AA 2014-2015

14. Java generics

Java Interface e astrazione

```
interface ListOfNumbers {
  boolean add(Number elt);
  Number get(int index);
}
interface ListOfIntegers {
  boolean add(Integer elt);
  Integer get(int index);
}
```

… e ListOfStrings e …

```
// Necessario astrarre sui tipi
interface List<E> {
  boolean add(E n);
  E get(int index);
}
```

Usiamo I tipi!!!

```
List<Integer>
List<Number>
List<String>
List<List<String>>
```

…

Parametri e parametri di tipo

```
interface ListOfIntegers {
  boolean add(Integer elt);
  Integer get(int index);
}
```

- Dichiarazione del parametro formale
- Istanziato con una espressione che ha il tipo richiesto (lst.add(7))
- Tipo di add: Integer → boolean

```
interface List<E> {
  boolean add(E elt);
  E get(int index);
}
```

- Dichiarazione di un parametro di tipo
- Istanziabile con un qualunque tipo
  - List<String>
- "Il tipo" di List è Type → Type

3

Variabili di tipo

Dichiarazione

```
class NewSet<T> implements Set<T> {
  // rep invariant:
  //   non-null, contains no duplicates
  // ...
  List<T> theRep;
  T lastItemInserted;
  ...
}
```

Utilizzo

4

Dichiarare e istanziare classi generiche

```
class Name<TypeVar1, …, TypeVarN> {…}
interface Name<TypeVar1, …, TypeVarN> {…}
```

- convenzioni standard
  `T` per `Type`, `E` per `Element`,
  `K` per `Key`, `V` per `Value`, …

Istanziare una classe generica significa fornire un valore di tipo

```
Name<Type1, …, TypeN>
```


Istanziare tipi

```
boolean add1(Object elt);
boolean add2(Number elt);
add1(new Date( ));  // OK
add2(new Date( ));  // compile-time erro

interface List1<E extends Object> {…}
interface List2<E extends Number> {…}

List1<Date> // OK, Date è un sottotipo di Object

List2<Date> // compile-time error, Date non è
            // sottotipo di Number
```

Limite superiore gerarchia

Visione effettiva dei generici

```
class Name<TypeVar1 extends Type1,
           …,
           TypeVarN extends TypeN> {…}
```

- (analogo per le interfacce)
- (intuizione: **`Object`** è il limite superiore di default nella gerarchia dei tipi)

Istanziazione identica

```
Name<Type1, …, TypeN>
```

Ma *compile-time error* se il tipo non è un sottotipo del limite superiore della gerarchia

Usiamo le variabili di tipo

Si possono effettuare tutte le operazioni compatibili con il limite superiore della gerarchia

- concettualmente questo corrisponde a forzare una precondizione sulla istanziazione del tipo

```
class List1<E extends Object> {
  void m(E arg) {
    arg.asInt( );  // compiler error, E potrebbe
                   // non avere l'operazione asInt
  }
}
class List2<E extends Number> {
  void m(E arg) {
    arg.asInt( );  // OK, Number e tutti i suoi
                   // sottotipi supportano asInt
  }
}
```

Vincoli di tipo

<TypeVar extends SuperType>

- *upper bound*; va bene il supertype o uno dei suoi sottotipi

<TypeVar extends ClassA & InterfB & InterfC & … >

- *Multiple* upper bounds

<TypeVar super SubType>

- *lower bound*; va bene il sottotipo o uno qualunque dei suoi supertipi

Esempio

```
// strutture di ordine su alberi
public class TreeSet<T extends Comparable<T>> {
     ...
}
```

9

Esempio

```
class Utils {
  static double sumList(List<Number> lst) {
      double result = 0.0;
      for (Number n : lst) {
           result += n.doubleValue( );
      }
      return result;
  }
  static Number choose(List<Number> lst) {
      int i = ... // numero random < lst.size
      return lst.get(i);
  }
}
```

10

Soluzione efficace

```
class Utils {
  static <T extends Number>
  double sumList(List<T> lst) {
      double result = 0.0;
      for (Number n : lst) { // T also works
        result += n.doubleValue();
      }
      return result;
  }
  static <T>
  T choose(List<T> lst) {
      int i = … // random number < lst.size
      return lst.get(i);
  }
}
```

Dichiarere i vincoli sui tipi

Dichiarare i vincoli sui tipi

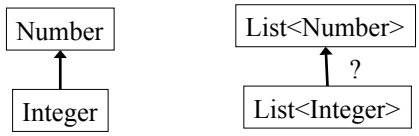
11

Metodi generici

- Metodi che possono usare i tipi generici delle classi
- Possono dichiarare anche i loro tipi generici
- Le invocazioni di metodi generici devo obbligatoriamente istanziare i parametri di tipo
  - staticamente: una forma di inferenza di tipo

12

Generici e la nozione di sottotipo



- **`Integer`** è un sottotipo di **`Number`**
- **`List<Integer>`** è un sottotipo di **`List<Number>`**?

13

Quali sono le regole di Java?

Se **Type2** e **Type3** sono differenti, e **Type2** è un sottotipo di **Type3**, allora **Type1<Type2>** *non* è un sottotipo di **Type1<Type3>**

Formalmente: la nozione di sottotipo usata in Java è *invariante* per le classi generiche

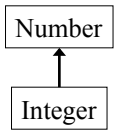
14

Esempi (da Java)

- Tipi e sottotipi
  - Integer è un sottotipo di Number
  - ArrayList<E> è un sottotipo di List<E>
  - List<E> è un sottotipo di Collection<E>
- Ma
  - List<Integer> non è un sottotipo di List<Number>

`List<Number>` e `List<Integer>`


```
interface List<T> {
  boolean add(T elt);
  T get(int index);
}
```



type `List<Number>` has

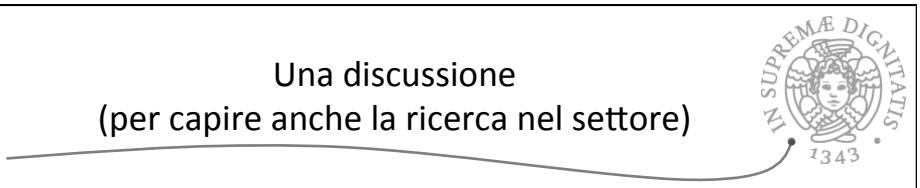
```
boolean add(Number elt);
Number get(int index);
```

type `List<Integer>` has

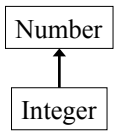
```
boolean add(Integer elt);
Integer get(int index);
```

`List<Number>` non è un supertipo di `List<Integer>`

Una discussione
(per capire anche la ricerca nel settore)



```
interface List<T> {
  T get(int index);
}
```



type **`List<Number>`** has
```
  Number get(int index);
```

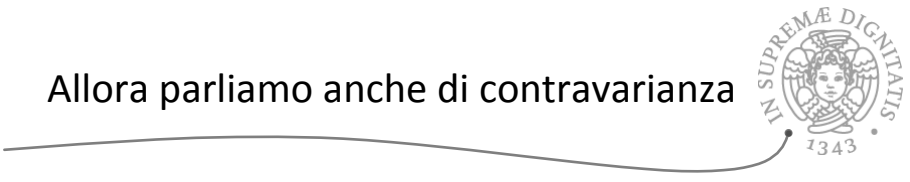
type **`List<Integer>`** has
```
  Integer get(int index);
```

La nozione di sottotipo *covariante* sarebbe corretta
- **`List<Integer>`** sottotipo di **`List<Number>`**

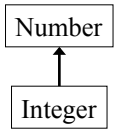
Sfortunatamente Java non adotta questa soluzione

17

Allora parliamo anche di contravarianza



```
interface List<T> {
  boolean add(T elt);
}
```



type **`List<Number>`** has
```
  boolean add(Number elt);
```

type **`List<Integer>`** has
```
  boolean add(Integer elt);
```

La nozione di sottotipo *contravariante* sarebbe altrettanto corretta
- **`List<Number>`** è sottotipo di **`List<Integer>`**

Ma Java ...

18

Altri aspetti

- **`List<Integer>`** e **`List<Number>`** non sono correlati dalla nozione di sottotipo
- Tuttavia, in diversi casi la nozione di sottotipo sui generici funziona come uno se lo aspetta anche in Java
- Esempio: assumiamo che **`LargeBag`** extends **`Bag`**, allora
  - **`LargeBag<Integer>`** è un sottotipo di **`Bag<Integer>`**
  - **`LargeBag<Number>`** è un sottotipo di **`Bag<Number>`**
  - **`LargeBag<String>`** è un sottotipo di **`Bag<String>`**
  - …

`addAll`


```
interface Set<E> {
   // Aggiunge a this tutti gli elementi di c
   // (che non appartengono a this)
  void addAll(??? c);
}
```

Quale è il miglior tipo per il parametro formale?

- Il più ampio possibile …
- … che permette di avere implementazioni corrette

addAll


```
interface Set<E> {
   // Aggiunge a this tutti gli elementi di c
   // (che non appartengono a this)
  void addAll(??? c);
}
```

Una prima scelta è `void addAll(Set<E> c);`

Troppo restrittivo

- un parametro attuale di tipo `List<E>` non sarebbe permesso, e ciò è spiacevole …

addAll


```
interface Set<E> {
   // Aggiunge a this tutti gli elementi di c
   // (che non appartengono a this)
  void addAll(??? c);
}
```

Secondo tentativo: `void addAll(Collection<E> c);`

Troppo restrittivo

- il parametro attuale di tipo `List<Integer>` per `Set<Number>` non va bene anche se `addAll` ha solo bisogno di leggere da c e non di modificarlo!!!
- Questa è la principale limitazione della nozione di invarianza per i generici in Java

addAll

```
interface Set<E> {
   // Aggiunge a this tutti gli elementi di c
   // (che non appartengono a this)
  void addAll(??? c);
}
```

Proviamo ancora

```
<T extends E> void addAll(Collection<T> c);
```

Idea buona: un parametro generico ma vincolato

- posso avere un parametro attuale di tipo `List<Integer>` per `Set<Number>`
- `addAll` non può vedere nell'implementazione il tipo `T`, sa solo che è un sottotipo di `E`, e non può modificare la collection c

Altro esempio

```
<T> void copyTo(List<T> dst, List<T> src) {
      for (T t : src)
            dst.add(t);
}
```

La soluzione va bene, ma ancora meglio

```
<T1, T2 extends T1> void copyTo(List<T1> dst,
                                List<T2> src) {
      for (T2 t : src)
            dst.add(t);
}
```

Wildcard

Sintassi delle wildcard

- **`? extends Type`**, sottotipo non specificato del tipo **`Type`**
- **`?`** notazione semplificata per **`? extends Object`**
- **`? super Type`**, supertipo non specificato del tipo **`Type`**

wildcard = una variabile di tipo anonima

- **?** Tipo non conosciuto
- si usano le wildcard quando si usa un tipo esattamente una volta ma non si conosce il nome
- l'unica cosa che si sa è l'unicità del tipo

25

Esempi


```
interface Set<E> {
      void addAll(Collection<? extends E> c);
}
```

- maggiormente flessibile rispetto a
  `void addAll(Collection<E> c);`
- espressiva come
  `<T extends E> void addAll(Collection<T> c);`

26

Producer Extends, Consumer Super

Quando si usano le wildcard?

- si usa **`? extends T`** nei casi in cui si vogliono ottenere dei valori (da un produttore di valori)
- si usa **`? super T`** nei casi in cui si vogliono inserire valori (in un consumatore)
- non vanno usate (basta **`T`**) quando si ottengono e si producono valori

```
<T> void copy(List<? super T> dst,
              List<? extends T> src);
```


? vs Object

? Tipo particolare anonimo

```
void printAll(List<?> lst) {…}
```

Quale è la differenza tra **`List<?>`** e **`List<Object>`**?

- possiamo istanziare **?** con un tipo qualunque: **`Object`**, **`String`**, …
- **`List<Object>`** è più restrittivo: **`List<String>`** non va bene

Quale è la differenza tra **`List<Foo>`** e **`List<? extends Foo>`**

- nel secondo caso il tipo anonimo è **un** sottotipo sconosciuto di **`Foo`**

  `List<? extends Animal>` può memorizzare **`Giraffe`** ma non **`Zebre`**

Java array

Sappiamo bene come operare con gli array in Java … Vero?

Analizziamo questa classe

```
class Array<T> {
   public T get(int i) { … "op" … }
   public T set(T newVal, int i) { … "op" … }
}
```

Domanda: Se **`Type1`** è un sottotipo di **`Type2`**, quale è la relazione tra **`Type1[]`** e **`Type2[]`**??

29

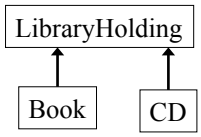
Sorpresa!

- Sappiamo che per i generici la nozione di sottotipo è invariante, pertanto se **`Type1`** è un sottotipo di **`Type2`**, allora **`Type1[]`** e **`Type2[]`** non dovrebbero essere correlati
- Ma Java è strano, se **`Type1`** è un sottotipo di **`Type2`**, allora **`Type1[]`** *è* un sottotipo di **`Type2[]`**
  - Java (ma anche C#) ha fatto questa scelta prima dell'introduzione dei generici.
  - cambiarla ora è un po' troppo invasivo per i pigri programmatori Java (commento obbligato per chi fa ricerca sui principi dei linguaggi di programmazione)

30

Ci sono anche cose "buone"

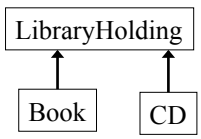
Gli inglesi dicono: "Programmers do okay stuff"




```
void maybeSwap(LibraryHolding[ ] arr) {
    if(arr[17].dueDate( ) < arr[34].dueDate( ))
        // … swap arr[17] and arr[34]
}

// cliente
Book[ ] books = …;
maybeSwap(books); // usa la covarianza degli array
```


Ma può andare male




```
void replace17(LibraryHolding[ ] arr,
               LibraryHolding h) {
  arr[17] = h;
}

// il solito cliente
Book[] books = …;
LibraryHolding theWall = new CD("Pink Floyd",
                                "The Wall", … );
replace17(books, theWall);
Book b = books[17]; // contiene un CD
b.getChapters( );   // problema!!
```

Le scelte di Java

- Il tipo dinamico è un sottotipo di quello statico
  - violato nel caso di **`Book b`**
- La scelta di Java
  - ogni array "conosce" il suo tipo dinamico (**`Book[ ]`**)
  - modificare a (run-time) con un un supertipo determina **`ArrayStoreException`**
- pertanto **`replace17`** solleva una eccezione
  - *Every Java array-update includes run-time check*
    - ✓ (dalla specifica della JVM)
  - Morale: fate attenzione agli array in Java

Too good to be true: type erasure

Tutti i tipi generici sono trasformati in **`Object`** nel processo di compilazione

- Motivo: backward-compatibility con il codice vecchio
- Morale: a run-time, tutte le istanziazioni generiche hanno lo stesso tipo

```
List<String>  lst1 = new ArrayList<String>( );
List<Integer> lst2 = new ArrayList<Integer>( );
lst1.getClass( ) == lst2.getClass( )  // true
```

Generici e casting

```
List<?> lg = new ArrayList<String>( );  // ok
List<String> ls = (List<String>) lg;    // warning
```

Dalla documentazione Java: "Compiler gives an unchecked warning, since this is something the run-time system *will not check for you*"

Problema

```
public static <T> T badCast(T t, Object o){
    return (T) o;  // unchecked warning
}
```

35

equals

Erasure: tipo dell'argomento non esiste a runtime

```
class Node<E> {
  ...
  @Override
  public boolean equals(Object obj) {
    if (!(obj instanceof Node<E>))  {
      return false;
    }
    Node<E> n = (Node<E>) obj;
    return this.data( ).equals(n.data( ));
  }
  ...
}
```

36

equals

```
class Node<E> {
  ...
  @Override
  public boolean equals(Object obj) {
    if (!(obj instanceof Node<?>))  {
      return false;
    }
    Node<E> n = (Node<E>) obj;
    return this.data( ).equals(n.data( ));
  }
  ...
}
```

Erasure: a run time non si sa cosa sia E

Tips (da stackoverflow)

- Start by writing a concrete instantiation
  - Get it correct (testing, reasoning, etc.)
  - Consider writing a second concrete version
- Generalize it by adding type parameters
  - Think about which types are the same or different
  - The compiler will help you find errors

Java Generics (JG)

- Il compilatore verifica l'utilizzo corretto dei generici
- I parametri di tipo sono eliminati nel processo di compilazione e il "class file" risultante dalla compilazione è un normale class file senza poliformismo parametrico

Esempio


```
class Vector<T> {
  T[] v; int sz;
  Vector() {
    v = new T[15];
    sz = 0;
  }
  <U implements Comparer<T>>
  void sort(U c) {
    …
    c.compare(v[i], v[j]);
    …
  }
}
…
Vector<Button> v;
v.addElement(new Button());
Button b = v.elementAt(0);
```

```
class Vector {
  Object[] v; int sz;
  Vector() {
    v = new Object[15];
    sz = 0;
  }

  void sort(Comparer c) {
    …
    c.compare(v[i], v[j]);
    …
  }
}
…
Vector v;
v.addElement(new Button());
Button b =
    (Button)b.elementAt(0);
```

Considerazioni

- JG aiutano a migliorare il polimorfismo della soluzione
- Limite principale: il tipo effettivo è perso a runtime a causa della type erasure
- Tutte le istanziazioni sono identificate
- Esistono altre implementazioni dei generici per Java

Generics e Java

System / Feature	JG/Pizza Bracha, Odersky, Stoutamire, Wadler	NextGen Cartwright, Steele	PolyJ Bank, Liskov, Myers	Agesen, Freund, Mitchell	Generic CLR Kennedy, Syme
Parameterized types	✓ + bounds	✓ + bounds	✓ + constraints	✓ + bounds	✓ + bounds
Polymorphic methods	✓	✓	×	×	✓
Type checking at point of definition	✓	✓	✓	×	✓
Non-reference instantiations	×	×	✓	✓	✓
Exact run-time types	×	✓	?	✓	✓
Polymorphic virtual methods	×	✓	×	×	✓
Type parameter variance	×	✓	×	×	×

Una anticipazione di programmazione avanzata

Generic C#

- Kennedy and Syme have extended CLR to support parametric types (the same proposal has been made for PolyJ by Cartwright and Steele)
- The verifier, JIT and loader have been changed
- When the program needs an instantiation of a generic type the loader generates the appropriate type
- The JIT can share implementation of reference instantiations (Stack<String> has essentially the same code of Stack<Object>)

Generic C# compiler

- GC# compiler implements a JG like notation for parametric types
- Bounds are the same as in JG
- NO type-inference on generic methods: the type must be specified in the call
- Exact runtime types are granted by CLR so virtual generic methods are allowed
- All type constructors can be parameterized: struct, classes, interfaces and delegates

Esempio

```
using System;
namespace n {
  public class Foo<T> {
    T[] v;
    Foo() { v = new T[15]; }
    public static
     void Main(string[] args) {
      Foo<string> f =
        new Foo<string>();
      f.v[0] = "Hello";
      string h = f.v[0];
      Console.Write(h);
    }
  }
}
```

```
.field private !0[] v
.method private hidebysig
        specialname
    rtspecialname
instance void  .ctor() cil
    managed {
 .maxstack  2
  ldarg.0
  call       instance void
    [mscorlib]System.Object::.c
    tor()
  ldarg.0
  ldc.i4.s   15
  newarr     !0
  stfld      !0[] class n.Foo<!
    0>::v
  ret
} // end of method Foo::.ctor
```