Tipi Generici
Covarianza & Controvarianza

Sorgente:

Prof. Enrico Denti

Fondamenti di Informatica T-2 - Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Universita' di Bologna

JCF "CLASSICA": PROBLEMI

- **Abbiamo già visto che usare il tipo `Object` per fare *contenitori generici* causa *seri problemi***
  - **di fatto, equivale ad abolire il controllo di tipo**
  - **ergo, *operazioni sintatticamente corrette* possono risultare *semanticamente errate* → errori a run-time**
- **Per questo, la JCF classica non è *"type safe"***
  - **la correttezza delle operazioni è affidata a "commenti sul corretto uso" anziché ai controlli del compilatore**
- **Soluzione: il nuovo concetto di *TIPO GENERICO***
  - **Notazione `<TIPO>`**

ESEMPIO

- **Anziché collezioni di `Object`**
  - ***in cui di fatto si può mettere qualunque cosa…***
- **definiamo collezioni di `T`**
  - ***essendo `T` un TIPO GENERICO***

PRIMA

```
List myIntList = new ArrayList(); // list of integers
myIntList.add(113);
Integer i = (Integer) myIntList.get(0);
```

DOPO

```
List<Integer> myList = new ArrayList<Integer>();
myList.add(113);
Integer i = myList.get(0); // non serve più il cast
myList.add("ahahahah");    // TYPE ERROR!
```

ARRAY: PECULIARITÀ

A differenza delle collection, gli array possono essere definiti *di uno specifico tipo* (non solo di `Object`) e ciò apre nuovi scenari… *e nuovi problemi*.

Si consideri il seguente frammento di codice:

```
Integer[] myArray = new Integer[10];
myArray[0] = 113;
Integer i = myArray[0];
```

- **Stavolta, il fatto che si ammettano solo interi *è formalmente espresso* perché il costrutto array lo permette.**
- **Ergo, se il vincolo viene violato, il compilatore se ne accorge:**

```
Integer[] myArray = new Integer[10];
myArray[0] = "ahahahah";  // TYPE ERROR DETECTED
Integer i = myArray[0];
```

UN NUOVO PROBLEMA

Tutto a posto, dunque?

NO, perché poter specificare *array di tipi diversi* fa nascere nuove domande.. e nuovi dubbi.

- **in particolare: *tipi di array diversi sono compatibili?***

Si consideri il seguente frammento di codice:

```
Integer[] arrayOfInt = new Integer[4];
arrayOfInt[0] = new Integer(12);
Object[] arrayOfObjects = arrayOfInt; // ??
```

- ***Poiché `Integer` deriva da `Object`, "non sembra insensato"* che gli array di `Integer` possano essere compatibili con gli array di `Object`.**

MA.. avrà davvero senso? Vediamo.

UN NUOVO PROBLEMA

Se quella frase è lecita, ora si può accedere *allo stesso array* in due modi:

- **tramite il riferimento `arrayOfInt`**
- ***tramite il nuovo riferimento `arrayOfObjects`***

Peccato che il primo accetti solo interi, il secondo no!

Si consideri il seguente frammento di codice:

```
Integer[] arrayOfInt = new Integer[4];
arrayOfInt[0] = new Integer(12);
Object[] arrayOfObjects = arrayOfInt;
arrayOfObjects[1] = "ciao"; // ATTENZIONE!
```

.. e ora, che succede??

IL PROBLEMA

Qual è il punto?

```
Integer[] arrayOfIntegers = new Integer[4];
arrayOfIntegers[0] = new Integer(12);
Object[] arrayOfObjects = arrayOfIntegers;
arrayOfObjects[1] = "ciao"; //ASSURDO SEMANTICO
```

- **Poiché una stringa è un `Object`, *l'assegnamento è formalmente corretto ma SEMANTICAMENTE ASSURDO,* perché l'array "vero" sottostante è un array di `Integer` e come tale non può ospitare stringhe!**
- **CONSEGUENZA: come prima, la compilazione passa, ma poi..**

```
Exception in thread "main"
java.lang.ArrayStoreException: String
```

CONCLUSIONE

Di nuovo, la compilazione corretta non ha impedito di ritrovarsi con un programma sbagliato, perché *l'errore di progetto non è stato "smascherato" dal type system.*

MORALE: neppure gli array sono "type safe" (sicuri sotto il profilo dei tipi), perché la gestione delle compatibilità di tipo non garantisce che un programma che passi la compilazione sia corretto.

*OSSERVAZIONE: ciò è accaduto **nonostante** stavolta il tipo fosse specificato nell'array. Dunque, siamo di fronte a un **problema diverso** dal precedente… anche più subdolo !*

NUOVO PROBLEMA…

- **Evidentemente, c'è un problema di fondo nel considerare compatibili array di tipi diversi, *anche quando tali tipi siano fra loro compatibili***
  - **array di `Object` e array di `Integer` NON dovrebbero essere considerati "parenti" in modo superficiale…**
  - ***… nonostante* `Integer` SIA un sottotipo di `Object` !**
- **Questo con gli array è in realtà la spia di un problema molto più vasto e generale, che si manifesta con *qualunque collection***
  - **negli array i problemi appaiono nel *memorizzare oggetti*** (*non nell'estrarli),* **ma in altri casi succede l'opposto**
  - **sono problemi di COVARIANZA & CONTROVARIANZA**

… NUOVA SOLUZIONE

- **Per venirne a capo occorre una *scelta drastica*:**

  stabilire assoluta incompatibilità
  fra collezioni di tipi diversi

  - **riservandoci però di predisporre *idonei meccanismi per casi particolari "sicuri"***

- **Perciò, meglio *evitare gli array nei casi critici***

  - **per retrocompatibilità, non sono stati modificati**
  - **sono *unsafe* in determinate situazioni**
  - **ci sono alternative migliori: `List` e altre collection!**

NUOVO PROBLEMA : SOLUZIONE

PRIMA (array)

```
Integer[] arrayOfInt = new Integer[4];
arrayOfInt[0] = 12;
Object[] arrayOfObjects = arrayOfInt;   // NESSUNO PROTESTA..
arrayOfObjects[1] = "ciao"; // scaviamoci la fossa...
```

PRIMA (collections)

```
List listOfInt = new LinkedList();
listOfInt.add(12);
List listOfObjects = listOfInt;          // NESSUNO PROTESTA..
listOfObjects.add("ciao"); // scaviamoci la fossa...
```

DOPO (collections)

```
List<Integer> listOfInt = new ArrayList<Integer>();
listOfInt.add(12);
List<Object> listOfObjects = listOfInt; // STRONCATO
```

NUOVO PROBLEMA : SOLUZIONE

- ***Stavolta, è esplicitamente detto che le due liste sono di TIPI DIVERSI e perciò ASSOLUTAMENTE INCOMPATIBILI***
- ***Il compilatore lo sa e agisce di conseguenza, stroncando l'assegnamento che minerebbe la type safety***

```
TestEs2.java:7: incompatible types
found    : java.util.List<java.lang.Integer>
required: java.util.List<java.lang.Object>
          List<Object> listOfObjects = listOfInt;
                                       ^ 1 error
```

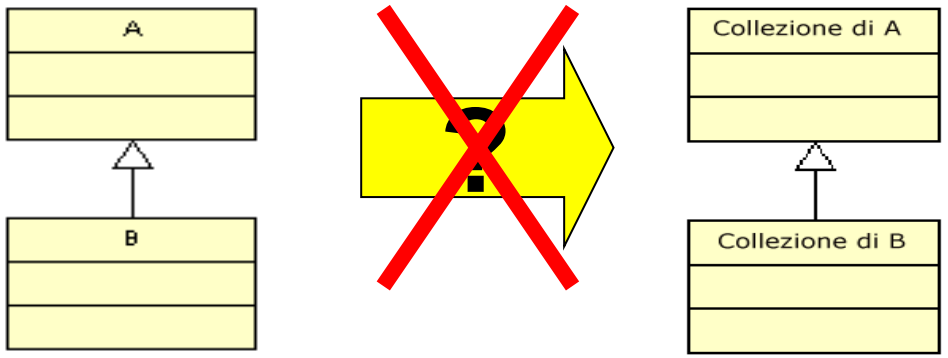
DOPO (collections)

```
List<Integer> listOfInt = new ArrayList<Integer>();
listOfInt.add(12);
List<Object> listOfObjects = listOfInt; // STRONCATO
```

CONCLUSIONE

Nel nuovo approccio, *per scelta di progetto:*

- **se B è un sottotipo da A**
- ***"Collezione di B" NON* è un sottotipo di *"Collezione di A"*, così da prevenire a priori le conseguenze assurde viste.**



Naturalmente, occorrerà evitare eccessive rigidità:

- **ALCUNE operazioni ben precise e selezionate potrebbero anche essere sensate e sicure dal punto di vista dei tipi..**
- **..ergo, cercheremo un modo per autorizzare *solo quelle.***

CLASSI GENERICHE

Il tipo generico si può usare anche per definire classi, metodi, riferimenti, interfacce.

Si consideri ad esempio la classe seguente:

```
public class MyStack<T> {
  private List<T> storage;
  public MyStack(){ storage = new ArrayList<T>(); }
  public void push(T elem){ storage.add(elem); }
  public T pop(){ return storage.remove(storage.size()-1);}
  public boolean isEmpty() { return storage.isEmpty(); }
}
```

OSSERVA: nel costruttore NON si mette <T>

- **Questa classe definisce uno STACK GENERICO (struttura dati ad *accesso LIFO – Last In, First Out*) appoggiandosi a una lista.**

CLASSI GENERICHE

Un possibile cliente potrebbe quindi essere questo:

```
MyStack<Integer> stack  =  new MyStack<Integer>();
stack.push(18); stack.push(22); stack.push(34);
while (!stack.isEmpty()) {
  System.out.println(stack.pop());
}
```

Qui però il tipo effettivo `<Integer>` ci vuole..

```
34
22
18
```

Politica LIFO:
- **inserimento nell'ordine di 18, 22, 34**
- **estrazione in ordine inverso (34, 22, 18)**

OSSERVA:

- **il tipo effettivo usato per definire e creare lo stack a run-time non può essere un tipo primitivo**
- **tuttavia, grazie a boxing/unboxing automatici, è comunque *possibile inserire ed estrarre valori primitivi* senza complicazioni.**

UN PICCOLO MIGLIORAMENTO

Se si devono fare più push consecutive, il nostro stack obbliga il cliente a scrivere:

```
stack.push(18); stack.push(22); stack.push(34);
```

Sarebbe più pratico poter scrivere semplicemente:

```
stack.push(18).push(22).push(34);
```

Si può? ***Certo che sì, ed è anche molto semplice!***

Basta cambiare leggermente la `push`:

- **non più tipo di ritorno `void`, ma tipo di ritorno..** ***stack !***
- **restituendo poi semplicemente lo stack stesso: `this` ☺**

Questo schema si chiama *cascading* ed è molto comodo:
il classico "uovo di Colombo"… ☺

LO STACK REVISED

Ecco lo stack con la push migliorata:

```
public class MyStack<T> {
  private List<T> storage;
  public MyStack(){ storage = new ArrayList<T>(); }
  public MyStack<T> push(T elem){
     storage.add(elem); return this; // CASCADING
  }
  public T pop(){ return storage.remove(storage.size()-1);}
  public boolean isEmpty() { return storage.isEmpty(); }
}
```

- **Ora la push, dopo aver svolto la sua operazione, *restituisce un riferimento allo stack stesso,* che può così essere usato dal cliente per.. invocare una nuova push in cascata ☺**

```
stack.push(18).push(22).push(34); // CASCADING
```

CONTROLLI DI TIPO

Verifichiamo l'efficacia del controllo di tipo:

```
MyStack<Integer> stack1 = new MyStack<Integer>();
stack1.push(18).push(22).push(34);
MyStack<Double> stack2 = new MyStack<Double>();
stack2.push(1.8).push(22.0).push(0.34);
```

Come prevedibile, il controllo di tipo è *STRINGENTE*:

- `stack2` **accetta solo** `double` **e null'altro (né** `float`**, né** `int`**)**
- **i due stack sono totalmente incompatibili fra loro**

```
MyStack<Integer> stack1 = new MyStack<Integer>();
MyStack<Double> stack2 = new MyStack<Double>();
stack2.push(18).push(22.0F).push(0.34);
```

NO! 18 è `int`

NO! 22.0F è `float`

CONTROLLI DI TIPO

Un possibile cliente potrebbe quindi essere questo:

```
MyStack<Integer> stack1 = new MyStack<Integer>();
stack1.push(18).push(22).push(34);
MyStack<Double> stack2 = new MyStack<Double>();
stack2.push(1.8).push(22.0).push(0.34);
```

Come prevedibile, il controllo di tipo è *STRINGENTE*:

- **stack2 accetta solo `double` e null'altro (né `float`, né `int`)**
- **i due stack sono totalmente incompatibili fra loro**

```
MyStack<Integer> stack1 = new MyStack<Integer>();
MyStack<Double> stack2 = new MyStack<Double>();
stack2.push(18).push(22.0F).push(0.34);
```

```
push(Double) in MyStack<Double> cannot be applied to (int)... to (float)
                stack2.push(18).push(22.0F).push(3.4);
                      ^         ^
2 errors
```

CONTROLLI DI TIPO

..e ovviamente, ogni tentativo di mischiarli è stroncato:

```
MyStack<Integer> stack1 = new MyStack<Integer>();
MyStack<Double> stack2 = new MyStack<Double>();
stack1 = stack2; // STRONCATO!
stack2 = stack1; // STRONCATO!
```

```
TestEs3.java:10: incompatible types
found   : MyStack<java.lang.Double>
required: MyStack<java.lang.Integer>
              stack1 = stack2; // STRONCATO!
                       ^
TestEs3.java:11: incompatible types
found   : MyStack<java.lang.Integer>
required: MyStack<java.lang.Double>
              stack2 = stack1; // STRONCATO!
                       ^
2 errors
```

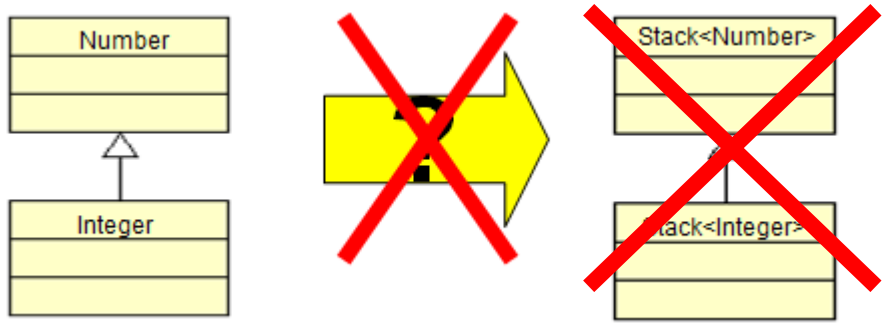
CONTROLLI DI TIPO

Il mix è stroncato *anche se un elemento deriva dall'altro*

(nello specifico, `Integer` deriva da `Number`):

```
MyStack<Integer> stack1 = new MyStack<Integer>();
MyStack<Number>  stack0 = new MyStack<Number>();
stack0 = stack1; // STRONCATO!
```

```
TestEs3.java:10: incompatible types
found    : MyStack<java.lang.Integer>
required: MyStack<java.lang.Number>
                stack0 = stack1; // STRONCATO!
                         ^
```



UNA PICCOLA SEGNALAZIONE

E se ci venisse voglia di definire *array generici* ?

Purtroppo, in Java vi sono *alcune limitazioni* *(dovute alla compatibilità con la JVM precedente..):*
gli array generici si possono dichiarare, ma non allocare direttamente.

Ad esempio, questo codice in Java NON è ammesso:

```
public class MyStackBis<T> {
  private <T>[] storage;     // la dichiarazione è OK
  public MyStackBis(int size){
      storage = new T[size]; // ALLOC. GENERICA NON AMMESSA!
  }
  ...
}
```

L'allocazione diretta di array generici *non è possibile in Java* (ma lo è in C#)

Esistono trucchi per "girarci intorno"…
…ma la cosa migliore è *evitare gli array!*

LO STESSO ESEMPIO IN C#

Il supporto ai tipi generici di C# è migliore e più completo rispetto a quello di Java

- **nessuna necessità di classi wrapper → tipi primitivi ammessi**
- **sintassi spesso più chiara e lineare**

```
class Stack<T> {
  private System.Collections.Generic.List<T> storage;
  public Stack(){
     storage = new System.Collections.Generic.List<T>();
  }
  public Stack<T> push(T elem){ storage.Add(elem); return this; }
  public T pop(){
     T topElement = storage[storage.Count-1];
     storage.RemoveAt(storage.Count-1); return topElement; }
  public bool isEmpty() { return storage.Count==0; }
}
```

Sintassi array-like:
- **parentesi quadre per accedere a elementi**
- **proprietà Count anziché metodi size()**

LO STESSO ESEMPIO IN C#

Analogamente, il cliente diventa:

```
Stack<int> stack1 = new Stack<int>();
stack1.push(18).push(22).push(34);
Stack<double> stack2 = new Stack<double>();
stack2.push(1.8).push(22.0).push(3.4);
```

- **Tipi primitivi usati direttamente, senza wrapper classes**

..e volendo potremmo fare lo stack anche con gli array: ☺

```
class MyStack<T> {
  private T[] storage;
  private int elements;
  public MyStack(int size){
     storage = new T[size]; elements = 0;
  }
  public void push(T elem){ storage[elements++] = elem; }
  public T pop(){ return storage[--elements]; }
}
```

.. ma non è poi una grande idea: **uno stack non dovrebbe avere una dimensione massima prefissata!**

TIPI GENERICI: LIMITI

Come l'esempio dello stack ha mostrato, coi tipi generici:

- **si risolve il Problema 1, potendo esprimere vincoli chiari sul tipo degli oggetti ammessi → SODDISFACENTE**
- **si risolve il Problema 2, rendendo incompatibili collezioni di tipi diversi → CORRETTO MA RIGIDO**

In effetti, ripensando al nostro stack… *non sarebbe così assurdo* pensare di poter essere un po' più flessibili.

- **è vero che uno stack di `Number` è cosa diversa da uno stack di `Integer` (e dunque è giusto che siano incompatibili)..**
- **…ma è anche vero che operazioni come, ad esempio, *spostare o copiare uno stack di `Integer` in uno stack di `Number` sarebbero senza rischi:* peccato dovervi rinunciare … !**

UNO STACK *"AMPLIATO"*

Si consideri il seguente stack ampliato:

```
public class MyStack<T> {
  private List<T> storage;
  public MyStack(){ storage = new ArrayList<T>(); }
  public MyStack<T> push(T elem){
     storage.add(elem); return this; }
  public T pop(){ return storage.remove(storage.size()-1);}
  public boolean isEmpty() { return storage.isEmpty(); }
  public void moveFrom(MyStack<T> source){
     while(!source.isEmpty()) push(source.pop());
  }
}
```

In effetti, come `source` andrebbe bene *un qualunque stack di cose "almeno pari" a `T`,* non necessariamente proprio (e solo) `T`.

- Il metodo `moveFrom`, che sposta gli elementi dallo stack `source` allo stack corrente, è costretto a operare solo su `MyStack<T>`
- *ma in realtà tale vincolo è una limitazione inutile,* perché questa operazione avrebbe perfettamente senso in molti altri casi !

UNO STACK *"AMPLIATO"*

Verifichiamo:

```
MyStack<Integer> stack1 = new MyStack<Integer>();
MyStack<Integer> stack2 = new MyStack<Integer>();
MyStack<Number>  stack0 = new MyStack<Number>();
// stack0 = stack1; // continua a essere stroncato (giustamente)
stack1.moveFrom(stack2); // ok, tutto normale
stack0.moveFrom(stack1); // STRONCATO INUTILMENTE
```

Come già osservato, *considerato quel che `moveFrom` deve fare, è un peccato che questa operazione sia stata stroncata* perché in realtà avrebbe avuto perfettamente senso e avrebbe quindi potuto tranquillamente funzionare.

Dobbiamo proprio subire questi vincoli anche quando inutili..?

TIPI GENERICI: CONCLUSIONI

Occorre un modo per *coniugare due esigenze opposte:*

- **da un lato, l'incompatibilità rigida fra collezioni di tipi diversi, *necessaria* per far fronte al Problema 2**
- **dall'altro, la opportunità di *permettere comunque alcune operazioni* fra collezioni di tipi diversi quando sensate.**

Serve un modo per *ESPRIMERE "DEROGHE MIRATE"*
alla inflessibilità dell'approccio fin qui visto.

Da qui nasce il concetto di
TIPO PARAMETRICO VARIANTE.

Tipi parametrici varianti

Covarianza, controvarianza, bivarianza

Dai TIPI GENERICI a TIPI PARAMETRICI VARIANTI ("WILDCARD")

- **Senza rinunciare a quanto conquistato, ha senso pensare di *esprimere DEROGHE MIRATE* all'attuale rigido controllo di tipo, in specifiche situazioni prive di rischi.**
- **Più precisamente, come suggerito dall'esempio, ha senso pensare di *essere più flessibili nei tipi di collezioni accettati come argomenti (o restituiti) da singoli metodi.***

- **Per questo fine nasce una *NUOVA NOTAZIONE:* quella dei *tipi parametrici varianti,* comunemente detti *"wildcard"***
- **Tale notazione è usabile *solo ed esclusivamente per specificare collezioni che siano argomenti (o tipi di ritorno) di metodi,* NON per definire tipi, classi, etc.**

TIPI PARAMETRICI VARIANTI (wildcard)

NUOVE NOTAZIONI:

`<E extends T>` (se non occorre il nome: **`<? extends T>`**)

- **specifica che potrà essere passato in quel punto un argomento di *qualunque tipo `E` che estenda `T`***

`<E super T>` (se non occorre il nome: **`<? super T>`**)

- **specifica che potrà essere passato in quel punto un argomento di *qualunque tipo `E` che "stia sopra" `T`* *(ovvero, sia esteso da `T`)***

`<?>`

- **specifica che potrà essere passato in quel punto un argomento di *qualunque tipo***

Naturalmente, la scelta dovrà essere coerente con l'uso che il metodo o funzione farà di tale argomento al suo interno.

LO STACK.. CON WILDCARD (1)

Si consideri il seguente stack ampliato:

```
public class MyStack<T> {
  private List<T> storage;
  public MyStack(){ storage = new ArrayList<T>(); }
  public MyStack<T> push(T elem){
     storage.add(elem); return this; }
  public T pop(){ return storage.remove(storage.size()-1);}
  public boolean isEmpty() { return storage.isEmpty(); }
  public <E extends T> void moveFrom(MyStack<E> source){
     while(!source.isEmpty()) push(source.pop());
  }
}
```

Si specifica che come `source` va bene *un qualunque stack di cose che estendano `T`,* non necessariamente proprio (e solo) `T`.

- Così facendo, il metodo `moveFrom` può ora operare su tipi di stack *anche diversi da `MyStack<T>`, purché si tratti di stack di "cose che estendono T"* – guarda caso, *proprio quelle che garantiscono di rendere sicura e sensata l'operazione `moveFrom`.*

LO STACK.. CON WILDCARD (2)

La `movefrom` precedente è corretta, ma espressa in modo *inutilmente prolisso:*

- ***perché introdurre il tipo E, se dentro la funzione non serve?***

Si può semplificare la scrittura rendendola più chiara e comprensibile tramite la *notazione `<? extends T>`*

SINTASSI PROLISSA

```
public <E extends T> void moveFrom(MyStack<E> source){
   while(!source.isEmpty()) push(source.pop());
}
```

SINTASSI WILDCARD

wildcard

```
public void moveFrom(MyStack<? extends T> source){
   while(!source.isEmpty()) push(source.pop());
}
```

Dice quello che intendevamo in modo più diretto e compatto: che come `source` va bene *un qualunque stack di "cose che estendano `T`"*

Esempio

```
public class EsStack
{ public static void main(String args[])
  {  MyStack<Integer> src= new MyStack<Integer>();
     MyStack<Number> dest= MyStack<Number>();
     src.push(10); src.push(29); src.push(34);
     dest.moveFrom(src);
     System.out.println(dest);
   }
}
```

UN CASO "CURIOSO" (1)

Si vuole scrivere una funzione che *copi tutti gli elementi di una collezione in un'altra*.

- **NON può essere un metodo di `Collection`, perché il codice di `Collection` non lo controlliamo noi: sarà perciò una funzione statica di una classe di utilità.**

In prima battuta, verrebbe spontaneo definirla così:

```
public class MyUtils{
  public static <T> void copy(Collection<T> src, Collection<T>
dest){
    for (T elem : src) dest.add(elem);
  }
}
```

***.. ma sarebbe molto limitativo,* perché in questo modo potrebbe operare solo su collezioni di `T` (e null'altro!)**

UN CASO "CURIOSO" (2)

Una definizione migliore può sfruttare i tipi parametrici per allentare i vincoli sulla collezione di destinazione:

```
public class MyUtils{
  public static <T> void copy(Collection<? extends T> src,
                              Collection<T> dest){
    for (T elem : src) dest.add(elem);
  }
}
```

***che è già migliore* perché permette alla funzione di operare in lettura anche su collezioni diverse da quelle di `T`.**

Tuttavia, è ancora limitata a scrivere gli elementi in collezioni di `T` (e null'altro): …. ma perché?

Si può fare di meglio!

UN CASO "CURIOSO" (3)

La definizione migliore in assoluto è quella che permette di rimuovere TUTTI i vincoli inutili:

```
public class MyUtils{
  public static <T> void copy(Collection<? extends T> src,
                              Collection<? super T> dest){
    for (T elem : src) dest.add(elem);
  }
}
```

***che* permette alla funzione non solo di operare *in lettura* su collezioni diverse da quelle di `T`**

- **nello specifico: collezioni di cose "almeno pari" a T**

ma anche di operare *in scrittura* su collezioni diverse da quelle di `T`

- **nello specifico: collezioni di cose "al più pari" a T**

UN CASO "CURIOSO" (4)

La definizione migliore in assoluto è quella che permette di rimuovere TUTTI i vincoli inutili:

```
public class MyUtils{
  public static <T> void copy(Collection<? extends T> src,
                              Collection<? super T> dest){
    for (T elem : src) dest.add(elem);
  }
}
```

È il *vincolo minimo* che garantisce la correttezza dell'operazione di assegnamento interno:

- **sorgente "almeno" di elementi di tipo T**
- **destinazione "al più" di elementi di tipo T**

USO

```
import java.util.*;
public class Main
{
  public static void main(String[] args)
  {
    List<Integer> l1=new ArrayList<Integer>();
    List<Number> l2=new ArrayList<Number>();
    l1.add(10);
    l1.add(20);
    l1.add(30);
    MyUtils.copy(l1,l2);
    System.out.println(l2);
  }
}
```

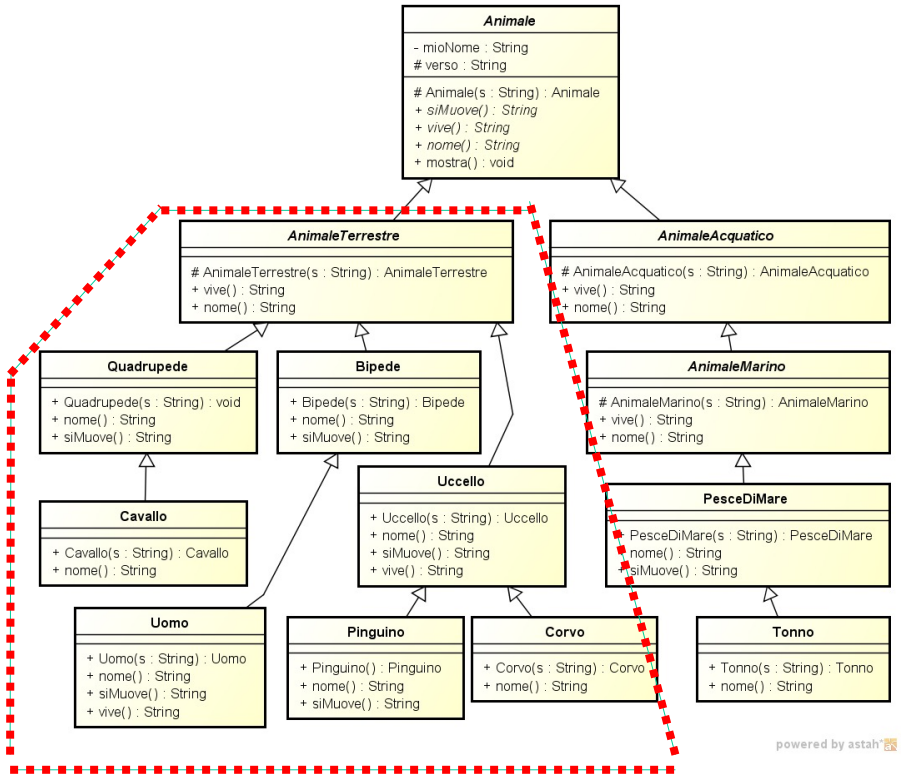
INTERPRETAZIONE (1)

Le notazioni `<? extends T>` e `<? super T>` si possono interpretare come *upper bound* e *lower bound* dei "tipi accettabili" in una collezione (rispetto a una tassonomia)

ESEMPIO:

- **un argomento di tipo `List<AnimaleTerrestre>` è compatibile solo con altre `List<AnimaleTerrestre>`**

- **un argomento di tipo `List<? extends AnimaleTerrestre>` è compatibile con tutte le liste di *"cose che estendono `AnimaleTerrestre`" (in rosso nel disegno)***
  OVVERO
  liste di "almeno" `AnimaleTerrestre`



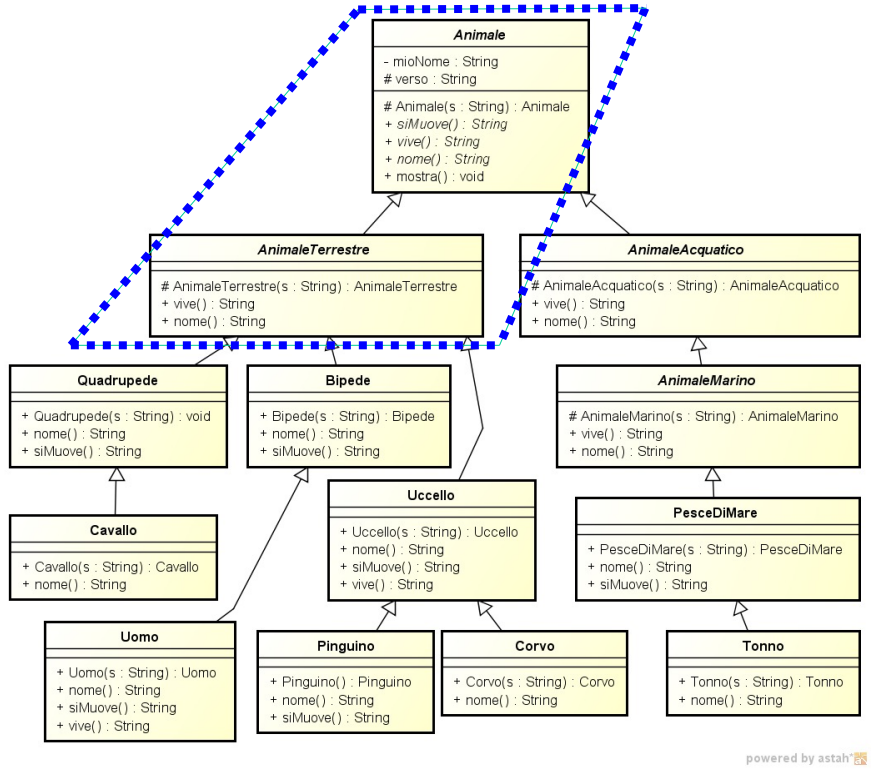
INTERPRETAZIONE (2)

Le notazioni `<? extends T>` e `<? super T>` si possono interpretare come *upper bound* e *lower bound* dei "tipi accettabili" in una collezione (rispetto a una tassonomia)

ESEMPIO:

- **un argomento di tipo `List<AnimaleTerrestre>` è compatibile solo con altre `List<AnimaleTerrestre>`**

- **un argomento di tipo `List<? super AnimaleTerrestre>` è compatibile con tutte le liste di *"cose che stanno sopra `Animale-Terrestre`" (in blu nel disegno)***
  OVVERO
  liste di "al più" `AnimaleTerrestre`



LAVORARE SU UNA COLLEZIONE "ASSOLUTAMENTE GENERICA"

A volte, però, *upper bound e lower bound ancora non bastano.*

Si consideri ad esempio il caso di una funzione che *stampi tutti gli elementi di una generica collezione.*

- **una tale funzione dovrebbe operare idealmente *su qualunque tipo di collezione,* senza restrizioni: *come esprimerla?***
- **si potrebbe pensare di usare come argomento il tipo `Collection<Object>`, ma sarebbe sbagliato, perché esso sarebbe compatibile *solo con altre collezioni di `Object`* (e null'altro!) – mentre interessa la compatibilità con *collezioni di qualunque tipo.***

LAVORARE SU UNA COLLEZIONE "ASSOLUTAMENTE GENERICA"

La risposta è che serve un tipo che rappresenti una *collezione di qualunque cosa:*

```
Collection<? extends Object>
```

più brevemente abbreviato come `Collection<?>`

Il tipo `Collection<?>` **rappresenta l'idea di collezione di oggetti di *tipo sconosciuto***

- **come tale, è compatibile con qualunque collezione effettivamente passata come argomento..**
- **..ma per lo stesso motivo *non consente alcuna modifica al contenuto della collezione* in quanto non si possono fare ipotesi sul tipo degli elementi contenuti.**
  - l'unica cosa che si potrà dire è che conterrà degli Object.

ESEMPIO

La prima idea (sbagliata):

```
static void
printCollection(Collection<Object> c) {
    for (Object e : c) System.out.println(e);
}
```

NO, perché il tipo `Collection<Object>` esprime l'idea che la funzione accetta *collezioni di Object* ***e null'altro.***

La versione corretta:

```
Static void printCollection(Collection<?> c)
{
    for (Object e : c) System.out.println(e);
}
```

OK, perché il tipo `Collection<?>` esprime l'idea che la funzione accetta *collezioni di ogni tipo* (su cui non si possono fare ipotesi, poiché resta sconosciuto)

Nel caso del nostro stack:

```
public static void
emptyAndPrintStack(MyStack<?> stack) {
    while(!stack.isEmpty()){
      System.out.println(stack.pop());}
}
```

OK: non importa conoscere il tipo.. perché le `pop` si possono fare comunque, e `println` stampa già qualunque `Object` ☺

COVARIANZA, CONTROVARIANZA, BIVARIANZA

Questi nuovi tipi varianti si dicono, rispettivamente:

`<? super T>` tipo ***controvariante*** rispetto a T

- **si usa per i tipi-collezione in cui si devono *inserire, aggiungere, "scrivere"* elementi di tipo (al più) T**

`<? extends T>` tipo ***covariante*** rispetto a T

- **si usa per i tipi-collezione da cui si devono *estrarre, togliere, "leggere"* elementi di tipo (almeno) T**

`<?>` tipo ***bivariante*** rispetto a T

- **si usa per i tipi-collezione sui cui elementi *non si devono fare ipotesi (tipo sconosciuto):* in tali collezioni non si possono né scrivere, né leggere elementi di tipo T.**
- **è uno shortcut per `<? extends Object>`**
- ergo, l'unica certezza è che conterrà degli `Object`.. ☺

ESEMPIO DALLA JCF: UN ESTRATTO DALLA CLASSE `Collections`

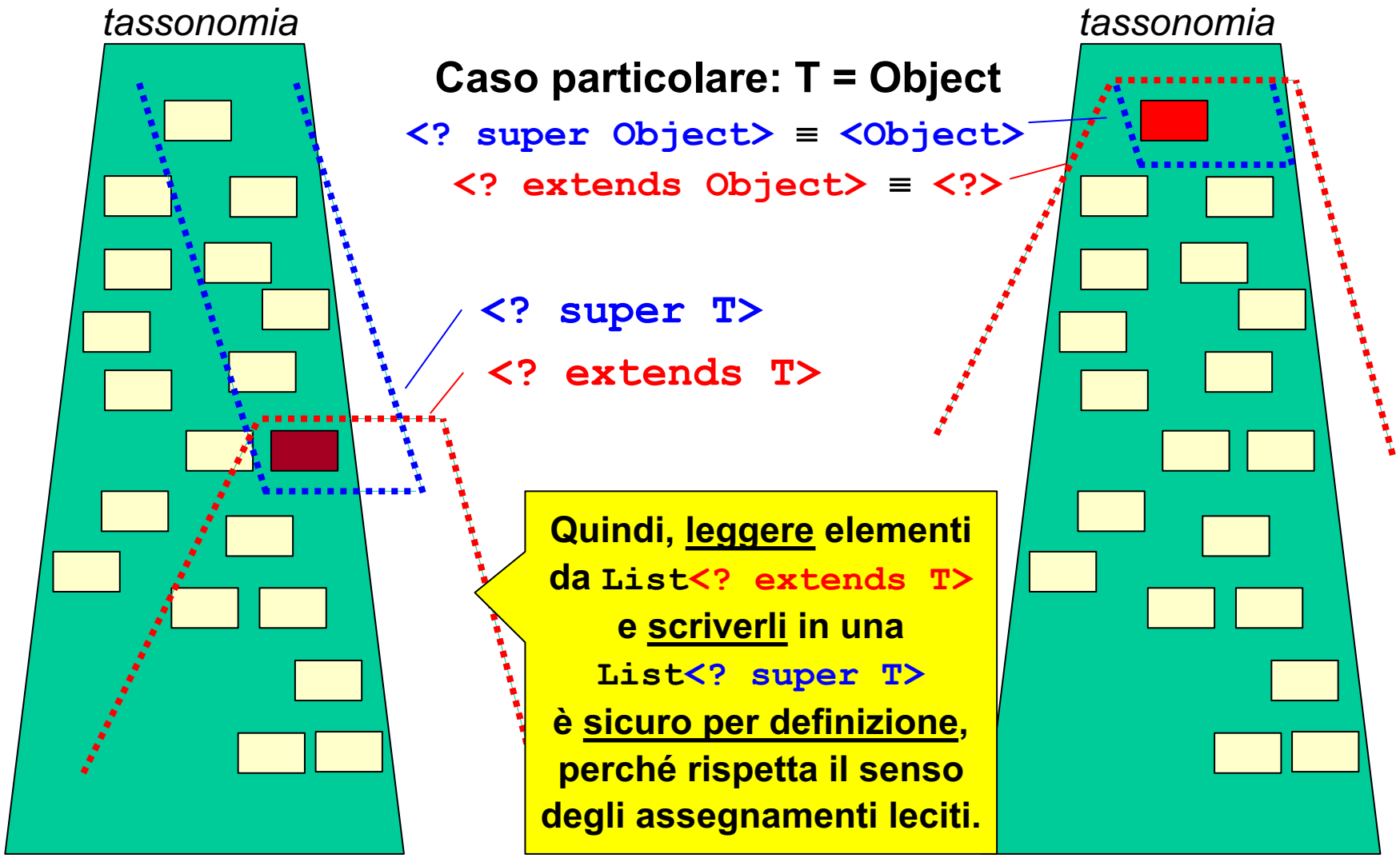
```
interface Comparable<T> {
   boolean isGreaterThan(T element);
}

interface Comparator<T>{
   int compare(T element1, T element2);
   ...
}
```

Possibile scrittura equivalente (ma più prolissa):

```
void <E, T extends E> fill(List<E> list, T elem)
```

```
<T> void fill(List<? super T> list, T elem);

<T> void copy(List<? super T>  destination,
              List<? extends T> source)

<T> void sort(List<T> list,
              Comparator<? super T> comp)
```

SCHEMA RIASSUNTIVO (1)



COMPATIBILITÀ FRA TIPI VARIANTI

Per completare lo schema riassuntivo dobbiamo precisare *che compatibilità c'è* fra i vari tipi parametrici varianti.

- **OVVERO: che relazione c'è, ad esempio, fra i due tipi `List<? extends Number>` e `List<? extends Double>` ?**

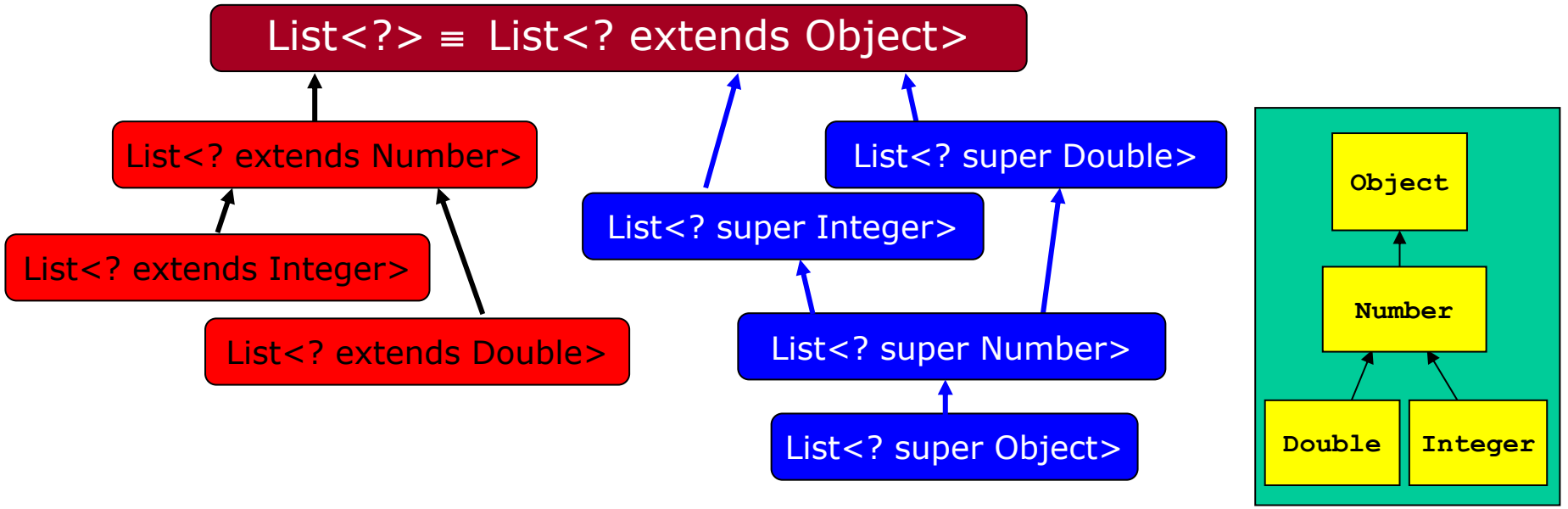
La risposta è nel significato stesso di notazione variante:

- **per definizione, a un argomento di tipo `List<? extends Number>` si può passare una lista di qualunque cosa estenda `Number`, mentre a un argomento di tipo `List<? extends Double>` si può passare una lista di qualunque cosa estenda `Double`**
- **poiché `Double` estende `Number`, *il primo tipo di argomento accetta più tipi del secondo, ossia è più generale: ogni argomento valido per `List<? extends Double>` lo è anche per `List<? extends Number>`,* ma non viceversa. Quindi il primo tipo è un sottotipo del secondo.**
- **Discorso duale per i tipi della forma `List<? super T>`**

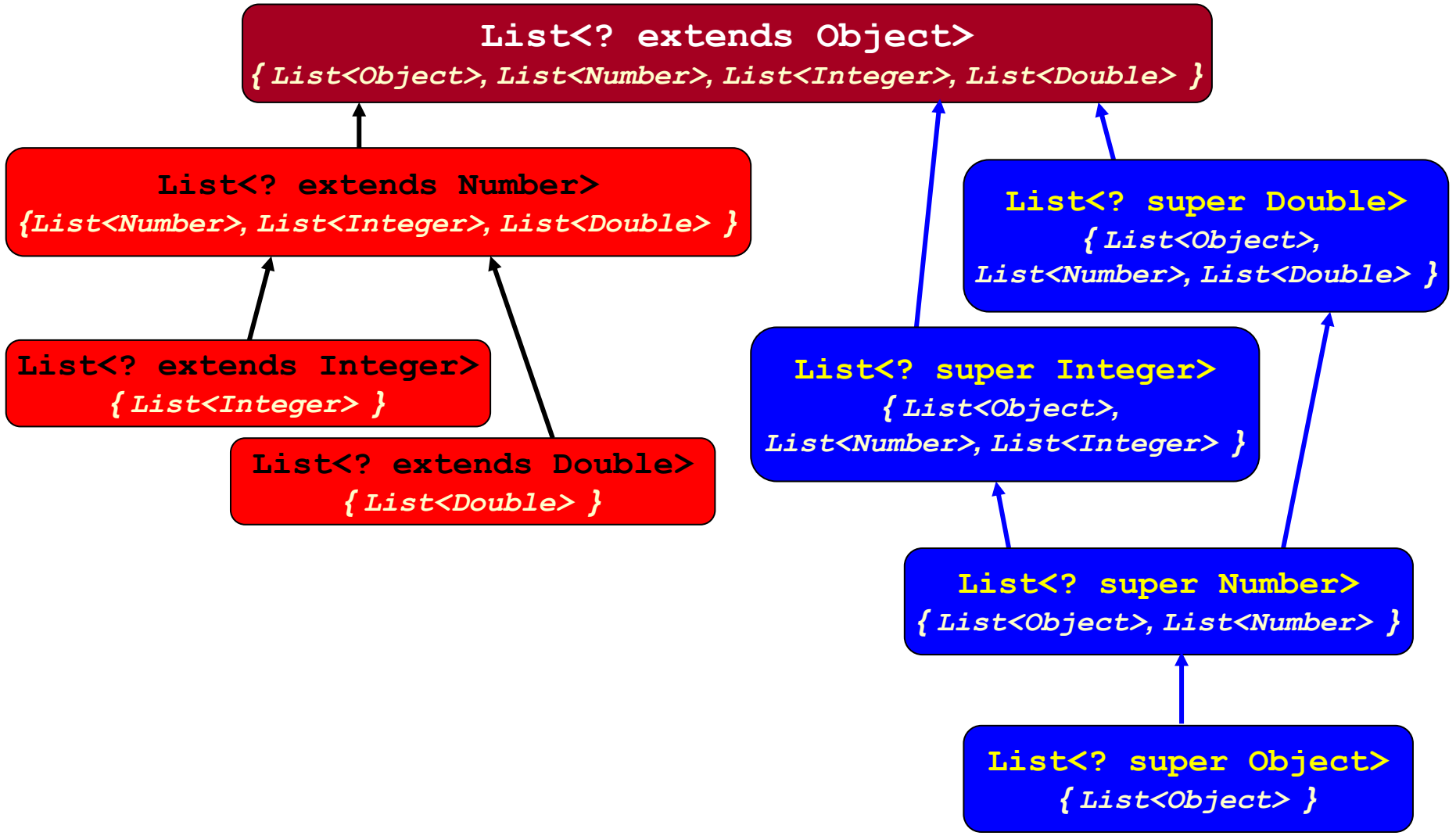
SCHEMA RIASSUNTIVO (2)
CHI È COMPATIBILE CON CHI ?

Dunque, riassumendo insiemisticamente:

```
List<? extends Object>  = { List<Object>, List<Number>, List<Integer>, List<Double> }

List<? extends Number>  = { List<Number>, List<Integer>, List<Double> }
List<? extends Integer> = { List<Integer> }
List<? extends Double>  = { List<Double> }

List<? super Double>    = { List<Object>, List<Number>, List<Double> }
List<? super Integer>   = { List<Object>, List<Number>, List<Integer> }
List<? super Number>    = { List<Object>, List<Number> }

List<? super Object>    = { List<Object> }    [ non molto utile ]
```



SCHEMA RIASSUNTIVO (3)
CHI È COMPATIBILE CON CHI ?



SCHEMA RIASSUNTIVO (4)
CHI È COMPATIBILE CON CHI ?

Ad esempio, una lista di `Number` potrà essere lecitamente passata a metodi che abbiano questi tipi formali