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 …

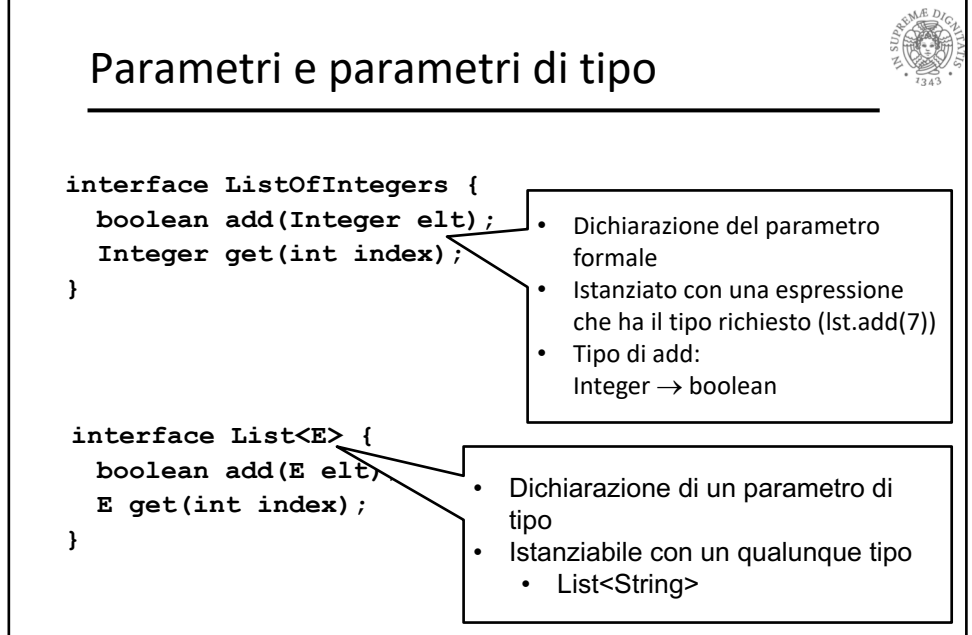
// **Indispensabile astrarre sui tipi**

```
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



Una coda

```
class CircleQueue {
  private Circle[] circles;
    :
  public CircleQueue(int size) {...}
  public boolean isFull() {...}
  public boolean isEmpty() {...}
  public void enqueue(Circle c) {...}
  public Circle dequeue() {...}
}
```

Una seconda coda

```
class PointQueue {
  private Point[] points;
    :
  public PointQueue(int size) {...}
  public boolean isFull() {...}
  public boolean isEmpty() {...}
  public void enqueue(Point p) {...}
  public Point dequeue() {...}
}
```


Astrazione (da wikipedia)

Where similar functions are carried out by distinct pieces of code, it is generally beneficial to combine them into one by abstracting out the varying parts

Una terza coda

```
class ObjectQueue {
  private Object[] objects;
    :
  public ObjectQueue(int size) {...}
  public boolean isFull() {...}
  public boolean isEmpty() {...}
  public void enqueue(Object o) {...}
  public Object dequeue() {...}
}
```


Usiamo la (terza) coda

```
ObjectQueue cq = new ObjectQueue(10);
cq.enqueue(new Circle(new Point(0, 0), 10));
cq.enqueue(new Circle(new Point(1, 1), 5));
 :
```

Altre operazioni

```
// Prendere un oggetto instanza di Circle è leggermente
// più complicato

Circle c = cq.dequeue();

//NO: compilation error: non possiamo assegnare una
//variabile di tipo Object a una variabile di tipo Circle
//senza una operazione di casting esplicito

Circle c = (Circle)cq.dequeue();
```


Tuttavia …

```
//…. sollevare una ClassCastException se la coda
contenesse oggetti che non sono di tipo Circle

// Soluzione:

Object o = cq.dequeue();
  if (o instanceof Circle) {
    Circle c = (Circle)o;
}
```

A partire da Java 5

```
class Queue<T> {
  private T[] objects;
     :
  public Queue(int size) {...}
  public boolean isFull() {...}
  public boolean isEmpty() {...}
  public void enqueue(T o) {...}
  public T dequeue() {...}
}
```

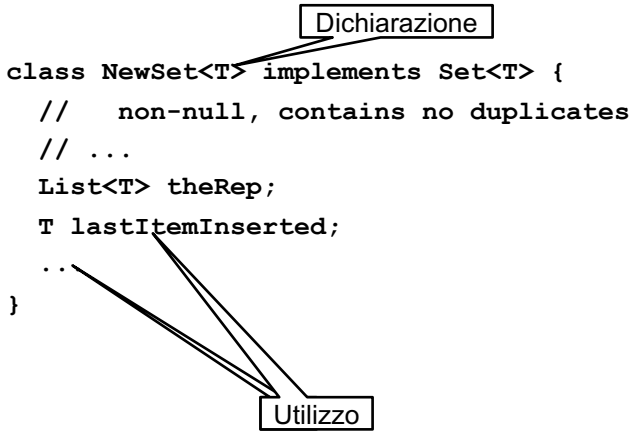
```
Queue<Circle> cq = new Queue<Circle>(10);
cq.enqueue(new Circle(new Point(0, 0), 10));
cq.enqueue(new Circle(new Point(1, 1), 5));
Circle c = cq.dequeue();
```


Da notare

```
Queue<Circle> cq = new Queue<Circle>(10);
cq.enqueue(new Point(1, 3));
```

Il codice precedente genera un errore a tempo di compilazione

Variabili di tipo



Dichiarare generici

```
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 error

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 sorta di 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>> {
    ...
}
```

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);
  }
}
```


Soluzione efficace

```
class Utils {
  static <T extends Number>
  double sumList(List<T> lst) {
      double result = 0.0;
      for (Number n : lst) // anche T andrebbe bene
        result += n.doubleValue();

      return result;
  }
  static <T>
  T choose(List<T> lst) {
      int i = … // random number < lst.size
      return lst.get(i);
  }
}
```

Dichiarare i vincoli sui tipi

Dichiarare i vincoli sui tipi

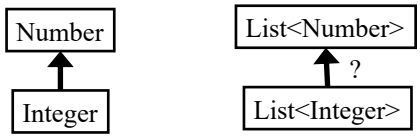
Metodi generici

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

Un esempio

```
public class InsertionSort<T extends Comparable<T>> {
   public void sort(T[ ] x) {
      T tmp;
      for (int i = 1; i < x.length; i++) {
      // invariant: x[0],...,x[i-1] sorted
         tmp = x[i];
         for (int j = i;
               j > 0 && x[j-1].compareTo(tmp) > 0; j--)
              x[j] = x[j-1];
              x[j] = tmp;
      }
   }
}
```

Generici e la nozione di sottotipo



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

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>**

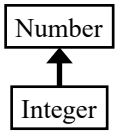
Formalmente: la nozione di sottotipo usata in Java è *invariante* per le classi generiche

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>`** caratterizzata

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

type **`List<Integer>`** caratterizzata

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

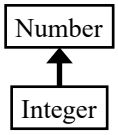
`List<Number>` non è un supertipo di **`List<Integer>`**

Varianza per tipi

Supponiamo che A(T) sia un opportuno tipo definito usando il Tipo T

A è *covariant* se T<:S implica A(T)<:A(S),
A è *contravariant* se T<:S implies A(S)<:A(T),
A è *bivariant* se è sia covariant che contravariant,
A è *invariant* se non è covariant e controvariant

Una discussione (per capire anche la ricerca nel settore)




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

type **`List<Number>`**

```
  Number get(int index);
```

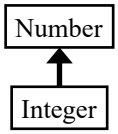
type **`List<Integer>`**

```
  Integer get(int index);
```

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

Sfortunatamente Java non adotta questa soluzione

Allora parliamo anche di contravarianza




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

type **`List<Number>`**

```
  boolean add(Number elt);
```

type **`List<Integer>`**

```
  boolean add(Integer elt);
```

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

Ma Java ...

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>`** 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

- **`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

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);`

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`**

Raw types

- Con *raw type* si indica una classe/interfaccia senza nessun argomento di tipo (*legacy code*)

```
Vector<Integer> intVec = new Vector<Integer>();
Vector rawVec = new Vector();              // OK

Vector<String> stringVec = new Vector<String>();
Vector rawVec = stringVec;                // OK
```

Inferenza di tipo

- Inferenza: capacità di controllare una invocazione di metodo e la dichiarazione di metodo associata al fine di determinare il tipo *più specifico*, in accordo ai vincoli di tipo presenti, che rende il metodo effettivamente invocabile

```
class MyClass<S> {
  <T> MyClass(T t) { ... }
}
```

```
new MyClass<Integer>("")
```

diamond notation

```
MyClass<Integer> myObject = new MyClass<>("")
```


Ancora l'inferenza di tipo

```
static <T> List<T> emptyList();
```

metodo in Collections

```
List<String> listOne = Collections.<String>emptyList();
List<String> listOne = Collections.emptyList();
```

```
void processStringList(List<String> stringList) { ... }

processStringList(Collections.<String>emptyList());
processStringList(Collections.emptyList());
```

Java 8 inferisce dal tipo del parametro

obbligatorio In Java 7

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" … }
}
```

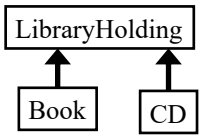
Domanda: Se **`Type1`** è un sottotipo di **`Type2`**, quale è la relazione tra **`Type1[]`** e **`Type2[]`**??

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)

Ci sono anche cose "buone"

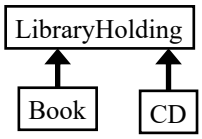
Gli inglesi dicono: "Programmers do okay stuff"




```
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

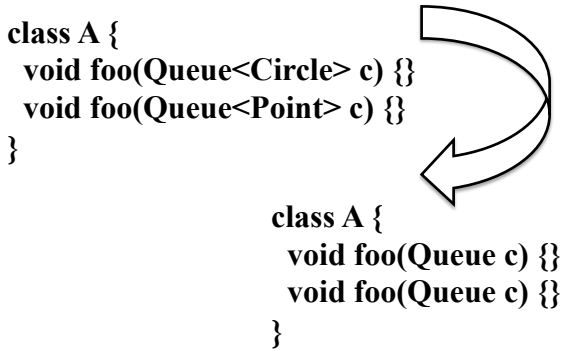
Too good to be true: type erasure

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

- motivo: backward-compatibility con il codice vecchio
- morale: a runtime, 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
```

Type erasure: problemi



Type erasure porta a errore di compilazione

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);
```

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
}
```


equals

```
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( ));
  }
  ...
}
```

Erasure: tipo dell'argomento non esiste a runtime

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 runtime 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

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