AA 2014-2015

26. Classi e oggetti: implementazione

Dai sottoprogrammi…

- Un sottoprogramma (***astrazione procedurale***)
  - meccanismo linguistico che richiede di gestire dinamicamente **ambiente** e **memoria**
- La chiamata di sottoprogramma provoca la creazione di un ambiente e una memoria locale (record di attivazione) che esistono finché l'attivazione non restituisce il controllo al chiamante
- Ambiente locale
  - ✓ambiente e memoria sono creati con la definizione della procedura
  - ✓esistono solo per le diverse attivazioni di quella procedura

… alle classi

- L'aspetto essenziale dei linguaggi a oggetti consiste nella definizione di un meccanismo che permetta di creare ambiente e memoria al momento della "attivazione" di un oggetto (la creazione dell'oggetto)
  - nel quale gli ambienti e la memoria siano persistenti (sopravvivano alla attivazione)
  - una volta creati, siano accessibili e utilizzabili da chiunque possieda il loro meccanismo di accesso ("handle")

3

Classi e loro istanziazione

- Tale meccanismo di astrazione linguistica è denominato ***classe***
  - una classe è un costrutto linguistico che può avere parametri e come un normale sottoprogramma contiene un **blocco**
    - ✓ lista di **dichiarazioni**, e
    - ✓ lista di **comandi**
- L'istanziazione (attivazione) della classe avviene attraverso la chiamata del costruttore, ad esempio

  `new(classe, parametri_attuali)` oppure
  `new classe(parametri_attuali)`
  - che può occorrere in una qualunque espressione
  - con la quale si passano alla classe gli eventuali parametri attuali
  - che provoca la restituzione di un ***oggetto***

4

Classi e istanziazione

- L'ambiente e la memoria locali dell'oggetto sono creati dalla valutazione delle **dichiarazioni**
  - le dichiarazioni di costanti e di variabili definiscono i **campi** dell'oggetto
    - ✓se ci sono variabili, l'oggetto ha una memoria e quindi uno stato modificabile
  - le dichiarazioni di funzioni e procedure definiscono i **metodi** dell'oggetto
    - ✓che vedono (e possono modificare) i campi dell'oggetto, per la normale semantica dei blocchi
- L'esecuzione della lista di **comandi** è l'inizializzazione dell'oggetto

5

Oggetti

- L'oggetto è la struttura (handle) che permette di accedere l'ambiente e la memoria locali creati permanentemente
  - attraverso l'accesso ai suoi metodi e campi
  - con l'operazione

    `Field(obj, id)` (sintassi astratta)

    `obj.id` (sintassi concreta)
- Nell'ambiente locale di ogni oggetto il nome speciale **`this`** denota l'oggetto medesimo

6

Oggetti e creazione dinamica di strutture dati

- La creazione di oggetti assomiglia molto (anche nella notazione sintattica) alla creazione dinamica di strutture dati tramite primitive linguistiche del tipo

  `new(type_data)`

  che provoca l'allocazione dinamica di un valore di tipo **`type_data`** e la restituzione di un puntatore a tale struttura
- Esempi: record in Pascal, struct in C

7

Strutture dati dinamiche

- Tale meccanismo prevede l'esistenza di una memoria a **heap**
- Strutture dati dinamiche: un caso particolare di oggetti, ma ...
  - hanno una semantica *ad hoc* non riconducibile a quella dei blocchi e delle procedure
  - non consentono la definizione di metodi
  - a volte la rappresentazione non è realizzata con campi separati
  - a volte non sono davvero permanenti
    - ✓può esistere una (pericolosissima) operazione che permette di distruggere la struttura (**`free`**)

8

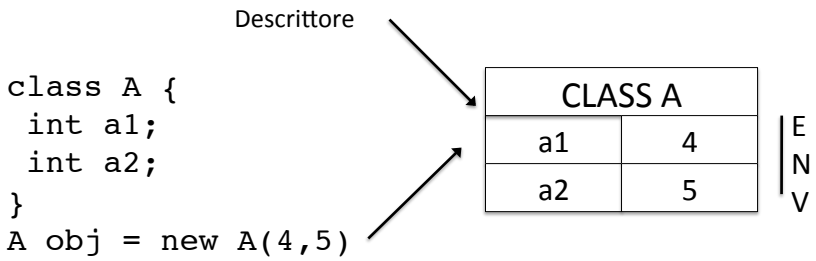
Ingredienti del paradigma OO

- Oggetti
  - meccanismo per incapsulare dati e operazioni
- Ereditarietà
  - riuso del codice
- Polimorfismo
  - principio di sostituzione
- Dynamic binding
  - legame dinamico tra il nome di un metodo e il codice effettivo che deve essere eseguito

9

Implementazione: var. di istanza

- Soluzione: ambiente locale statico che contiene i binding delle variabili di istanza
  - con associato il descrittore di tipo



10

E la ereditarietà?

```
class A {
 int a1;
 int a2;
}

class B extends A {
 int a3
}
```

CLASS B	
a1	
a2	
a3	

Soluzione: i campi ereditati dall'oggetto vengono inseriti all'inizio nell'ambiente locale

11

Oggetti: ambiente locale statico

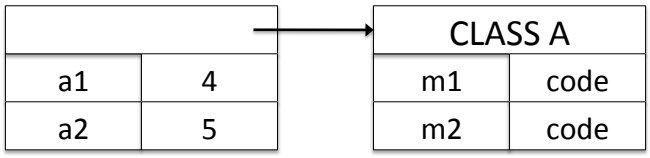
- L'utilizzo di un ambiente locale statico permette di implementare facilmente la persistenza dei valori
  - gestione della ereditarietà (singola) è immediata
  - gestione dello shadowing (variabili di istanza con lo stesso nome usata nella sottoclasse) è immediata
- Se il linguaggio prevede meccanismi di controllo statico si può facilmente implementare un accesso diretto: **indirizzo di base + offset**

12

E i metodi?

- Soluzione: associare un puntatore alla tabella (*ambiente locale statico*) che contiene il binding dei metodi e il descrittore della classe

```
class A {
 int a1;
 int a2;
 int m1 …;
 void m2 …;
}
A obj = new A(4,5)
```



13

Analisi

- Dal puntatore memorizzato nell'ambiente locale delle variabili di istanza si accede al descrittore della classe
- Dal descrittore della classe si ottengono le informazioni relative all'allocazione dei metodi
- Implementazione dell'accesso diretto ai metodi con il solito meccanismo (indirizzo di base + offset)

14

Implementazione dei metodi

- Un metodo è eseguito come una funzione (implementazione standard: AR sullo stack con variabili locali, parametri, ecc.)
- **Importante**: il metodo deve poter accedere alle variabili di istanza dell'oggetto sul quale è invocato (che non è noto al momento della compilazione)
- **L'oggetto è un parametro implicito**: quando un metodo è invocato, gli viene passato anche un puntatore all'oggetto sul quale viene invocato; durante l'esecuzione del metodo il puntatore è il **this** del metodo

15

Ereditarietà

- Soluzione1 (Smalltalk)
  - lista di tabelle

```
class A {
 int a1, a2;
 void m1 …;
 void m2 …;
}

class B extends A
 int a3;
 void m1 …;
 void m3 …;
}
```

a1
a2
a3

new B(…)

CLASS A	
m1	code
m2	code

CLASS B	
m1	riscritto
m3	code

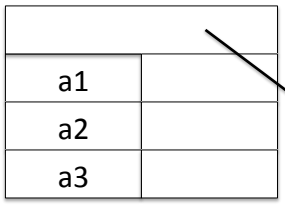
16

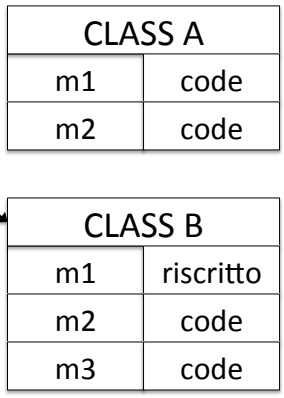
Ereditarietà

- Soluzione 2 (C++)
  - sharing strutturale

```
class A {
 int a1, a2;
 void m1 …;
 void m2 …;
}

class B extends A
 int a3;
 void m1 …;
 void m3 …;
}
```






```
new B(…)
```

17

Analisi

- Liste di tabelle dei metodi (Smalltalk): l'operazione di dispatching dei metodi viene risolta con una visita alla lista (overhead a run time)
- Sharing strutturale (C++): l'operazione di dispatching dei metodi si risolve staticamente andando a determinare gli offset nelle tabelle (**vtable** in C++ [virtual function table])

18

Discussione: Smalltalk

- Smalltalk (ma anche JavaScript) non prevedono un meccanismo per il controllo statico dei tipi
  - l'invocazione di dispatch del metodo **`obj.meth(pars)`** dipende dal flusso di esecuzione
  - ogni classe ha il proprio meccanismo di memorizzazione dei metodi nelle tabelle

19

Discussione: C++

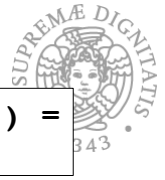
- C++ prevede un controllo dei tipi statico degli oggetti
  - offset dei campi degli oggetti (offset_data), la struttura delle vtable è condivisa nella gererachia di ereditarietà
  - offset dei dati e dei metodi sono noti a tempo di compilazione
- Il dispatching "**`obj.mth(pars)`**"
  `obj->mth(pars)` nella notazione C++
  viene pertanto compilato nel codice
  `*(obj->vptr[0])(obj,pars)`
  assumendo che **mth** sia il primo metodo della vtable
- Si noti il passaggio dell'informazione relativa all'oggetto corrente

20

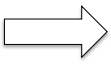
Compilazione separata

- Compilazione separata di classi (**Java**): la compilazione di una classe produce un codice che la macchina astratta del linguaggio carica dinamicamente (**class loading**) quando il programma in esecuzione effettua un riferimento alla classe
- In presenza di compilazione separata gli offset non possono essere calcolati staticamente a causa di possibili modifiche alla struttura delle classi

21



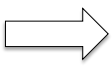
```
class A {
  :
  void m1() {…}
  void m2() {…}
}
```



access(A,m1()) = offset1

Raffinamento della struttura di A

```
class A {
  :
  void ma() {…}
  void mb() {…}
  void m1() {…}
  void m2() {…}
}
```



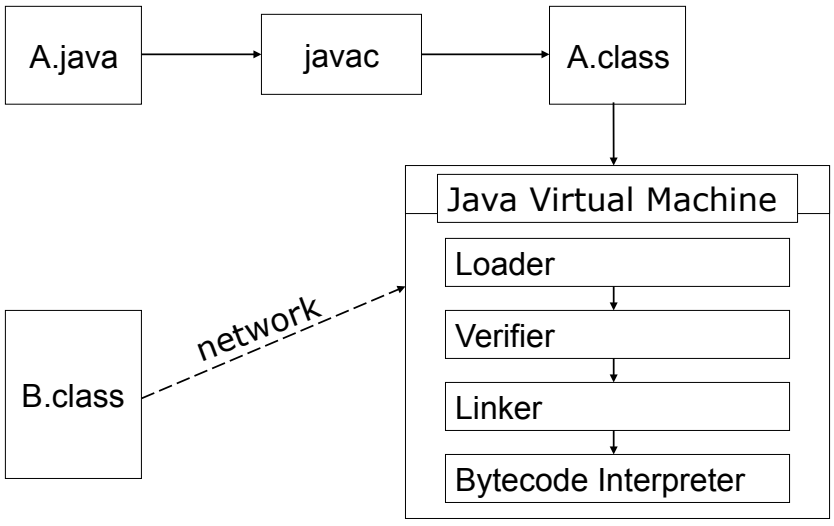
access(A,m1()) = offset3 [!= offset1]

22

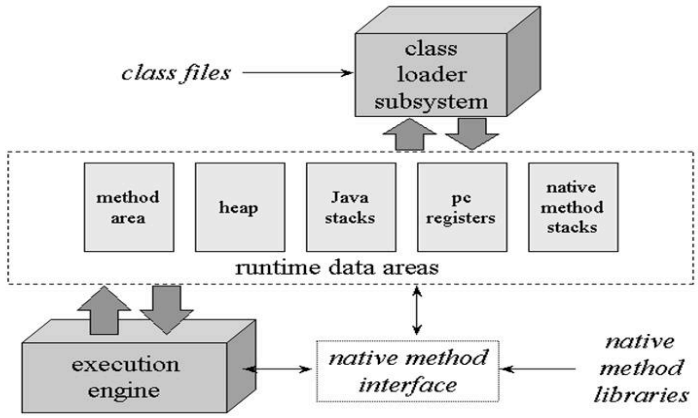
Come lo risolve Java?

23

JVM: visione di insieme



JVM



25

I file .class

- Il bytecode generato dal compilatore Java viene memorizzato in un ***class file*** (.class) contenente
  - **bytecode** dei metodi della classe
  - **constant pool**: una sorta di tabella dei simboli che descrive le costanti e altre informazioni presenti nel codice della classe
- Per vedere il bytecode basta usare

  `javap <class_file>`

26

.class: esempio

```
public class Foo {

   public static void main (String args[]) {
     System.out.println("Programmazione 2");
   }
 }
```

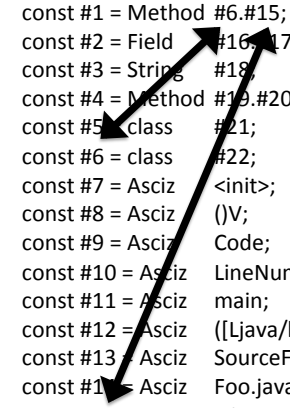
```
javac Foo.java // Foo.class

javap –c –v Foo
```


Constant pool (I)

```
Constant pool:
const #1 = Method  #6.#15;   //  java/lang/Object."<init>":()V
const #2 = Field   #16.#17;  //  java/lang/System.out:Ljava/io/PrintStream;
const #3 = String  #18;      //  Programmazione 2
const #4 = Method  #19.#20;  //  java/io/PrintStream.println:(Ljava/lang/String;)V
const #5 = class   #21;      //  Foo
const #6 = class   #22;      //  java/lang/Object
const #7 = Asciz   <init>;
const #8 = Asciz   ()V;
const #9 = Asciz   Code;
const #10 = Asciz  LineNumberTable;
const #11 = Asciz  main;
const #12 = Asciz  ([Ljava/lang/String;)V;
const #13 = Asciz  SourceFile;
const #14 = Asciz  Foo.java;
const #15 = NameAndType   #7:#8; //  "<init>":()V
const #16 = class  #23;      //  java/lang/System
```

Constant pool (I)



```
Constant pool:
const #1 = Method  #6.#15;    //  java/lang/Object."<init>":()V
const #2 = Field   #16.#17;   //  java/lang/System.out:Ljava/io/PrintStream;
const #3 = String  #18;       //  Programmazione 2
const #4 = Method  #19.#20;   //  java/io/PrintStream.println:(Ljava/lang/String;)V
const #5 = class   #21;       //  Foo
const #6 = class   #22;       //  java/lang/Object
const #7 = Asciz   <init>;
const #8 = Asciz   ()V;
const #9 = Asciz   Code;
const #10 = Asciz  LineNumberTable;
const #11 = Asciz  main;
const #12 = Asciz  ([Ljava/lang/String;)V;
const #13 = Asciz  SourceFile;
const #14 = Asciz  Foo.java;
const #15 = NameAndType    #7:#8; //  "<init>":()V
const #16 = class  #23;       //  java/lang/System
```

riferimenti simbolici

Constant Pool (II)

```
const #17 = NameAndType    #24:#25;//  out:Ljava/io/PrintStream;
const #18 = Asciz  Programmazione 2;
const #19 = class  #26;       //  java/io/PrintStream
const #20 = NameAndType    #27:#28;//println:(Ljava/lang/String;)V
const #21 = Asciz  Foo;
const #22 = Asciz  java/lang/Object;
const #23 = Asciz  java/lang/System;
const #24 = Asciz  out;
const #25 = Asciz  Ljava/io/PrintStream;;
const #26 = Asciz  java/io/PrintStream;
const #27 = Asciz  println;
const #28 = Asciz  (Ljava/lang/String;)V;
```

A cosa serve la constant pool?

- La constant pool viene utilizzata nel class loading durante il processo di risoluzione
  - quando durante l'esecuzione si fa riferimento a un nome per la prima volta questo viene risolto usando le informazioni nella constant pool
  - le informazioni della constant pool permettono, ad esempio, di caricare la classe dove il nome è stato definito

31

Esempio

```
public class Main extends java.lang.Object  SourceFile: "Main.java"
minor version: 0
major version: 50
Constant pool:
const #1 = Method #9.#18;//  …
const #2 = class #19;//  Counter
const #3 = Method #2. #18;//  Counter."<init>":()V
:
const #5 = Method#2.#22;//  Counter.inc:()I
const #6 = Method#23.#24;
const #7 = Method#2.#25;//  Counter.dec:()I
const #8 = class#26;//  Main
```

```
class Counter {
  int inc( ) { .. }
  int dec( ) { .. }
}
```

- **La name resolution permette di scoprire che inc e dec sono metodi definiti nella classe Counter**
  - **viene caricata la classe Counter**
  - **viene salvato un puntatore all'informazione**

32

E i metodi?

- I metodi di classi Java sono rappresentati in strutture simili alle vtable di C++
- Ma gli offset di accesso ai metodi della **vtable non sono determinati staticamente**
- Il valore dell'offset di accesso viene calcolato dinamicamente la prima volta che si trova un riferimento all'oggetto
- Un eventuale secondo accesso utilizza l'offset

33

Esaminiamo nel dettaglio la procedura di accesso ai metodi

34

JVM è una stack machine

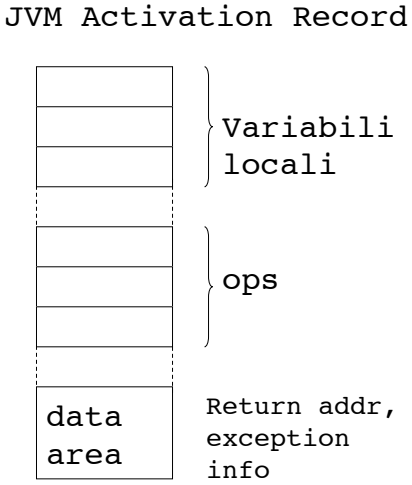
- Java

```
class A extends Object {
    int i
    void f(int val) { i = val + 1;}
}
```

- Bytecode

```
Method void f(int)
    aload 0   ; object ref this
    iload 1   ; int val
    iconst 1
    iadd      ; add val +1
    putfield #4 <Field int i>
    return
```

riferimento alla const pool



Esempio

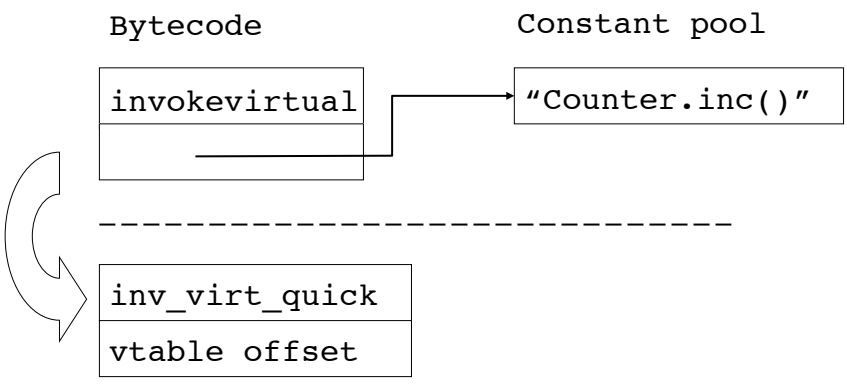
- Codice di un metodo
  - void add2(Incrementable x) { x.inc(); x.inc(); }
- Ricerca del metodo
  - trovare la classe dove il metodo è definito
  - trovare la vtable della classe
  - trovare il metodo nella vtable
- Chiamata del metodo
  - creazione del record di attivazione, …

Bytecode

```
public static void main(java.lang.String[]);
Code:
 Stack=2, Locals=2, Args_size=1
 0:   new           #2; //class Counter
 3:   dup
 4:   invokespecial  #3;//Method Counter."<init>":()V
 7:   astore_1
 8:   getstatic      #4;//Field java/lang/System.out:Ljava/io/PrintStream;
 11:  aload_1
 12: invokevirtual      #5; //Method Counter.inc:()I
 15:  invokevirtual  #6; //Method java/io/PrintStream.println:(I)V
 18:  getstatic      #4; //Field java/lang/System.out:Ljava/io/PrintStream;
 21:  aload_1
 22:  invokevirtual  #7; //Method Counter.dec:()I
 25:  invokevirtual  #6; //Method java/io/PrintStream.println:(I)V
 28:  return
```

37

Bytecode : invokevirtual



- Dopo la ricerca si possono utilizzare offset calcolati la prima volta (senza overhead di ricerca)

Java interface

L'offset del metodo foo è diverso nelle due tabelle

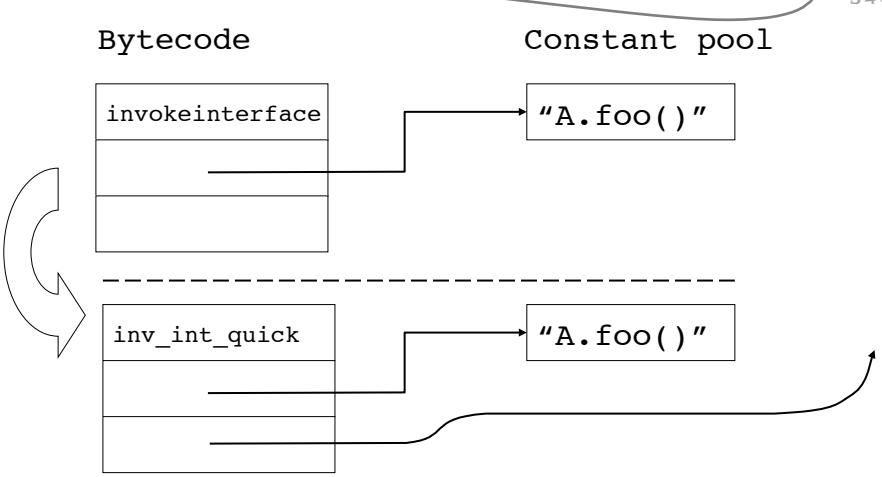
```
interface I {
  void foo();
}

public class A implements I {
  :
  void foo() { .. }
  :
}

public class B implements I {
  :
  void m() { .. }
  void foo() { .. }
  :
}
```

39

Bytecode: invokeinterface



- Secondo accesso: tramite l'offset determinato si controlla la presenza del metodo altrimenti si effettua la ricerca come la prima volta

Leggiamo la documentazione della JVM

Method invocation:

- **invokevirtual:** usual instruction for calling a method on an object
- **invokeinterface:** same as invokevirtual, but used when the called method is declared in an interface (requires different kind of method lookup)
- **invokespecial:** for calling things such as constructors. These are not dynamically dispatched (this instruction is also known as invokenonvirtual)
- **invokestatic:** for calling methods that have the "static" modifier (these methods "belong" to a class, rather an object)

Returning from methods:

return, ireturn, lreturn, areturn, freturn, …

JVM: tabelle degli oggetti


```
public abstract class AbstractMap<K,V> implements Map<K,V> {
  Set<K> keySet;
  Collection<V> values;
}
public class HashMap<K,V> extends AbstractMap<K,V> {
  Entry[] table;
  int size;
  int threshold;
  float loadFactor;
  int modCount;
  boolean useAltHashing;
  int hashSeed
}
```

KeySet è il primo campo della tabella? Table il terzo?

43

La struttura effettiva


```
java -jar target/java-object-layout.jar java.util.HashMap
   java.util.HashMap
offset size type description
0 12 (object header + first field alignment)
12 4 Set AbstractMap.keySet
16 4 Collection AbstractMap.values
20 4 int HashMap.size
24 4 int HashMap.threshold
28 4 float HashMap.loadFactor
32 4 int HashMap.modCount
36 4 int HashMap.hashSeed
40 1 boolean HashMap.useAltHashing
41 3 (alignment/padding gap)
44 4 Entry[] HashMap.table
48 4 Set HashMap.entrySet
52 4 (loss due to the next object alignment)
56 (object boundary, size estimate
VM reports 56 bytes per instance
```

44

Ordine di strutturazione

1) doubles e longs
2) ints e floats
3) shorts e chars
4) booleans e bytes
5) references

45

JVM Internals

- Scaricate e eseguite gli esempi definiti nel progetto **OPENJDK** (http://openjdk.java.net)
- In particolare: **jol** *(Java Object Layout) is the tiny toolbox to analyze object layout schemes in JVMs. These tools are using Unsafe heavily to deduce the* ***actual object layout and footprint. This makes the tools much more accurate than others relying on heap dumps, specification assumptions, etc.***

46

Ereditarietà multipla

```
class A { int m(); }
class B { int m(); }
class C extends A, B { }
// quale metodo si eredita??

class A { int x; }
class B1 extends A { … }
class B2 extends A { … }
class C extends B1, B2 { … }
//"diamond of death"
```

47

Ereditarietà multipla

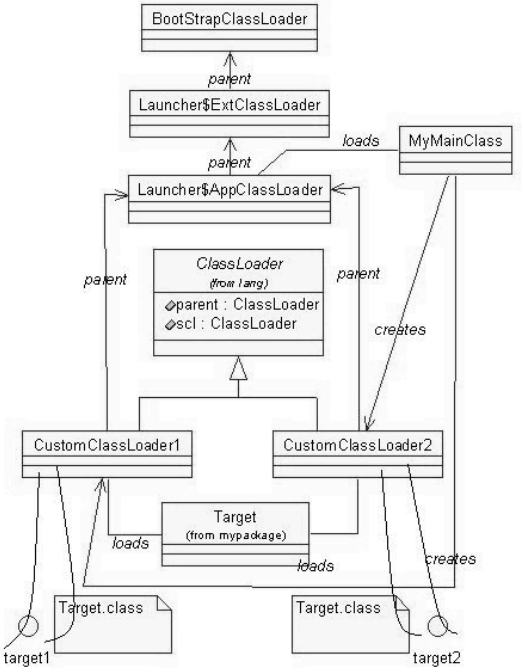
- Complicazione della compilazione
- Complicazione delle struttura a run-time
- Noi non lo trattiamo (alcuni dettagli nel libro di Gabbrielli e Martini)

48

Class loading in Java

- Una classe è caricata e inizializzata quando un suo oggetto (o un oggetto che appartiene a una sua sottoclasse) è referenziato per la prima volta
- JVM loading = leggere il class file + verificare il bytecode, integrare il codice nel run-time

49



Visione complessiva

50

Inizializzazione


```
class A {
 static int a = B.b + 1; // codice a run-time
                         // A.<clinit>
}

class B {
 static int b = 42; // codice a run-time
                    // B.<clinit>
}
```

L'inizializzazione di A è sospesa: viene terminata quando B è inizializzato

51

Inizializzazione: Bytecode


```
class A {
  String name;
  A(String s) {
    name = s;
  }
}
```

```
<init>(java.lang.String)V
0: aload_0  //this
1: invokespecial java.lang.Object.<init>()V
4: aload_0  //this
5: aload_1  //parameter s
6: putfield A.name
9: return
```

52

JVM interpreter


```
do {
   byte opcode = fetch an opcode;
   switch (opcode) {
     case opCode1 :
          fetch operands for opCode1;
          execute action for opCode1;
          break;
     case opCode2 :
          fetch operands for opCode2;
          execute action for opCode2;
          break;
     case ...
} while (more to do)
```

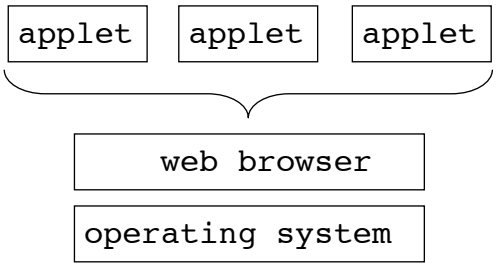
53

Java stack inspection

54

Codice Mobile

- Java: progettato per codice mobile



- SmartPhone, …

55

Applet security

- Protezione risorse utente
- Cosa non deve poter fare una applet
  - mandare in crisi il browser o il SO
  - eseguire **"rm –rf /"**
  - usare tutte le risorse del sistema
- Cosa deve poter fare una applet
  - usare alcune risorse (ad esempio per far vedere una figura sul display, oppure un gioco)…
  - … ma in modo isolato e protetto
- In sicurezza questo viene denominato: principio del minimo privilegio

56

Java (ma vale anche per C#)

- Sistemi di tipo statici
  - garantiscono memory safety (non si usa memoria non prevista)
- Controlli a run-time
  - array index
  - downcast
  - verifica degli accessi

`lo vediamo oggi`

- Virtual machine
  - bytecode verification
- Garbage collection
  - lo vediamo la prossima lezione
  - crittografia, autenticazione (lo vedrete in altri insegnamenti…)

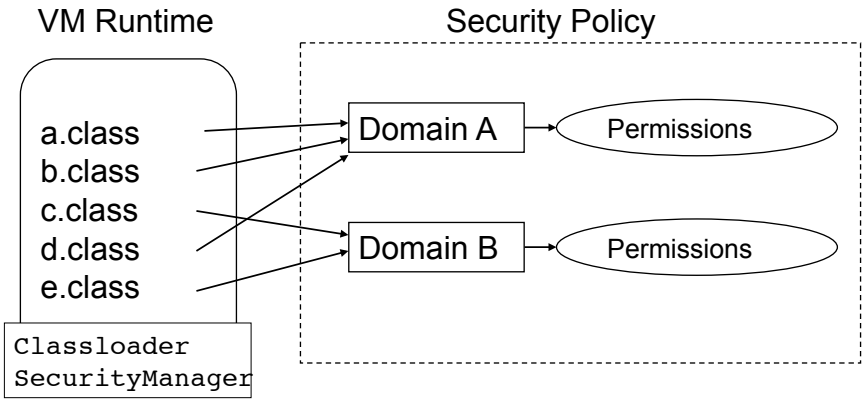
57

Controllo degli accessi

- Fornitori di servizio hanno livelli di sicurezza differenti (classico dei SO)
  - www.l33t-hax0rs.com vs. www.java.sun.com (ci fidiamo?)
  - untrusted code vs trusted code
- Trusted code può invocare untrusted code
  - e.g. invocare una applet per visionare dei dati
- Untrusted code può invocare trusted code
  - e.g. la applet può caricare una font specifica
- Quali sono le politiche per il controllo degli accessi?

58

Java Security Model



59

I permessi in java

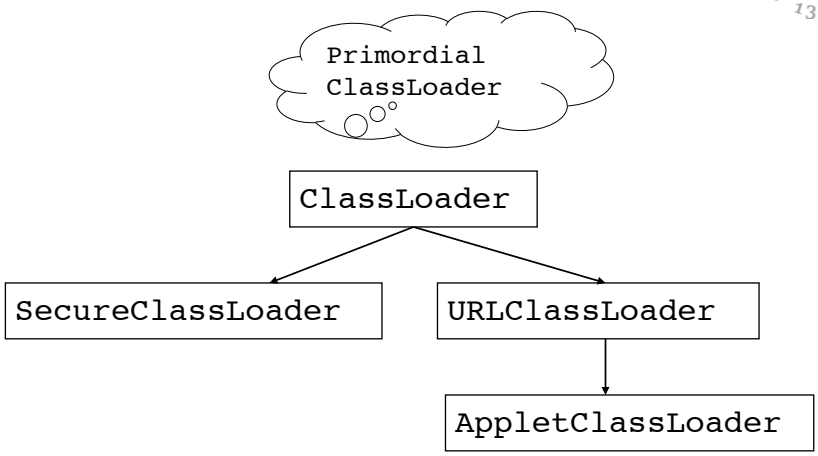
- java.security.Permission Class

```
perm = new java.io.FilePermission("/tmp/abc","read");
```

java.security.AllPermission
java.security.SecurityPermission
java.security.UnresolvedPermission
java.awt.AWTPermission
java.io.FilePermission
java.io.SerializablePermission
java.lang.reflect.ReflectPermission
java.lang.RuntimePermission
java.net.NetPermission
java.net.SocketPermission
…

60

Classloader Hierarchy



61

Definizione dei privilegi

```
grant codeBase “http://www.l33t-hax0rz.com/*” {
  permission java.io.FilePermission(“/tmp/*”, “read,write”);
}

grant codeBase “file://$JAVA_HOME/lib/ext/*” {
  permission java.security.AllPermission;
}

grant signedBy “trusted-company.com” {
  permission java.net.SocketPermission(…);
  permission java.io.FilePermission(“/tmp/*”, “read,write”);
  …
}
```

Policy:
$JAVA_HOME/lib/security/java.policy
$USER_HOME/.java.policy

62

Trusted code


```
void fileWrite(String filename, String s) {
  SecurityManager sm = System.getSecurityManager();
  if (sm != null) {
    FilePermission fp = new FilePermission(filename,“write”);
    sm.checkPermission(fp);
    /* … write s to file filename (native code) … */
  } else {
    throw new SecurityException();
  }
}
```

```
public static void main(…) {
  SecurityManager sm = System.getSecurityManager();
  FilePermission fp = new FilePermission(“/tmp/*”,“write,…”);
  sm.enablePrivilege(fp);
  UntrustedApplet.run();
}
```

63

Applet scaricata
http://www.l33t-hax0rz.com/

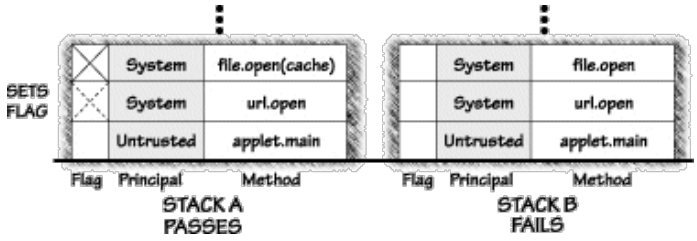
```
class UntrustedApplet {
  void run() {
    ...
    s.FileWrite(“/tmp/foo.txt”, “Hello!”);
    ...
    s.FileWrite(“/home/stevez/important.tex”, “kwijibo”);
    ...
  }
}
```

64

Stack inspection

- Record di attivazione sullo stack (stack frame nel gergo di Java) sono annotati con il loro livello di privilegio e i diritti di accesso.
- Stack inspection: una ricerca sullo stack dei record di attivazione con l'obiettivo di determinare se il metodo in testa allo stack ha il diritto di fare una determinata operazione
  - **fail** se si trova un record di attivazione sullo stack che non ha i diritti di accesso
  - **ok** se tutti i record hanno il diritto di effettuare l'operazione

65



66

Esempio

Policy Database

```
main(…){
 fp = new FilePermission(“/tmp/*”,“write,…”);
 sm.enablePrivilege(fp);
 UntrustedApplet.run();
}
```

67

Esempio

Policy Database

```
main(…){
 fp = new FilePermission(“/tmp/*”,“write,…”);
 sm.enablePrivilege(fp);
 UntrustedApplet.run();
}
```

fp

68

Esempio

```
void run() {
 …
 s.FileWrite(“/tmp/foo.txt”, “Hello!”);
 …
}
```

```
main(…){
 fp = new FilePermission(“/tmp/*”,“write,…”);
 sm.enablePrivilege(fp);
 UntrustedApplet.run();
}
```

fp

Policy Database

69

Esempio

```
void fileWrite(“/tmp/foo.txt”, “Hello!”) {
 fp = new FilePermission(“/tmp/foo.txt”,“write”)
 sm.checkPermission(fp);
 /* … write s to file filename … */
```

```
void run() {
 …
 s.FileWrite(“/tmp/foo.txt”, “Hello!”);
 …
}
```

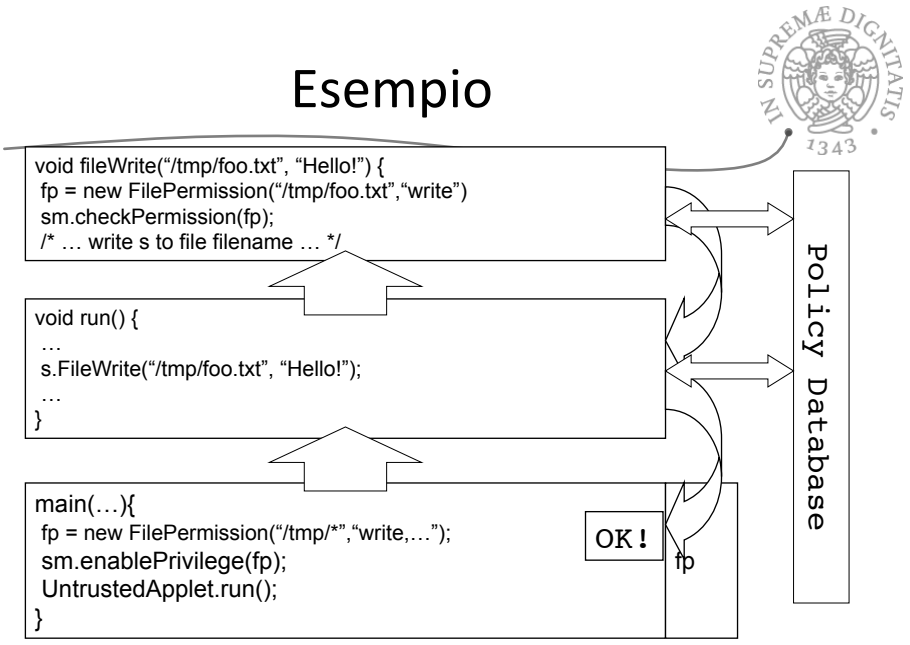
```
main(…){
 fp = new FilePermission(“/tmp/*”,“write,…”);
 sm.enablePrivilege(fp);
 UntrustedApplet.run();
}
```

fp

Policy Database

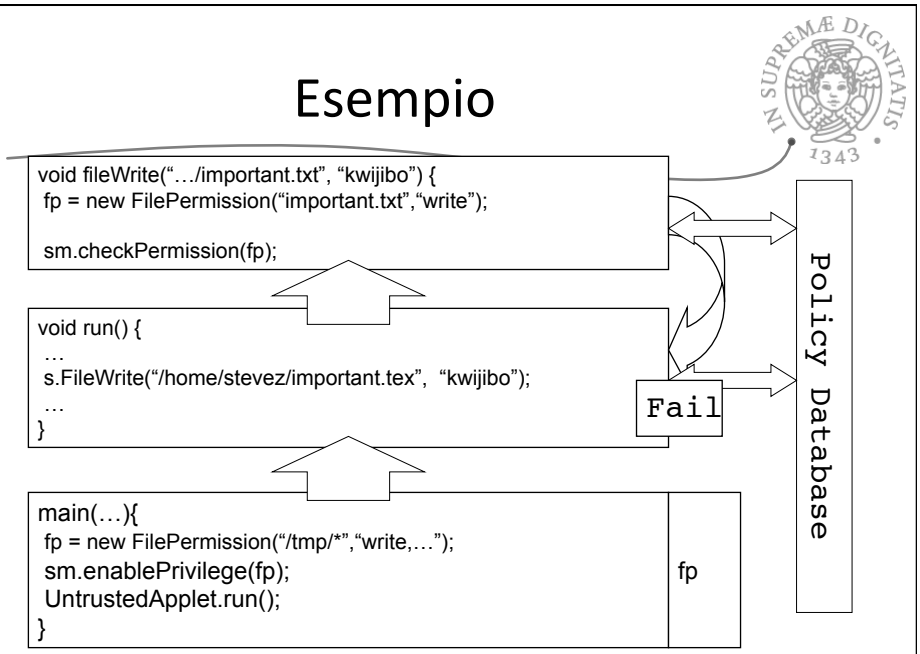
70

Esempio



71

Esempio



72

Stack Inspection Algorithm


```
checkPermission(T) {
  // loop newest to oldest stack frame
  foreach stackFrame {
    if (local policy forbids access to T by class
   executing in stack frame) throw ForbiddenException;

    if (stackFrame has enabled privilege for T)
      return;  // allow access

    if (stackFrame has disabled privilege for T)
      throw ForbiddenException;
  }

  // end of stack

}
```

73