SEMANTICA DEI LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE

Semantica e supporto a run time

- Le differenze fra i linguaggi di programmazione si riflettono in differenze nelle corrispondenti implementazioni
- Tutte le caratteristiche importanti per progettare un interprete o un supporto a tempo di esecuzione, si possono ricavare analizzando la semantica operazionale del linguaggio

La nostra visione: Semantiche "eseguibili"

- Ocaml come metalinguaggio per esprimere la semantica dei linguaggi di programmazione
  - semantiche eseguibili che ci permettono di analizzare e valutare tutte le caratteristiche dei diversi paradigmi di programmazione e dei loro meccanismo di implementazione

3

E I DATI?

4

A cosa servono?

- *Livello di progetto*: Organizzano l'informazione
  - Tipi diversi per concetti diversi:
  - Meccanismi espliciti dei linguaggi per l'astrazione sui dati (esempio classi e oggetti)
- *Livello di programma*: Identificano e prevengono errori
  - I tipi sono controllabili automaticamente
  - Costituiscono un "controllo dimensionale":
    - ✓ L'espressione **3+"pippo"** deve essere sbagliata
- *Livello di implementazione*: Permettono alcune ottimizzazioni
  - Bool richiede meno bit di real
  - Strumenti per fornire informazione necessaria alla macchina astratta per allocare spazio di memoria

5

Dati: classificazione

- ***Denotabili***: se possono essere associati ad un nome
- ***Esprimibili***: se possono essere il risultato della valutazione di una espressione complessa (diversa dal semplice nome)
- ***Memorizzabili***: se possono essere memorizzati in una variabile

6

Esempio: le funzioni in ML (puro)

- Denotabili:
  - let plus (x, y) = x+y
- Esprimibili:
  - let plus = function(x: int) -> function(y:int) -> x+y
- Memorizzabili: NO

7

TIPI

Un tipo e' una collezione di valori dotata di un insieme di operazioni per manipolare tali valori.

La distinzione tra collezioni di valori che sono tipi o non sono tipi e' una nozione che dipende dal linguaggio di programmazione.

Sistema di tipi

- I linguaggi moderni prevedono di associare tipi con i valori manipolati dai costrutti linguistici
- ***Sistema di tipi***: il complesso delle informazioni che regolano i tipi nel linguagggio di programmazione
  - Tipi predefiniti
  - Meccanismi per definire e associare un tipo ai costrutti
  - Regole per definire equivalenza, compatibilita' e inferenza

9

Sistema di Tipi

- Un sistema di tipo per un linguaggio e' detto ***type safe*** quando nessun programma puo' violare le distinzioni tra i tipi del linguaggio
  - Nessun programma durante l'esecuzione puo' generare un errore che derivi da una violazione di tipo

10

Type Checking

- Strumento che assicura che un programma segue le regole di compatibilita' dei tipo.
- Linguaggio e' **strongly typed** se evita l'uso non conforme ai tipi richiesti delle operazioni del linguaggi
- Linguaggio e' ***statically typed*** se e' *strongly typed* e il controllo dei tipi viene fatto staticamente
- Linguaggio e' ***dynamically typed*** se il controllo dei tipi viene fatto a run time.

11

Regole di type checking

Regole di tipo definiscono quando un costrutto del linguaggio soddisfa i requisti di tipo.

$$\frac{tenv \triangleright ehrs \Rightarrow tval \quad tenv[tval / x] \triangleright ebody \Rightarrow t}{tenv \triangleright \text{Let x} = \text{erhs in ebody} \Rightarrow t}$$

12

Inferenza di tipo

- **Type inference:** il meccanismo di inferenza di tipi consente di dedurre il tipo associato a un programma senza bisogno di dichiarazioni esplicite
- Ocaml

```
# let revPair (x, y) = (y, x);;
val revPair : 'a * 'b -> 'b * 'a = <fun>
```

13

Come opera l'inferenza?

let f x = 2 + x;;
val f : int -> int = <fun>

1. Quale e' il tipo di f?
2. L'operatore + ha due tipi:
   int → int → int,
   real → real → real,
3. La costante 2 e' di tipo int
4. Questo ci permette di concludere che + : int → int → int
5. Dal contesto di uso deriviamo che x:int
6. In conclusione f(x:int) = 2+x ha tipo int → int

ALGORITMO EFFETTIVO DI ML E' PIU" COMPLESSO.

14

Storia piu' articolata

- L'algoritmo di inferenza di tipo e' stato originariamente introdotto da Haskell Curry e Robert Feys per il lambda calcolo tipato semplice nel 1958.
- Nel 1969, Roger Hindley ha esteso l'algoritmo dimostrando che restituisce il tipo piu' generale
- Nel 1978 Robert Milner introduce in modo indipendente un algoritmo, denominato W, per il linguaggio ML. L'algoritmo e' in seguito dimostrato essere equivalente a quello proposto da Hindley.
- Nel 1982 Luis Damas dimostra la completezza dell'algoritmo per ML.

15

Inferenza di tipo e type checking

- Java, C, and C++, C# utilizzano un meccanismo di type checking
  - Le annotazioni di tipo sono espliciti
- ML, Ocaml, F#, Haskell utilizzano l'inferenza di tipo (ma lo usano anche C# 3.0, Visual Basic .Net 9.0)
  - Il compilatorre determina il tipo piu' generale (*the most general type).*

16

Statico vs Dinamico

- JavaScript: controllo di tipo dinamico

```
js> var f= 3;
js> f(2);
typein:3: TypeError: f is not a function
js>
```

- ML: controllo di tipo statico

  f(x) f : A → B <fun> e x : A

Controlli statici e dinamici

- ***Controllo dinamico***: la macchina stratta deve controllare che ogni operazione sia applicata a operandi del tipo corretto
  - Overhead in esecuzione
- ***Controllo statico***: I controlli vengono effettuati dal compilatore prima della generazione del codice
  - Efficienza dovuta all'analisi statica
  - Prezzo da pagare: progettazione del linguaggio e compilazione piu' lenta

18

Consideriamo il seguente farmmento di programma (ML-like)

let x = 1 in
if (0 = 1) then x = “errore”
else x = 5

Il frammento non causa alcun errore per l’uso scorretto della variabile x

il sistema di tipo di ML invece lo Segnala come non corretto

19

Esiste un metodo generale per stabilire se un generico programma determina un errore di tipo?

```
int X;
P; //invocazione della procedura P
X = “errore”
```

Se esistesse lo potremmo applicare al nostro semplice programma

20

```
Int X;
P; //invocazione della procedura P
X = "errore"
```

Esiste un metodo generale per stabilire se un generico programma determina un errore di tipo?
Se esistesse lo potremmo applicare al nostro semplice programma

Si deve decidere la terminazione della procedura P.
Non e' decibile: lo vedrete il prossimo anno

21

Linguaggi e Tipi

- **OCAML**: *strongly typed* la maggior parte dei controlli e' statica
- **Java**: *strongly typed* ma con controlli a run-time
- **C** difficilmente fa controlli a run-time
- Linguaggi di scripting modermi (**Python, JavaScript**) sono fortementi tipati con controllo dinamico

22

Polimorfismo

- Idea di base e' fare in modo che una operazioni possa essere applicata ad un insieme di tipi
- OCAML supporta il polimorfismo parametrico staticamente mediante un meccanismo per l'inferenza di tipo
- Polimorfismo di sottotipo. Una variabile X di tipo T puo' essre ussata in tutti quei contesti in cui e' previsto un tipo T' derivato da T
  - C++, Java, Eiffel, C#

23

Analisi

- Polimorfismo paramerico (ML)
  - Uno stesso algoritmo (codice) puo' avere molti tipi (basta rimpiazzare le variabili di tipo)
  - Se f:t→t allora f:int→int, f:bool→bool, ...
- Polimorfismo da sottotipo
  - Uno stesso simbolo puo' fare riferimento a algoritmi diofferenti
  - La scelta dell'algoritmo effettivo da eseguire e' determinata dal contesto dei tipi
  - Tipi associati ai nomi possono essere differenti
  - + ha tipo int*int→int, real*real→real

24

Tipi di Dato di Sistema e di Programma

- in una macchina astratta (e in una semantica) si possono vedere due classi di tipi di dato (o domini semantici)
  - i *tipi di dato di sistema*
    - ✓definiscono lo stato e strutture dati utilizzate nella simulazione di costrutti di controllo
  - i *tipi di dato di programma*
    - ✓domini corrispondenti ai tipi primitivi del linguaggio ed ai tipi che l'utente può definire (se il linguaggio lo permette)
- tratteremo insieme le due classi anche se il componente "dati" del linguaggio comprende ovviamente solo i tipi di dato di programma

25

Cos'è un Tipo di Dato e cosa vogliamo sapere di lui

- una collezione di valori
  - rappresentati da opportune strutture dati + un insieme di operazioni per manipolarli
- come sempre ci interessano due livelli
  - Semantica
  - Implementazione

26

I Descrittori di Dato

- Obiettivo: rappresentare una collezione di valori utilizzando quanto ci viene fornito da un linguaggio macchina
  - un po' di tipi numerici, caratteri,
  - sequenze di celle di memoria
- qualunque valore della collezione è alla fine una stringa di bits
- Problema: per poter riconoscere il valore e interpretare correttamente la stringa di bits
  - è necessario (in via di principio) associare alla stringa un'altra struttura che contiene la descrizione del tipo (*descrittore di dato*), che viene usato ogniqualvolta si applica al dato un'operazione
    - ✓ per controllare che il tipo del dato sia quello previsto dall'operazione (type checking "dinamico")
    - ✓ per selezionare l'operatore giusto per eventuali operazioni overloaded

27

Tipi a tempo di compilazione e a tempo di esecuzione

- se l'informazione sul tipo è conosciuta completamente "a tempo di compilazione" (OCAML)
  - si possono eliminare i descrittori di dato
  - il type checking è effettuato totalmente dal compilatore (type checking statico)
- se l'informazione sul tipo è nota solo "a tempo di esecuzione" (JavaScript)
  - sono necessari i descrittori per tutti i tipi di dato
  - il type checking è effettuato totalmente a tempo di esecuzione (type checking dinamico)
- se l'informazione sul tipo è conosciuta solo parzialmente "a tempo di compilazione" (JAVA)
  - i descrittori di dato contengono solo l'informazione "dinamica"
  - il type checking è effettuato in parte dal compilatore ed in parte dal supporto a tempo di esecuzione

28

INTERMEZZO

29

Termini

- strutture ad albero composte da simboli
  - di variabile
  - di funzione ad n argomenti (n>= 0) (costruttori)
- un termine è
  - un simbolo di variabile
  - un simbolo di funzione n-aria applicato ad n termini
- i valori di un tipo ML definito per casi sono termini senza variabili
  - type intlist = Empty | Cons of int * intlist
  - Cons(3,Empty), Cons(1, Cons(2,Empty))

30

Termini con variabili e pattern matching

- i termini con variabili
  - Cons(n,l)

  "rappresentano" insiemi possibilmente infiniti di strutture dati
- il pattern matching
  - struttura dati (termine senza variabili) vs. pattern

  può essere utilizzato per definire "selettori"
  - let head = function

    | Cons(n,l) -> n
- le variabili del pattern vengono "legate" a sottotermini (componenti della struttura dati)

31

TIPI SCALARI

32

Tipi scalari (esempi)

- Booleani
  - val: true, false
  - op: or, and, not, condizionali
  - repr: un byte
  - note: C non ha un tipo bool
- Caratteri
  - val: a,A,b,B, …, è,é,ë, ; , ‘, …
  - op: uguaglianza; code/decode; dipendenti dal linguaggio
  - repr: un byte (ASCII) o due byte (UNICODE)

33

Tipi scalari (esempi)

- Interi
  - val: 0,1,-1,2,-2,…,maxint
  - op: +, -, *, mod, div, …
  - repr: alcuni byte (2 o 4); complemento a due
  - Note:
    interi e interi lunghi (anche 8 byte); limitati problemi nella portabilità quando la lunghezza non è specificata nella definizione del linguaggio
- Reali
  - val: valori razionali in un certo intervallo
  - op: +, -, *, /, …
  - repr: alcuni byte (4); virgola mobile
  - Note:
    reali e reali lunghi (8 byte); gravi problemi di portabilità quando la lunghezza non è specificata nella definizione del linguaggio

34

Tipi scalari (esempi)

- Il tipo `void`
  - ha un solo valore
  - nessuna operazione
  - serve per definire il tipo di operazioni che modificano lo stato senza restituire alcun valore

```
void f (…) {…}
```

  - il valore restituito da f di tipo `void` è sempre il solito (e dunque non interessa)

35

Tipi composti

- Record
  - collezione di campi (fields), ciascuno di un (diverso) tipo
  - un campo è selezionato col suo nome
- Record varianti
  - record dove solo alcuni campi (mutuamente esclusivi) sono attivi ad un dato istante
- Array
  - funzione da un tipo indice (scalare) ad un altro tipo
  - array di caratteri sono chiamati stringhe; operazioni speciali
- Insieme
  - sottinsieme di un tipo base
- Puntatore
  - riferimento (*reference*) ad un oggetto di un altro tipo

36

Records

- Introdotti per manipolare in modo unitario dati di tipo eterogeneo
- C, C++, CommonLisp, Algol68
- Java: non ha tipi record, sussunti dalle classi
- Esempio, in C:

```
struct studente {
    char nome[20];
    int matricola; };
```

- Selezione di campo:

```
studente s;
s.matricola=343536;
```

- record possono essere annidati
- memorizzabili, esprimibili e denotabili
  - ✓ Pascal non ha modo di esprimere "un valore record costante"
  - ✓ C lo può fare, ma solo nell'inizializzazione (initializer)
  - ✓ uguaglianza generalmente non definita (contra: Ada)

37

Records: implementazione

- memorizzazione sequenziale dei campi
- allineamento alla parola (16/32/64 bit)
  - spreco di memoria
- Pudding o packed records
  - disallineamento
  - accesso più costoso

38

Record implementazione

```
struct x_
{
   char a;      // 1 byte
   int b;       // 4 bytes
   short c;     // 2 bytes
   char d;      // 1 byte
};
```

L'allineamento alla parola determina uno spreco di occupazione di memoria.

39

Record Implementazione

```
// effettivo "memory layout" (C COMPILER)
struct x_{
char a;           // 1 byte
char _pad0[3];    // padding 'b' su 4 byte
int b;            // 4 bytes
short c;          // 2 bytes
char d;           // 1 byte
char _pad1[1];    // padding sizeof(x_)
                  // multiplo di4
}
```

40

Arrays

- Collezioni di dati omogenei:
  - funzione da un tipo indice al tipo degli elementi
  - indice: in genere discreto
  - elemento: “qualsiasi tipo” (raramente un tipo funzionale)
- Dichiarazioni
  - C: int vet[30]; tipo indice: tra 0 e 29
- Array multidimensionali
- Principale operazione permessa:
  - selezione di un elemento: vet[3], mat[10,’c’]
  - attenzione: la modifica non è un’operazione sull’array, ma sulla locazione modificabile che memorizza un (elemento di) array

41

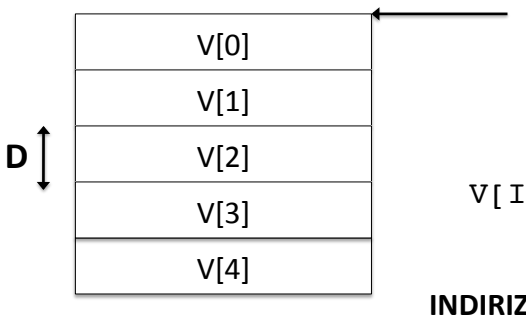
Array: implementazione

- Elementi memorizzati in locazioni contigue:
  - ordine di riga: V[1,1];V[1,2];…;V[1,10];V[2,1];…
    - ✓ maggiormente usato;
  - ordine di colonna: V[1,1];V[2,1];V[3,1];…;V[10,1];V[1,2];…
- Formula di accesso (caso lineare)
  - Vettore V[N] of elem_type
  - V[I] = base + c*I,
    dove c e’ la dimensione per memorizzare un elem_type
- Formula di accesso (piu’ articolata) puo’ essere stabilita anche per gli array multidimensionali (dettagli nel libro di testo)

42

Accesso Array: esempio

int V[5]



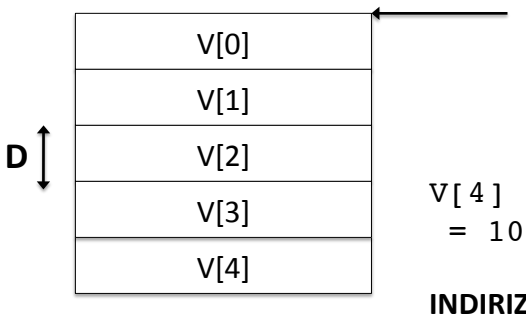
`V[I] = BASE + I * D`

INDIRIZZO DI BASE + OFFSET

D dimensione in byte del tipo di base

Accesso Array: esempio

int V[5]




```
V[4] = 1000+ 4 * 4
 = 1016
```

INDIRIZZO DI BASE + OFFSET

D dimensione in byte del tipo di base = 4 byte

Il caso del C

- Il C non prevede controlli a run-time sulla correttezza degli indici di array.
- Esempio: un array di 20 elementi di dimensione 2 byte allocato all'indirizzo 1000, l'ultima cella valida (indice 19) e' allocata all'indirizzo 1038;
- Se il programma, per errore, tenta di accedere il vettore all'indice 40, il run-time non rileverà l'errore e fornirà un accesso scorretto alla locazione di memoria 1080.

45

Puntatori

- Valori : riferimenti; costante `null` (`nil`)
- Operazioni:
  - creazione
    - ✓ funzioni di libreria che alloca e restituisce un puntatore (eg, **`malloc`**)
  - dereferenziazione
    - ✓ accesso al dato "puntato": **`*p`**
  - test di uguaglianza
    - ✓ in specie test di uguaglianza con **`null`**

46

Array e puntatori in C

- Array e puntatori sono intercambiabili in C (!!)

```
int n;
int *a;       // puntatore a interi
int b[10];    // array di 10 interi
…
a = b;         // a punta all'elemento iniziale di b
n = a[3];      // n ha il valore del terzo elemento di b
n = *(a+3);    // idem
n = b[3];      // idem
n = *(b+3);    // idem
```

- Ma `a[3]=a[3]+1;`
  modificherà anche `b[3]` (è la stessa cosa!).

47

TIPI DI DATO DI SISTEMA

48

Pila non modificabile: interfaccia

```
# module type PILA =
   sig
     type 'a stack
     val emptystack : int * 'a -> 'a stack
     val push : 'a * 'a stack -> 'a stack
     val pop : 'a stack -> 'a stack
     val top : 'a stack -> 'a
     val empty : 'a stack -> bool
     val lungh : 'a stack -> int
     exception Emptystack
     exception Fullstack
   end
```

49

Pila non modificabile: semantica

```
# module SemPila: PILA =
 struct
      type 'a stack = Empty of int | Push of 'a stack * 'a (*tipo algebrico *)
      exception Emptystack
      exception Fullstack
      let emptystack (n, x) = Empty(n)
      let rec max = function
            | Empty n -> n
            | Push(p,a) -> max p
      let rec lungh = function
               | Empty n -> 0
               | Push(p,a) -> 1 + lungh(p)
      let push (a, p) = if lungh(p) = max(p) then raise Fullstack else Push(p,a)
      let pop = function
          | Push(p,a) -> p
          | Empty n -> raise Emptystack
      let top = function
          | Push(p,a) -> a
          | Empty n -> raise Emptystack
      let empty = function
          | Push(p,a) -> false
          | Empty n -> true
 end
```

50

semantica algebrica

```
'a stack = Empty of int | Push of 'a stack * 'a
emptystack (n, x) = Empty(n)
lungh(Empty n) = 0
lungh(Push(p,a)) = 1 + lungh(p)
push(a,p) = Push(p,a)
pop(Push(p,a)) = p
top(Push(p,a)) = a
empty(Empty n) = true
empty(Push(p,a)) = false
```

Semantica "isomorfa" ad una specifica in stile algebrico

semantica delle operazioni definita da un insieme di equazioni fra termini

il tipo di dato è un'algebra (iniziale)

Pila non modificabile: implementazione

```
# module ImpPila: PILA =
  struct
    type 'a stack = Pila of ('a array) * int
    exception Emptystack
    exception Fullstack
    let emptystack (nm,x) = Pila(Array.create nm x, -1)
    let push(x, Pila(s,n)) = if n = (Array.length(s) - 1) then
                  raise Fullstack else
                  (Array.set s (n +1) x;
                  Pila(s, n +1))
    let top(Pila(s,n)) = if n = -1 then raise Emptystack
                         else Array.get s n
    let pop(Pila(s,n)) = if n = -1 then raise Emptystack
                         else Pila(s, n -1)
    let empty(Pila(s,n)) = if n = -1 then true else false
    let lungh(Pila(s,n)) = n
  end
```

52

Pila non modificabile: implementazione

 # module ImpPila: PILA =
struct
type 'a stack = Pila of ('a array) * int
.....
end

- il componente principale dell'implementazione è un array
  - (astrazione della) memoria fisica in una implementazione in linguaggio macchina
- classica implementazione sequenziale
  - utilizzata anche per altri tipi di dato simili alle pile (code)

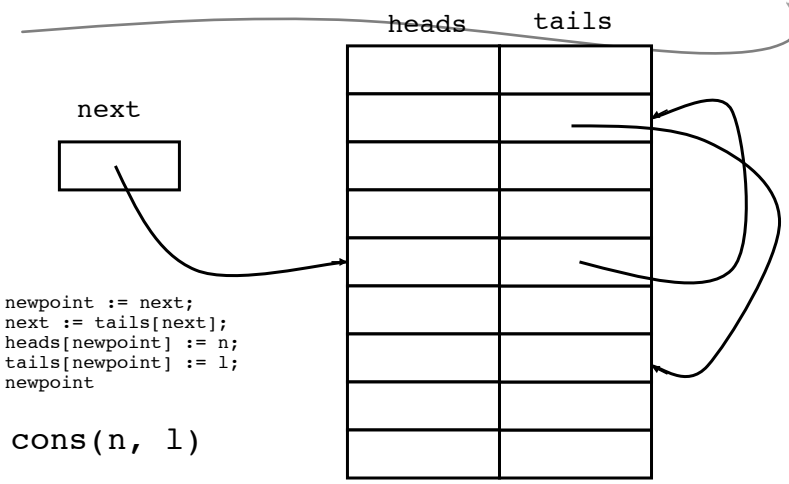
53

Lista (non polimorfa): interfaccia

```
# module type LISTAINT =
   sig
     type intlist
     val emptylist :  intlist
     val cons : int  * intlist -> intlist
     val tail : intlist -> intlist
     val head : intlist -> int
     val empty : intlist -> bool
     val length : intlist -> int
     exception Emptylist
   end
```

54

Heap, lista libera, allocazione



55

Lista: implementazione a heap

```
# module ImpListaInt: LISTAINT =
  struct
     type intlist = int
     let heapsize = 100
     let heads = Array.create heapsize 0
     let tails = Array.create heapsize  0
     let next = ref(0)
     let emptyheap =
         let index = ref(0) in
         while !index < heapsize do
           Array.set tails !index (!index + 1); index := !index + 1
         done;
         Array.set tails (heapsize - 1) (-1); next := 0
     exception Fullheap
     exception Emptylist
     let emptylist = -1
     let empty l = if l = -1 then true else false
     let cons (n, l) = if !next = -1 then raise Fullheap else
       ( let newpoint = !next in  next := Array.get tails !next;
         Array.set heads newpoint n; Array.set tails newpoint l; newpoint)
     let tail l = if empty l then raise Emptylist else Array.get tails l
     let head l = if empty l then raise Emptylist else Array.get heads l
     let rec length l = if l = -1 then 0 else 1 + length (tail l)
  end
```

56

Pila modificabile: interfaccia

```
# module type MPILA =
  sig
    type 'a stack
   val emptystack : int * 'a -> 'a stack
   val push : 'a * 'a stack -> unit
   val pop : 'a stack -> unit
   val top : 'a stack -> 'a
   val empty : 'a stack -> bool
   val lungh : 'a stack -> int
    val svuota : 'a stack -> unit
    val access : 'a stack * int -> 'a
    exception Emptystack
    exception Fullstack
    exception Wrongaccess
  end
```

57

Pila modificabile: semantica

```
# module SemMPila: MPILA =
  struct
    type 'a stack = ('a SemPila.stack) ref
    exception Emptystack
    exception Fullstack
    exception Wrongaccess
    let emptystack (n, a) = ref(SemPila.emptystack(n, a) )
    let lungh x = SemPila.lungh(!x)
    let push (a, p) = p :=  SemPila.push(a, !p)
    let pop x =  x := SemPila.pop(!x)
    let top x = SemPila.top(!x)
    let empty x = SemPila.empty !x
    let rec svuota x =  if empty(x) then () else (pop x; svuota x)
    let rec faccess (x, n) =
       if n = 0 then SemPila.top(x) else faccess(SemPila.pop(x), n-1)
    let access (x, n) = let nofpops = lungh(x) - 1 - n in
       if nofpops < 0 then raise Wrongaccess else faccess(!x, nofpops)
  end
```

58

Pila modificabile: implementazione

```
module ImpMPila: MPILA =
  struct
   type 'x stack = ('x array) * int ref
   exception Emptystack
   exception Fullstack
   exception Wrongaccess
   let emptystack(nm,(x: 'a)) = ((Array.create nm x, ref(-1)): 'a stack)
   let push(x,((s,n): 'x stack)) = if !n = (Array.length(s) - 1) then
                 raise Fullstack else (Array.set s (!n +1) x; n := !n +1)
   let top(((s,n): 'x stack)) = if !n = -1 then raise Emptystack
                          else Array.get s !n
   let pop(((s,n): 'x stack)) = if !n = -1 then raise Emptystack
                          else n:= !n -1
   let empty(((s,n): 'x stack)) = if !n = -1 then true else false
   let lungh( (s,n): 'x stack) = !n
   let svuota (((s,n): 'x stack)) = n := -1
   let access (((s,n): 'x stack), k) =
    (*          if not(k > !n) then   *)
          Array.get s k
    (*          else raise Wrongaccess  *)
 end
```


Programmi come dati

- la caratteristica fondamentale della macchina di Von Neumann
  - i programmi sono un particolare tipo di dato rappresentato nella memoria della macchina

  permette, in linea di principio, che, oltre all'interprete, un qualunque programma possa operare su di essi
- possibile sempre in linguaggio macchina
- possibile nei linguaggi ad alto livello
  - se la rappresentazione dei programmi è visibile nel linguaggio
  - e il linguaggio fornisce operazioni per manipolarla
- di tutti i linguaggi che abbiamo nominato, gli unici che hanno questa caratteristica sono LISP e PROLOG
  - un programma LISP è rappresentato come S-espressione
  - un programma PROLOG è rappresentato da un insieme di termini

Metaprogrammazione

- un metaprogramma è un programma che opera su altri programmi
- esempi: interpreti, analizzatori, debuggers, ottimizzatori, compilatori, etc.
- la metaprogrammazione è utile soprattutto per definire, nel linguaggio stesso,
  - strumenti di supporto allo sviluppo
  - estensioni del linguaggio

61

definizione di tipi di dato

- la programmazione di applicazioni consiste in gran parte nella definizione di "nuovi tipi di dato"
- un qualunque tipo di dato può essere definito in qualunque linguaggio
  - anche in linguaggio macchina
- gli aspetti importanti
  - quanto costa?
  - esiste il tipo?
  - il tipo è astratto?

62

Quanto costa? 1

- il costo della simulazione di un "nuovo tipo di dato" dipende dal repertorio di strutture dati primitive fornite dal linguaggio
  - in linguaggio macchina, le sequenze di celle di memoria
  - in FORTRAN e ALGOL'60, gli arrays
  - in PASCAL e C, le strutture allocate dinamicamente ed i puntatori
  - in LISP, le s-espressioni
  - in ML e Prolog, le liste ed i termini
  - in C++ e Java, gli oggetti

63

Quanto costa? 2

- è utile poter disporre di
  - strutture dati statiche sequenziali, come gli arrays e i records
  - un meccanismo per creare strutture dinamiche
    - ✓tipo di dato dinamico (lista, termine, s-espressione)
    - ✓allocazione esplicita con puntatori (à la Pascal-C, oggetti)

64

Esiste il tipo?

- anche se abbiamo realizzato una implementazione delle liste (con heap, lista libera, etc.) in FORTRAN o ALGOL
  - non abbiamo veramente a disposizione il tipo
- poichè i tipi non sono denotabili
  - non possiamo "dichiarare" oggetti di tipo lista
- stessa situazione in LISP e Prolog
- in PASCAL, ML, Java i tipi sono denotabili, anche se con meccanismi diversi
  - dichiarazioni di tipo
  - dichiarazioni di classe

65

Dichiarazioni di classe

- il meccanismo di C++ e Java (anche OCAML)
- il tipo è la classe
  - Parametrico, con relazioni di sottotipo
- i valori del nuovo tipo (oggetti) sono creati con un'operazione di istanziazione della classe
  - non con una dichiarazione
- la parte struttura dati degli oggetti è costituita da un insieme di variabili istanza (o fields) allocati sulla heap

66

Il tipo è astratto?

- un tipo astratto è un insieme di valori
  - di cui non si conosce la rappresentazione (implementazione)
  - che possono essere manipolati solo con le operazioni associate
- sono tipi astratti tutti i tipi primitivi forniti dal linguaggio
  - la loro rappresentazione effettiva non ci è nota e non è comunque accessibile se non con le operazioni primitive
- per realizzare tipi di dato astratti servono
  - un meccanismo che permette di dare un nome al nuovo tipo (dichiarazione di tipo o di classe)
  - un meccanismo di "protezione" o information hiding che renda la rappresentazione visibile soltanto alle operazioni primitive
    - ✓ variabili istanza private in una classe
    - ✓ moduli e interfacce in C ed ML

67