OCAML un breve ripasso

Value-oriented programming

- “value-oriented programming”: una espressione Ocaml denota un valore.
- L’esecuzione di un programma OCaml puo’ essere vista come una sequenza di passi di calcolo (semplificazioni di espressioni) che alla fine produce un valore.

Valutazione di espressioni


```
3 ⇒ 3 (valori di base)
3+4⇒7
2*(4+5) ⇒ 18
```

La notazione **<exp>** ⇒ **<val>** indica che la espressione **<exp>** quando eseguita calcola il valore **<val>**

.

E le funzioni?

Per determinare il valore calcolato dall'applicazione di una funzione a certi argomenti, si deve prima calcolare il valore degli argomenti, poi si deve sostituire il valore degli argomenti nei pararametri presenti nel corpo della funzione e poi valutare il corpo cosi' ottenuto.

```
let succ (n: int) : int = n + 1 in succ 5  ⇒ 6
```

```
succ (2 + 3)
⇒   succ(5)
⇒   (n + 1){5 -> n)
⇒   (5 + 1)
⇒   6
```

Sostituzione del valore dell'argomento nel corpo della funzione = passaggio dei parametri (per valore)

Il let?

```
let x = 2 + 1 in
let y = x + x  in
x*y
==>                dato che 2 + 1 ==> 3
let x =3 in
let y = x + x    in
x*y
==>             dato che  x + x ==> 3 + 3
= 6
let x = 3 in
let y = 6   in
x * y
==>            dato che x * y ==> 3 * 6
==> 18
18
```

Binding: associazione di un nome con un valore
Ambiente: un insieme di binding

Binding e funzioni


```
let f (x:int) : int =
  let y = x * 10 in
   y * y;;

f 5;;
- : int = 2500
```

Binding nell'ambiente tra il nome della funzione **f** e la sua definizione

In sintesi

Una dichirazione inserisce un legame nell'ambiente tra il nome dichiarato e l'espressione

Una dichiarazione puo' essere una dichiarazione di variabile e una dichiarazione di funzione

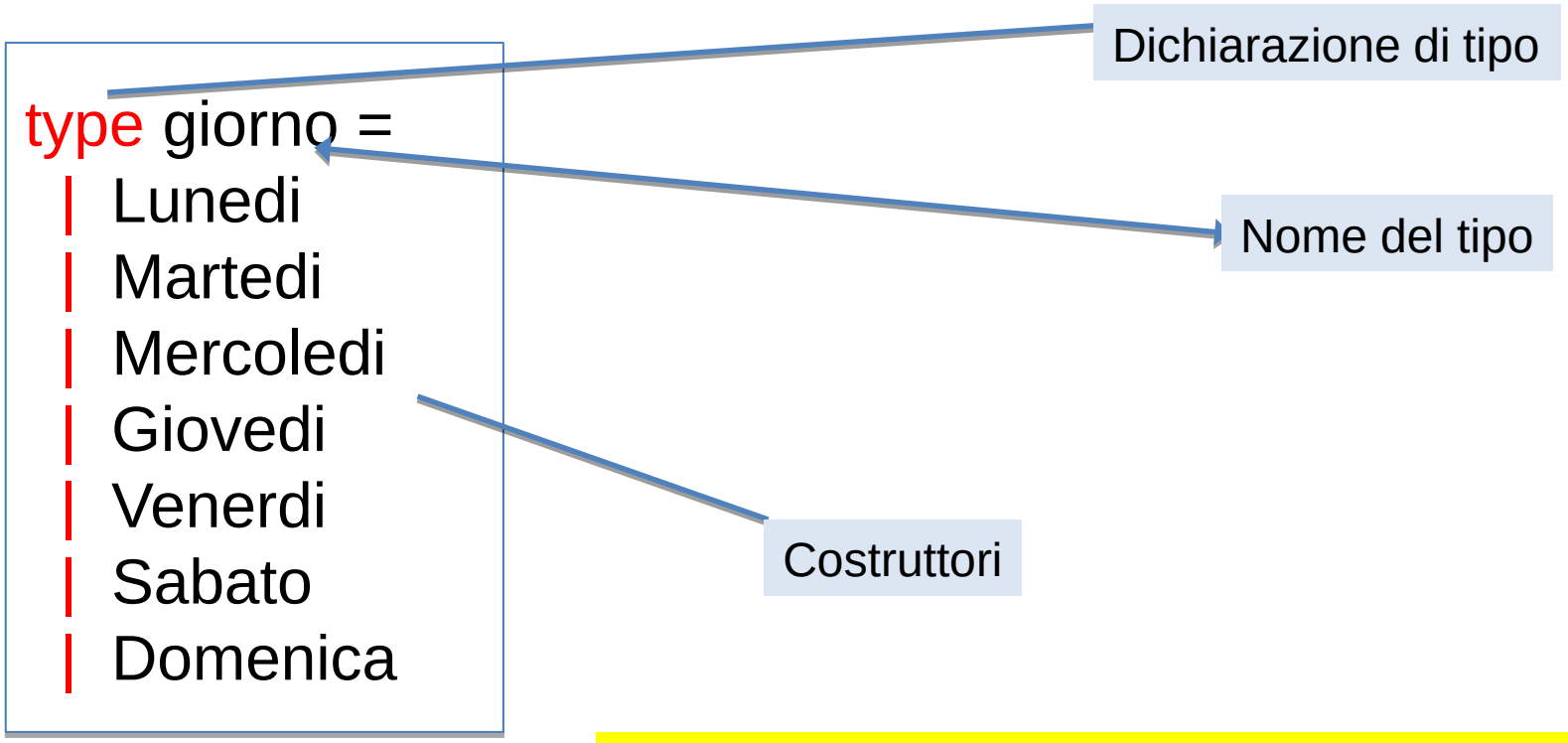
```
let x = 100
(* ambiente contiene il legame tra x e 100 *)

let f (k:int) : int = k * 5 + x
(* estendo l'ambiente con il legame tra f e
   l'espressione che ne costituisce il corpo  *)

let x = 1
let y = f 42
```

Programmare con i tipi di dato

- I linguaggi di programmazione forniscono diversi costrutti primitivi per creare e manipolare dati strutturati.
- Cosa avete visto nel passato:
- Programmazione I:
  - *Tipi di dato primitivi* (int, string, bool, …)
  - *Lists* (int lit, string list, string list list, …)
  - *Tuples* (int * int, int*string, …)
- Algoritmica
  - tecniche algoritmiche (di base) per la risoluzione di problemi su vettori, liste, alberi e grafi, in modo efficiente in tempo e/o spazio

Definire tipi di dato in OCaml

Ocaml permette al programmatore di definire *nuovi* tipi di dato



Costruttori definiscono i valori del tipo di dato
Sabato ha tipo *giorno*
[Venerdi; Sabato; Domenica] ha tipo *giorno list*

Pattern Matching

Il pattern matching fornisce un modo efficiente per accedere ai valori di un tipo di dato

```
let string_of_g (g: giorno) : string =
  begin match g with
  | Lunedi -> “Lunedi”
  | Martedi -> “Martedi”
  | :
  | :
  | Domenica -> “Domenica”
  end
```

Il patterm matching **segue** la struttura sintattica dei valori del tipo di dato : i costruttori

Astrazioni sui dati

- Avremmo potuto rappresentare il tipo di dato *giorno* tramite dei semplici valori interi
  - Lunedi = 1, Martedi=2, …, Domenica = 8
- Ma
  - Il tipo di dato primitivo *int* fornisce un insieme di operazioni differenti da quelle significative sul tipo di dato *giorno*, Mercoledi – Domenica *non* avrebbe alcun senso.
  - Esistono un numero maggiore di valori interi che di valori del tipo giorno
- Morale: I linguaggi di programmazione moderni (Java, C#, C++, Ocaml, …) forniscono strumenti per definire tipi di dato

OCaml Type

- I costruttori possono trasportare “valori”

```
# type foo =
| Nothing
| Int of int
| Pair of int * int
| String of string;;

type foo = Nothing | Int of int | Pair of int * int | String of string
```

Valori del tipo *foo*

```
Nothing
Int 3
Pair (4, 5)
String "hello"...
```

Pattern Matching


```
let get_count (f: foo) : int =
  begin match f with
    | Noting -> 0
    | Int(n) -> n
    | Pair(n,m) -> n + m
    | String(s) -> 0
  end
```

Tipi di Dato Ricorsivi


```
# type tree =
| Leaf of int
| Node of tree * int * tree ;;

type tree = Leaf of int | Node of tree * int * tree
```

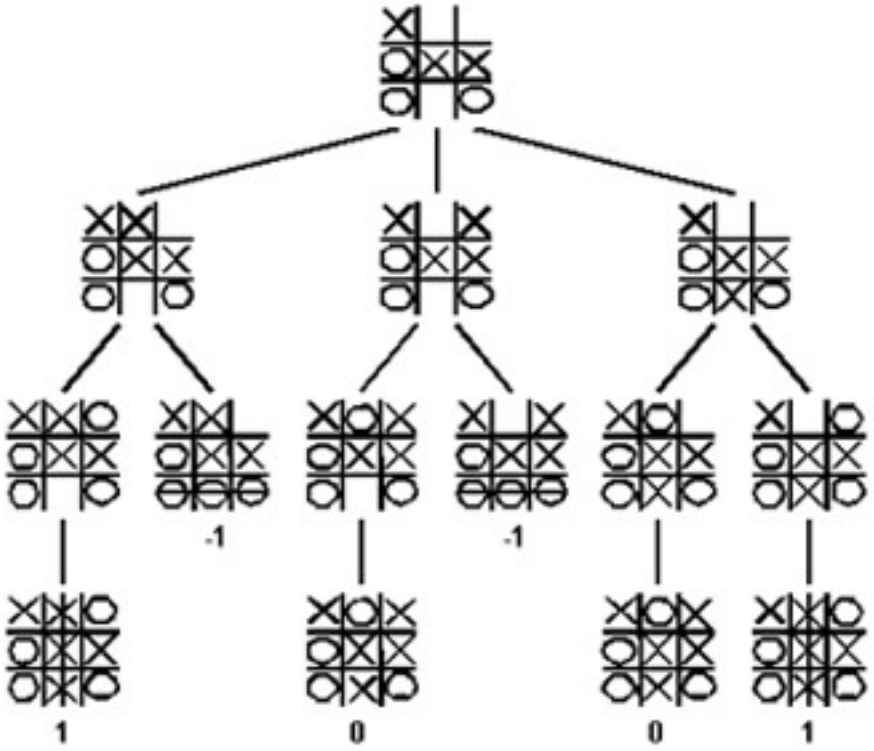
```
let t1 = Leaf 3
let t2 = Node(Leaf 3, 2,  Leaf 4)
let t3 = Node (Leaf 3,
                    2,
                Node (Leaf 5, 4, Leaf 6))
```

Tipi di Dato Ricorsivi

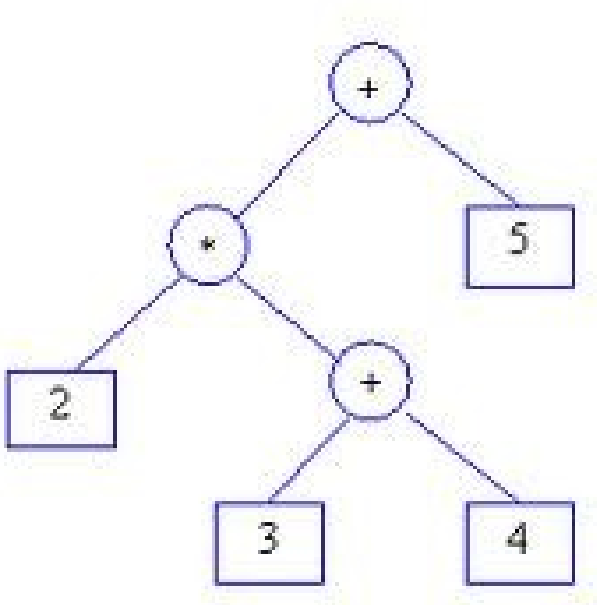

```
# type tree =
| Leaf of int
| Node of tree * int * tree;;

type tree = Leaf of int | Node of tree * int * tree
```

Quanti di voi hanno programmato con strutture dati del tipo *tree*?

Game Tree

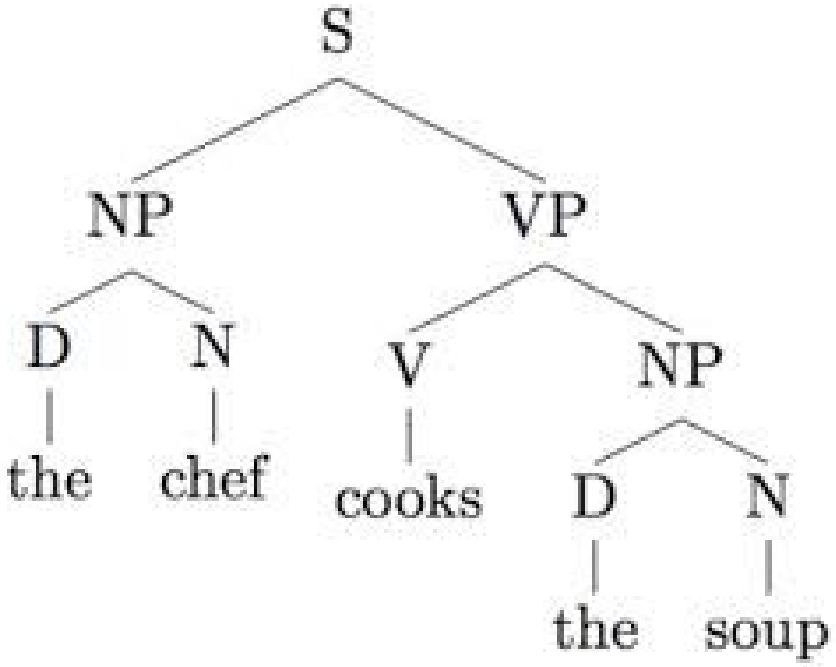


Expression Trees

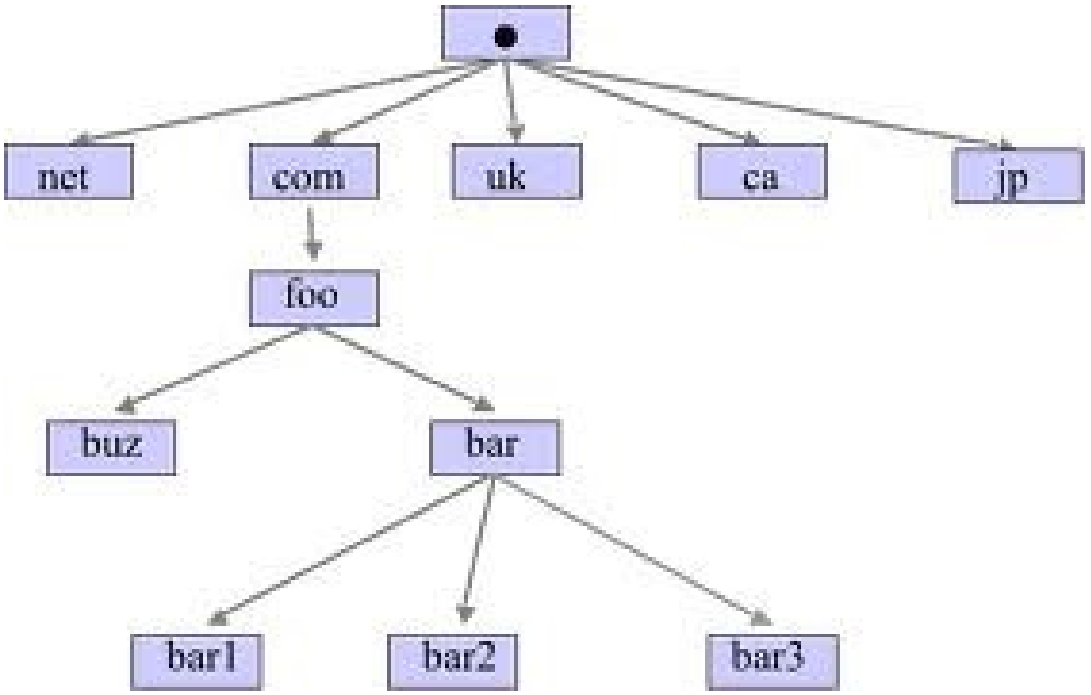


$2 * (3 + 4) + 5$

(Natural Language) Parse Tree

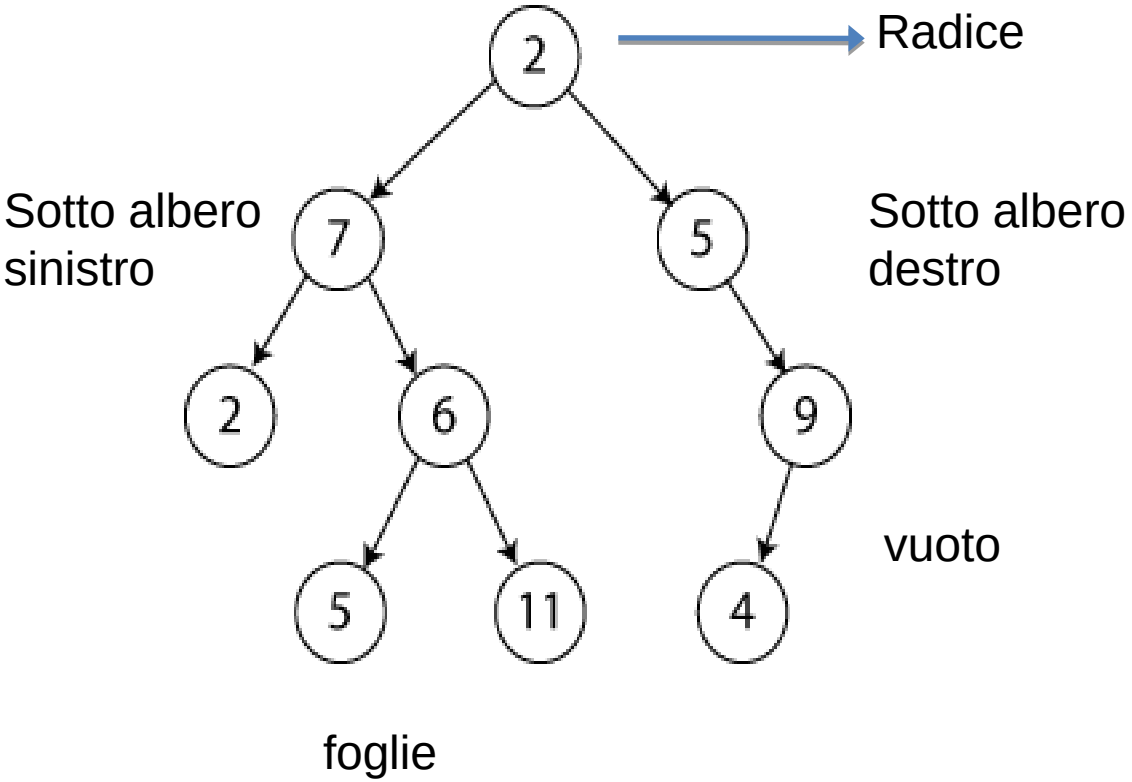


Domain Names (DNS)



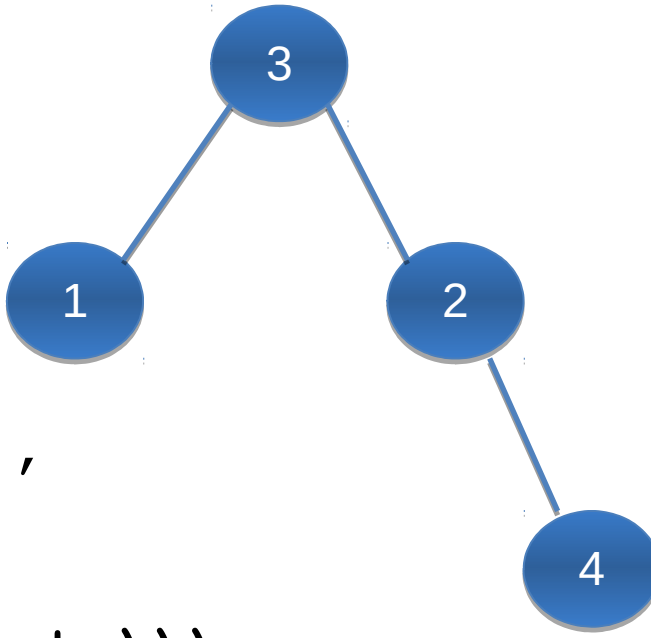
Alberi Binari

Li avete visti a algoritmica!!!!



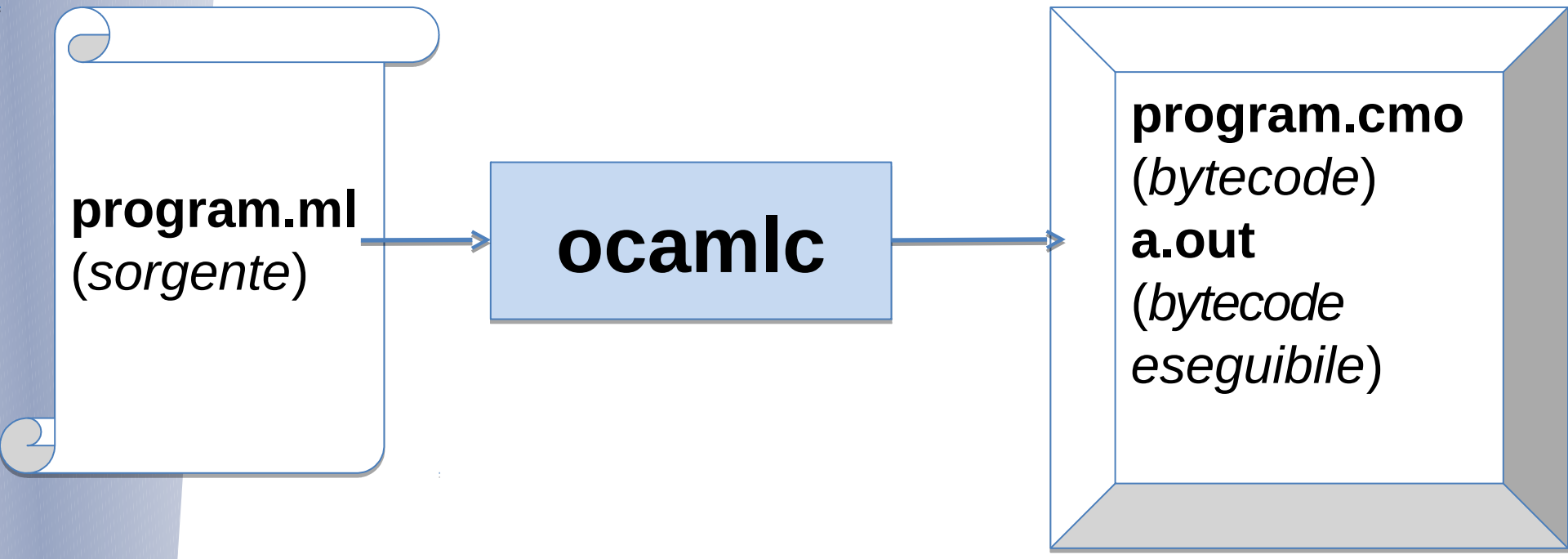
Alberi Binari in OCaml

```
Type tree =
   | Empty
   | Node of tree * int * tree
```



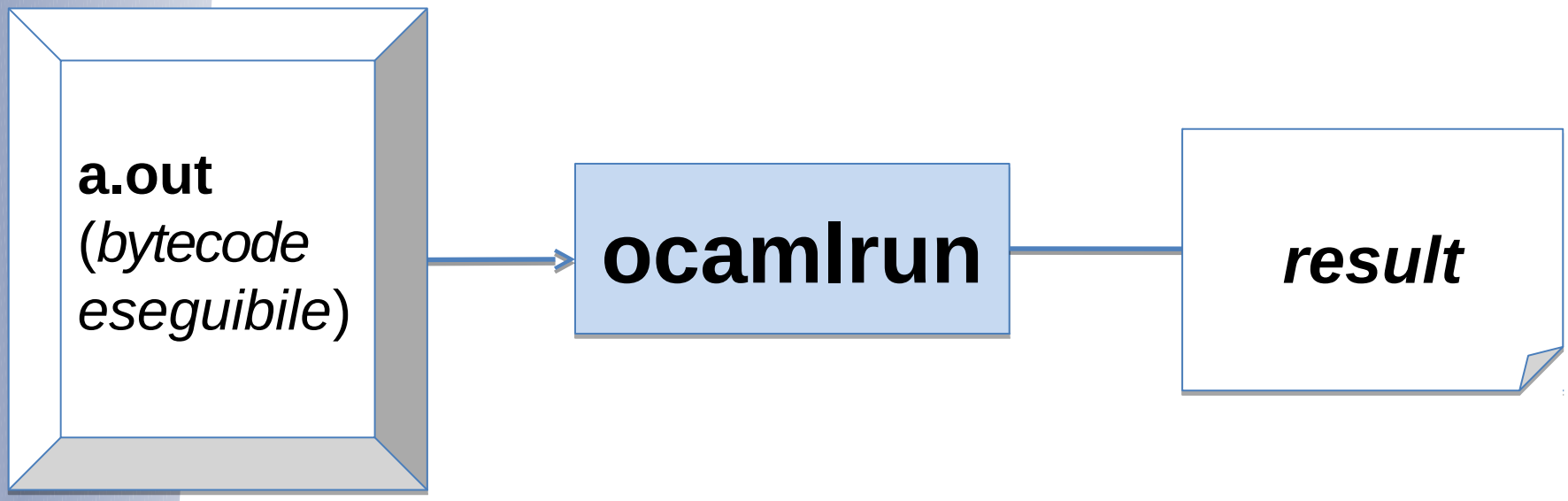

```
let t : tree =
    Node( Node(Empty, 1, Empty),
          3
           Node(Empty, 2,
                  Node(Empy, 4, Empty)))
```

Compilare programmi OCaml



http://caml.inria.fr/pub/docs/manual-ocaml/comp.html

Eseguire bytecode OCaml



`http://caml.inria.fr/pub/docs/manual-ocaml-400/manual024.html`

Esempi

Compilazione e esecuzione dei files

`trees.ml`
`treeExamples.ml`

Ricerca in un albero

```
let rec contains (t: tree) (n:int) : bool =
  begin match t with
    | Empty -> false
    | Node(lt, x, rt) -> x = n ||
                         (contains lt n) ||
                         (contains rt n)
  end
```

La funzione contains effettua una ricerca del valore n nell'albero **t**. Caso peggiore: deve visitare tutto l'albero

Alberi binari di ricerca

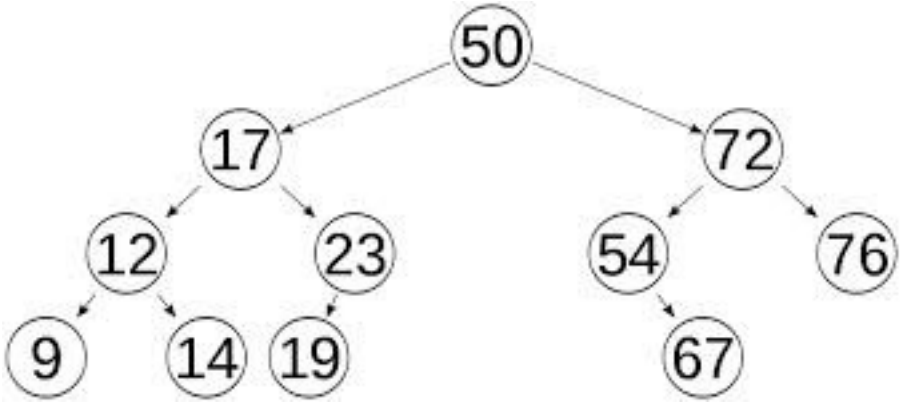
Idea: ordinare i dati su cui viene fatta la ricerca

Un albero binario di ricerca (BST) è un albero binario che deve soddisfare alcune proprietà invarianti addizionali

INVARIANTE DI RAPPRESENTAZIONE

- Node(lt, x, rt) e' un BST se
  - lt e rt sono BST
  - Tutti I nodi di lt contengono valori < x
  - Tutti I nodi di rt contengono valori > x
- Empty (L'albero vuoto) e' un BST

Esempio



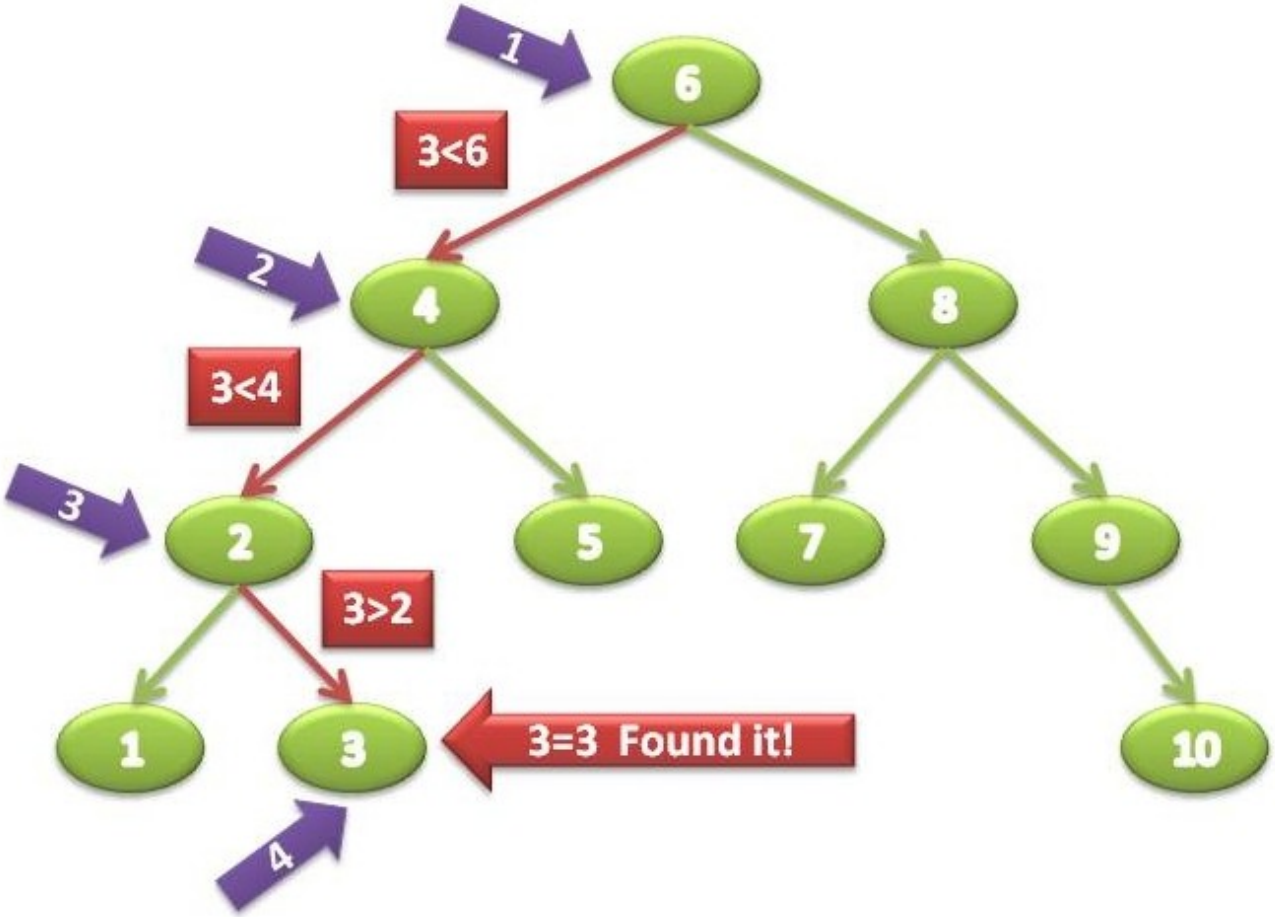
L’invariante di rappresentazione dei BST è soddisfatto.
Come di dimostra?
Ricordate le tecniche che avete imparato a LPP!!!

Ricerca su un BST


```
(* Ipotesi t e' un BST *)
let rec lookup (t:tree) (n:int) : bool =
begin match t with
  | Empty -> false
  | Node(lt,x,rt) ->
              if x = n then true
              else if n < x then (lookup lt n)
              else (lookup rt n)
end
```

Osservazione 1: L'invariante di rappresentazione guida la ricerca
Osservazione2: La ricerca potrebbe restituire valori non corretti se applicata a un albero che non soddisfa l'invariante di rappresentazione

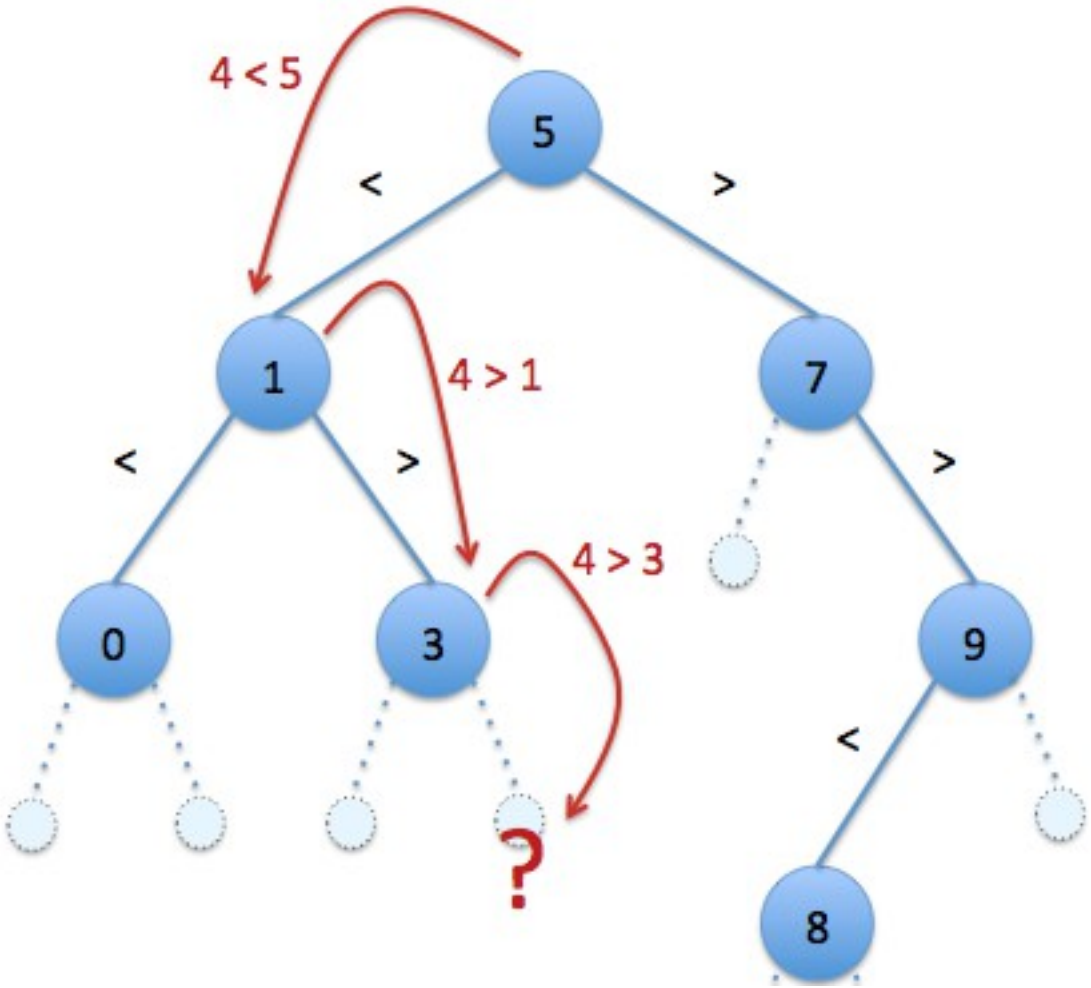
lookup(t, 3)

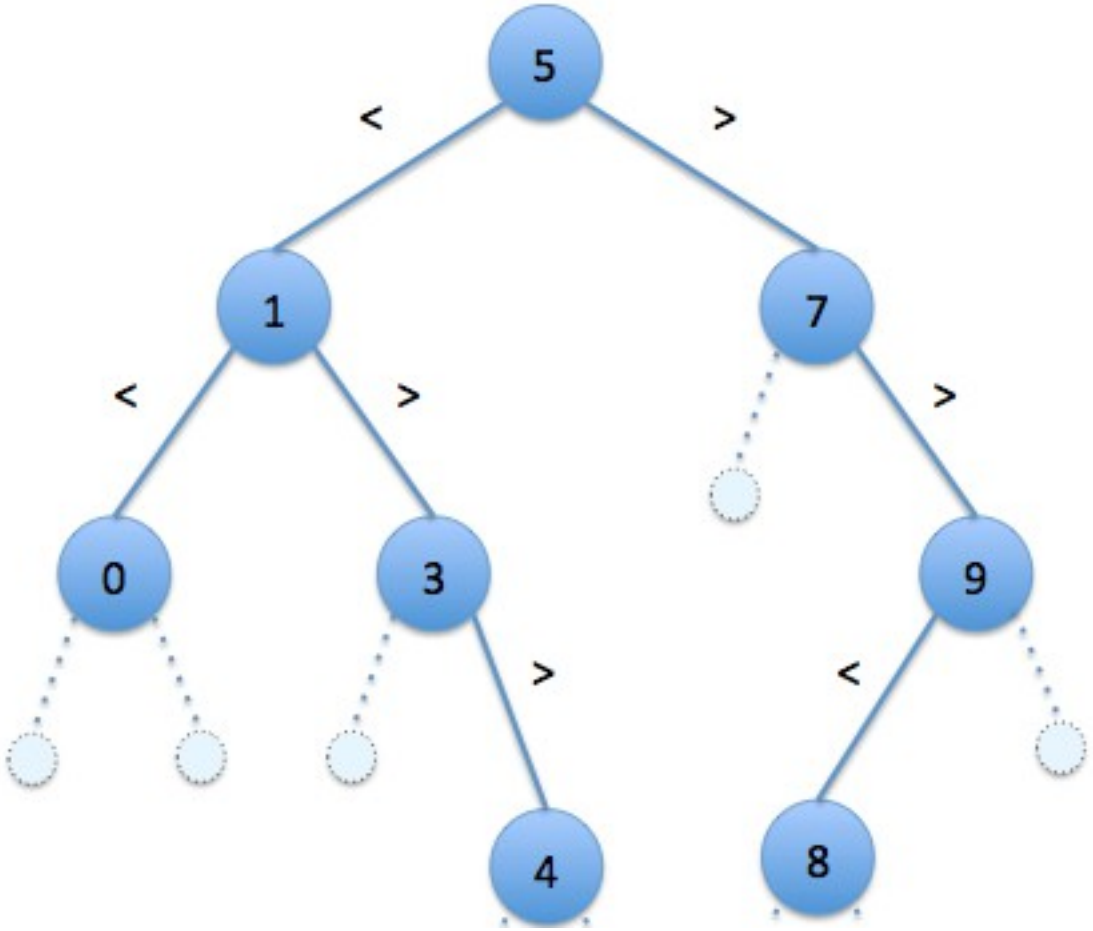


Come costruiamo un BST

- Opzione 1:
  - Costruiamo un albero e poi controlliamo (check) che vale l'invariante di rappresentazione
- Opzione 2:
  - Definire le funzioni che costruiscono BST a partire da BST (esempio la funzione che inserisce un elemento in un BST e restituisce un BST)
  - Definire una funzione che costruisce il BST vuoto.
  - Tutte queste funzioni soddisfano l'invariante di rappresentazione, pertanto "per costruzione" otteniamo un BST.
  - Non si deve effettuare nessun controllo a posteriori!!
  - Questo passo mette in evidenza il ruolo della teoria in informatica (tipi algebrici) ne parleremo nel seguito del corso.

insert(t, 4)



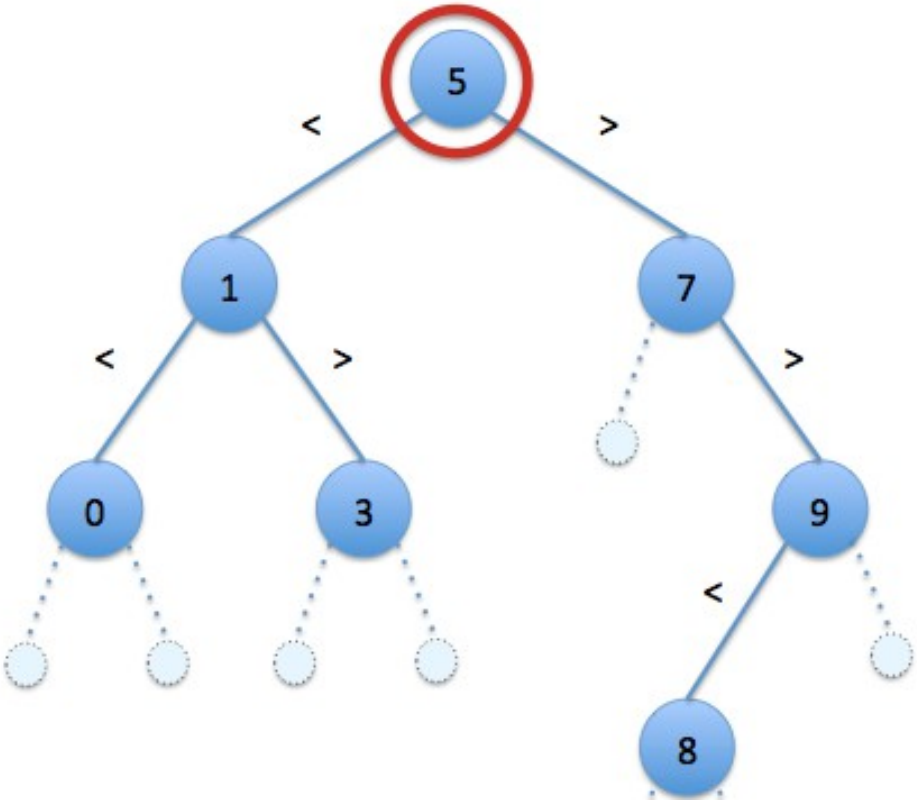

5
<
>
1
7
<
>
>
0
3
9
>
<
4
8

insert


```
(* Insert n nel BST t *)
let rec insert (t:tree) (n:int) : tree =
begin match t with
  | Empty -> Node(Empty,n,Empty)
  | Node(lt,x,rt) ->
      if x = n then t
      else if n < x then Node(insert lt n, x, rt)
      else Node(lt, x, insert rt n)!
end
```

Per quale motivo l'albero costruito dalla funzione insert e' un BST?

Delete(t,5)



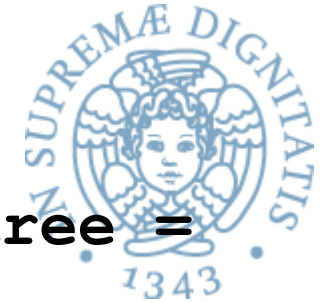
Operazione di rimozione è più complicata: si deve promuovere la foglia 3 a radice dell'albero!!!

Funzione ausiliaria


```
let rec tree_max (t:tree) : int =
   begin match t with
    | Node(_,x,Empty) -> x
    | Node(_,_,rt) -> tree_max rt
    | _ -> failwith "tree_max called on Empty"
  end
```

L'invariante di rappresentazione garantisce che il valore max si trova nella parte più a destra dell'albero

delete




```
let rec delete (t:tree) (n:int) : tree =
begin match t with
  | Empty -> Empty
  | Node(lt,x,rt) ->
      if x = n then
      begin match (lt,rt) with
         | (Empty, Empty) -> Empty
         | (Node _, Empty) -> lt
         | (Empty, Node _) -> rt
         | _-> let m = tree_max lt in
           Node(delete lt m, m, rt)
      end
      else if n < x then
         Node(delete lt n, x, rt)
         else Node(lt, x, delete rt n)
end
```

Generici

Funzioni generiche

Analizziamo la funzione *length* applicata a *int list* e *string list*.

```
let rec length (l: int list) : int =
  begin match l with
  | [] -> 0
  | _::tl -> 1 + length tl
end

let rec length (l: string list) : int =
  begin match l with
  | [] -> 0
  | _::tl -> 1 + length tl
end
```

Le funzioni sono identiche eccettuato per l'annotazione di tipo

Generici in OCaml


```
let rec length (l : 'a list) : int =
  begin match l with
  | [] -> 0
  | _ :: tl -> 1 + (length tl)
end
```

La notazione ‘a list viene usata per indicare una lista generica

length [1;2;3] applica la funzione a *int list*

length [“a”;”b”;”c”] applica la funzione a *string list*

Append generico


```
let rec append (l1:'a list) (l2:'a list) : 'a list =
  begin match l1 with
   | [] -> l2
   | h::tl -> h::(append tl l2)
end
```

Pattern matching permette di operare su tipi generici

h ha tipo **`a**

tl ha tipo **`a list**

Generic zip


```
let rec zip (l1:'a list) (l2:'b list):('a*'b) list =
  begin match (l1,l2) with
  | (h1::t1, h2::t2) -> (h1,h2)::(zip t1 t2)
  | _ -> []
end
```

La funzione opera su tipi generici multipli (`'a list` e `'b list, ('a * 'b) list`)

```
zip [1;2;3] ["a";"b";"c"] = [(1,"a");(2,"b");
(3,"c")] :
(int * string) list
```

Generic trees


```
type 'a tree =
| Empty
| Node of 'a tree * 'a * 'a tree
```

Notare l'utilizzo del parametro di tipo **'a**

Generic BST


```
let rec insert (t:'a tree) (n: 'a) : 'a tree =
begin match t with
  | Empty -> Node(Empty,n,Empty)
  | Node(lt,x,rt) ->
          if x = n then t
          else if n < x then Node(insert lt n, x, rt)
          else Node(lt, x, insert rt n)
end
```

Gli operatori di relazione = e < operano su ogni tipo di dato

Abstract Collections

Abstract collections

- Le **collections** sono tipi di dati “contenitori”, tipicamente **omogenei**
- Ogni “collezione” contiene elementi di un **tipo base**
- Esempi: liste, alberi, insiemi, pile, code, bag (multinsiemi), …
- Le operazioni sulle collezioni sono definite indipendentemente dal tipo base, sfruttando meccanismi come genericità e polimorfismo (astrazione dai dati)
- Le **abstract collections** sono realizzazioni di **collections** come **tipi di dati astratti**
  - Si definisce un'interfaccia che determina le operazioni messe a disposizione e le loro proprietà
  - Si realizza un'implementazione che fornisce le operazioni dell'interfaccia
    - Ci possono essere più realizzazioni, con diverse caratteristiche di efficienza
  - Il tipo di dati è **astratto** se la rappresentazione dei dati non è accessibile all'utente

Esempio di collection: Insiemi (sets)

- Un **insieme** è una collezione di dati omogenei (gli ***elementi)*** in cui
  - l'ordine non è rilevante
  - la numerosità non è rilevante (ogni elemento o appartiene o non appartiene a un insieme)
  - fornisce operazioni come unione, intersezione, appartenenza di un elemento, differenza, etc., con il significato noto
- A differenza delle liste, gli insiemi non sono un tipo primitivo in OCaml
- Strutture dati come Set sono usate frequentemente in molte applicazioni.
  - Interrogazioni SQL (insieme degli studenti iscritti a Informatica)
  - insieme dei risultati di una ricerca sul web con Google,
  - l'insieme dei dati di un esperimento al CERN, …

Abstract Sets, informalmente

- Come **tipo di dati astratto** deve definire l'interfaccia di uso (le operazioni) e le proprietà di queste operazioni

- **Abstract Set**: esempio di **interfaccia**
  - Crea l'insieme vuoto
  - Aggiungi un elemento a un insieme dato
  - Rimuovi un elemento da un insieme dato
  - Controlla se un elemento appartiene a un insieme dato

- **Abstract Set**: esempio di **proprietà**
  - Nessun elemento appartiene all'insieme vuoto
  - Se inseriamo un elemento a un insieme, questo vi appartiene
  - Se da un insieme rimuoviamo un elemento, questo non vi appartiene più
  - Aggiungere una seconda volta un elemento non modifica la struttura dell'insieme
  - ……

Abstract Sets: possibile implementazione

- Si può usare un Albero Binario di Ricerca (BST) per implementare il tipo di dati astratto Set:
  - Insieme vuoto => **Empty**
  - Operazioni **insert** e **delete** per aggiungere e eliminare elementi (BST non contengono duplicati)
  - Appartenenza di un elemento a un insieme => **lookup**
  - Elencare gli elementi che appartengono all'insieme => **visita dell'albero**
- **Attenzione**: Funziona perché su tutti i tipi di dato non modificabili ML è definito un ordinamento totale

Progettare e programmare

- Problema: In qualità di docente del corso di laurea, Mister X ha il compito di leggere il **syllabus** degli insegnamenti e di determinare quali tra le parole del syllabus appartengono al vocabolario delle parole chiave del **dizionario ICT** del 2014.

- Possiamo aiutarlo a farlo in modo automatico?

Astrazioni e programmazione

- Quali sono i concetti maggiormente significativi, ***le astrazioni***, per definire una soluzione di questo problema?
- L'insieme delle parole che appaiono in un syllabus
- L'insieme delle parole del vocabolario ICT 2014
- L'insieme delle parole del syllabus che compaiono nel vocabolaro ICT

Procediamo alla soluzione

- Supponiamo di avere il tipo generico degli insiemi: 'a set
  - Dettagli nel seguito
- Definiamo l'interfaccia del nostro problema:

```
let countWord (textSyllabus : string list)
        (vocabICT : string set) : int =
    failwith "Parliamone!!"
```

- Implementazione: esercizio per casa

Definire i casi di test


```
let vocabICT : string set = list_to_set [”Java"; ”Cloud";
”Social-Networks"; ”BigData"; ”Web-Services";
”e-commerce"; ”Macchine-Virtuali"]

let PR2Syllabus =
```
[Il corso di programmazione si propone di illustrare le caratteristiche principali dei linguaggi di programmazione e le loro strutture di implementazione in termini di macchine-virtuali. Il corso si propone presentare e discutere le tecniche per la programmazzione a oggetti esemplificate e sperimentate utilizzando il linguaggio Java] (*visto come lista di stringhe*)

```
let test () : bool =
countWord PR2Syllabus vocabICT  = 2 ;;
 run_test "countWord" test!
```

Abstract Data Types come Moduli in OCaml

Interfaccia Set come “segnatura”

```
module type Set = sig
   type 'a set
   val empty : 'a set
   val add :'a -> 'a set -> 'a set
   val remove : 'a -> 'a set -> 'a set
   val list_to_set : 'a list -> 'a set
   val member : 'a -> 'a set -> bool
   val elements : 'a set -> 'a list
end
```

- Si usa un **module type** (in un file **.mli**) per dichiarare un TdA
- **sig ... end** racchiudono una **segnatura**, che definisce il TdA e le operazioni
- **val**: nome dei valori (dati e operazioni) che devono essere definiti e dei loro tipi

Realizzazione di un TdA come modulo

Nome del Modulo

Segnatura che deve essere implementata

```
module Myset : Set = struct
type 'a set = 'a list
let empty : 'a set = []
let add (x:'a)(s:'a set): 'a set = …
(* implementations of all the operations *)
:
end
```

Tipo di dati concreto

“dot notation”

Per usare un identificatore **ide** definito nel modulo **Mod** si può usare la dot notation **Mod.ide**

```
let s1 = Myset.add 3 Myset.empty
let s2 = Myset.add 4 Myset.empty
let s3 = Myset.add 4 s1
let test () : bool = (Myset.member 3 s1) = true
;; run_test "Myset.member 3 s1" test
let test () : bool = (Myset.member 4 s3) = true
;; run_test "Myset.member 4 s3" test!
```

Open module

Alternativa: Aprire lo scope del modulo (**open**) per portare I nomi nell'ambiente del programma in esecuzione

```
;; open Myset
let s1 = add 3 empty
let s2 = add 4 empty
let s3 = add 4 s1
let test () : bool = (member 3 s1) = true
;; run_test "Myset.member 3 s1" test
let test () : bool = (member 4 s3) = true
;; run_test "Myset.member 4 s3" test
```

Implementare astrazioni

- Abbiamo molte possibilità per scegliere la struttura di implementazione degli insiemi
  - list, tree, array, etc.
- Come scegliamo la struttura di implementazione?
- Ricordiamo che un “insieme è una struttura soggetta a alcuni invarianti di rappresentazione.“
- Esempi:
  - Un insieme è implementato con una *lista* ***senza elementi ripetuti***
  - Un insieme è implementato con un *albero* ***senza elementi ripetuti***
  - Un insieme è implemnetato con un *array di* ***bit*** **0 = non appartiene, 1 = appartiene**

- **Il punto importante è rispettare l’invariante di rappresentazione**

Tipi di dati astratti

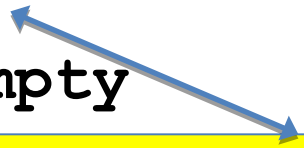
- Un tipo di dati astratto (ADT, Abstract Data Type) è un tipo di dati le cui istanze possono essere manipolate con modalità che dipendono esclusivamente dalla semantica del tipo e non dalla sua implementazione.
- Idea: Hide the *concrete representation* of a type behind an *abstract interface* to preserve invariants (Barbara Liskov)

ADT

- La nozione di interfaccia (interface) restringe le modalità di interazione del tipo di dati con le altre parti che compongono il programma.
- Vantaggi:
  - **Safety**: gli utenti del tipo di dati non possono rompere l'invariante di rappresentazione
  - **Modularità**: E' possibile modificare l'implementazione del tipo di dati senza dover modificare l'implementazione dei programmi che lo utilizzano.

ADT: Implementazione

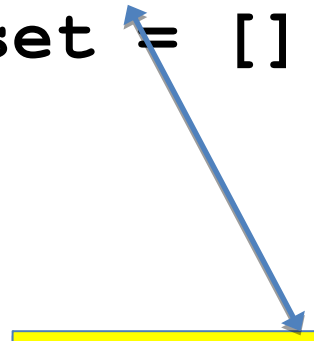
```
module MySet : Set = struct
type 'a tree =
| Empty
| Node of 'a tree * 'a * 'a tree
type 'a set = 'a tree
let empty : 'a set = Empty
...
end
```



1. L'implementazione del ADT Set deve includere l'implementazione delle operazioni descritte nell'interfaccia. Può contenere anche altre operazioni (ausiliarie) che non possono essere usate dall'esterno del modulo.
2. I tipi dell'implementazione devono essere consistenti con quelli definiti nell'interfaccia.

Implementazione di Set basata su list

```
module MySet2 : Set =
struct
   type 'a set = 'a list
   let empty : 'a set = []
...
end
```



Una definizione
differente
per il tipo set

Attenzione!


```
open MySet
let s1 : int set = Empty
```

Non supera la fase di controllo dei tipi

Infatti il costuttore Empty non e' visibile esternamente al modulo

Sperimentazione

- Completare l'implementazione dell'ADT Set usando come rappresentazione concreta
  - una lista senza ripetizioni
  - una lista generica
  - un albero binario
  - un albero binario di ricerca
- Definire e eseguire opportuni test cases