



## ASTRAZIONE SUL CONTROLLO: GLI ITERATORI

1



## Iteratori: motivazioni

- ✎ Astrazioni che permettono di estrarre “uno alla volta” gli elementi di una collezione di entita;
- ✎ Senza esporre la rappresentazione della collezione
- ✎ Java enumeration interface
  - `public interface Enumeration {`  
`boolean hasMoreElements();`  
`Object nextElement();`  
`}`

2

## Javadoc



- ✎ The **hasMoreElements** method returns true or false depending on whether the enumeration is exhausted.
- ✎ The **nextElement** method returns the next element in the enumeration, if there is a next element, so that successive calls to this method enumerates the elements.

3

## Gli iteratori



- ✎ perché vogliamo iterare “in modo astratto”
- ✎ iteratori e generatori in Java
  - specifica
  - utilizzazione
  - implementazione
  - rep invariant e funzione di astrazione
  - un esempio

4

## Java iterator



- ✎ Un iterator e' un oggetto che permette di accedere in modo sequenziale agli elementi di una collezione
  - Si puo' eccedere valutare e modificare gli elementi
- ✎ Un iterator impone una struttura di ordine sequenziale agli elementi presenti nella collezione anche se originariamente la collezione non aveva un ordine.
  - Se la collezione aveva un ordine allora l'ordine dell'iteratore e' il medesimo ordine della collezione

5

## Perché vogliamo iterare “in modo astratto”



- ✎ “we love abstraction”
- ✎ esempio: calcolare la somma di tutti gli elementi di un IntSet

```
public int setSum (IntSet s) throws
    NullPointerException
    // EFFECTS: se s è null solleva
    // NullPointerException altrimenti
    // ritorna la somma degli elementi di s
```

6

## Soluzione insoddisfacente 1



```
public static int setSum (IntSet s) throws
    NullPointerException {
    // EFFECTS: se s è null solleva
    // NullPointerException altrimenti
    // ritorna la somma degli elementi di s
    int[] a = new int [s.size( )];
    int sum = 0;
    for (int i = 0; i < a.length; i++)
        {a[i] = s.choose( );
        sum = sum + a[i];
        s.remove(a[i]); }
    // risistema s
    for (int i = 0; i < a.length; i++)
        s.insert(a[i]);
    return sum;}

```

- ad ogni iterazione vengono chiamate due operazioni (choose e remove)
- gli elementi rimossi vanno reinseriti

7

## Soluzione insoddisfacente 2



- potremmo realizzare setSum come metodo della classe IntSet
  - in modo più efficiente
    - ✓ accedendo la rappresentazione
  - non è direttamente collegata al concetto di IntSet
  - quante altre operazioni simili dovremmo mettere in IntSet?
    - ✓ trovare il massimo elemento.....

8

## Soluzione insoddisfacente 3



```
public int [ ] members ()
// EFFECTS: restituisce un array contenente gli
// elementi di this, ciascuno esattamente una volta,
// in un ordine arbitrario
public int setSum (IntSet s) {
    int[ ] a = s.members();
    int sum = 0;
    for (int i = 0; i < a.length; i++) sum = sum + a[i];
    return sum;}

```

- ☞ inefficiente
  - due strutture dati
  - non sempre vogliamo generare tutti gli elementi della collezione
    - ✓ c'è un elemento maggiore di x?

9

## Altre soluzioni insoddisfacenti



- ☞ dotiamo `IntSet` di una operazione che ritorna la rappresentazione
  - distruggiamo l'astrazione
- ☞ ridefiniamo l'astrazione `IntSet` in modo da avere una nozione di indicimento
  - è un'astrazione molto più complessa e non direttamente legata alla nozione di insieme

10

## Di cosa abbiamo bisogno?



- ✚ un meccanismo generale di iterazione
  - facile da usare
  - efficiente
  - che preservi l'astrazione
- ✚ **per ogni  $i$  prodotto da  $g$  esegui  $a$  su  $i$**
- ✚  $g$  è un **generatore** che produce in modo incrementale (uno alla volta) tutti gli elementi  $i$  della collezione corrispondente all'oggetto
- ✚ l'azione  $a$  da compiere sugli elementi è **separata** dalla generazione degli elementi stessi

11

## Iteratori e ordine superiore



- ✚ per ogni  $i$  prodotto da  $g$  esegui  $a$  su  $i$
- ✚ cose di questo genere si realizzano molto facilmente con la normale astrazione procedurale in quei linguaggi (tipicamente funzionali) in cui le procedure sono "cittadini di prima classe", cioè valori come tutti gli altri
  - possono essere passate come parametri ad altre procedure
  - il generatore è una procedura che ha come parametro la procedura che codifica l'azione da eseguire sugli elementi della collezione
  - il generatore (parametrico) è una operazione del tipo astratto
    - ✓ esempio: ma come abbiamo visto in Ocaml

12

## Iteratori in Java



- per ogni `i` prodotto da `g` esegui `a` su `i`
- i generatori sono oggetti di tipo `Iterator`
  - il tipo `Iterator` è definito dalla seguente interfaccia Java (`java.util.package`)

```
public interface Iterator {
    public boolean hasNext ( );
    // EFFECTS: restituisce true se ci sono altri elementi
    // altrimenti false
    public Object next throws NoSuchElementException;
    // EFFECTS: se ci sono altri elementi da generare dà il
    // successivo e modifica lo stato di this, altrimenti
    // solleva NoSuchElementException (unchecked)
}
```

- possiamo definire metodi che restituiscono generatori

13

## Javadoc (al solito)



- Java `Iterator<T>` interface
  - Any object of any class that satisfies the **`Iterator<T>`** interface is an **`Iterator<T>`**
- An `Iterator<T>` does not stand on its own
  - It must be associated with some collection object using the method **`iterator`**
  - If `c` is an instance of a collection class (e.g., **`HashSet<String>`**), the following obtains an iterator for `c`:

```
Iterator iteratorForC = c.iterator();
```

## Methods in the Iterator<T> Interface



### Display 16.7 Methods in the Iterator<T> Interface

The `Iterator<T>` interface is in the `java.util` package. All the exception classes mentioned are the kind that are not required to be caught in a catch block or declared in a throws clause. `NoSuchElementException` is in the `java.util` package, which requires an import statement if your code mentions the `NoSuchElementException` class. All the other exception classes mentioned are in the package `java.lang` and so do not require any import statement.

```
public T next()
```

Returns the next element of the collection that produced the iterator. Throws a `NoSuchElementException` if there is no next element.

(continued)

### Display 16.7 Methods in the Iterator<T> Interface



```
public boolean hasNext()
```

Returns true if `next()` has not yet returned all the elements in the collection; returns false otherwise.

```
public void remove() (Optional)
```

Removes from the collection the last element returned by `next`. This method can be called only once per call to `next`. If the collection is changed in any way, other than by using `remove`, the behavior of the iterator is not specified (and thus should be considered unpredictable). Throws `IllegalStateException` if the `next` method has not yet been called, or the `remove` method has already been called after the last call to the `next` method. Throws an `UnsupportedOperationException` if the `remove` operation is not supported by this `Iterator<T>`.



## Come si usano i generatori 1



- per ogni  $i$  prodotto da  $g$  esegui a su  $i$
- il metodo `primesLT100`

```
public static Iterator primesLT100 ()
// EFFECTS: restituisce un generatore,
// che genera incrementalmente tutti i
// numeri primi (Integer) minori di 100

// può essere utilizzato per realizzare un'iterazione astratta
// ciclo controllato da hasNext
Iterator g = primesLT100 ();
while (g.hasNext())
    {int x = ((Integer) g.next( )).intValue( );
    // usa x }
```

17

## Come si usano i generatori 2



```
public static Iterator primesLT100 ()
// EFFECTS: restituisce un generatore,
// che genera incrementalmente tutti i
// numeri primi (Integer) minori di 100

// può essere utilizzato per realizzare un'iterazione astratta
// ciclo controllato da exception
Iterator g = primesLT100();
try {while (true) {int x =
    ((Integer) g.next()).intValue();
    // uso di x
    }
catch (NoSuchElementException e) { };
```

18

## Specifica dei metodi che restituiscono generatori



- ☞ spesso chiamati *iteratori*
  - da non confondere con il tipo `Iterator` che restituiscono
- ☞ possono essere procedure stand alone
  - come `primesLT100`
- ☞ più interessante quando sono metodi di una classe che definisce una astrazione sui dati
  - esempi su `IntSet` e `Poly`

19

## Specifica di un iteratore per `Poly`



```
public class Poly {  
  // come prima più  
  public Iterator terms ()  
    // EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà gli  
    // esponenti dei termini diversi da 0 in this (come  
    // Integers) fino al grado del polinomio, in ordine  
    // crescente  
}
```

- ☞ un tipo di dato può avere anche più iteratori

20

## Specifica di un iteratore per IntSet



```
public class IntSet {
// come prima più
public Iterator elements ()
// EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà tutti
// gli elementi di this (come Integers) ciascuno una
// sola volta, in ordine arbitrario
// REQUIRES: this non deve essere modificato
// finché il generatore è in uso
}
```

- ☞ la clausola REQUIRES impone condizioni sul codice che utilizza il generatore
  - tipica degli iteratori su tipi di dato modificabili

21

## Specifica di un iteratore stand alone



```
public class Num {
// come prima più
public static Iterator allPrimes ()
// EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà tutti
// i numeri primi (come Integers) ciascuno una
// sola volta, in ordine arbitrario
}
```

- ☞ il limite al numero di iterazioni deve essere imposto dall'esterno
  - il generatore può produrre infiniti elementi

22

## Utilizzazione degli iteratori 1



```
public Iterator terms ()
// EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà gli
// esponenti dei termini diversi da 0 in this (come
// Integers) fino al grado del polinomio, in ordine
// crescente
public class Comp {
public static Poly diff (Poly p) throws NullPointerException
// EFFECTS: se p è null solleva NullPointerException
// altrimenti ritorna il poly ottenuto differenziando
// p
{Poly q = new Poly();
Iterator g = p.terms();
while (g.hasNext()) {
int exp = ((Integer) g.next()).intValue();
if (exp == 0) continue; // ignora il termine 0
q = q.add (new Poly(exp*p.coeff(exp), exp-1));
return q;}}

```

🐘 implementazione di diff esterna alla classe Poly

23

## Utilizzazione degli iteratori 2



```
public static Iterator allPrimes ()
// EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà tutti
// i numeri primi (come Integers) ciascuno una
// sola volta, in ordine arbitrario

public static void printPrimes (int m) {
// MODIFIES: System.out
// EFFECTS: stampa tutti i numeri primi minori o uguali a m
// su System.out
Iterator g = Num.allPrimes();
while (true) {
Integer p =(Integer) g.next();
if (p.intValue() > m) return; // forza la terminazione
System.out.println("The next prime is: " + p.toString()); }
}

```

24

## Utilizzazione dei generatori



```
public static int max (Iterator g) throws EmptyException,
    NullPointerException {
    // REQUIRES: il generatore g genera (contiene) solo Integers
    // EFFECTS: se g è null solleva NullPointerException; se g è
    // vuoto solleva EmptyException, altrimenti consuma tutti gli
    // elementi di g e restituisce il massimo intero in g
    try {int m = ((Integer) g.next()).intValue();
        while (g.hasNext( ))
            {int x = ((Integer) g.next()).intValue();
              if (m < x) m = x; } return m;}
    catch (NoSuchElementException e)
    {throw new EmptyException("Comp.max"); } }
```

- i generatori (essendo oggetti) possono essere passati come argomento a metodi che così astraggono da dove provengono gli argomenti su cui lavorano
  - prodotti da `elements` di `IntSet`, `primesLT100`, ...

25

## Implementazione degli iteratori e dei generatori



- i generatori sono oggetti che hanno come tipo un sottotipo di `Iterator`
  - istanze di una classe  $\gamma$  che "implementa" l'interfaccia `Iterator`
- un iteratore  $\alpha$  è un metodo (stand alone o associato ad un tipo astratto) che ritorna il generatore istanza di  $\gamma$ 
  - $\gamma$  deve essere contenuta nello stesso modulo che contiene  $\alpha$ 
    - ✓ dall'esterno del modulo si deve poter vedere solo l'iteratore  $\alpha$  (con la sua specifica)
    - ✓ non la classe  $\gamma$  che definisce il generatore
- $\gamma$  deve avere una visibilità limitata al package che contiene  $\alpha$ 
  - oppure può essere contenuta nella classe che contiene  $\alpha$ 
    - ✓ come inner class privata
- dall'esterno i generatori sono visti come oggetti di tipo `Iterator`
  - perché il sottotipo  $\gamma$  non è visibile

26

## Classi nidificate



- ☛ una classe  $\gamma$  dichiarata all'interno di una classe  $\alpha$  può essere
  - static (di proprietà della classe  $\alpha$ )
  - di istanza (di proprietà degli oggetti istanze di  $\alpha$ )
- ☛ se  $\gamma$  è static come sempre non può accedere direttamente le variabili di istanza ed i metodi di istanza di  $\alpha$ 
  - le classi che definiscono i generatori si possono quasi sempre definire come inner classes statiche

27

## Classi nidificate: semantica



- ☛ la presenza di classi nidificate richiede la presenza di un ambiente di classi
  - all'interno delle descrizioni di classi
  - all'interno degli oggetti (per classi interne non static)
  - vanno modificate di conseguenza anche tutte le regole che accedono i nomi

28

## Implementazione degli iteratori 1

```
public class Poly {
    private int[] termini;
    private int deg;
    public Iterator terms () {return new PolyGen(this); }
    // EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà gli
    // esponenti dei termini diversi da 0 in this (come
    // Integers) fino al grado del polinomio, in ordine crescente
    private static class PolyGen implements Iterator {
        // inner class (classe annidata) statica (l'array va passato al costruttore)
        private Poly p; // il Poly su cui si itera
        private int n; // il prossimo termine da considerare
        PolyGen (Poly it) {
            // REQUIRES: it != null
            p = it; if (p.termini[0] == 0) n = 1; else n = 0; }
        public boolean hasNext () {return n <= p.deg; }
        public Object next () throws NoSuchElementException {
            for (int e = n; e <= p.deg; e++)
                if (p.termini[e] != 0){n = e + 1; return new Integer(e); }
            throw new NoSuchElementException("Poly.terms"); } } }
}
```

29

## Implementazione degli iteratori 2

```
public class Poly {
    private int[] termini;
    private int deg;
    public Iterator terms () {return new PolyGen(); }
    // EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà gli
    // esponenti dei termini diversi da 0 in this (come
    // Integers) fino al grado del polinomio, in ordine crescente
    private class PolyGen implements Iterator {
        // inner class (classe annidata) di istanza (vede termini)
        private int n; // il prossimo termine da considerare
        PolyGen () {
            // REQUIRES: it != null
            if (termini[0] == 0) n = 1; else n = 0; }
        public boolean hasNext () {return n <= deg; }
        public Object next () throws NoSuchElementException {
            for (int e = n; e <= deg; e++)
                if (termini[e] != 0) {n = e + 1; return new Integer(e); }
            throw new NoSuchElementException("Poly.terms"); } } }
}
```

30

## Implementazione degli iteratori 3

```
public class Num {
    public static Iterator allPrimes () {return new PrimesGen();}
    // EFFECTS: ritorna un generatore che produrrà tutti
    // i numeri primi (come Integers) ciascuno una
    // sola volta, in ordine arbitrario
    private static class PrimeGen implements Iterator {
        // inner class (classe annidata)
        private Vector ps; // primi già dati
        private int p; // prossimo candidato alla generazione
        PrimeGen () {p = 2; ps = new Vector(); }
        public boolean hasNext () {return true }
        public Object next () {
            if (p == 2) { p = 3; return new Integer(2);}
            for (int n = p; true; n = n + 2)
                for (int i = 0; i < ps.size(); i++){
                    int el = ((Integer) ps.get(i)).intValue();
                    if (n%el == 0) break; // non è primo
                    if (el*el > n)
                        {ps.add(new Integer(n); p = n + 2;
                            return new Integer(n);}} } }
    }
```

31

## Classi nidificate e generatori

- ✎ le classi i cui oggetti sono generatori definiscono comunque dei tipi astratti
  - sottotipi di `Iterator`
- ✎ in quanto tali devono essere dotati di
  - una funzione di astrazione
  - un invariante di rappresentazione

32



## Funzione di astrazione per i generatori



- dobbiamo sapere cosa sono gli stati astratti
- per tutti i generatori, lo stato astratto è
  - la sequenza di elementi che devono ancora essere generati
  - la funzione di astrazione mappa la rappresentazione su tale sequenza

33

## Funzione di astrazione 1



```
public class Poly {
  private int[ ] termini;
  private int deg;
  public Iterator terms () {return new PolyGen(this); }
  private static class PolyGen implements Iterator {
    // inner class (classe annidata)
    private Poly p; // il Poly su cui si itera
    private int n; // il prossimo termine da considerare
    // la funzione di astrazione
    //  $\alpha(c) = [x_1, x_2, \dots]$  tale che
    // ogni  $x_i$  è un Integer, e
    // gli  $x_i$  sono tutti e soli gli indici  $i \geq n$ 
    // per cui  $c.p.termini[i] \neq 0$ , e
    //  $x_i > x_j$  per tutti gli  $i > j \geq 1$ 
  }
}
```

- notare che si usano le rep sia di Poly che di Polygen

34

## Invariante di rappresentazione 1



```
public class Poly {
    private int[ ] termini;
    private int deg;
    public Iterator terms () {return new PolyGen(this); }
    private static class PolyGen implements Iterator {
        // inner class (classe annidata)
        private Poly p; // il Poly su cui si itera
        private int n; // il prossimo termine da considerare
        // l'invariante di rappresentazione:
        // l(c) = c.p != null e
        // (0 <= c.n <= c.p.deg)
```

☛ notare che si usano le rep sia di Poly che di Polygen

35

## Funzione di astrazione 2



```
public class Num {
    public static Iterator allPrimes () {return new PrimesGen();}
    private static class PrimeGen implements Iterator {
        // inner class (classe annidata)
        private Vector ps; // primi già dati
        private int p; // prossimo candidato alla generazione
        // la funzione di astrazione
        //  $\alpha(c) = [p_1, p_2, \dots]$  tale che
        // ogni  $p_i$  è un Integer, è primo, ed è  $\geq c.p$  e
        // tutti i numeri primi  $\geq c.p$  occorrono nella
        // sequenza, e
        //  $p_i > p_j$  per tutti gli  $i > j \geq 1$ 
```

36

## Invariante di rappresentazione 2



```
public class Num {
    public static Iterator allPrimes () {return new PrimesGen();}
    private static class PrimeGen implements Iterator {
        // inner class (classe annidata)
        private Vector ps; // primi già dati
        private int p; // prossimo candidato alla generazione
        // l'invariante di rappresentazione:
        // l(c) = c.ps != null e
        // tutti gli elementi di c.ps sono primi e
        // ordinati in modo crescente, e
        // contengono tutti i primi < c.p e > 2
    }
}
```

37

## Conclusioni sugli iteratori



- ✦ in molti tipi di dato astratti (collezioni) gli iteratori sono un componente essenziale
  - supportano l'astrazione via specifica
  - portano a programmi efficienti in tempo e spazio
  - sono facili da usare
  - non distruggono la collezione
  - ce ne possono essere più d'uno
- ✦ se il tipo di dato astratto è modificabile ci dovrebbe sempre essere il vincolo sulla non modificabilità del dato durante l'uso dell'iteratore
  - altrimenti è molto difficile specificarne il comportamento previsto
  - in alcuni casi può essere utile combinare generazioni e modifiche

38

## Generare e modificare



- ✦ programma che esegue tasks in attesa su una coda di tasks

```
Iterator g = q.allTasks();
while (g.hasNext()) {
    Task t = (Task) g.next();
    // esecuzione di t
    // se t genera un nuovo task nt, viene messo
    // in coda facendo q.enq(nt)
}
```

- ✦ casi come questo sono molto rari

39

## An Iterator



### Display 16.8 An Iterator

```
1 import java.util.HashSet;
2 import java.util.Iterator;

3 public class HashSetIteratorDemo
4 {
5     public static void main(String[] args)
6     {
7         HashSet<String> s = new HashSet<String>();

8         s.add("health");
9         s.add("love");
10        s.add("money");

11        System.out.println("The set contains:");
```

(continued)



### Display 16.8 An Iterator

```
12     Iterator<String> i = s.iterator();
13     while (i.hasNext())
14         System.out.println(i.next());

15     i.remove();

16     System.out.println();
17     System.out.println("The set now contains:");

18     i = s.iterator();
19     while (i.hasNext())
20         System.out.println(i.next());

21     System.out.println("End of program.");
22 }
23 }
```

You cannot "reset" an iterator "to the beginning." To do a second iteration, you create another iterator.

(continued)



### Display 16.8 An Iterator

#### SAMPLE DIALOGUE

The set contains:  
money  
love  
health

The set now contains:  
money  
love  
End of program.

*The HashSet<T> object does not order the elements it contains, but the iterator imposes an order on the elements.*

## Aspetti critici



- ✎ Quando un generatore restituisce un elemento della collezione dovrebbe restituire una copia dell'elemento o un riferimento all'elemento
- ✎ JavaDoc `ArrayList<T>` oppure `HashSet<T>` restituiscono un riferimento
- ✎ Conseguenza: se modifichiamo il valore dell'elemento restituito modifichiamo la struttura complessiva!!