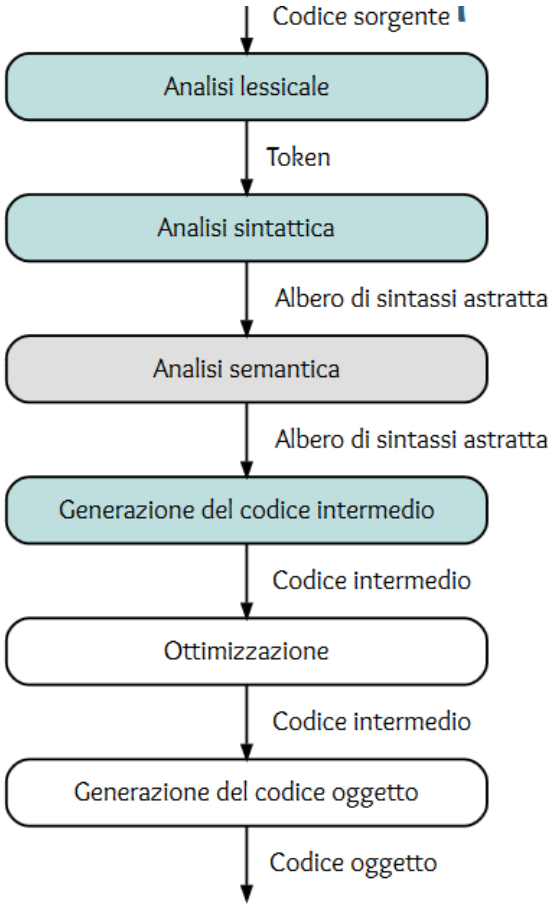
Laboratorio di Linguaggi Formali e Traduttori
LFT lab T2, a.a. 2022/2023

Generazione del bytecode

Esercizio 5.1

- Si scriva un traduttore per i programmi scritti nel linguaggio `P` (dove la grammatica del linguaggio `P` è quello scritto nel testo dell'Esercizio 3.2).
- Classe Translator: frammento di codice da completare (se ritenete opportuno, si può modificare il codice già scritto nel frammento).
  - La classe Translator deve implementare parsing a discesa ricorsiva, e non solo traduzione (come nell'Esercizio 4.1, dove il programma da ottenere si occupa sia del parsing a discesa ricorsiva che la valutazione di espressioni aritmetiche).
  - Concetti/codice della soluzione dell'Esercizio 3.2 sono da utilizzare.
- Scrivete un SDT ''on-the-fly'', ispirandosi dagli esempi di SDT ''on-the-fly'' delle slide di teoria.
  - Leggere con attenzione le slide sulle espressioni aritmetiche (file «comp_e.pdf»/«5.4 Traduzione di espressioni aritmetiche»), sulle espressioni booleane (file «comp_b.pdf»/«5.5 Traduzione di espressioni logiche») e sui comandi (file «comp_s.pdf»/«5.6 Traduzione di comandi»).

Generazione codice intermedio

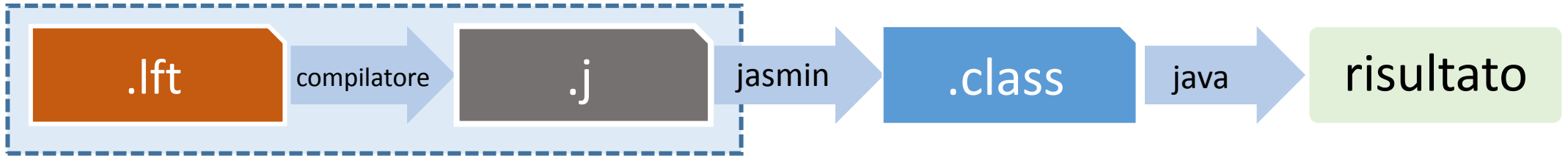


- Generazione codice intermedio:
  - Fase successiva a quelle dell'analisi lessicale e dell'analisi sintattica (l'analisi semantica non è stato affrontato in questo corso).
  - Traduzione di un programma di un linguaggio (sorgente) a un altro (oggetto).
  - Nostro caso:
    - Sorgente: il linguaggio dell'Esercizio 3.2.
    - Oggetto: bytecode per la JVM.

Generazione del bytecode

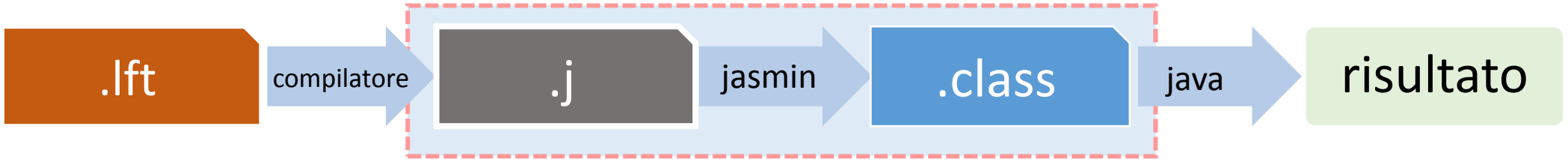
- Utilizzo tipico del JVM:

- Obiettivo: realizzare un compilatore per il linguaggio `P` dove il linguaggio oggetto è bytecode JVM in formato mnemonico.



- File .j: bytecode JVM in formato *mnemonico*.
- File .class: bytecode JVM in formato *binario*.
- Jasmin: programma assembler per tradurre il bytecode dal formato mnemonico al formato binario.

Generazione del bytecode



- jasmin.jar può essere scaricato dalla pagina Moodle/I-learn del laboratorio.
- Per eseguire Jasmin (con il file Output.j come input a jasmin):

```
java –jar jasmin.jar Output.j
```

- Jasmin crea il file Output.class.

Comandi del linguaggio

Comando	Significato	Esempio del comando
`assign` *<expr>* `to` *<idlist>*	Assegnamento del valore di un'espressione a uno o più identificatori	`assign 3 to x,y`
`print[`*<exprlist>*`]`	Stampare sul terminale i valori di un elenco di espressioni	`print[+(x,3),4]`
`read[`*<idlist>*`]`	Legge un o più input dalla tastiera	`read[x,y]`

`while(`*<bexpr>*`)` *<stat>*	Ciclo: se la condizione booleana *<bexpr>* è vera, eseguire un comando, poi ripetere	`while (<> x 0)`
		`{read[x];`
		`print[x]}`

`{`*<statlist>*`}`	Composizione sequenziale: raggruppa un elenco di comandi	`{`
		`read[x];`
		`print[*(x,3)]`
		`}`

Comandi del linguaggio

Comando	Significato	Esempio del comando

`conditional`
`[`
`option (`*<bexpr$_1$>*`) do` *<stat$_1$>*
…
`option (`*<bexpr$_n$>*`) do` *<stat$_n$>*
`]`
`end`
	Un comando condizionale:
	se la prima espressione da *<bexpr$_1$>…<bexpr$_n$>* che risulta valutata come vera è *<bexpr$_k$>* allora *<stat$_k$>* è eseguito, si esce dall'istruzione `cond` e si procede alla prossima istruzione.
		`conditional`
		`[`
		`option (> x 0) do {`
		`  print[x];`
		`  assign 3 to x`
		`}`
		`option (> y 0) do print[y]`
		`]`
		`end`

`conditional`
`[`
`option (`*<bexpr$_1$>*`) do` *<stat$_1$>*
…
`option (`*<bexpr$_n$>*`) do` *<stat$_n$>*
`]`
`else` *<stat>* `end`
	Estende il comando precedente con il caso else/default: se nessuna espressione nell'elenco *<bexpr$_1$>…<bexpr$_n$>* è verificata, viene eseguito lo *⟨stat⟩* scritto dopo `else`.	`conditional`
		`[`
		`option (> x 0) do {`
		`  print[x];`
		`  assign 3 to x`
		`}`
		`option (> y 0) do print[y]`
		`]`
		`else print[z]`

Esempi di traduzione

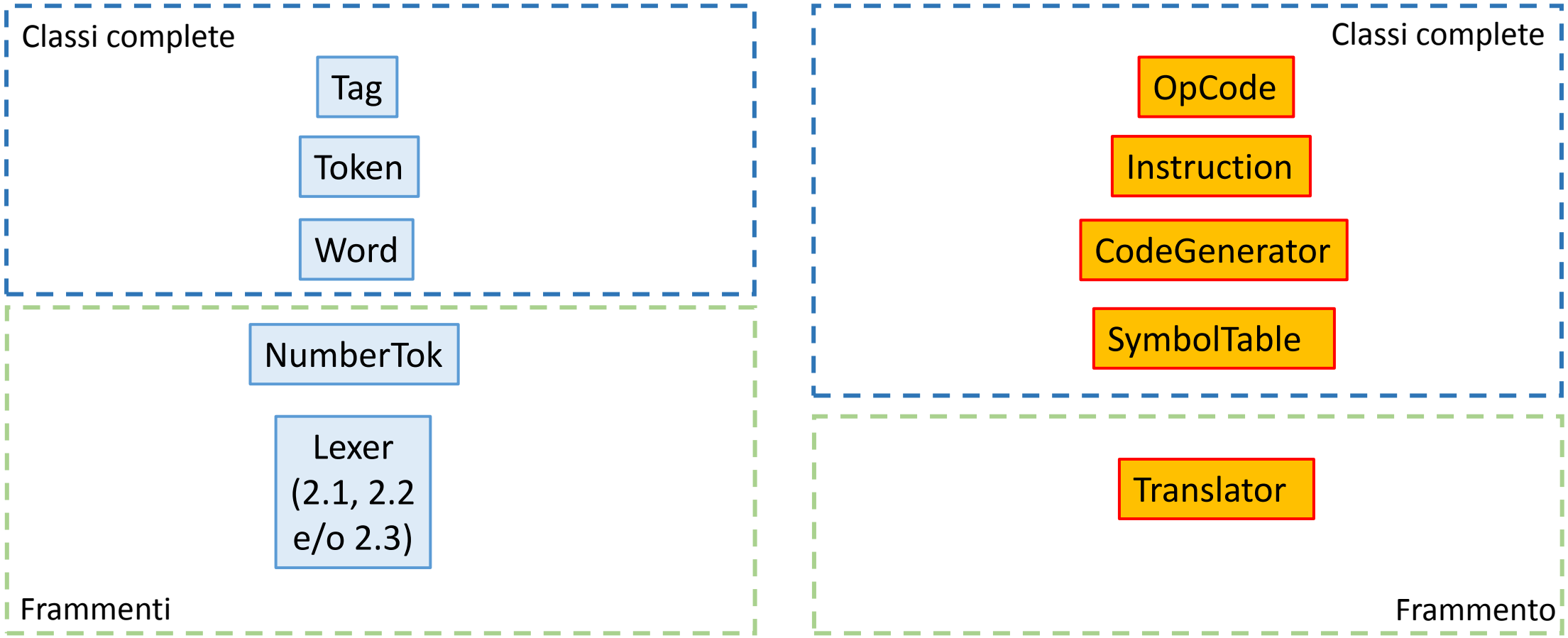
Programma .lft

```
read[a];
print[+(a,1)]
```

Esempio di traduzione del programma .lft (frammento di Output.j)

```
 invokestatic Output/read()I
 istore 0
 goto L1
L1:
 iload 0
 ldc 1
 iadd
 invokestatic Output/print(I)V
 goto L2
L2:
 goto L0
L0:
```

Classi del generatore di bytecode



Classi relative al lexer

Classi relative alla generazione del bytecode

Classi di supporto

- OpCode: semplice enumerazione dei nomi mnemonici delle istruzioni del linguaggio oggetto.

```
public enum OpCode {
    ldc, imul, ineg, idiv, iadd,
    isub, istore, ior, iand, iload,
    if_icmpeq, if_icmple, if_icmplt, if_icmpne, if_icmpge,
    if_icmpgt, ifne, GOto, invokestatic, dup, pop, label }
```

Classi di supporto

- Instruction: verrà usata per rappresentare singole istruzioni del linguaggio mnemonico.
  - Il metodo `toJasmin` restituisce l'istruzione nel formato adeguato per l'assembler jasmin.

```
public class Instruction {
    OpCode opCode;
    int operand;

    public Instruction(OpCode opCode) {
        this.opCode = opCode;
    }

    public Instruction(OpCode opCode, int operand) {
        this.opCode = opCode;
        this.operand = operand;
    }

    public String toJasmin() {
        String temp="";
        switch (opCode) {
            case ldc : temp = " ldc " + operand + "\n"; break;
            case invokestatic :
               if( operand == 1)
                  temp = " invokestatic " + "Output/print(I)V" + "\n";
               else
                  temp = " invokestatic " + "Output/read()I" + "\n"; break;
            case iadd : temp = " iadd " + "\n"; break;
            case imul : temp = " imul " + "\n"; break;
            case
```

...

Classi di supporto

- CodeGenerator: ha lo scopo di memorizzare in una struttura apposita la lista delle istruzioni (come oggetti di tipo Instruction) generate.
- I metodi `emit`/`emitLabel` sono usati per aggiungere istruzioni o etichette di salto nel codice.
- Le costanti `header` e `footer` definiscono il preambolo e l'epilogo del codice generato dal traduttore per restituire, mediante il metodo `toJasmin`, un file la cui struttura risponde ai requisiti dell'assembler jasmin.

```
public class CodeGenerator {

    LinkedList <Instruction> instructions = new LinkedList <Instruction>();

    int label=0;

    public void emit(OpCode opCode) {
        instructions.add(new Instruction(opCode));
    }

    public void emit(OpCode opCode , int operand) {
        instructions.add(new Instruction(opCode, operand));
    }

    public void emitLabel(int operand) {
        emit(OpCode.label, operand);
    }

    public int newLabel() {
        return label++;
    }

    public void toJasmin() throws IOException{
        PrintWriter out = new PrintWriter(new FileWriter("Output.j"));
        String temp = "";
        temp = temp + header;
        while(instructions.size() > 0){
            Instruction tmp = instructions.remove();
            temp = temp + tmp.toJasmin();
        }
        temp = temp + footer;
        out.println(temp);
        out.flush();
        out.close();
```

...

Classi di supporto

- CodeGenerator: ha lo scopo di memorizzare in una struttura apposita la lista delle istruzioni (come oggetti di tipo Instruction) generate.
- I metodi `emit/emitLabel` sono usati per aggiungere istruzioni o etichette di salto nel codice.
- Le costanti `header` e `footer` definiscono il preambolo e l'epilogo del codice generato dal traduttore per restituire, mediante il metodo `toJasmin`, un file la cui struttura risponde ai requisiti dell'assembler jasmin.

```
public class CodeGenerator {

    LinkedList <Instruction> instructions = new LinkedList <Instruction>();

    int label=0;

    public void emit(OpCode opCode) {
        instructions.add(new Instruction(opCode));
    }

    public void emit(OpCode opCode , int operand) {
        instructions.add(new Instruction(opCode, operand));
    }

    public void emitLabel(int operand) {
        emit(OpCode.label, operand);
    }

    public int newLabel() {
        return label++;
    }

    public void toJasmin() throws IOException{
        PrintWriter out = new PrintWriter(new FileWriter("Output.j"));
        String temp = "";
        temp = temp + header;
        while(instructions.size() > 0){
            Instruction tmp = instructions.remove();
            temp = temp + tmp.toJasmin();
        }
        temp = temp + footer;
        out.println(temp);
        out.flush();
        out.close();
```

...

Classi di supporto

- CodeGenerator: ha lo scopo di memorizzare in una struttura apposita la lista delle istruzioni (come oggetti di tipo Instruction) generate.
- I metodi `emit/emitLabel` sono usati per aggiungere istruzioni o etichette di salto nel codice.
- Le costanti `header` e `footer` definiscono il preambolo e l'epilogo del codice generato dal traduttore per restituire, mediante il metodo `toJasmin`, un file la cui struttura risponde ai requisiti dell'assembler jasmin.

```
public class CodeGenerator {

    LinkedList <Instruction> instructions = new LinkedList <Instruction>();

    int label=0;

    public void emit(OpCode opCode) {
        instructions.add(new Instruction(opCode));
    }

    public void emit(OpCode opCode , int operand) {
        instructions.add(new Instruction(opCode, operand));
    }

    public void emitLabel(int operand) {
        emit(OpCode.label, operand);
    }

    public int newLabel() {
        return label++;
    }

    public void toJasmin() throws IOException{
        PrintWriter out = new PrintWriter(new FileWriter("Output.j"));
        String temp = "";
        temp = temp + header;
        while(instructions.size() > 0){
            Instruction tmp = instructions.remove();
            temp = temp + tmp.toJasmin();
        }
        temp = temp + footer;
        out.println(temp);
        out.flush();
        out.close();
```

...

Classi di supporto

- SymbolTable: tabella dei simboli; per tenere traccia degli identificatori e loro indirizzi.
- Indirizzi: utilizzati come argomento dei comandi `iload` oppure `istore`.
- Metodo `insert`: inserisce un nuovo elemento (coppia lessema/indirizzo) nella tabella, se non esiste già un elemento con lo stesso lessema nella tabella.
- Metodo `lookupAddress`: dato un lessema, `lookupAddress` restituisce l'indirizzo del elemento della tabella che corrisponde al lessema (e restituisce -1 se non ci sono elementi della tabella che corrispondono al lessema).

```
public class SymbolTable {

    Map <String, Integer> OffsetMap = new HashMap <String,Integer>();

    public void insert( String s, int address ) {
            if( !OffsetMap.containsValue(address) )
                OffsetMap.put(s,address);
            else
                throw new IllegalArgumentException("Riferimento ad una
                   locazione di memoria gia` occupata da un'altra variabile");
    }

    public int lookupAddress ( String s ) {
            if( OffsetMap.containsKey(s) )
                return OffsetMap.get(s);
            else
                return -1;
    }
}
```

Classi di supporto

- SymbolTable: tabella dei simboli; per tenere traccia degli identificatori e loro indirizzi.
- Indirizzi: utilizzati come argomento dei comandi `iload` oppure `istore`.
- Metodo `insert`: inserisce un nuovo elemento (coppia lessema/indirizzo) nella tabella, se non esiste già un elemento con lo stesso lessema nella tabella.
- Metodo `lookupAddress`: dato un lessema, `lookupAddress` restituisce l'indirizzo del elemento della tabella che corrisponde al lessema (e restituisce -1 se non ci sono elementi della tabella che corrispondono al lessema).

```
public class SymbolTable {

    Map <String, Integer> OffsetMap = new HashMap <String,Integer>();

    public void insert( String s, int address ) {
            if( !OffsetMap.containsValue(address) )
                OffsetMap.put(s,address);
            else
                throw new IllegalArgumentException("Riferimento ad una
                   locazione di memoria gia` occupata da un'altra variabile");
    }

    public int lookupAddress ( String s ) {
            if( OffsetMap.containsKey(s) )
                return OffsetMap.get(s);
            else
                return -1;
    }
}
```

Classi di supporto

- SymbolTable: tabella dei simboli; per tenere traccia degli identificatori e loro indirizzi.
- Indirizzi: utilizzati come argomento dei comandi `iload` oppure `istore`.
- Metodo `insert`: inserisce un nuovo elemento (coppia lessema/indirizzo) nella tabella, se non esiste già un elemento con lo stesso lessema nella tabella.
- Metodo `lookupAddress`: dato un lessema, `lookupAddress` restituisce l'indirizzo del elemento della tabella che corrisponde al lessema (e restituisce -1 se non ci sono elementi della tabella che corrispondono al lessema).

```
public class SymbolTable {

    Map <String, Integer> OffsetMap = new HashMap <String,Integer>();

    public void insert( String s, int address ) {
            if( !OffsetMap.containsValue(address) )
                OffsetMap.put(s,address);
            else
                throw new IllegalArgumentException("Riferimento ad una
                   locazione di memoria gia` occupata da un'altra variabile");
    }

    public int lookupAddress ( String s ) {
            if( OffsetMap.containsKey(s) )
                return OffsetMap.get(s);
            else
                return -1;
    }
}
```

Classe Translator

- Metodo `prog`:
  - Prima azione da fare: creare una nuova etichetta (*statlist.next* nel SDT, `lnext_prog` nel codice).
  - Il valore della etichetta è assegnata ad un attributo ereditato associato con (il nodo nell'albero sintattico di) *<statlist>*.
  - Dopo *<statlist>*, l'etichetta *statlist.next*/`lnext_prog` è emessa.
  - Dopo il controllo del terminale `EOF`, `code.toJasmin()` è chiamato, per creare il file Output.j.

<prog> ::= {statlist.next=newlabel()} **<statlist>** *{emitlabel(statlist.next)}* `EOF`

```
public void prog() {
    // ... completare ...
    int lnext_prog = code.newLabel();
    statlist(lnext_prog);
    code.emitLabel(lnext_prog);
    match(Tag.EOF);
    try {
            code.toJasmin();
    }
    catch(java.io.IOException e) {
            System.out.println("IO error\n");
    };
    // ... completare ...
}
```

Classe Translator

- Metodo `prog`:
  - Prima azione da fare: creare una nuova etichetta (*statlist.next* nel SDT, `lnext_prog` nel codice).
  - Il valore della etichetta è assegnata ad un attributo ereditato associato con (il nodo nell'albero sintattico di) *<statlist>*.
  - Dopo *<statlist>*, l'etichetta *statlist.next*/`lnext_prog` è emessa.
  - Dopo il controllo del terminale `EOF`, `code.toJasmin()` è chiamato, per creare il file Output.j.

<prog> ::= {statlist.next=newlabel()} *<statlist>* *{emitlabel(statlist.next)}* `EOF`

```
public void prog() {
    // ... completare ...
    int lnext_prog = code.newLabel();
    statlist(lnext_prog);
    code.emitLabel(lnext_prog);
    match(Tag.EOF);
    try {
            code.toJasmin();
    }
    catch(java.io.IOException e) {
            System.out.println("IO error\n");
    };
    // ... completare ...
}
```

Classe Translator

- Metodo `prog`:
  - Prima azione da fare: creare una nuova etichetta (*statlist.next* nel SDT, `lnext_prog` nel codice).
  - Il valore della etichetta è assegnata ad un attributo ereditato associato con (il nodo nell'albero sintattico di) *<statlist>*.
  - Dopo *<statlist>*, l'etichetta *statlist.next*/`lnext_prog` è emessa.
  - Dopo il controllo del terminale `EOF`, `code.toJasmin()` è chiamato, per creare il file Output.j.

<prog> ::= {statlist.next=newlabel()} *<statlist>* *{emitlabel(statlist.next)}* `EOF`

```
public void prog() {
    // ... completare ...
    int lnext_prog = code.newLabel();
    statlist(lnext_prog);
    code.emitLabel(lnext_prog);
    match(Tag.EOF);
    try {
            code.toJasmin();
    }
    catch(java.io.IOException e) {
            System.out.println("IO error\n");
    };
    // ... completare ...
}
```

Classe Translator

- Metodo `prog`:
  - Prima azione da fare: creare una nuova etichetta (*statlist.next* nel SDT, `lnext_prog` nel codice).
  - Il valore della etichetta è assegnata ad un attributo ereditato associato con (il nodo nell'albero sintattico di) *<statlist>*.
  - Dopo *<statlist>*, l'etichetta *statlist.next*/`lnext_prog` è emessa.
  - Dopo il controllo del terminale `EOF`, `code.toJasmin()` è chiamato, per creare il file Output.j.

<prog> ::= {statlist.next=newlabel()} <statlist> {emitlabel(statlist.next)} `EOF`

```
public void prog() {
    // ... completare ...
    int lnext_prog = code.newLabel();
    statlist(lnext_prog);
    code.emitLabel(lnext_prog);
    match(Tag.EOF);
    try {
            code.toJasmin();
    }
    catch(java.io.IOException e) {
            System.out.println("IO error\n");
    };
    // ... completare ...
}
```

Classe Translator

- Metodo `prog`:
  - Prima azione da fare: creare una nuova etichetta (*statlist.next* nel SDT, `lnext_prog` nel codice).
  - Il valore della etichetta è assegnata ad un attributo ereditato associato con (il nodo nell'albero sintattico di) *<statlist>*.
  - Dopo *<statlist>*, l'etichetta *statlist.next*/`lnext_prog` è emessa.
  - Dopo il controllo del terminale `EOF`, `code.toJasmin()` è chiamato, per creare il file Output.j.

<prog> ::= {statlist.next=newlabel()} <statlist> {emitlabel(statlist.next)} `EOF`

```
public void prog() {
    // ... completare ...
    int lnext_prog = code.newLabel();
    statlist(lnext_prog);
    code.emitLabel(lnext_prog);
    match(Tag.EOF);
    try {
            code.toJasmin();
    }
    catch(java.io.IOException e) {
            System.out.println("IO error\n");
    };
    // ... completare ...
}
```

Classe Translator

- Metodo `expr` (produzione per sottrazione):
  - Come ultima azione da fare rispetto alla produzione associata con sottrazione, emettere un comando di sottrazione (isub).

<expr> ::= + …
| - *<expr>* *<expr>* *{emit(isub)}*
| * …
| / …
| NUM
| ID

```
case '-':
    match('-');
    expr();
    expr();
    code.emit(OpCode.isub);
    break;
```

Classe Translator

- Metodo `stat` (produzione per `read`):

```
public void stat( /* completare */ ) {
    switch(look.tag) {
    // ... completare ...
        case Tag.READ:
            match(Tag.READ);
            match('[');
            idlist(/* completare */);
            match(']');
    // ... completare ...
    }
 }
```

- Metodo `idlist`:
  - Se l'identificatore è già nella tabella dei simboli, recuperare l'indirizzo associato con l'identificatore.
  - Se l'identificatore non è stato inserito nella tabella dei simboli, inserire un nuovo elemento nella tabella (utilizzando `count` per garantire che ogni identificatore è associato con un indirizzo diverso).

```
private void idlist(/* completare */) {
    switch(look.tag) {
        case Tag.ID:
            int id_addr = st.lookupAddress(((Word)look).lexeme);
            if (id_addr==-1) {
                id_addr = count;
                st.insert(((Word)look).lexeme,count++);
            }
            match(Tag.ID);
            /* completare */
    }
}
```