

Progetto Linguaggi e Compilatori 2

Parte 3

Gruppo 1

Studenti:

Foschiani Luca
Marinato Riccardo
Passalenti Andrea

1 Assunzioni

Nel seguente progetto abbiamo considerato le scelte di sintassi concreta definite dal linguaggio *Go*. A seguire vengono riassunte una serie di assunzioni.

- Variabili e operazioni:
 - non è consentito dichiarare delle variabili con lo stesso identificatore nello stesso blocco, mentre è possibile se avviene su blocchi (e sottoblocchi) diversi;
 - non è possibile utilizzare delle right-expression isolate;
 - è consentita la dichiarazione di variabili globali al di fuori delle funzioni, ma non tramite la sintassi “:=”;
 - sono resi compatibili i seguenti tipi:
 - * *float* \leftarrow *interi*
 - * *interi* \leftarrow *booleani*
 - * *float* \leftarrow *booleani*
- Funzioni e procedure:
 - non è possibile dichiarare più di una funzione/procedura con lo stesso identificatore;
 - nel corpo delle procedure non deve essere presente l’istruzione *return*, sempre richiesta invece nei corpi delle funzioni;
 - è consentito effettuare dei passaggi di parametri per valore (*val*) e per riferimento (*ref*).
- Comandi di controllo sequenza:
 - è stato usato l’operatore ‘!’ nelle condizioni degli if per veicolare correttamente i salti condizionati;
 - sono stati implementati i comandi per il controllo della sequenza richiesti nel testo del progetto (*condizionali semplici*, *iterazione determinata* (costrutto *for*) e *indeterminata* (nelle sue due forme: *while-do* e *do-while*)). Per riferirci ai costrutti di iterazione useremo sempre l’etichetta “*for*”;

- le guardie booleane dei controlli di sequenza vengono gestite tramite short-cut mentre le altre espressioni booleane vengono gestite senza short-cut;
- non è possibile definire controlli di sequenza al di fuori delle funzioni/procedure;
- è stato implementato il costrutto *try-catch* che nei suoi argomenti accetta una lista di statement.

2 Scelte implementative

- Abbiamo generato *lexer* e *parser* tramite il tool BNFC, partendo dalla definizione di una gramatica iniziale;
- la gestione del *Type Checker* e del *Three Address Code* vengono fatte all'interno del parser;
- le funzioni *write* sono trattate come statement che prendono come argomento una right-expression, mentre le funzioni *read* vengono viste come right-expressions e hanno una lista di parametri di input vuota.

3 Grammatica

Di seguito viene riportata la grammatica di partenza.

```
comment "//";
comment "/*" "*/";
```

```
entrypoints Start;
```

```
rules Boolean ::= "true" | "false";
```

```
ExpAnd.      RExp ::= RExp "&&" RExp;
ExpOr.       RExp ::= RExp "||" RExp;
ExpNot.      RExp ::= "!" RExp;
ExpEq.       RExp ::= RExp "==" RExp;
ExpNeq.      RExp ::= RExp "!=" RExp;
ExpLt.       RExp ::= RExp "<" RExp;
```

```

ExpLtE.      RExp ::= RExp "<=" RExp;
ExpGt.       RExp ::= RExp ">" RExp;
ExpGtE.      RExp ::= RExp ">=" RExp;
ExpAdd.      RExp ::= RExp "+" RExp;
ExpSub.      RExp ::= RExp "-" RExp;
ExpMul.      RExp ::= RExp "*" RExp;
ExpDiv.      RExp ::= RExp "/" RExp;
ExpMod.      RExp ::= RExp "%" RExp;
ExpNeg.      RExp ::= "-" RExp;
ExpRef.      RExp ::= "&" LExp;
ExpFuncEmpty. RExp ::= Id "(" " ";
ExpFunc.     RExp ::= Id "(" [RExp] " ";
ExpVal.      RExp ::= Val;
ExpLExp.     RExp ::= LExp;
ExpPar.      RExp ::= "(" RExp " ";
StRead.      RExp ::= ReadT "(" " ";

Int .        Val ::= Integer;
Float .     Val ::= Double;
Char .       Val ::= Char;
String .    Val ::= String;
Bool .      Val ::= Boolean;

rules ReadT ::= "readInt" | "readFloat" | "readChar" | "readString";

ExpId.       LExp ::= Id;
ExpArr.      LExp ::= LExp "[" RExp " ";
ExpDeref.    LExp ::= "*" RExp;

separator nonempty RExp ",";

Entry.       Start ::= "package" Id [Decl];

separator Decl " ";

DeclVar.     Decl ::= "var" [Id] Type;
DeclVarInit. Decl ::= "var" [Id] "=" [RExp];
DeclVarTypeInit. Decl ::= "var" [Id] Type "=" [RExp];

```

```

DeclVarShort.    ShortVarDecl ::= [Id] "==" [RExp];

TVoid.          Type ::= "void";
TInt.           Type ::= "int";
TBool.          Type ::= "bool";
TFloat.         Type ::= "float";
TChar.          Type ::= "char";
TString.        Type ::= "string";
TArray.         Type ::= "[" Integer "]" Type;
TPointer.       Type ::= "*" Type;

token Id (letter | '_' )(letter | digit | '_' )*;
separator nonempty Id "," ;

DeclFun.         Decl ::= "func" Id "(" [Param] ")" Type Block;
DeclProc.        Decl ::= "func" Id "(" [Param] ")" "void" Block;

separator Param ",";

Parameter.       Param ::= [Id] Type;
ParameterPass.   Param ::= Pass [Id] Type;

PassVal.         Pass ::= "val";
PassRef.         Pass ::= "ref";

separator Stmt "";

BodyBlock.       Block ::= "{" [Stmt] "}";

StDecl.          Stmt ::= Decl;
StBlock.         Stmt ::= Block;
StSmpl.          Stmt ::= StmtSmpl;
StIf.            Stmt ::= "if" RExp Block;
StIfElse.        Stmt ::= "if" RExp Block "else" Block;
StWhile.         Stmt ::= "for" RExp Block;
StDoWhile.       Stmt ::= "do" Block "for" RExp;
StFor.           Stmt ::= "for" [StmtSmpl] ";" RExp ";" [StmtSmpl] Block;
StBreak.         Stmt ::= "break";

```

```

StContinue.      Stmt ::= "continue";
StReturn.        Stmt ::= "return" RExp;
StTryCatch.      Stmt ::= "try" Stmt "catch" Stmt;
StWrite.         Stmt ::= WriteT "(" RExp ")";

rules WriteT ::= "writeInt" | "writeFloat" | "writeChar" | "writeString";

StShortVarDecl.  StmtSmpl ::= ShortVarDecl;
StExp.           StmtSmpl ::= RExp;
StAsgn.          StmtSmpl ::= LExp "=" RExp;

[] .             [StmtSmpl] ::= ;
(: []).          [StmtSmpl] ::= StmtSmpl;

```

4 Parser

Gran parte del progetto è stato sviluppato all'interno del parser. In particolare tutta la parte di *type checking* e *three address code* sono state implementate al suo interno.

All'interno del parser sono stati definiti tutta una serie di attributi relativi alla *grammatica attributata*. Gli environment sono gestiti attraverso gli attributi *EnvVar/EnvVarNew* ed *EnvFun/EnvFunNew* e corrispondono a liste di tipi di dato *ElemVar* ed *ElemFun*. In particolare, gli attributi *EnvVar* ed *EnvFun* rappresentano, per ogni nodo, l'ambiente derivante dal nodo padre, mentre *EnvVarNew* ed *EnvFunNew* definiscono l'ambiente ottenuto da tutti i nodi figli. Sono stati inoltre definiti ulteriori attributi per gestire la generazione del three address code (si rimanda al codice).

Per quanto riguarda la dichiarazione delle precedenze e l'associatività degli operatori, sono tutte state gestite a livello di parser.

4.1 Type Checker

Il Type Checker viene gestito interamente all'interno del parser. In particolare per ogni espressione valutata si effettua un controllo diretto attraverso le funzioni *Ok* e *Bad* che, in caso di errore, gestiscono l'errore tramite la stampa di un messaggio a video indicante la linea dell'errore e la causa.

Tutte le funzioni di controllo utilizzate dal Type Checker sono state definite

internamente al parser per praticità.

Tra le diverse assunzioni fatte in fase di type checking, abbiamo voluto tenere conto in modo automatico di una conversione dal tipo `int` al tipo `float`.

4.2 Three Address Code

Il Three Address Code viene generato interamente nel parser, utilizzando un modulo esterno (*TAC.hs*) contenente la struttura dati per gestirne la generazione e le funzioni addette alla stampa. Inoltre ci siamo appoggiati su un ulteriore modulo (*Env.hs*) contenente tutte le funzioni per la gestione dell'environment (inserimento, cancellazione e ricerca di variabili/funzioni). In questo modulo sono stati dichiarati i tipi di dato *ElemVar* e *ElemFun* contenenti rispettivamente tutte le informazioni relative alle variabili ed alle funzioni/procedure dichiarate nell'ambiente.

I casting vengono stampati a video in fase di assegnamento.

5 Type System

A seguire il *Type System* relativo al linguaggio implementato. Si è posta particolare attenzione è quello di definire un type system il più possibile vicino a quello del linguaggio *Go*, integrando ulteriori specifiche presenti nella consegna del progetto. Definiamo Γ essere l'ambiente e τ essere l'insieme dei tipi di base da noi considerati: `int`, `float`, `char`, `string` e `boolean`.

Basic Judgments

Γ è un ambiente ben formato:

$$\Gamma \vdash \diamond$$

Type è un tipo ben formato in Γ

$$\Gamma \vdash \text{Type}$$

Stmt è un tipo ben formato in Γ

$$\Gamma \vdash \text{Stmt}$$

RExp è un tipo ben formato in Γ

$$\Gamma \vdash \text{RExp} : \text{Type}$$

Regole

$$(\mathbf{empty}) \frac{}{\emptyset \vdash \diamond}$$

$$(\mathbf{Id}) \frac{\Gamma \vdash \diamond, \mathbf{ident} \notin \mathit{dom}(\Gamma)}{\Gamma, \mathbf{ident} \vdash \diamond}$$

Tipi Base

Vediamo di seguito in maniera esplicita tutti i tipi considerati.

$$(\mathbf{Int}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash n : \mathbf{int}}$$

$$(\mathbf{Float}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash f : \mathbf{float}}$$

$$(\mathbf{Char}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash c : \mathbf{char}}$$

$$(\mathbf{String}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash s : \mathbf{string}}$$

$$(\mathbf{Boolean}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash b : \mathbf{boolean}}$$

Tipi Composti

$$(\mathbf{Ref}) \frac{\Gamma \vdash \mathbf{ident}}{\Gamma \vdash \&\mathbf{ident}}$$

- Per $\tau \in \{ \mathbf{int}, \mathbf{float}, \mathbf{char}, \mathbf{string}, \mathbf{boolean} \}$

$$(\mathbf{Deref}) \frac{\Gamma \vdash \tau}{\Gamma \vdash *_{\tau}}$$

- Per $\tau \in \{ \mathbf{int} \}$

$$(\mathbf{Arr}) \frac{\Gamma \vdash \mathbf{ident} \quad \Gamma \vdash \mathit{RExp} : \tau}{\Gamma \vdash \mathbf{ident} \ [\ \mathit{RExp} \]}$$

Operazioni Relazionali

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{And}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 \ \&\& \ RExp2 : \tau}$$

$$(\text{Or}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 \ || \ RExp2 : \tau}$$

$$(\text{Not}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \tau}{\Gamma \vdash \text{not } RExp : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{int}, \text{float}, \text{char}, \text{string}, \text{boolean} \}$

$$(\text{Eq}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 == RExp2 : \text{boolean}}$$

$$(\text{Neq}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 != RExp2 : \text{boolean}}$$

$$(\text{Lt}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 < RExp2 : \text{boolean}}$$

$$(\text{LtE}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 <= RExp2 : \text{boolean}}$$

$$(\text{Gt}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 > RExp2 : \text{boolean}}$$

$$(\text{GtE}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 >= RExp2 : \text{boolean}}$$

Operazioni Aritmetiche

Addizione

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{Add 1}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 + RExp2 : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{int} \}$

$$(\text{Add 2}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 + RExp2 : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{float} \}$

$$(\text{Add } 3) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 + RExp2 : \tau}$$

Addizione con casting implicito

- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{int} \}$ e almeno uno delle due espressioni int

$$(\text{Add } 4) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 + RExp2 : \text{int}}$$

- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni float

$$(\text{Add } 5) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 + RExp2 : \text{float}}$$

- Per $\tau \in \{ \text{int}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni float

$$(\text{Add } 6) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 + RExp2 : \text{float}}$$

Sottrazione

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{Sub } 1) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 - RExp2 : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{int} \}$

$$(\text{Sub } 2) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 - RExp2 : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{float} \}$

$$(\text{Sub } 3) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 - RExp2 : \tau}$$

Sottrazione con casting implicito

- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{int} \}$ e almeno uno delle due espressioni int
(Sub 4)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 - RExp2 : \text{int}}$$
- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni float
(Sub 5)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 - RExp2 : \text{float}}$$
- Per $\tau \in \{ \text{int}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni float
(Sub 6)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 - RExp2 : \text{float}}$$

Moltiplicazione

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$
(Mul 1)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 * RExp2 : \tau}$$
- Per $\tau \in \{ \text{int} \}$
(Mul 2)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 * RExp2 : \tau}$$
- Per $\tau \in \{ \text{float} \}$
(Mul 3)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 * RExp2 : \tau}$$

Moltiplicazione con casting implicito

- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{int} \}$ e almeno uno delle due espressioni int
(Mul 4)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 * RExp2 : \text{int}}$$
- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni float
(Mul 5)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 * RExp2 : \text{float}}$$
- Per $\tau \in \{ \text{int}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni float
(Mul 6)
$$\frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 * RExp2 : \text{float}}$$

Divisione

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{Div 1}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 / RExp2 : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{int} \}$

$$(\text{Div 2}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 / RExp2 : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{float} \}$

$$(\text{Div 3}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 / RExp2 : \tau}$$

Divisione con casting implicito

- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{int} \}$ e almeno uno delle due espressioni `int`

$$(\text{Div 4}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 / RExp2 : \text{int}}$$

- Per $\tau \in \{ \text{bool}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni `float`

$$(\text{Div 5}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 / RExp2 : \text{float}}$$

- Per $\tau \in \{ \text{int}, \text{float} \}$ e almeno uno delle due espressioni `float`

$$(\text{Div 6}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 / RExp2 : \text{float}}$$

Modulo

- Per $\tau \in \{ \text{int} \}$

$$(\text{Mod}) \frac{\Gamma \vdash RExp1 : \tau \quad \Gamma \vdash RExp2 : \tau}{\Gamma \vdash RExp1 \% RExp2 : \tau}$$

Interi Negativi

- Per $\tau \in \{ \text{int} \}$

$$(\text{Neg 1}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \tau}{\Gamma \vdash \neg RExp : \tau}$$

- Per $\tau \in \{ \text{float} \}$

$$(\text{Neg 2}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \tau}{\Gamma \vdash \neg RExp : \tau}$$

Controlli di sequenza

If-then

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{If}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \tau \quad \Gamma \vdash Block}{\Gamma \vdash \text{if } RExp \{Block\}}$$

If-then-else

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{IfElse}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \tau \quad \Gamma \vdash Block1 \quad \Gamma \vdash Block2}{\Gamma \vdash \text{if } RExp \{Block1\} \text{ else } \{Block2\}}$$

While-do

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{WhileDo}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \tau \quad \Gamma \vdash Block}{\Gamma \vdash \text{for } RExp \{Block\}}$$

Do-while

- Per $\tau \in \{ \text{boolean} \}$

$$(\text{DoWhile}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \tau \quad \Gamma \vdash Block}{\Gamma \vdash \text{do } \{Block\} \text{ for } RExp}$$

For

- Per $\tau \in \{ \text{int}, \text{float}, \text{char}, \text{string}, \text{boolean} \}$

$$(\text{For}) \frac{\Gamma \vdash StatementSimple \quad \Gamma \vdash RExp : \text{boolean} \quad \Gamma \vdash StatementSimple \quad \Gamma \vdash Block}{\Gamma \vdash \text{for } StatementSimple RExp StatementSimple \{Block\}}$$

Assegnamento

- Per $\tau \in \{ \text{int}, \text{float}, \text{char}, \text{string}, \text{boolean} \}$
(Asgn)
$$\frac{\Gamma \vdash LExp : \tau \quad \Gamma \vdash RExp : \tau}{\Gamma \vdash LExp = RExp}$$

Funzioni e procedure

$$(\text{DeclFun}) \frac{\Gamma \vdash \text{ident} \quad \Gamma \vdash Params : TypeList \quad \Gamma \vdash Block}{\Gamma \vdash func \text{ ident } (TypeList) Type \{Block\}}$$

$$(\text{DeclProc}) \frac{\Gamma \vdash \text{ident} \quad \Gamma \vdash Params : TypeList \quad \Gamma \vdash Block}{\Gamma \vdash func \text{ ident } (TypeList) void \{Block\}}$$

$$(\text{WriteInt}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \text{int}}{\Gamma \vdash \text{writeInt } (RExp)}$$

$$(\text{WriteFloat}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \text{float}}{\Gamma \vdash \text{writeFloat } (RExp)}$$

$$(\text{WriteChar}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \text{char}}{\Gamma \vdash \text{writeChar } (RExp)}$$

$$(\text{WriteString}) \frac{\Gamma \vdash RExp : \text{string}}{\Gamma \vdash \text{writeString } (RExp)}$$

$$(\text{ReadInt}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash \text{readInt } () : \text{int}}$$

$$(\text{ReadFloat}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash \text{readFloat } () : \text{float}}$$

$$(\text{ReadChar}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash \text{readChar } () : \text{char}}$$

$$(\text{ReadString}) \frac{\Gamma \vdash \diamond}{\Gamma \vdash \text{readString } () : \text{string}}$$

6 Test Case

Sono stati preparati dei test-case significativi che possono essere eseguiti in sequenza attraverso il comando *make demo*, oppure singolarmente attraverso i comandi *make demo1*, *make demo2*, *make demo3* e *make demo4*.