PROGRAMMAZIONE 2

24. Classi e oggetti:implementazione

Dai sotto-programmi…

- Un sotto-programma (astrazione procedurale)
  - meccanismo linguistico che richiede di gestire dinamicamente ambiente e memoria
- La chiamata di sotto-programma provoca la creazione di un ambiente e di 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 consente 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")

Classi e istanziazione

- Tale meccanismo di astrazione linguistica è denominato classe
- 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

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

Oggetti

- L' oggetto è la struttura (handle) che permette di accedere all' ambiente e alla 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

Creazione dinamica di strutture dati

- La creazione di 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

Strutture dati dinamiche

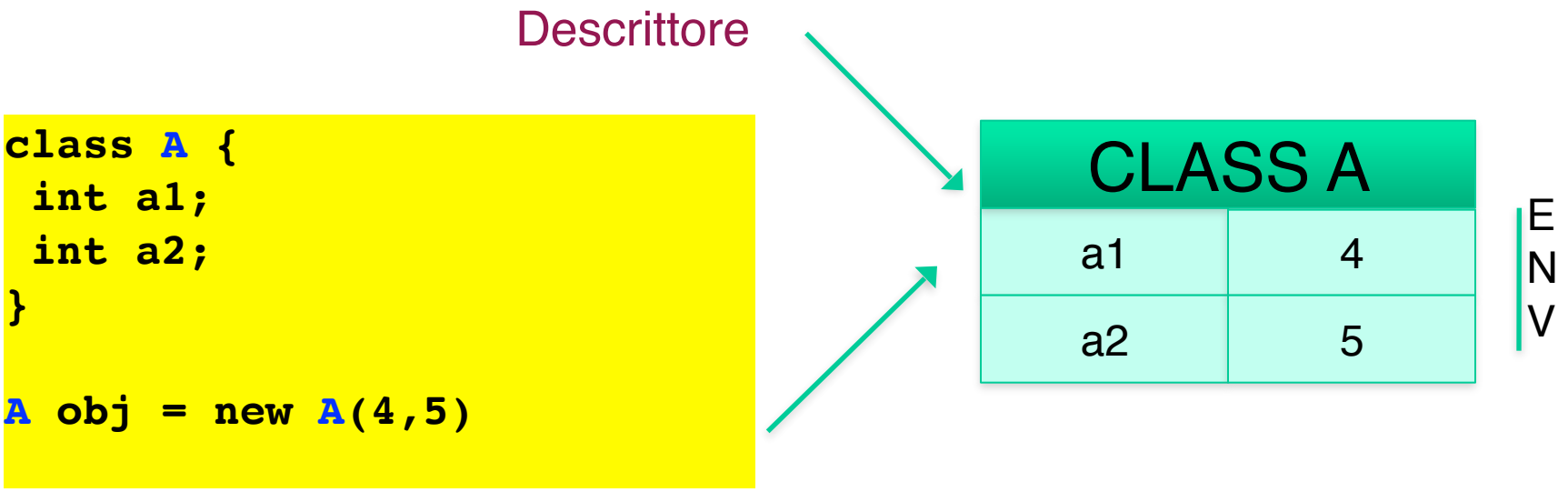
- Tale meccanismo prevede l'esistenza di una memoria a heap
- Strutture dati dinamiche: un caso particolare di oggetti, ma...
  - hanno una semantica ad hoc non riconducibile a quella dei blocchi e delle procedure
  - non consentono la definizione di metodi
  - a volte la rappresentazione non è realizzata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

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

Implementazione: variabili d'istanza

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



E l' 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

Oggetti: ambiente locale statico

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

Implementazioni multiple

```
interface IntSet {
    public IntSet insert(int i);
    public boolean has(int i);
    public int size();
}
```

```
class IntSet1 implements IntSet {
  private List<Integer> rep;
  public IntSet1() {
    rep = new LinkedList<Integer>();}

  public IntSet1 insert(int i) {
    rep.add(new Integer(i));
    return this;}

  public boolean has(int i) {
    return rep.contains(new Integer(i));}

  public int size() {return rep.size();}
}
```

```
class IntSet2 implements IntSet {
  private Tree rep;
  private int size;
  public IntSet2() {
    rep = new Leaf(); size = 0;}

  public IntSet2 insert(int i) {
    Tree nrep = rep.insert(i);
    if (nrep != rep) {
      rep = nrep; size += 1;
    }
    return this;}

  public boolean has(int i) {
    return rep.find(i);}

  public int size() {return size;}
}
```

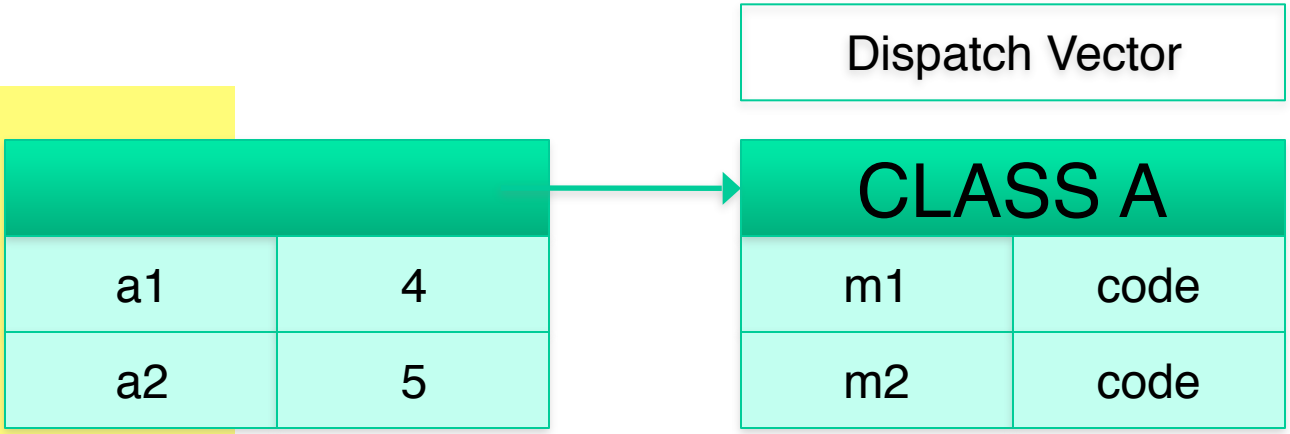
La nozione di dispatching

- Consideriamo un cliente di **`IntSet`**:
  - `IntSet set = ...;`
  - `int x = set.size();`
- Quale dei due metodi viene invocato?
  - `IntSet1.size()`?
  - `IntSet2.size()` ?
- Il cliente non ha informazioni sufficienti per risolvere la questione
- Gli oggetti devono avere un meccanismo che permette di identificare chiaramente il codice del metodo da invocare
- Morale: l'invocazione di metodi deve "passare" dagli oggetti

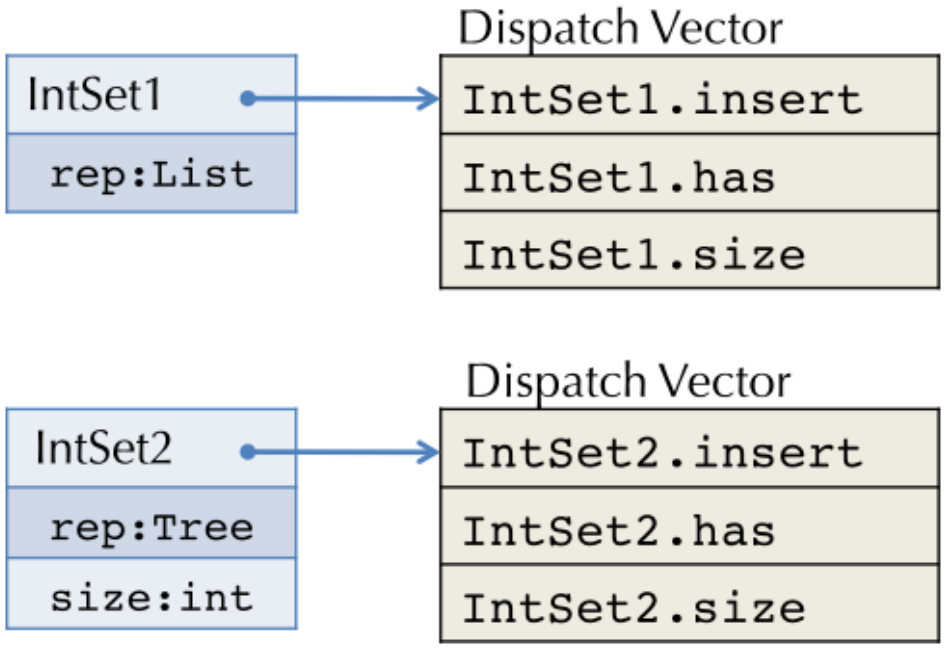
Tabella dei metodi

- Soluzione: associare un puntatore alla tabella (tabella dei metodi, vtable, dispatch table) che contiene il binding dei metodi e il descrittore con altre informazioni associate alla classe

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



Esempio : `IntSet`



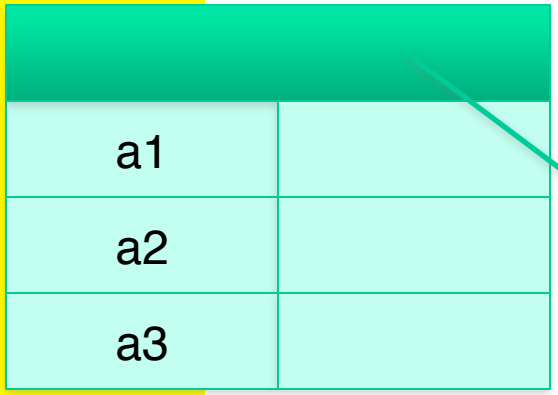
Implementazione: metodi d'istanza

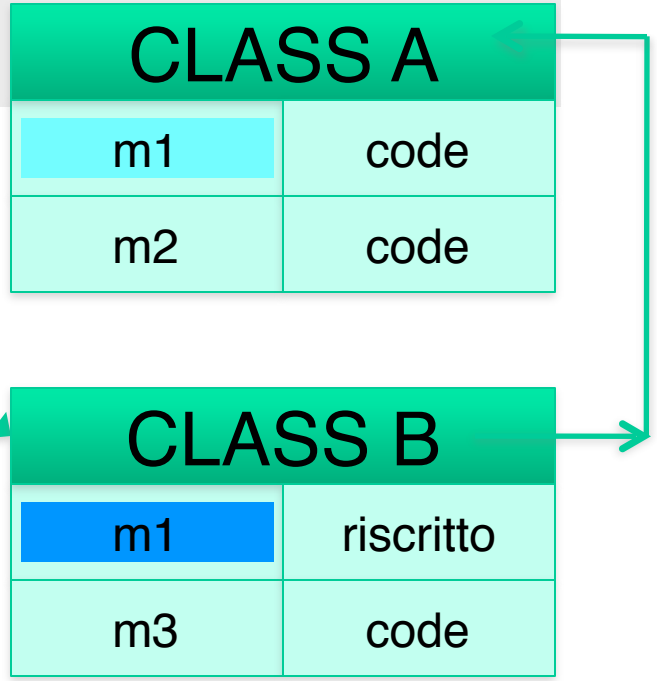
- Un metodo è eseguito come una funzione (implementazione standard: AR sullo stack con variabili locali, parametri, ecc.)
- Importante: il metodo deve poter accedere alle variabili di istanza dell'oggetto sul quale è invocato (che non è noto al momento della compilazione)
- L'oggetto è un parametro implicito: 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

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 …;
}
```



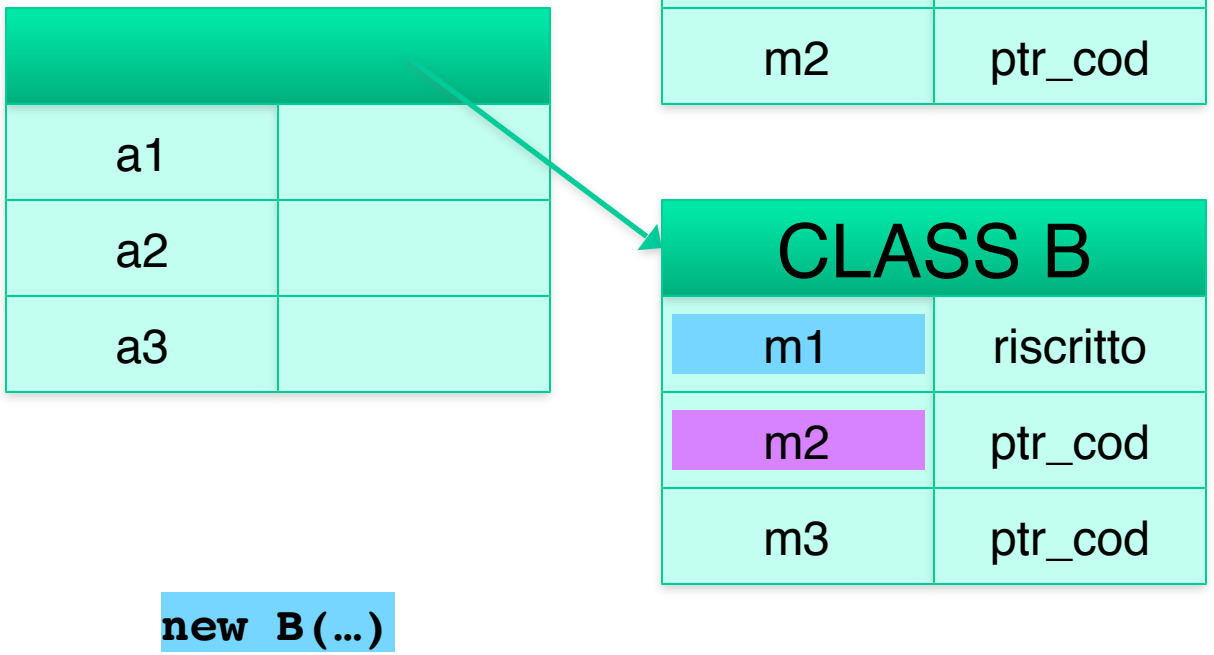



```
new B(…)
```

Ereditarietà

- Soluzione 2 (C++ e Java)
  - sharing strutturale

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

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



Analisi

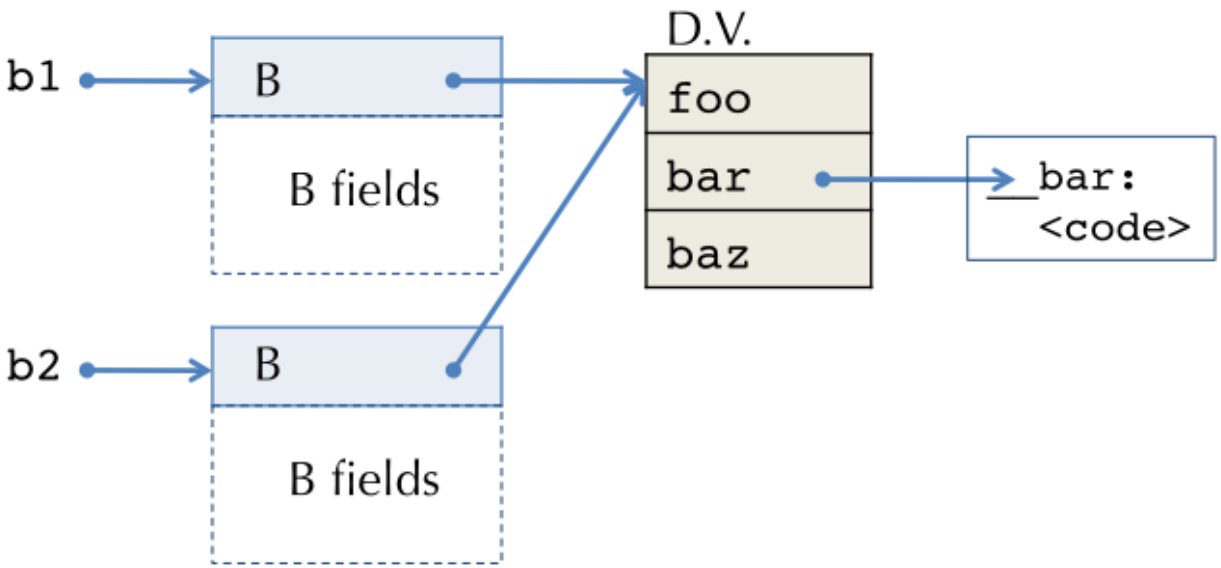
- Liste di tabelle dei metodi (Smalltalk): l'operazione di dispatching dei metodi viene risolta con una visita alla lista (overhead a runtime)
- Sharing strutturale (C++): l'operazione di dispatching dei metodi si risolve staticamente andando a determinare gli offset nelle tabelle (vtable in C++ [virtual function table])
- Se il controllo dei tipi e' statico i metodi di una classe sono noti a tempo di compilazione
- Ogni classe ha una vtable che e' condivisa tra tutti gli oggetti della classe

Discussione: Smalltalk

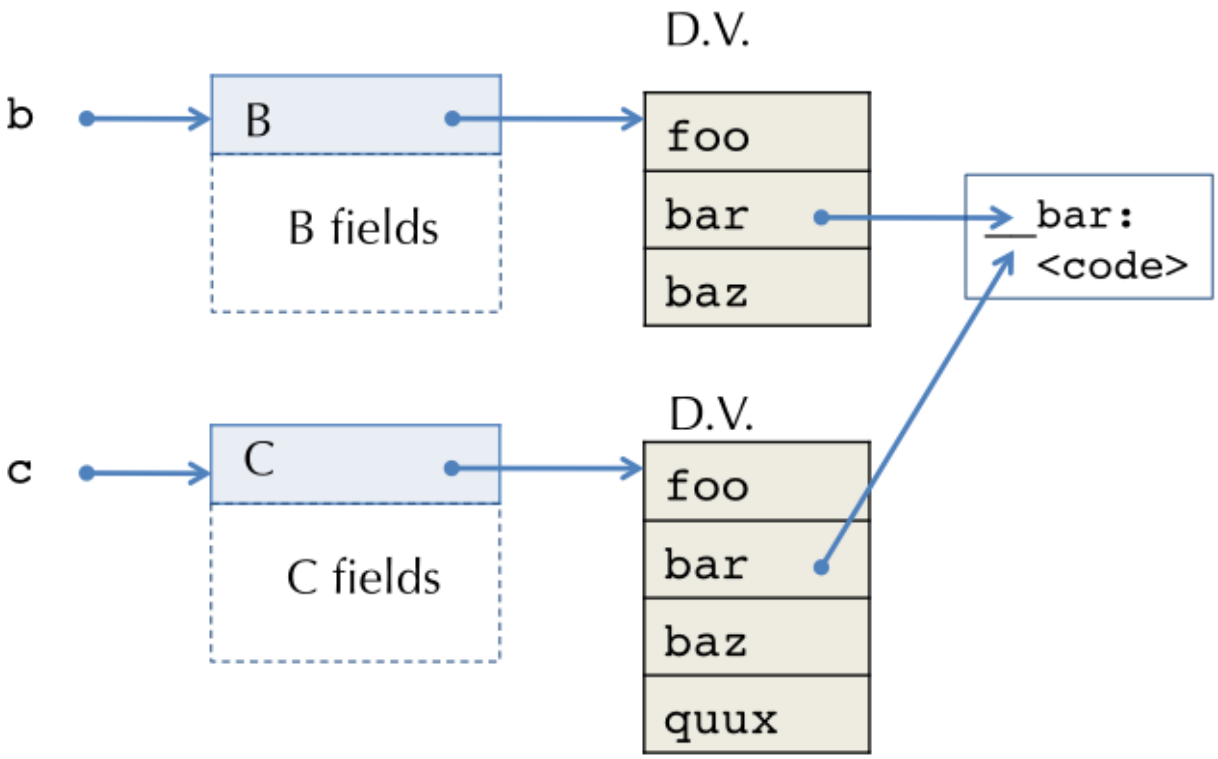
- Smalltalk (ma anche JavaScript) non prevedono un meccanismo per il controllo statico dei tipi
  - l'invocazione di dispatch del metodo `obj.meth(pars)` dipende dal flusso di esecuzione
  - ogni classe ha il proprio meccanismo di memorizzazione dei metodi nelle tabelle

Discussione: sharing strutturale

Tutte le istanze di oggetti della stessa classe condividono il Dispatch Vector



Ereditaretà: sharing strutturale



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 gerarchia 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

Dispatching (in dettaglio)

Idea: ogni metodo è caratterizzato da un indice unico
Indice permette di identificare il metodo nella vtable

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

Index

0

```
interface B extends A {
  void bar(int x);
  void baz();
}
```

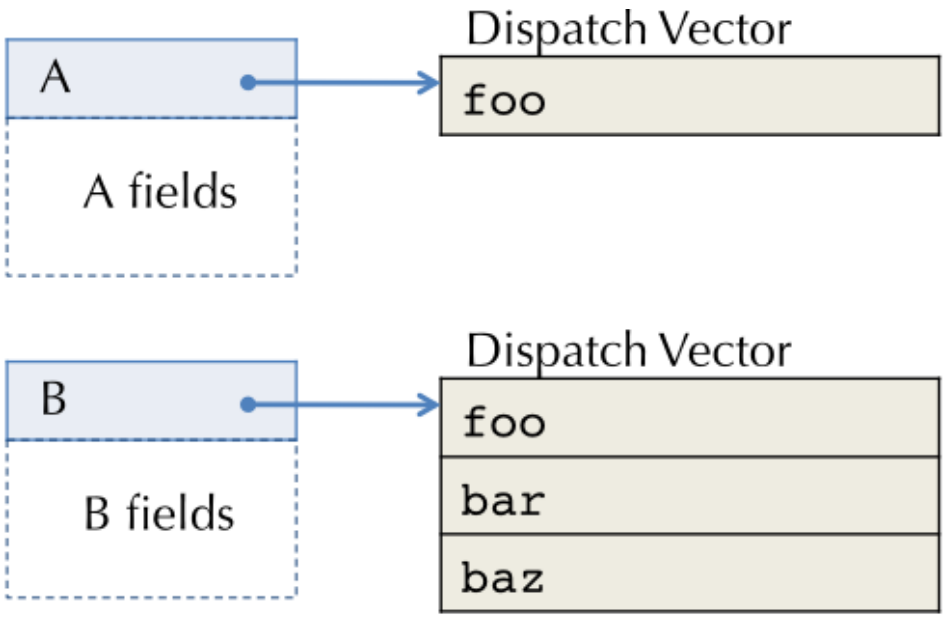
1
2

```
class C implements B {
  void foo() {…}
  void bar(int x) {…}
  void baz() {…}
  void quux() {…}
}
```

0
1
2
3

Dispatching

Classi e interfacce permettono di definire
il layout del dispatch vector



Metodi statici

- Appartengono alla classe e non possono accedere a variabili di istanza (non hanno il parametro implicito **`this`**)
- Runtime: sono implementati esattamente con procedure a top-level
- Sostanzialmente non sono metodi

Ereditarieta' multipla

- Pone una serie di problemi (overhead non trascurabile)
- Clash dei nomi
- Si puo' adattare la gestione della vtable per gestire le chiamate dei metodi?

Ereditarietà multipla

- C++: una classe puo estendere più classi

```
class A { int m(); }
    class B { int m(); }
    class C extends A,B {...} // m quale dei due?
```

- Documentazione: “C++, fields and methods can be duplicated when such ambiguity arises”
- Java: una classe può implementare più interfacce.
- Se le interfacce contengono lo stesso metodo la classe avrà una sola implementazione

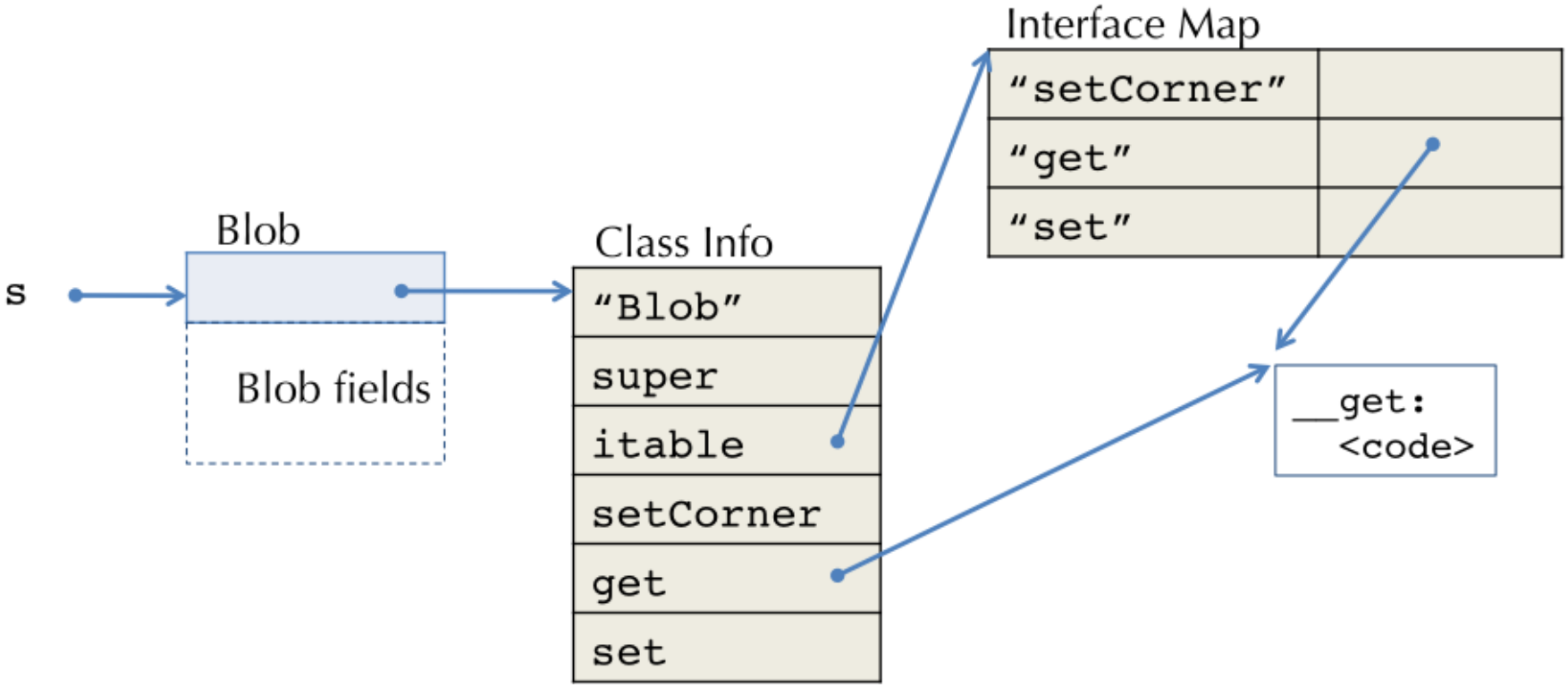
```
interface A { int m(); }
    interface B { int m(); }
    class C implements A,  B {int m() {...}}
// solo un cod di m
```

Indici e Dispatch Vector

```
interface Shape {                                  D.V.Index
  void setCorner(int w, Point p);                      0
}

interface Color {
  float get(int rgb);                                  0
  void set(int rgb, float value);                      1
}

class Blob implements Shape, Color {
  void setCorner(int w, Point p) {…}                   0?
  float get(int rgb) {…}                               0?
  void set(int rgb, float value) {…}                   1?
}
```

Soluzione 1

- Tabella di supporto Interface Table per associare il codice ai metodi

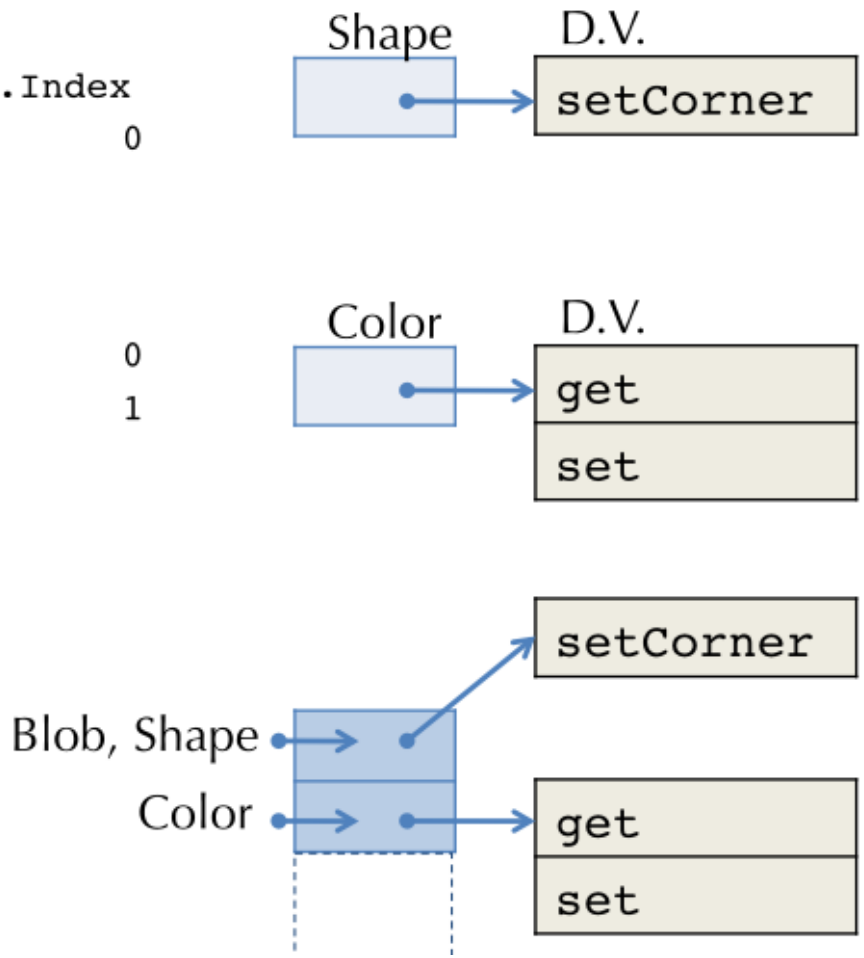


Soluzione 2: hashing per indici

```
interface Shape {                          D.V.Index
  void setCorner(int w, Point p);          hash("setCorner") = 11
}

interface Color {
  float get(int rgb);                      hash("get") = 4
  void set(int rgb, float value);          hash("set") = 7
}

class Blob implements Shape, Color {
  void setCorner(int w, Point p) {…}           11
  float get(int rgb) {…}                       4
  void set(int rgb, float value) {…}           7
}
```

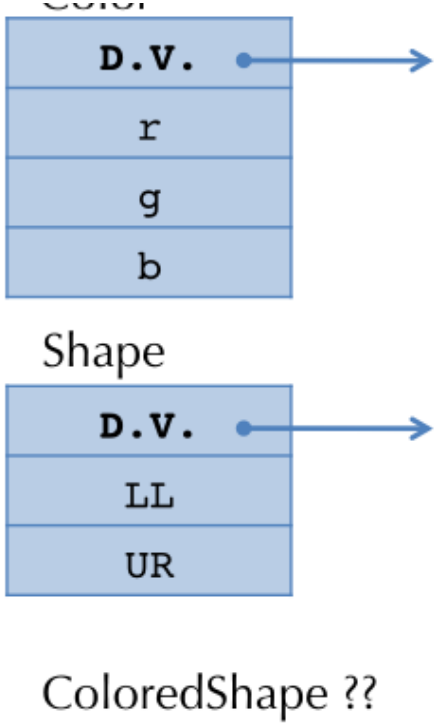
Soluzione 3: duplicare i dispatch vector

```
interface Shape {                          D.V.Index
  void setCorner(int w, Point p);              0
}

interface Color {
  float get(int rgb);                          0
  void set(int rgb, float value);              1
}

class Blob implements Shape, Color {
  void setCorner(int w, Point p) {…}
  float get(int rgb) {…}
  void set(int rgb, float value) {…}
}
```



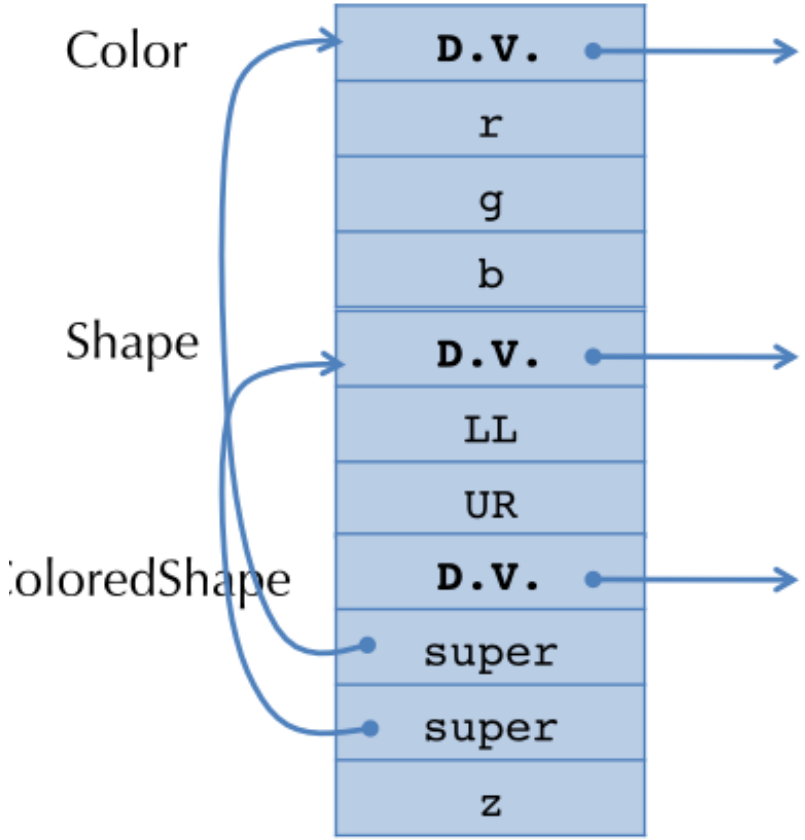
Ereditarietà multipla (C++)

```
class Color {
  float r, g, b; /* offsets: 4,8,12 */
}
class Shape {
  Point LL, UR; /* offsets: 4, 8 */
}
class ColoredShape extends
Color, Shape {
  int z;
}
```



Soluzione C++

- Aggiungere alla classe i puntatori alle classi padre



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

Class loading in Java

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

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

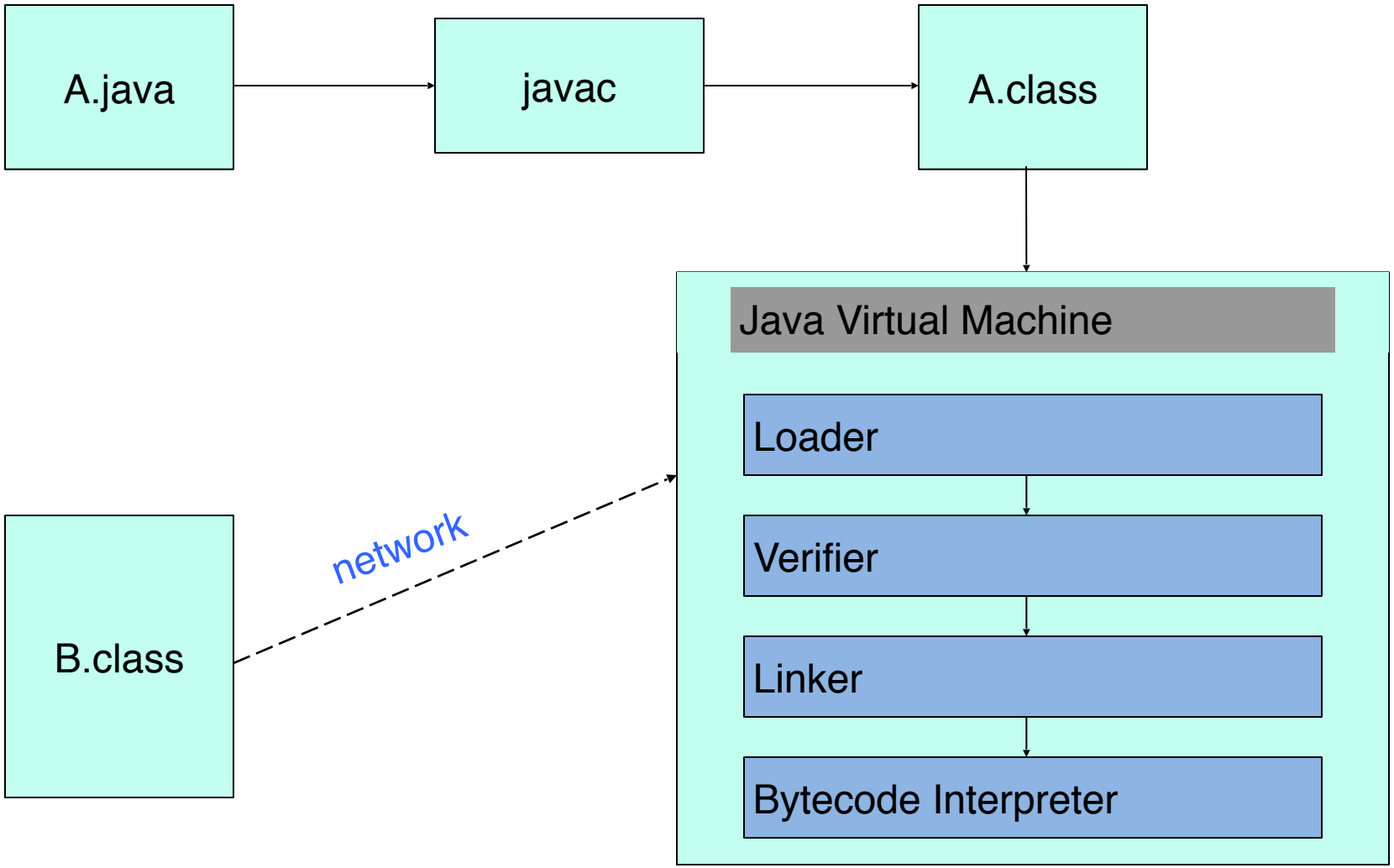
```
access(A,m1()) = offset1
```

Raffinamento della struttura di A

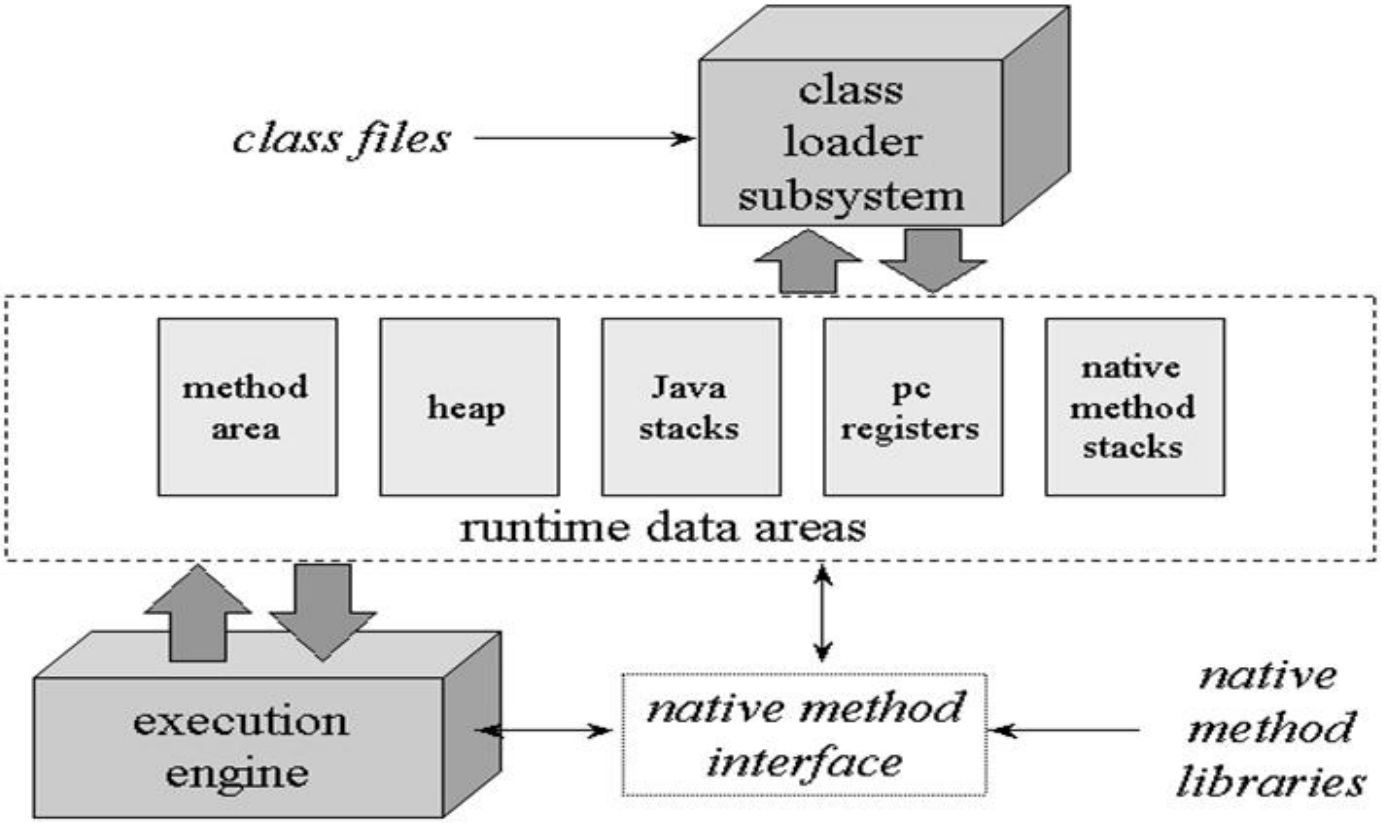
```
class A {
  :
  void ma() {…}
  void mb() {…}
  void m1() {…}
  void m2() {…}
}
```

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

JVM: visione di insieme



JVM: visione di insieme



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>
```

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

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*

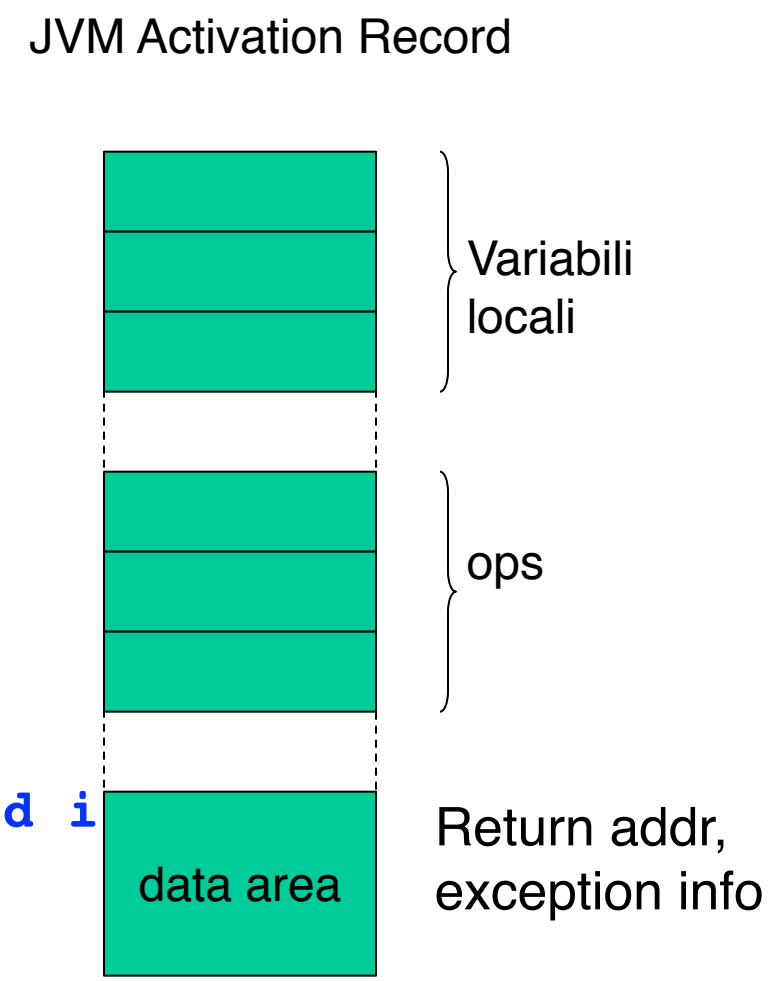
E i metodi?

- 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

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 #2   // Field 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, …

Come si eseguono i metodi?

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)

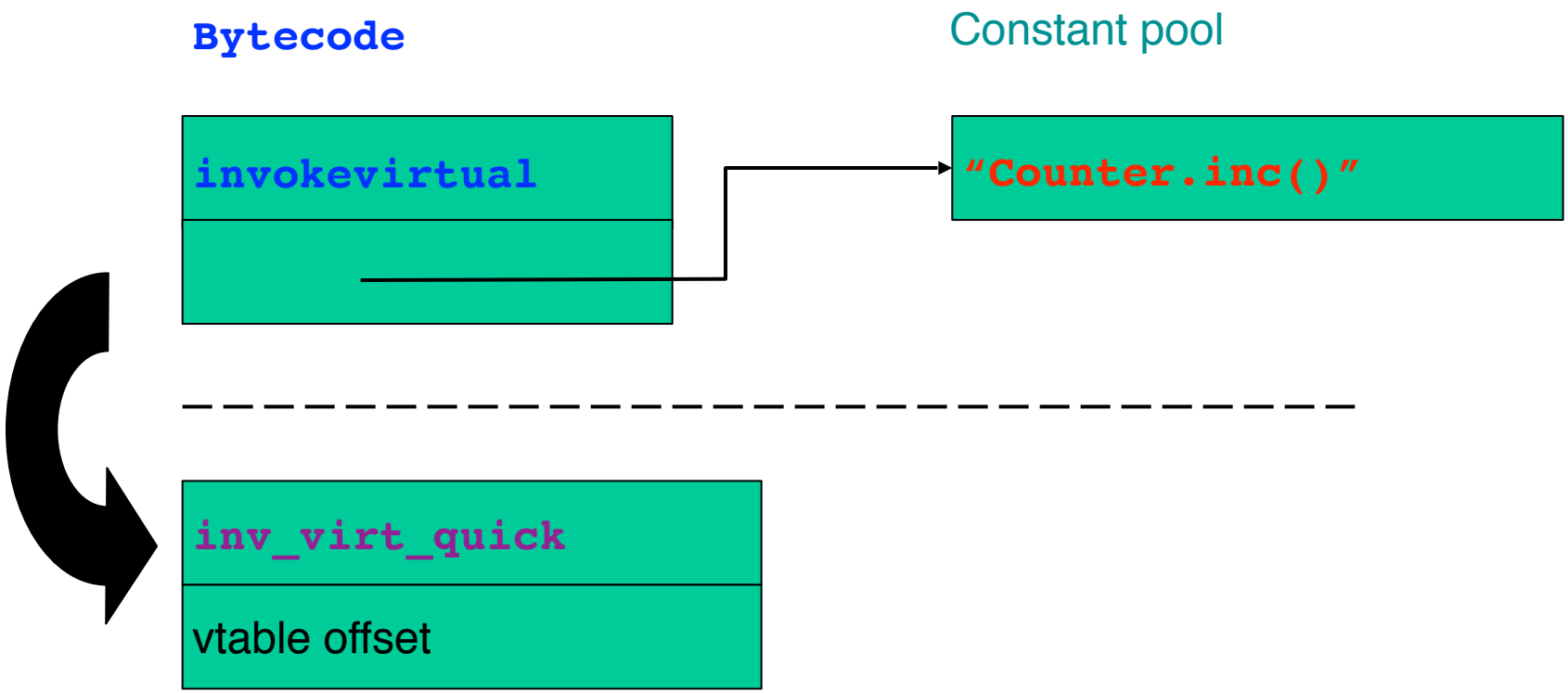
Returning from methods:

- **`return, ireturn, lreturn, areturn, freturn, …`**

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
```

Esempio: `invokevirtual`



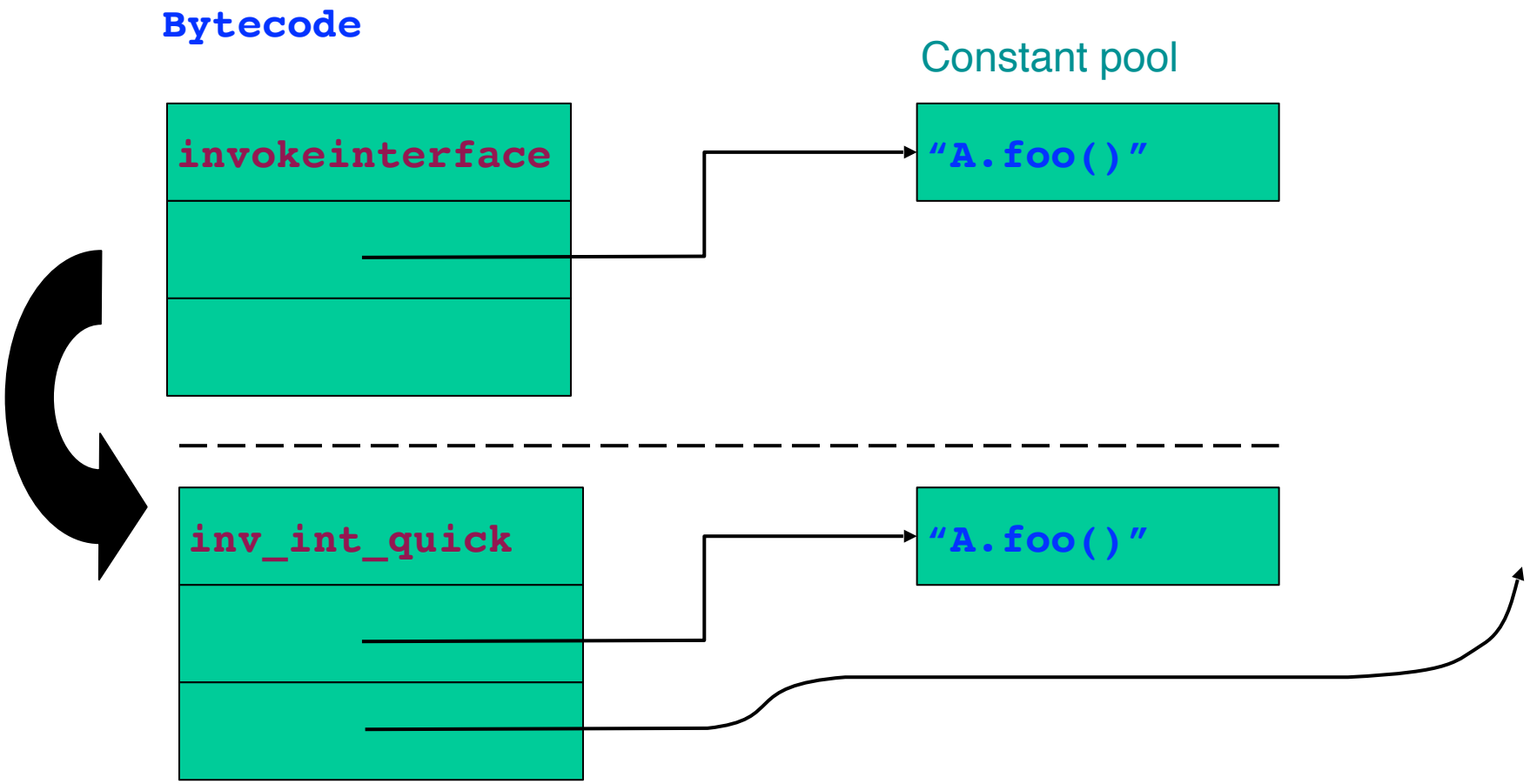
- Dopo la ricerca si possono utilizzare gli offset calcolati la prima volta (senza overhead di ricerca)

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() { .. }
  :
}
```

Bytecode: invokeinterface



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

Ereditarietà multipla

- Complicazione della compilazione
- Complicazione delle struttura a runtime
- Noi non lo trattiamo (alcuni dettagli in GM)