



---

# 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

---

```
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

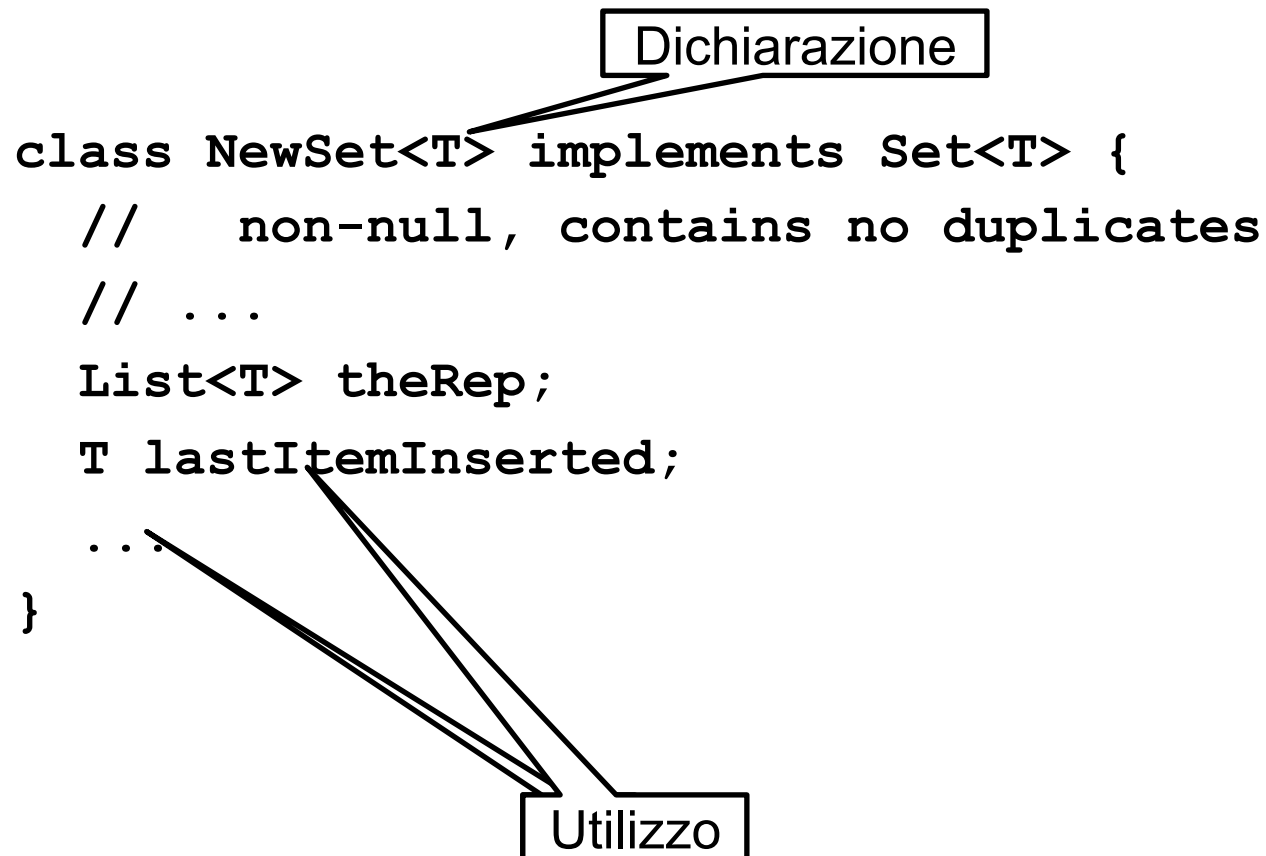
```
interface List<E> {  
    boolean add(E elt);  
    E get(int index);  
}
```

- Dichiarazione di un parametro di tipo
- Istanziabile con un qualunque tipo
  - List<String>



# 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
```

Limite superiore  
gerarchia

```
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
```



# 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)

Istanziamento identico

```
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 preconditione 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



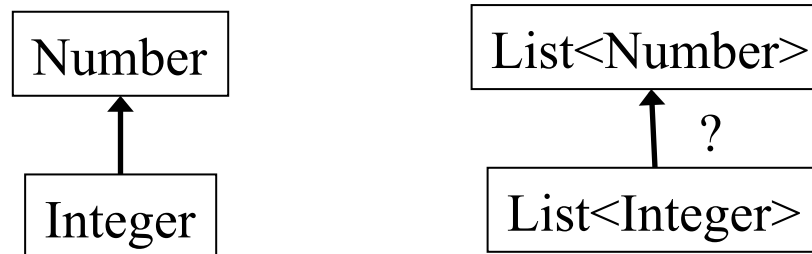
# Un esempio

---

```
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>

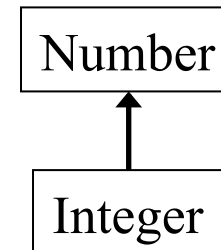




# List<Number> e List<Integer>

---

```
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>



## Una discussione (per capire anche la ricerca nel settore)

---

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

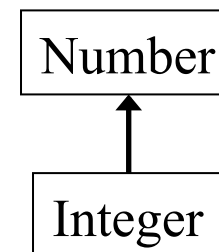
```
type List<Number>  
    Number get(int index);
```

```
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





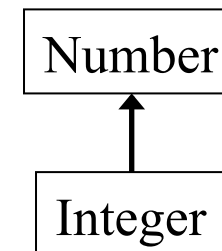
# Allora parliamo anche di contravarianza

---

```
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>` 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



# 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)

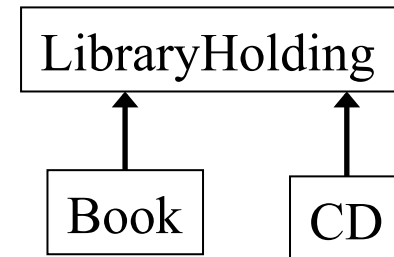


# Ci sono anche cose “buone”

---

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
```

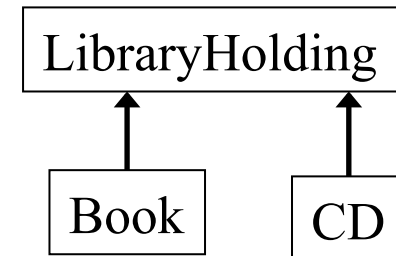




# Ma può andare male

---

```
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

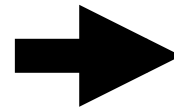
- motivo: backward-compatibility con il codice vecchio
- morale: a runtime, tutte le istanziazioni generiche hanno lo stesso tipo

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

# 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)v.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'uso 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



# 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	✗	✓	✗	✗	✗

PR2 2017-18



---

# 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

---

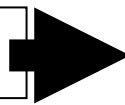
- GC# compiler implements a JG like notation for parametric types
- Bounds are the same as in JG
- NO type-inference on generic methods: the type must be specified in the call
- Exact runtime types are granted by CLR so virtual generic methods are allowed
- All type constructors can be parameterized: 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::.ctor()
    ldarg.0
    ldc.i4.s 15
    newarr !0
    stfld !0[] class n.Foo<!0>::v
    ret
} // end of method Foo::.ctor
```