PROGRAMMAZIONE 2
18. Dati

A cosa servono?

- *Livello di progetto*: organizzano l'informazione
  - tipi diversi per concetti diversi
  - meccanismi espliciti dei linguaggi per l'astrazione sui dati (ad 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 informazioni necessarie alla macchina astratta per allocare spazio di memoria

Dati: classificazione

- ***Denotabili***: se possono essere associati ad un nome
  - let plusone = (fun x -> x + 1);;
- ***Esprimibili***: se possono essere il risultato della valutazione di una espressione complessa (diversa dal semplice nome)
  - let pick_one n = if n = 0 then fun x -> x + 1
    else fun x -> x - 1;;
- ***Memorizzabili***: se possono essere memorizzati in una variabile
  - Obj.val = Obj.val + 10;

Esempio: le funzioni in ML (puro)

- Denotabili
  - let plus (x, y) = x + y
- Esprimibili
  - let plus = fun x -> fun y -> x + y
- Memorizzabili
  - NO

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 le strutture dati utilizzate nella simulazione di costrutti di controllo
  - i *tipi di dato di programma*
    - ✓ domini corrispondenti ai tipi primitivi del linguaggio e ai tipi che l'utente può definire (se il linguaggio lo consente)
- Tratteremo insieme le due classi anche se il componente "dati" del linguaggio comprende ovviamente solo i tipi di dato di programma

Cos'è un tipo di dato e cosa vogliamo saperne

- Un TD è una collezione di valori
  - rappresentati da opportune strutture dati e da un insieme di operazioni per manipolarli
- Come sempre ci interessano due livelli
  - semantica
  - implementazione

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 bit
- Problema: per poter riconoscere il valore e interpretare correttamente la stringa di bit
  - 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

Descrittori

```
type exp =
        (* AST*)
        | Eint of int
        | Ebool of bool
```

```
type val =
   (*Valori run-time*)
        |Int of int
        |Bool of bool
```

I descrittori dei tipi di dato sono espressi tramite i costruttori Int e Bool

Uso dei descrittori

```
let plus(x, y) =
   if typecheck("int", x) & typecheck("int", y)
   then  (match (x, y) with
                (Int(u), Int(w)) -> Int(u + w))
   else failwith ("type error")
```

```
let typecheck (x, y) = match x with
      | "int" ->
       (match y with
                | Int(u) -> true
                | _ -> false)
```

Tipi a tempo di compilazione e di esecuzione

1. Se l'informazione sui tipi è conosciuta completamente "a tempo di compilazione" (OCaml)
   1. si possono eliminare i descrittori di dato
   2. il type checking è effettuato totalmente dal compilatore (type checking statico)
2. Se l'informazione sui tipi è nota solo "a tempo di esecuzione" (JavaScript)
   1. sono necessari i descrittori per tutti i tipi di dato
   2. il type checking è effettuato totalmente a tempo di esecuzione (type checking dinamico)
3. Se l'informazione sui tipi è conosciuta solo parzialmente "a tempo di compilazione" (Java)
   1. i descrittori di dato contengono solo l'informazione "dinamica"
   2. il type checking è effettuato in parte dal compilatore e in parte dal supporto a tempo di esecuzione

Tipi scalari

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; dipendono dal linguaggio
  - repr: un byte (ASCII) o due byte (UNICODE)

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); problemi di portabilità quando la lunghezza non è specificata nella definizione del linguaggio

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)

Tipi composti

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

Record

- Introdotti per manipolare in modo unitario dati di tipo eterogeneo
- C, C++, CommonLisp, Ada, Pascal, 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)

Record: implementazione

- Memorizzazione sequenziale dei campi
- Allineamento alla parola (16/32/64 bit)
  - spreco di memoria

- Pudding o packed record
  - disallineamento
  - accesso più costoso

Record: implementazione

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

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

Record: implementazione

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

Record: implementazione in OCaML

```
type label = Lab of string
type exp = …
         | Record of (label * expr) list
         | Select of expr * label

Record [(Lab "size", Int 7); (Lab "weight", Int 255)]
```

Funzioni di valutazione

```
let rec lookupRecord body (Lab l) =
        match body with
         | [] -> raise FieldNotFound
         | (Lab l', v) :: t ->
             if l = l' then v else lookupRecord t (Lab l)
```

Interprete

```
let rec eval e = match e with
        ...
  | Record(body) -> Record(evalRecord body)
  | Select(e, l) -> match eval e with
        |Record(body) -> lookupRecord body l
        | _ -> raise TypeMismatch

evalRecord body = match body with
        |[] -> []
        |(Lab l, e)::t -> (Lab l, eval e)::evalRecord t
```

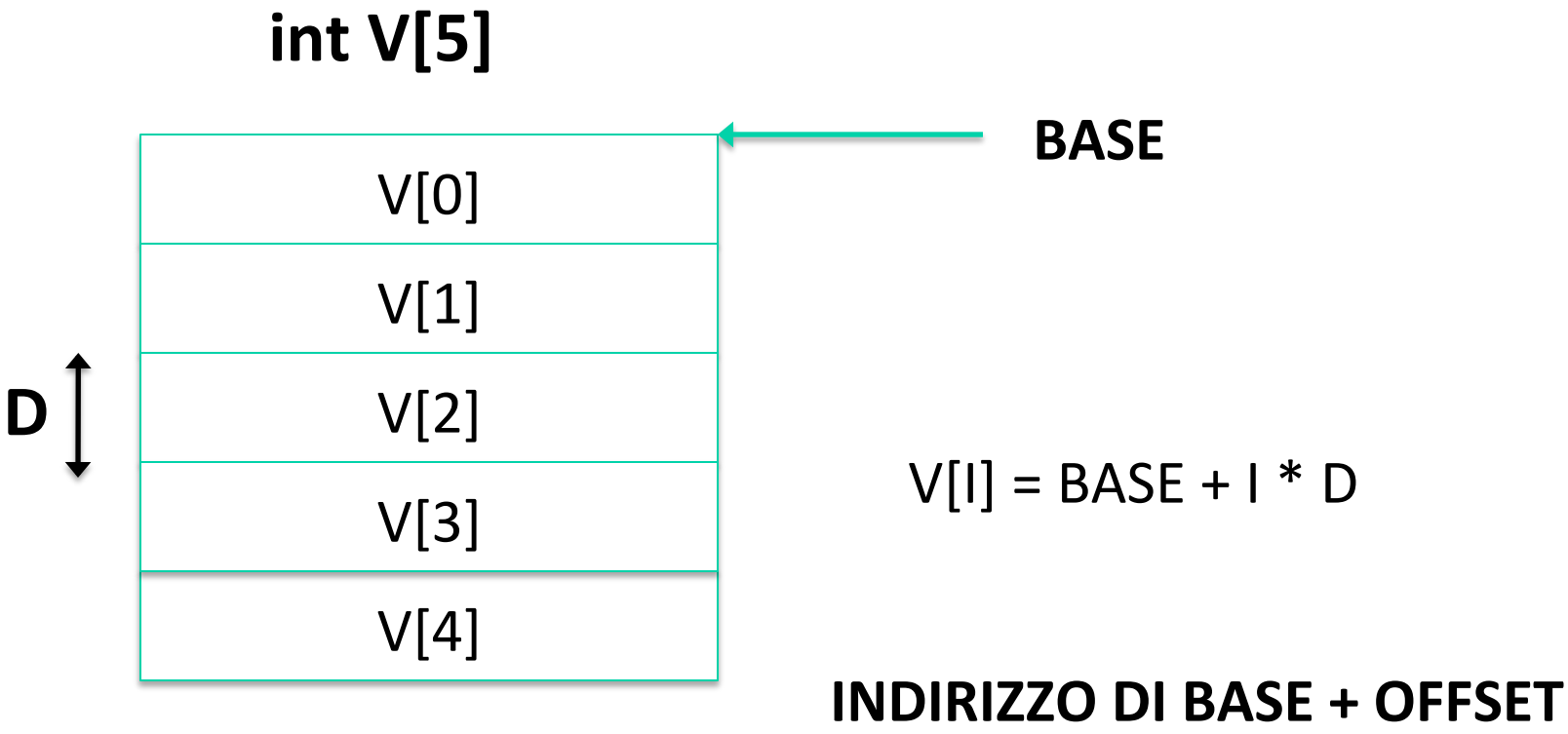
Array

- 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

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[n] = base + c*n,
    dove c è la dimensione per memorizzare un elem_type
- Un formula di accesso (più articolata) può essere stabilita anche per gli array multidimensionali

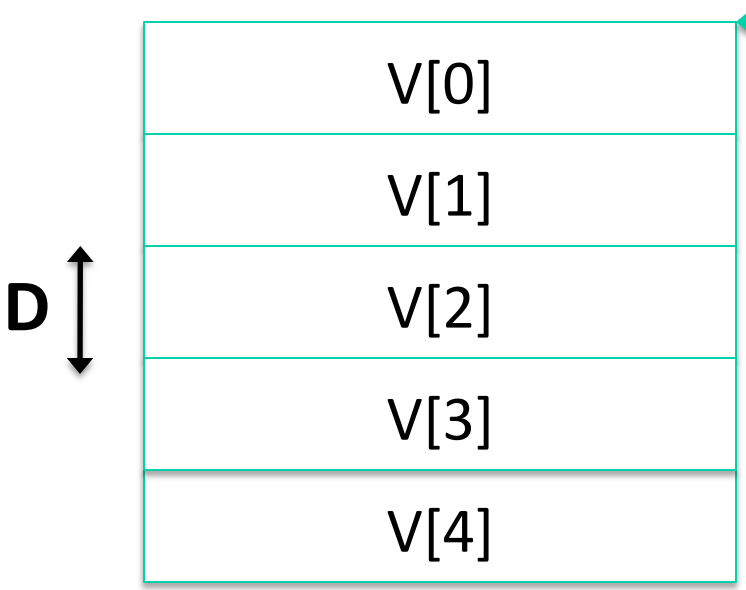
Accesso array: esempio



D dimensione in byte del tipo di base

Accesso array: esempio

int V[5]



BASE = 1000

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 runtime 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) è allocata all'indirizzo 1038
- Se il programma, per errore, tenta di accedere l'array all'indice 40, il runtime non rileverà l'errore e fornirà un accesso scorretto alla locazione di memoria 1080

Puntatori

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

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!)

Tipi di dato di sistema

Pila non modificabile: interfaccia

```
# module type Pila =
    sig
      type 'a pila
      val create : int -> 'a pila
      val push : 'a * 'a pila -> 'a pila
      val pop : 'a pila -> 'a pila
      val top : 'a pila -> 'a
      val is_empty : 'a pila -> bool
      val lungh : 'a pila -> int
      exception Empty
      exception Full
    end
```

Pila non modificabile: “semantica”

```
# module SemPila: Pila =
  struct
   type 'a pila = New of int | Push of 'a pila * 'a
                        (*tipo algebrico *)
   exception Empty
   exception Full
   let create n = New n
   let rec max = function
        | New n -> n
        | Push(p, a) -> max p
   let rec lungh = function
        | New _ -> 0
        | Push(p, _) -> 1 + lungh(p)
   …
  end
```

Pila non modificabile: “semantica”

```
# module SemPila: PILA =
  struct
   type 'a pila = New of int | Push of 'a pila * 'a
                        (*tipo algebrico *)
   …
   let push (a, p) = if lungh(p) = max(p)
                     then raise Full else Push(p, a)
   let pop = function
               | Push(p, a) -> p
               | New n -> raise Empty
   let top = function
               | Push(p, a) -> a
               | New n -> raise Empty
   let is_empty = function
               | Push(p, a) -> false
               | New n -> true
  end
```

Pila non modificabile: implementazione

```
# module ImpPila: Pila =
  struct
    type 'a pila = IPila of ('a option 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)

Pila non modificabile: implementazione

```
# module ImpPila: Pila =
  struct
    type 'a pila = IPila of ('a option array) * int
    exception Empty
    exception Full
    let create n = IPila(Array.make n None, -1)
    let push(x, IPila(s,n)) = if n = (Array.length s - 1)
                              then raise Full
                              else (Array.set s (n + 1) (Some x) ;
                                    IPila(s, n + 1))
    let top(IPila(s,n)) = if n = -1 then raise Empty
                          else (match Array.get s n with
                                  | Some y -> y)
    let pop(IPila(s,n)) = if n = -1 then raise Empty
                          else IPila(s, n -1)
    let is_empty(IPila(s,n)) = if n = -1 then true else false
    let lungh(IPila(s,n)) = n
  end
```

Pila modificabile: interfaccia

```
# module type MPila =
   sig
    type 'a pila
    val create : int -> 'a pila
    val push : 'a * 'a pila-> unit
    val pop : 'a pila -> unit
    val top : 'a pila -> 'a
    val is_empty : 'a pila-> bool
    val lungh : 'a pila-> int
    exception Empty
    exception Full
   end
```

Pila modificabile: implementazione

```
# module ImpMPila: MPila =
   struct
    type 'a pila = ('a list) ref * int ref * int
    exception Empty
    exception Full
    let create n = (ref [], ref 0, n)
    let push(x,(s,l,n)) = if !l = n then raise Full
                          else (s := x::!s; l := !l + 1)
    let top(s,l,n) = match !s with
                       | [] -> raise Empty
                       | x :: xs -> x
    let pop(s,l,n) = match !s with
                       | [] -> raise Empty
                       | x :: xs -> (s := xs; l := !l - 1)
    let is_empty(s,l,n) = if !l = 0 then true else false
    let lungh(s,l,n) = !l
  end
```

Programmi come dati

- La caratteristica base 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

Meta-programmazione

- Un meta-programma è un programma che opera su altri programmi
- Esempi: interpreti, analizzatori, debugger, ottimizzatori, compilatori, etc.
- La meta-programmazione è utile soprattutto per definire nel linguaggio stesso
  - strumenti di supporto allo sviluppo
  - estensioni del linguaggio

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?

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 array
  - in Pascal e C, le strutture allocate dinamicamente e i puntatori
  - in LISP, le s-espressioni
  - in ML e ProLog, le liste e i termini
  - in C++ e Java, gli oggetti

Quanto costa?, 2

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

Esiste il tipo?

- Anche se abbiamo realizzato una implementazione delle liste (con heap, 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 e Java i tipi sono denotabili, anche se con meccanismi diversi
  - dichiarazioni di tipo
  - dichiarazioni di classe

Dichiarazioni di classe

- Il meccanismo di C++ e Java (anche di 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 field) allocati sullo heap

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 d'istanza private in una classe
    - ✓ moduli e interfacce in C e ML