di isolare una sua sottoparte di interesse
- Identificando e motivando le funzionalità prodotte

Due tipi di collection, ognuna con varie incarnazioni

- `Collection` – contenitore di elementi atomici
  - 3 sottotipi: `List` (sequenze), `Set` (no duplicazioni), `Queue`
- `Map` – contenitore di coppie chiave-valore

Interfacce/classi di interesse:

- Interfacce: `Collection`, `List`, `Set`, `Iterator`, `Comparable`
- Classi collection: `ArrayList`, `LinkedList`, `HashSet`, `HashMap`
- Classi con funzionalità: `Collections`, `Arrays`

Una nota su eccezioni e JCF

Eccezioni: un argomento che tratteremo in dettaglio

Un meccanismo usato per gestire eventi ritenuti fuori dalla normale esecuzione (errori), ossia per dichiararli, lanciarli, intercettarli

JCF e eccezioni

- Ogni collection ha sue regole di funzionamento, e non ammette certe operazioni che richiedono controlli a tempo di esecuzione
- Molti metodi dichiarano che possono lanciare eccezioni – ma possiamo non preoccuparcene
- Il JCF usa spesso il concetto di metodo opzionale, per gestire collection non modificabili

Metodi opzionali in interfacce

- Dichiarano di poter lanciare una `UnsupportedOperationException`
- è un modo per non implementare un tale metodo

Outline

Foreach

Costrutto foreach

- Abbiamo visto che può essere usato per iterare su un array in modo più astratto (compatto, leggibile)
  - `for(int i: array){...}`
- Java fornisce anche un meccanismo per usare il foreach su qualunque collection, in particolare, su qualunque oggetto che implementa l'interfaccia `java.lang.Iterable<X>`

`Iterable` e `Iterator`

- L'interfaccia `Iterable` ha un metodo per generare e restituire un (nuovo) `Iterator`
- Un iteratore è un oggetto con metodi `next()`, `hasNext()` (e l'opzionale `remove()`)
- Dato l'oggetto `c` che implementa `Iterable<T>` allora il foreach diventa:
  - `for(T element: c){...}`

Interfacce per l'iterazione

```java
package java.lang;
import java.util.Iterator;
public interface Iterable<T> {
    /**
     * Returns an iterator over a set of elements of type T.
     *
     * @return an Iterator.
     */
    Iterator<T> iterator();
}
```

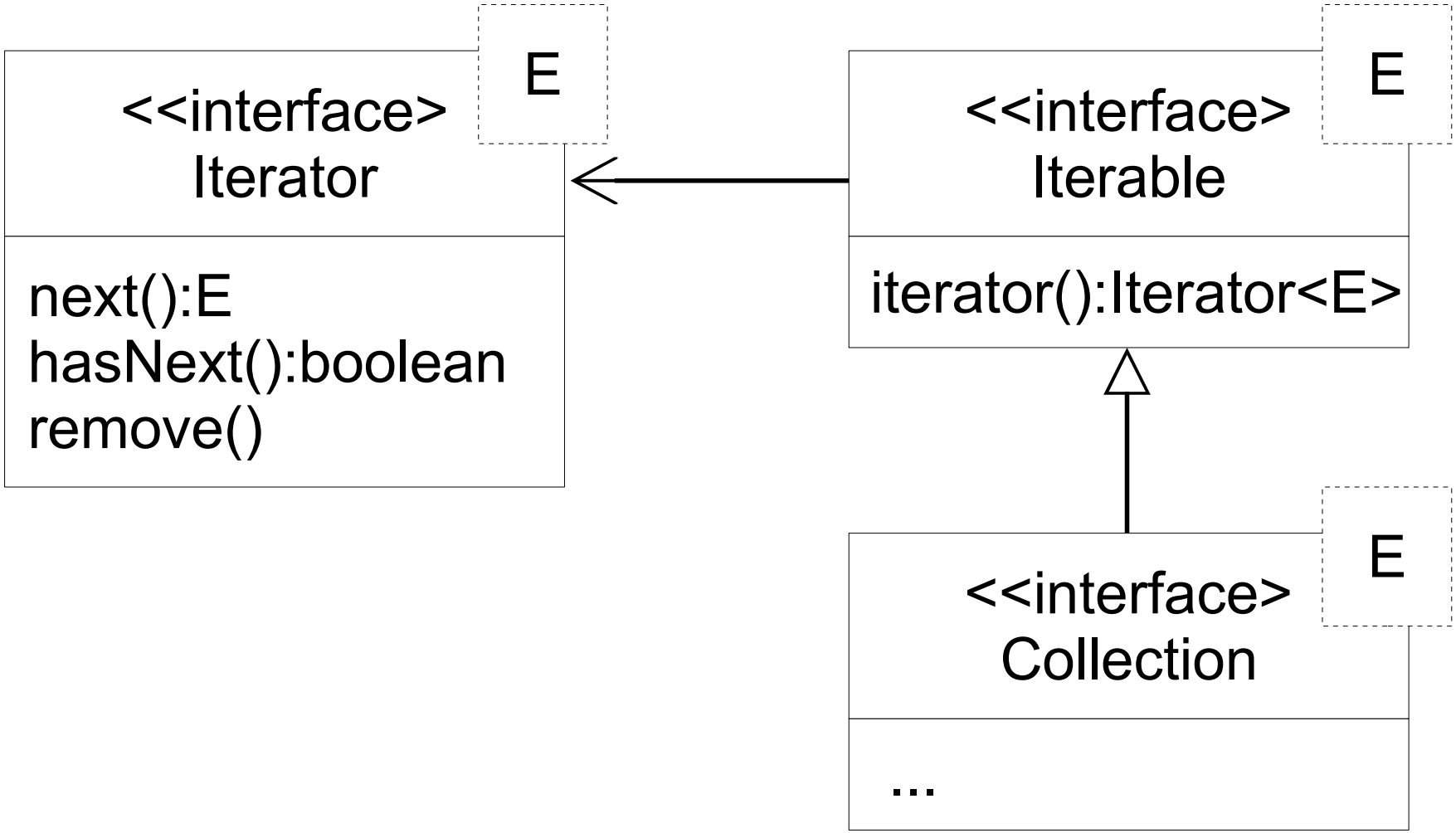
```java
package java.util;

public interface Iterator<E> {
    boolean hasNext();
    E next();
    void remove(); // throws UnsupportedOperationException
}
```

```java
package java.util;

public interface Collection<E> implements Iterable<E> { .. }
```

Interfacce per l'iterazione – UML



Esempio di iterable ad-hoc, e suo uso

```java
public class Range implements Iterable<Integer>{

    private final int start;
    private final int stop;

    public Range(final int start, final int stop){
      this.start = start;
      this.stop = stop;
    }

    public java.util.Iterator<Integer> iterator(){
      return new RangeIterator(this.start,this.stop);
    }
}
```

```java
public class UseRange{
    public static void main(String[] s){
      for (final int i: new Range(5,12)){
          System.out.println(i);
          // 5 6 7 8 9 10 11 12
      }
    }
}
```

Realizzazione del corrispondente iteratore

```
1  public class RangeIterator implements java.util.Iterator<Integer>{
2
3      private int current;
4      private final int stop;
5
6      public RangeIterator(final int start, final int stop){
7        this.current = start;
8        this.stop = stop;
9      }
10
11     public Integer next(){
12       return this.current++;
13     }
14
15     public boolean hasNext(){
16       return this.current <= this.stop;
17     }
18
19     public void remove(){}
20 }
```

Iteratori e collezioni: preview

```java
import java.util.*;

public class UseCollectionIterator{

  public static void main(String[] s){
      // Uso la LinkedList
      final LinkedList<Double> list = new LinkedList<>();
      // Inserisco 50 elementi
      for (int i=0;i<50;i++){
          list.add(Math.random());
      }
      // Stampo con un foreach
      int ct=0;
      for (double d: list){
          System.out.println(ct++ + "\t"+ d);
      }
      // 0        0.1023051360273742 3
      // 1        0.4318582138894327
      // 2        0.5239222319032795
      // ..
    }
}
```

Outline

Interfaccia `Collection`

Ruolo di questo tipo di dato

- È la radice della gerarchia delle collezioni
- Rappresenta gruppi di oggetti (duplicati/non, ordinati/non)
- Implementata via sottointerfacce (`List` e `Set`)

Assunzioni

- Definisce operazioni base valide per tutte le collezioni
- Assume implicitamente che ogni collezione abbia due costruttori
  - Senza argomenti, che genera una collezione vuota
  - Che accetta un `Collection`, dal quale prende elementi
- Le operazioni di modifica sono tutte opzionali
- Tutte le operazioni di ricerca lavorano sulla base del metodo `Object.equals()` da chiamare sugli elementi
  - questo metodo accetta un `Object`, influendo su alcuni metodi di `Collection`

Collection

```
1  public interface Collection<E> extends Iterable<E> {
2
3      // Query Operations
4      int size();                   // number of elements
5      boolean isEmpty();            // is the size zero?
6      boolean contains(Object o); // does it contain an element equal to o?
7      Iterator<E> iterator();       // yields an iterator
8      Object[] toArray();           // convert to array of objects
9      <T> T[] toArray(T[] a);       // use a (if there's room) or create new
10
11     // Modification Operations
12     boolean add(E e);             // adds e
13     boolean remove(Object o);     // remove one element that is equal to o
14
15     // Bulk Operations
16     boolean containsAll(Collection<?> c);        // contain all elements in c
        ?
17     boolean addAll(Collection<? extends E> c);  // add all elements in c
18     boolean removeAll(Collection<?> c);          // remove all elements in c
19     boolean retainAll(Collection<?> c);          // keep only elements in c
20     void clear();                                // remove all element
21
22     // ...and other methods introduced in Java 8
23 }
```

Usare le collezioni

```
1  public class UseCollection{
2      public static void main(String[] s){
3        // Uso una incarnazione, ma poi lavoro sull'interfaccia
4        final Collection<Integer> coll = new ArrayList<>();
5        coll.addAll(Arrays.asList(1,3,5,7,9,11)); // var-args
6        System.out.println(coll); // [1, 3, 5, 7, 9, 11]
7
8        coll.add(13);
9        coll.add(15);
10       coll.add(15);
11       coll.remove(7);
12       System.out.println(coll); // [1, 3, 5, 9, 11, 13, 15, 15]
13
14       coll.removeAll(Arrays.asList(11,13,15));
15       coll.retainAll(Arrays.asList(1,2,3,4,5));
16       System.out.println(coll); // [1, 3, 5]
17       System.out.println(coll.contains(3)); // true
18       System.out.println(Arrays.toString(coll.toArray()));
19
20       Integer[] a = new Integer[2];
21       a = coll.toArray(a);
22       System.out.println(Arrays.deepToString(a));
23     }
24 }
```

Set e List

Set

- Rappresenta collezioni senza duplicati
  - nessuna coppia di elementi porta `Object.equals()` a dare `true`
  - non vi sono due elementi `null`
- Non aggiunge metodi rispetto a `Collection`
- I metodi di modifica devono rispettare la non duplicazione

List

- Rappresenta sequenze di elementi
- Ha metodi per accedere ad un elemento per posizione (0-based)
- Per performance, è meglio iterare che usare indici incrementali
- Fornisce un list-iterator che consente varie operazioni aggiuntive

La scelta fra queste due tipologie non dipende da motivi di performance, ma da quale modello di collezione serve!

Set e List

```java
public interface List<E> extends Collection<E> {
    // Additional Bulk Operations
    boolean addAll(int index, Collection<? extends E> c);

    // Positional Access Operations
    E get(int index);                // get at position index
    E set(int index, E element);     // set into position index
    void add(int index, E element); // add, shifting others
    E remove(int index);             // remove at position index

    // Search Operations
    int indexOf(Object o);           // first equals to o
    int lastIndexOf(Object o);       // last equals to o

    // List Iterators
    ListIterator<E> listIterator();           // iterator from 0
    ListIterator<E> listIterator(int index);  // ..from index

    // View
    List<E> subList(int fromIndex, int toIndex);
}
```

```java
public interface Set<E> extends Collection<E>{}
```

ListIterator

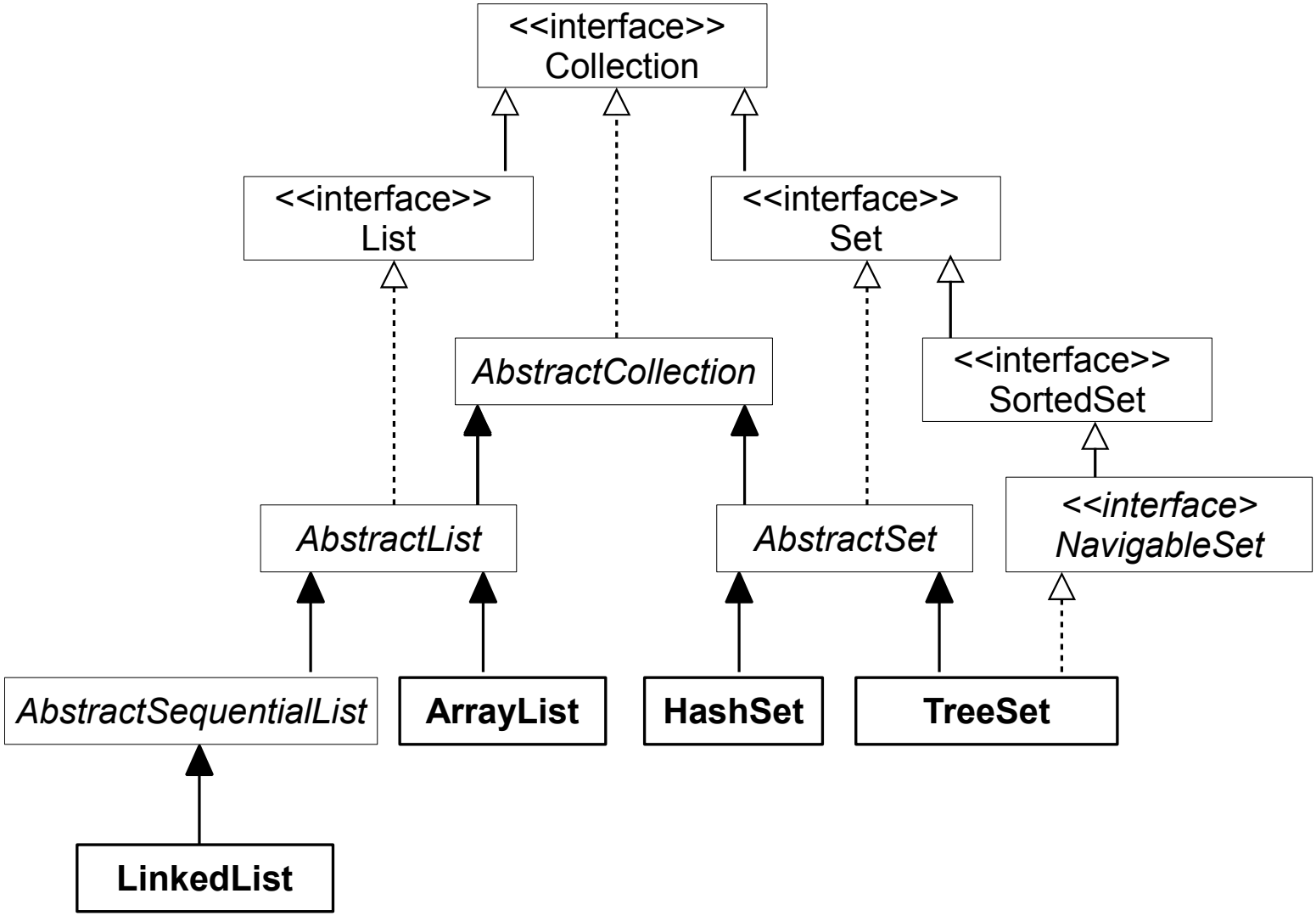
```
1  package java.util;
2
3  public interface ListIterator<E> extends Iterator<E> {
4      // Query Operations
5
6      boolean hasNext();
7      E next();
8      boolean hasPrevious();
9      E previous();
10     int nextIndex();
11     int previousIndex();
12
13     // Modification Operations
14
15     void remove();
16     void set(E e);
17     void add(E e);
18 }
```

UseListIterator

```java
public class UseListIterator{
    public static void main(String[] s){
      // Uso una incarnazione, ma poi lavoro sul List
      final List<Integer> list = new ArrayList<>();
      list.addAll(Arrays.asList(1,3,5,7,9,11)); // var-args

      final ListIterator<Integer> it = list.listIterator();
      while (it.hasNext()){
          it.add(it.next()+1);
      }
      System.out.println(list); // [1, 2, 3, ..., 10, 11,12]
      while (it.hasPrevious()){
          System.out.println("back: "+it.previous()); // 12 .. 1
      }
      for (final int i: list.subList(3,10)){
          System.out.println("forth - 3 to 10: "+i); // 4 .. 10
      }
    }
}
```

Implementazione collezioni – UML



Implementazione collezioni: linee guida generali

Pattern di progettazione da ricordare

- Interfacce: riportano le funzionalità base
- Classi astratte: fattorizzano codice comune alle varie implementazioni
- Classi concrete: realizzano le varie implementazioni

Uso di questi costrutti nel codice cliente

- In variabili, argomenti, tipi di ritorno, si usano le interfacce
- Le classi concrete solo nella `new`, a parte casi molto particolari
- Le classi astratte non si menzionano praticamente mai

Implementazione collezioni – Design space

Classi astratte

- `AbstractCollection`, `AbstractList`, e `AbstractSet`
- Realizzano "scheletri" di classi per collezioni, corrispondenti alla relative interfacce
- Facilitano lo sviluppo di nuove classi aderenti alle interfacce

Un esempio: `AbstractSet`

- Per set immutabili, richiede solo di definire `size()` e `iterator()`
- Per set mutabili, richiede anche di ridefinire `add()`
- Per motivi di performance si potrebbero fare ulteriori override

Classi concrete.. fra le varie illustreremo:

- `HashSet`, `TreeSet`, `ArrayList`, `LinkedList`
- La scelta riguarda quasi esculsivamente esigenze di performance

Esempio di creazione di un nuovo set: RangeSet

```
1  import java.util.*;
2
3  /* Permette di definire un set di valori integer incrementali,
4   senza doverli esplicitamente inserire in memoria, e quindi
5   prediligendo l'occupazione in memoria al tempo d'accesso */
6
7  public class RangeSet extends AbstractSet<Integer> {
8
9    private final int start;
10   private final int stop;
11
12   public RangeSet(final int start, final int stop) {
13     this.start = start;
14     this.stop = stop;
15   }
16
17   public int size() {
18     return (this.stop >= this.start) ? this.start - this.stop + 1 : 0;
19   }
20
21   public Iterator<Integer> iterator() {
22     // Il RangeIterator già visto...
23     return new RangeIterator(this.start, this.stop);
24   }
25 }
```

Uso di RangeSet

```java
import java.util.*;

public class UseRangeSet {

  public static void main(String[] s) {
    // r è un Set a tutti gli effetti
    final RangeSet r = new RangeSet(0, 100);

    // ad esempio, lo uso per iterare
    for (final int i : r) {
      System.out.println("Elem: " + i);
    }

    // ad esempio, uso la contains()
    System.out.println(r.contains(25));

    // è comunque un set immutabile
    // quindi niente add(), remove(),...
  }
}
```

Outline

Implementazioni di Set

Caratteristiche dei set

- Nessun elemento duplicato (nel senso di `Object.equals()`)

→ Il problema fondamentale è il metodo `contains()`, nelle soluzioni più naive (con iteratore) applica una ricerca sequenziale (ma in tal caso si preferisce usare una `List`, in genere un `ArrayList`)

Approccio 1: `HashSet`

Si usa il metodo `Object.hashCode()` come funzione di hash, usata per posizionare gli elementi in uno store di elevate dimensioni

Approccio 2: `TreeSet`

Specializzazione di `SortedSet` e di `NavigableSet`. Gli elementi sono ordinati, e quindi organizzabili in un albero (red-black tree) per avere accesso in tempo logaritmico

HashSet

Idea di base: tecnica di hashing (via `Object.hashCode()`)

- Si crea un array di elementi più grande del necessario (p.e. almeno il 25% in più), di dimensione `size`
- Aggiunta di un elemento `e`
  - lo si inserisce in posizione `e.hashCode() % size`
  - se la posizione è già occupata, lo si inserisce nella prima disponibile
  - se l'array si riempie va espanso e si deve fare il rehashing
- Ricerca di un elemento `f`
  - si guarda a partire da `f.hashCode() % size`, usando `Object.equals()`
  - La funzione di hashing deve evitare il più possibile le collisioni
- Risultato: scritture/letture sono $O(1)$ ammortizzato

Dettagli interni

- Realizzata tramite `HashMap`, che approfondiremo in futuro

Costruttori di HashSet

```
1  public class HashSet<E>
2      extends AbstractSet<E>
3      implements Set<E>, Cloneable, java.io.Serializable {
4
5      // Set vuoto, usa hashmap con capacità 16
6      public HashSet() {...}
7
8      // Set con elementi di c, usa hashmap del 25% più grande di c
9      public HashSet(Collection<? extends E> c) {...}
10
11     // Set vuoto
12     public HashSet(int initialCapacity, float loadFactor) {...}
13
14     // Set vuoto, loadFactor = 0.75
15     public HashSet(int initialCapacity) {...}
16
17     /* Gli altri metodi di Collection seguono... */
18 }
```

equals() e hashCode()

La loro corretta implementazione è cruciale

- Le classi di libreria di Java sono già OK
- `Object` uguaglia lo stesso oggetto e l'hashing restituisce la posizione in memoria..
- .. quindi nuove classi devono ridefinire `equals()` e `hashCode()` opportunamente

Quale funzione di hashing?

- oggetti `equals` devono avere lo stesso `hashCode`
- non è detto il viceversa, ma è opportuno per avere buone performance di `HashSet`
- si veda ad esempio: `http://en.wikipedia.org/wiki/Java_hashCode()`
- Eclipse fornisce la generazione di un `hashCode` ragionevole

Esempio: Persona

```java
public class Persona{

    private final String nome;
    private final int annoNascita;
    private final boolean sposato;

    public Persona(String nome,int annoNascita,boolean sposato){
      ... // setting dei field
    }

    public String toString(){...}

    public boolean equals(Object o){
      if (o == null || !(o instanceof Persona)){
          return false;
      }
      return this.nome.equals(((Persona)o).nome) &&
             this.annoNascita == ((Persona)o).annoNascita &&
             this.sposato == ((Persona)o).sposato;
    }

    public int hashCode(){
      int value = this.sposato ? 1 : 0;
      value = value * 31 + this.annoNascita;
      value = value * 31 + this.nome.hashCode();
      return value;
    }
}
```

UseHashSetPersona

```java
public class UseHashSetPersona{
    public static void main(String[] s){
      // HashSet è un dettaglio, lavorare sempre sull'interfaccia
      final Set<Persona> set = new HashSet<>();

      // Agggiungo 4 elementi
      set.add(new Persona("Rossi",1960,false));
      set.add(new Persona("Bianchi",1980,true));
      set.add(new Persona("Verdi",1972,false));
      set.add(new Persona("Neri",1968,false));
      System.out.println(set);

      // Testo presenza/assenza di 2 elementi
      final Persona p1 = new Persona("Rossi",1960,false);
      final Persona p2 = new Persona("Rossi",1961,false);
      System.out.println("Cerco "+p1+" esito "+set.contains(p1));
      System.out.println("Cerco "+p2+" esito "+set.contains(p2));

      // Iterazione: nota, fuori ordine rispetto all'inserimento
      for (final Persona p: set){
          System.out.println("Itero: "+p+" hash = "+p.hashCode());
      }
    }
}
```

TreeSet<E>

Specializzazione NavigableSet (e SortedSet)

- Assume che esista un ordine fra gli elementi
- Quindi ogni elemento ha una sua posizione nell'elenco
- Questo consente l'approccio dicotomico alla ricerca
- Consente funzioni addizionali, come le iterazioni in un intervallo

Realizzazione ordinamento: due approcci possibili

1. O attraverso un `Comparator` fornito alla `new`
2. O con elementi che implementano `Comparable`
   - Nota che, p.e., `Integer` implementa `Comparable<Integer>`

Implementazione TreeSet

- Basata su red-black tree (albero binario bilanciato)
- Tempo logaritmico per inserimento, cancellazione, e ricerca

Comparazione

```java
public interface Comparator<T> {
    // 0 if o2 == o1, pos if o2 > o1, neg if o2 < o1
    int compare(T o1, T o2);
}
```

```java
public interface Comparable<T> {
    /* returns: 0 (this == o), positive (this > o)
                            negative (this < o) */
    public int compareTo(T o);
}
```

```java
class Integer extends Number implements Comparable<Integer>{ ... }
class String extends Object implements Comparable<String>,..{ ... }
// >100 classi delle librerie di Java seguono questo approccio
```

```java
public class Persona implements Comparable<Persona>{
    ...
    public int compareTo(Persona p){
      return (this.annoNascita != p.annoNascita)
          ? this.annoNascita - p.annoNascita
          : this.nome.compareTo(p.nome);
    }
}
```

Esempi di Comparazione

```
1  public class UseComparison {
2
3    public static void main(String[] s) {
4
5      System.out.println("abc vs def: " + "abc".compareTo("def")); // neg
6      System.out.println("1 vs 2: " + new Integer(1).compareTo(2));// neg
7
8      final Persona p1 = new Persona("Rossi", 1960, false);
9      final Persona p2 = new Persona("Rossi", 1972, false);
10     final Persona p3 = new Persona("Bianchi", 1972, false);
11     final Persona p4 = new Persona("Bianchi", 1972, true);
12
13     System.out.println(p1 + " vs " + p2 + ": " + p1.compareTo(p2)); // pos
14     System.out.println(p2 + " vs " + p3 + ": " + p2.compareTo(p3)); // pos
15     System.out.println(p3 + " vs " + p4 + ": " + p3.compareTo(p4)); // zero
16   }
17 }
```

Interfacce SortedSet e NavigableSet

```java
public interface SortedSet<E> extends Set<E> {
    Comparator<? super E> comparator();
    SortedSet<E> subSet(E fromElement, E toElement);
    SortedSet<E> headSet(E toElement);   // fino a toElement
    SortedSet<E> tailSet(E fromElement); // da toElement
    E first();
    E last();
}
```

```java
public interface NavigableSet<E> extends SortedSet<E> {
    E lower(E e);   // Elemento prima di e
    E floor(E e);   // Elemento prima di e (e incluso)
    E ceiling(E e); // Elemento dopo e (e incluso)
    E higher(E e);  // Elemento dopo e
    E pollFirst();  // Torna ed elimina il primo se esiste
    E pollLast();   // Torna ed elimina l'ultimo se esiste
    NavigableSet<E> descendingSet();  // Set con ordine invertito
    Iterator<E> descendingIterator();   // .. e relativo iteratore
    NavigableSet<E> subSet(E fromElement, boolean fromInclusive,
                           E toElement,   boolean toInclusive);
    NavigableSet<E> headSet(E toElement, boolean inclusive);
    NavigableSet<E> tailSet(E fromElement, boolean inclusive);
}
```

UseTreeSetPersona

```
1  public class UseTreeSetPersona {
2    public static void main(String[] s) {
3
4      final List<Integer> l = Arrays.asList(new Integer[] { 10, 20, 30, 40 });
5      // TreeSet è un dettaglio, lavorare sempre sull'interfaccia
6
7      final NavigableSet<Persona> set = new TreeSet<>();
8      set.add(new Persona("Rossi", 1960, false));
9      set.add(new Persona("Bianchi", 1980, true));
10     set.add(new Persona("Verdi", 1972, false));
11     set.add(new Persona("Neri", 1972, false));
12     set.add(new Persona("Neri", 1968, false));
13
14     // Iterazione in ordine, poi al contrario, poi fino al 1970
15     for (final Persona p : set) {
16       System.out.println("Itero: " + p + " hash = " + p.hashCode());
17     }
18     for (final Persona p : set.descendingSet()) {
19       System.out.println("Itero al contrario: " + p);
20     }
21     final Persona limit = new Persona("", 1970, false);
22     for (final Persona p : set.headSet(limit, false)) {
23       System.out.println("Itero fino al 1970: " + p);
24     }
25   }
26 }
```

Costruttori di TreeSet

```
1  public class TreeSet<E> extends AbstractSet<E>
2      implements NavigableSet<E>, Cloneable, java.io.Serializable{
3
4      // Set vuoto di elementi confrontabili
5      public TreeSet() {...}
6
7      // Set vuoto con comparatore fornito
8      public TreeSet(Comparator<? super E> comparator) {...}
9
10     // Set con gli elementi di c, confrontabili tra loro
11     public TreeSet(Collection<? extends E> c) {...}
12
13     // Set con gli elementi di c, e che usa il loro ordering
14     public TreeSet(SortedSet<E> s) {...}
15
16     /* Seguono i metodi di NavigableSet e SortedSet */
17 }
```

Perché il tipo `Comparator<? super E>`

Data una classe `SortedSet<E>` il suo comparatore ha tipo `Comparator<? super E>`, perché non semplicemente `Comparator<E>`?

È corretto

- `Comparator` ha metodi che hanno `E` solo come argomento
- quindi l'uso di `Comparator<? super E>` è una generalizzazione di `Comparator<E>`

È utile

- Supponiamo di aver costruito un comparatore per `SimpleLamp`, e che questo sia usabile anche per tutte le specializzazioni successivamente costruite (è la situazione tipica)
- Anche un `SortedSet<UnlimitedLamp>` deve poter usare il `Comparator<SimpleLamp>`, ma questo è possibile solo grazie al suo tipo atteso `Comparator<? super E>`

Definizione di un comparatore

```
1  import java.util.Comparator;
2
3  /* Implementa la politica di confronto esternamente a Persona */
4
5  public class PersonaComparator implements Comparator<Persona> {
6
7    // confronto (lento) sulla base del toString
8
9    public int compare(Persona o1, Persona o2) {
10     return o1.toString().compareTo(o2.toString());
11   }
12 }
```

UseTreeSetPersona2

```
1  import java.util.*;
2
3  public class UseTreeSetPersona2{
4
5    public static void main(String[] s){
6
7        // TreeSet è un dettaglio, lavorare sempre sull'interfaccia
8        final NavigableSet<Persona> set =
9            new TreeSet<>(new PersonaComparator());
10
11       set.add(new Persona("Rossi",1960,false));
12       set.add(new Persona("Bianchi",1980,true));
13       set.add(new Persona("Verdi",1972,false));
14       set.add(new Persona("Neri",1972,false));
15       set.add(new Persona("Neri",1968,false));
16
17       // Iterazione in ordine
18       for (final Persona p: set){
19           System.out.println(p);
20       }
21     }
22 }
```