3.
Il sistema dei tipi
I tipi wrapper

Marco Faella

Dip. Ing. Elettrica e Tecnologie dell'Informazione
Università di Napoli “Federico II”

Corso di Linguaggi di Programmazione II

Il sistema dei tipi

- Il inguaggio Java è **staticamente tipato**
- "tipato" vuol dire che ad ogni espressione viene assegnato un tipo, che rappresenta l'insieme di valori che l'espressione potrebbe assumere
- "staticamente" vuole dire che il tipo di ogni espressione deve essere noto al momento della compilazione

- In tal modo, il **compilatore** è in grado di controllare che tutte le operazioni (compresa, ad esempio, l'assegnazione) siano applicate ad operandi **compatibili**

- Questa fase della compilazione è chiamata appunto "*type checking*"

Tipo dichiarato e tipo effettivo

- In virtù del polimorfismo, bisogna distinguere due tipi di ogni variabile ed espressione di categoria "riferimento":

```
Animal a = new Dog("Lilli");
```

- Animal è il tipo **dichiarato** (o statico) del riferimento a
- Il tipo dichiarato è noto a tempo di compilazione e rimane invariato durante tutta l'esecuzione

- Dog è il tipo **effettivo** (o dinamico) del riferimento a, in questo momento
- Il tipo effettivo non è noto a tempo di compilazione, nel senso che il compilatore non tenta di determinarlo, perché sarebbe in generale impossibile (si pensi a un parametro di un metodo)
- Il tipo effettivo può cambiare ogni volta che si assegna un nuovo valore a quel riferimento

I tipi Java

- Java prevede i seguenti tipi:
  - I tipi base, o *primitivi*
  - I tipi riferimento
  - I tipi array
  - Il tipo speciale “nullo”
- I tipi base sono già stati introdotti nella lezione 1
- I tipi riferimento sono quelli definiti dal nome di una classe, interfaccia o enumerazione
- I tipi array sono tipi composti, ovvero si definiscono a partire da un altro tipo, detto tipo “componente”, e si individuano sintatticamente per l'uso delle parentesi quadre
- Il tipo nullo prevede come unico valore possibile la costante “null”

Esempio di type checking

- Proviamo a simulare la fase di type checking del compilatore Java sul seguente frammento di codice:

```
int n;
double d;

d = (new Object()).hashCode() + n/2.0;
```

Esempio di type checking

- Proviamo a simulare la fase di type checking del compilatore Java sul seguente frammento di codice:

```
int n;
double d;

d = (new Object()).hashCode() + n/2.0;
```

- Cominciamo dalla parte destra dell'assegnazione e procediamo dalle sottoespressioni più piccole via via fino all'intera parte destra
- La prima espressione base che incontriamo è “new Object()”
  - questa espressione è per definizione di tipo “riferimento alla classe Object”, o per brevità, di tipo “Object”
- Passiamo poi all'espressione “(new Object()).hashCode()”
  - in questo contesto il punto denota la chiamata ad un metodo
  - quindi, il tipo dell'espressione è il **tipo di ritorno** del metodo, in questo caso “int”

- Esercizio: quali altri significati del punto ci sono in Java?

Esempio di type checking

```
int n;
double d;

d = (new Object()).hashCode() + n/2.0;
```

- L'espressione “n” ha chiaramente tipo “int”, mentre “2.0” è una costante di tipo “double”
- Quindi, i due operandi della divisione “n/2.0” hanno tipo diverso
  - il primo operando viene quindi promosso da int a double tramite conversione implicita (si veda la lezione 1)
  - complessivamente, la divisione ha a sua volta tipo double
- Infine, per lo stesso motivo la somma avrà tipo double

- A questo punto, il compilatore verifica che il tipo calcolato per il lato destro dell'assegnazione sia compatibile (si veda dopo) con il tipo del lato sinistro (d)
- In questo caso, i due tipi coincidono esattamente
- Per completezza, anche l'intera assegnazione ha tipo “double”; questo consente di concatenare le assegnazioni, come in a=b=c

- Le regole di type checking sono specificate nel capitolo 15 della definizione del linguaggio Java (Java Language Specification)

La relazione di sottotipo

- Per permettere il polimorfismo (in particolare, la capacità di un riferimento di puntare ad oggetti di tipo diverso), esiste una relazione binaria tra tipi, chiamata **relazione di sottotipo**
- La relazione di sottotipo è definita dalle seguenti regole, in cui T ed U rappresentano tipi arbitrari, *esclusi i tipi base*:

1) T è sottotipo di se stesso
2) T è sottotipo di Object
3) Se T estende U oppure implementa U, T è sottotipo di U
4) Il tipo nullo è sottotipo di T
5) Se T è sottotipo di U allora T[] è sottotipo di U[]

La relazione di sottotipo

- Per permettere il polimorfismo (in particolare, la capacità di un riferimento di puntare ad oggetti di tipo diverso), esiste una relazione binaria tra tipi, chiamata **relazione di sottotipo**
- La relazione di sottotipo è definita dalle seguenti regole, in cui T ed U rappresentano tipi arbitrari, *esclusi i tipi base*:

1) T è sottotipo di se stesso
2) T è sottotipo di Object
3) Se T estende U oppure implementa U, T è sottotipo di U
4) Il tipo nullo è sottotipo di T
5) Se T è sottotipo di U allora T[] è sottotipo di U[]

- La relazione di sottotipo non coinvolge i tipi base
- E' facile verificare che la relazione di sottotipo è riflessiva, antisimmetrica e transitiva
  - pertanto, essa è una relazione d'ordine sull'insieme dei tipi (non base)

- Queste regole non tengono conto dei tipi parametrici introdotti da Java 1.5, di cui si parlerà nelle successive lezioni

L'operatore instanceof

La relazione di sottotipo permette di definire precisamente il comportamento dell'operatore *instanceof*

Data un'espressione *exp* ed il nome di una classe o interfaccia T, l'espressione

exp `instanceof` *T*

restituisce *vero* se e solo se il tipo **effettivo** di *exp* **non è nullo ed è sottotipo di T**

Nota: il primo argomento di instanceof deve essere un'espressione di categoria "riferimento", pena un errore di compilazione

La relazione di assegnabilità

- La relazione di *compatibilità* (o *assegnabilità*) tra tipi stabilisce quando è possibile assegnare un valore di un certo tipo T ad una variabile di tipo U

- Si dice che T è **assegnabile** ad U se
  - T è sottotipo di U, oppure
  - T ed U sono tipi base e c'è una conversione implicita da T ad U

La relazione di assegnabilità si applica nei seguenti contesti:

- Assegnazione: `a = exp`
- Chiamata a metodo: `x.f(exp)`
- Ritorno da metodo: `return exp`

Array e controllo dei tipi

- In base alla definizione di sottotipo, un array di qualunque tipo è sottotipo di "array di Object"
- Questo consente, ad esempio, di passare qualunque array ad un metodo che abbia come parametro formale un array di Object

- Consideriamo il seguente esempio:

```
String[] arr1 = new String[10];
Object[] arr2 = arr1;
arr2[0] = new Object();
String s = arr1[0];
```

Array e controllo dei tipi

```
String[] arr1 = new String[10];
Object[] arr2 = arr1;
arr2[0] = new Object();
String s = arr1[0];
```

- L'esempio risulta corretto per il compilatore
- Tuttavia, nell'ultima istruzione assegnamo alla variabile “s”, dichiarata String, un oggetto di tipo effettivo “Object”, che non è compatibile
- In effetti, al run-time viene sollevata un'**eccezione** (ArrayStoreException) al momento della **terza** istruzione
- Questo perché al run-time gli array “ricordano” il tipo con il quale sono stati creati
- La JVM utilizza questa informazione per controllare che gli oggetti inseriti nell'array siano sempre di tipo compatibile con quello dichiarato in origine

I cast

Conversioni esplicite di tipo: cast

- Java permette alcune conversioni esplicite di tipo tramite *cast*
  - Anche dette *coercizioni di tipo*

- La sintassi è:

```
(T) exp
```

Cast tra tipi base

- Si può utilizzare un cast per effettuare esplicitamente una **promozione**
  - in questo caso il cast è superfluo

- Si può utilizzare un cast per effettuare una **promozione *al contrario***
  - ad esempio, da double a int
  - in questi casi, è facile incorrere in *perdite di informazioni*
  - ad esempio, nel passaggio da numeri in virgola mobile a numeri interi, si può perdere **sia in precisione che in magnitudine** (ordine di grandezza)
  - i dettagli sono definiti nella sezione 5.1.3 del JLS: Narrowing Primitive Conversion
  - queste conversioni sono decisamente sconsigliate, al loro posto è opportuno utilizzare i metodi appositi della classe Math (come Math.round)

Cast tra riferimenti

- Sono **consentiti** dal compilatore i seguenti cast tra un tipo riferimento (o array) A ad un tipo riferimento (o array) B:
  1) se B è **supertipo** di A
     - si chiama "upcast"
     - è superfluo, perché i valori di tipo A sono di per sé assegnabili al tipo B
  2) se B è **sottotipo** di A
     - si chiama "downcast"
     - al run-time, la JVM controlla che l'oggetto da convertire appartenga effettivamente ad una sottoclasse di B
     - in caso contrario, viene sollevata l'eccezione ClassCastException
     - si deve cercare di evitare i downcast, perché aggirano il type checking svolto dal compilatore
     - a tale scopo, i tipi parametrici introdotti da Java 1.5 possono aiutare
     - se proprio si deve usare un downcast, esso andrebbe preceduto da un controllo instanceof, che assicuri la correttezza della conversione
- Negli altri casi, il cast porta a un errore di compilazione

Esercizio

Sapendo che sia la classe C sia la classe B estendono A, effettuare il type checking del seguente codice, evidenziando:

- errori di tipo
- cast non validi
- cast validi ma potenzialmente pericolosi al run-time

```
boolean f(A a, B b) {
  C c = (C) a;
  A a1 = (A) b;
  Object o = a;
  A[] arr = new A[10];
  arr[5] = (Object) a;
  arr[6] = b;
  return a == c;
}
```

I tipi Wrapper

Classi wrapper

- Per ogni tipo base, Java offre una corrispondente classe, che ingloba (*wraps*) un valore di quel tipo in un oggetto
- Queste classi, dette appunto wrapper, servono a trattare i valori base come se fossero oggetti
  - ad esempio, per inserirli nelle strutture dati offerte dalla Java Collection Framework (vedi lezioni seguenti)

- Le classi wrapper sono:

  Byte, Short, Integer, Long, Float, Double

  Boolean

  Character

  Void

- Come si vede, sono tutte omonime del rispettivo tipo base, tranne Integer, Character, e Void (perché formalmente void non è un tipo base)

Caratteristiche base delle classi wrapper

- Tutte le classi wrapper sono **immutabili** e **final**

- Ogni classe wrapper ha un **costruttore** che accetta un valore del tipo base corrispondente
- Esempio:

```
Integer n = new Integer(3);
```

Caratteristiche base delle classi wrapper

- Inoltre, ogni classe wrapper ha un metodo statico **valueOf** che prende come argomento un valore del tipo base corrispondente alla classe e restituisce un oggetto wrapper che lo ingloba

- A differenza del costruttore, l'oggetto restituito *non è necessariamente nuovo*
  - ovvero, il metodo valueOf cerca di riciclare gli oggetti già creati *(caching)*
  - in generale, questo non è un problema, perché gli oggetti wrapper sono immutabili

- Esempio:

```
Integer n = Integer.valueOf(3);
```

Classi wrapper numeriche

- Le sei classi wrapper relative ai tipi numerici estendono la **classe astratta Number**
- La classe Number prevede sei metodi, che estraggono il valore contenuto, convertendolo nel tipo base desiderato

```
public byte     byteValue()
public short    shortValue()
public int      intValue()
public long     longValue()
public float    floatValue()
public double   doubleValue()
```

- Se un oggetto wrapper viene convertito in un valore base verso il quale non c'è una conversione implicita (ad es., da double a int), l'effetto sarà lo stesso di quello di un cast

Autoboxing

- Fino alla versione 1.4 di Java, era necessario convertire esplicitamente i valori dei tipi base in oggetti e viceversa
- A partire dalla versione 1.5, questo procedimento è stato automatizzato, introducendo l'**autoboxing** e l'**auto-unboxing**
- Grazie a queste funzionalità, il compilatore si occupa di inserire le istruzioni di conversione laddove queste siano necessarie

- Ad esempio, l'istruzione

```
Integer n = 7;
```

viene convertita in:

```
Integer n = Integer.valueOf(7);
```

e non in:

```
~~Integer n = new Integer(7);~~
```

- Allo stesso modo, le istruzioni:

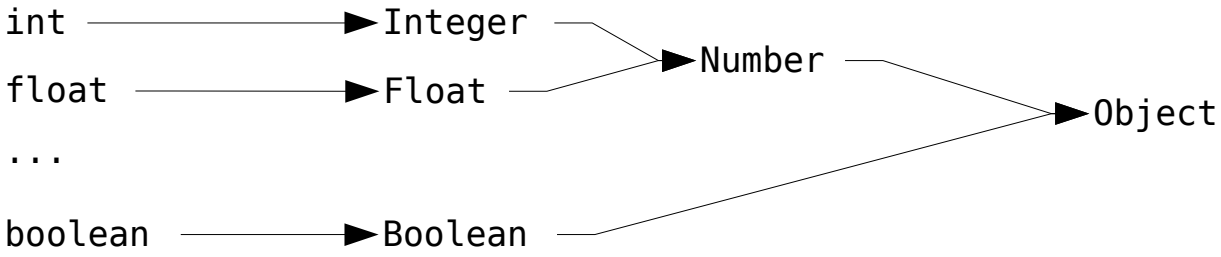
```
Integer n = 7;
Integer i = n + 7;
```

vengono convertite in:

```
Integer n = Integer.valueOf(7);
Integer i = Integer.valueOf(n.intValue() + 7);
```

Dettagli dell'autoboxing

- L'autoboxing può convertire un'espressione di tipo primitivo in un oggetto del tipo wrapper corrispondente, o di un suo supertipo
- Quindi, l'autoboxing può effettuare le seguenti trasformazioni:

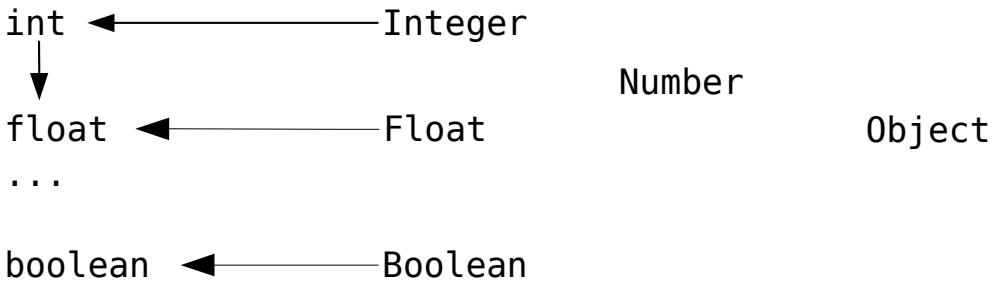


- L'autoboxing *non* prende in considerazione le conversioni implicite
- Ad esempio, ciascuna delle seguenti istruzioni provoca un **errore di compilazione,** perché oltre all'autoboxing richiederebbe anche una conversione implicita di tipo (promozione):

```
Double x = 1;
Double y = 1.0f;
Integer n = (byte) 1;
```

Dettagli dell'auto-unboxing

- L'auto-unboxing può essere seguito da una promozione



- Ad esempio, le seguenti istruzioni sono corrette:

```
Integer i = 7;      // autoboxing
double d = i;       // auto-unboxing seguito da promozione
```

- L'auto-unboxing di un'espressione che a runtime risulta **null** comporta il lancio di un'eccezione (verificata o non verificata?)

Tipi wrapper ed uguaglianza

- L'operatore "==" può dare risultati sorprendenti se applicato ai tipi wrapper
- Infatti, è facile dimenticare che si tratta di un **confronto tra riferimenti**, come per tutti gli oggetti

- Ad esempio:

```
Integer a = new Integer(7), b = new Integer(7);
System.out.println(a==b); // false, sono oggetti diversi

Integer a = 7, b = 7;
System.out.println(a==b); // true, perché viene chiamato il metodo statico valueOf,
                          che riutilizza gli oggetti corrispondenti a valori piccoli

Integer a = 700, b = 700;
System.out.println(a==b); // false, perché il metodo valueOf riutilizza soltanto
                          gli interi compresi tra -127 e 127
```

- Morale: confrontare i tipi wrapper con **equals** e non con "=="