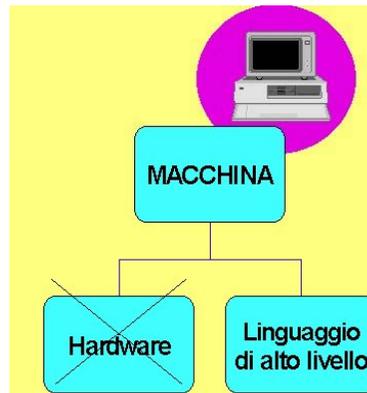


## LINGUAGGI DI ALTO LIVELLO

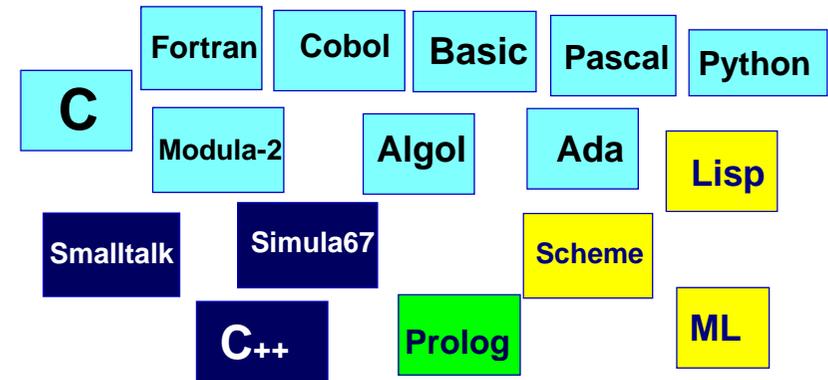
Si basano su una *macchina virtuale* le cui "mosse" non sono quelle della macchina hardware



1

## LINGUAGGI DI ALTO LIVELLO

### Barriera di astrazione

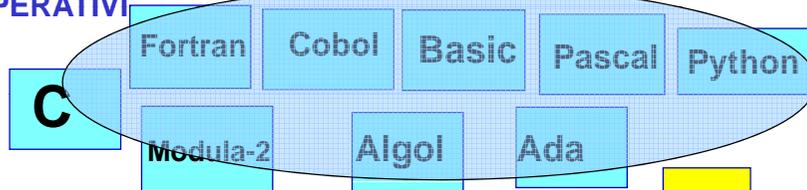


2

## LINGUAGGI DI ALTO LIVELLO

### Barriera di astrazione

IMPERATIVI

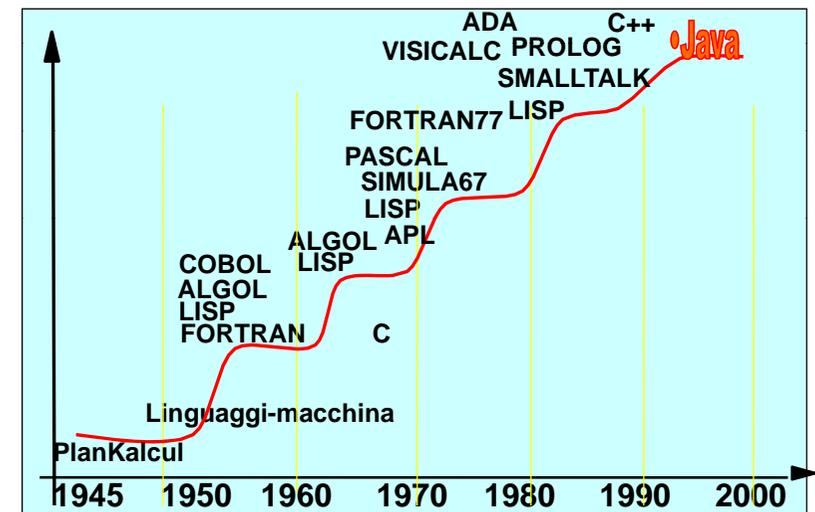


A OGGETTI

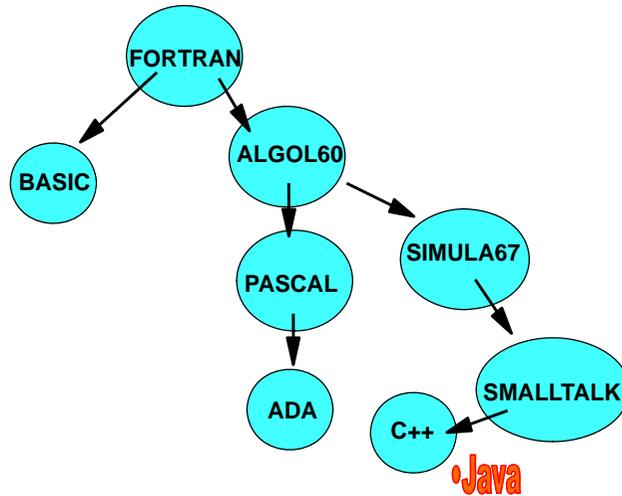
DICHIARATIVI

3

## EVOLUZIONE DEI LINGUAGGI



## EVOLUZIONE DEI LINGUAGGI



5

## CHE COS'È UN LINGUAGGIO?

“Un linguaggio è un **insieme di parole** e di **metodi di combinazione delle parole** usate e comprese da una comunità di persone”

- È una definizione **poco precisa**:
  - non evita le *ambiguità* dei linguaggi naturali
  - non si presta a descrivere processi computazionali *meccanizzabili*
  - non aiuta a stabilire proprietà

6

## LA NOZIONE DI LINGUAGGIO

- Occorre una **nozione di linguaggio più precisa**
- **Linguaggio come sistema matematico** che consenta di rispondere a domande come:
  - quali sono le **frasi lecite**?
  - si può stabilire se una frase **appartiene al linguaggio**?
  - come si stabilisce il **significato** di una frase?
  - **quali elementi linguistici primitivi**?

7

## LINGUAGGIO & PROGRAMMA

- Dato un algoritmo, **un programma** è la sua **descrizione in un particolare linguaggio** di programmazione
- **Un linguaggio di programmazione** è una **notazione formale** che può essere usata per descrivere algoritmi. Due aspetti del linguaggio:
  - SINTASSI
  - SEMANTICA

8

## SINTASSI & SEMANTICA

---

- **Sintassi:** l'insieme di regole formali per la scrittura di programmi in un linguaggio, che dettano le *modalità per costruire frasi corrette* nel linguaggio stesso
- **Semantica:** l'insieme dei significati da attribuire alle frasi (sintatticamente corrette) costruite nel linguaggio

**NB:** una frase può essere **sintatticamente corretta** e tuttavia **non avere significato!**

9

## SINTASSI

---

Le regole sintattiche sono espresse attraverso *notazioni formali*:

- ◆ **BNF (Backus-Naur Form)**
- ◆ **EBNF (Extended BNF)**
- ◆ **diagrammi sintattici**

10

## SINTASSI EBNF: ESEMPIO

---

### Sintassi di un *numero naturale*

```
<naturale> ::=
  0 | <cifra-non-nulla>{<cifra>}
<cifra-non-nulla> ::=
  1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
<cifra> ::=
  0 | <cifra-non-nulla>
```

11

## ESEMPIO DI SINTASSI: numeri naturali

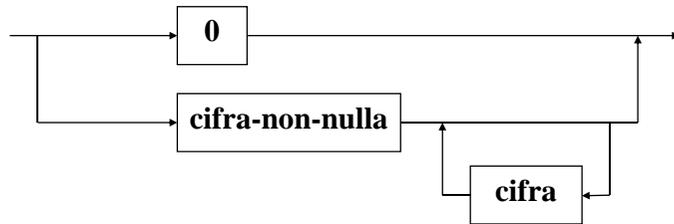
---

```
<naturale> ::=
  0 | <cifra-non-nulla>{<cifra>}
Intuitivamente significa che un numero naturale si può riscrivere
come 0 oppure (|) come una cifra non nulla seguita da zero o più
({}) cifre
<cifra-non-nulla> ::=
  1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
una cifra non nulla si può riscrivere come 1 oppure 2 oppure 3...
<cifra> ::= 0 | <cifra-non-nulla>
una cifra si può riscrivere come 0 oppure come una cifra non
nulla (definita precedentemente)
```

12

## DIAGRAMMI SINTATTICI: ESEMPIO

### Sintassi di un *numero naturale*



13

## SEMANTICA

La semantica è esprimibile:

- ◆ **a parole** (poco precisa e ambigua)
- ◆ mediante **azioni**  
→ **semantica operativa**
- ◆ mediante **funzioni matematiche**  
→ **semantica denotazionale**
- ◆ mediante **formule logiche**  
→ **semantica assiomatica**

14

## DEFINIZIONE DI LINGUAGGIO

- Un linguaggio è un **insieme di frasi**
- Una frase è una **sequenza di simboli** appartenenti a un certo alfabeto

Proprietà desiderabili:

- Un linguaggio deve essere **effettivamente generabile**
- Un linguaggio di programmazione deve essere **decidibile**

15

## ALCUNE DEFINIZIONI

**Alfabeto V (o vocabolario o lessico)**

- È **l'insieme dei simboli** con cui si costruiscono le frasi

**Universo linguistico  $V^*$  di un alfabeto V**

- È **l'insieme di tutte le frasi** (sequenze finite di lunghezza arbitraria) di elementi di V

**Linguaggio L su un alfabeto V**

- È **un sottoinsieme di  $V^*$**

16

## ESEMPIO

$V = \{ \text{if, else, ==, A, 0, =, +, 1, 2, (, )} \}$

Allora:

```
V* = {  
    if (A == 0) A = A + 2,  
    if else A,  
    do =A,  
    ...  
}
```

17

## ESEMPIO

$V = \{ \text{if, else, ==, A, 0, =, +, 1, 2, (, )} \}$

Allora:

```
V* = {  
    if (A == 0) A = A + 2,  
    if else A,  
    do =A,  
    ...  
}
```

Non tutte queste frasi faranno parte del linguaggio

18

## LINGUAGGI E GRAMMATICHE

- Come specificare il sottoinsieme di  $V^*$  che definisce il linguaggio?
- **Specificando il modo formale e preciso la sintassi delle frasi del linguaggio**

TRAMITE

una **grammatica formale**:  
una **notazione matematica** che consente di esprimere **in modo rigoroso la sintassi di un linguaggio**

19

## GRAMMATICA FORMALE

Una *quadrupla*  $\langle VT, VN, P, S \rangle$  dove:

- $VT$  è un *insieme finito di simboli terminali*
- $VN$  è un *insieme finito di simboli non terminali*
- $P$  è un *insieme finito di produzioni*, ossia di *regole di riscrittura*
- $S$  è un particolare *simbolo non-terminale* detto *simbolo iniziale* o *scopo* della grammatica

20

## GRAMMATICA B.N.F.

Una *Grammatica B.N.F.* è una grammatica in cui le *produzioni* hanno la forma

$$X ::= A$$

- $X \in VN$  è un simbolo non terminale
- $A$  è una **sequenza di simboli** ciascuno appartenente all'alfabeto  $VN \cup VT$

- Una *Grammatica B.N.F.* definisce quindi un **linguaggio sull'alfabeto terminale  $VT$**  mediante un **meccanismo di derivazione** (o riscrittura)

21

## GRAMMATICA E LINGUAGGIO

Data una grammatica  $G$ , si dice perciò **Linguaggio  $L_G$  generato da  $G$**

l'insieme delle frasi di  $V$

- derivabili dal **simbolo iniziale  $S$**
- applicando le **produzioni  $P$**

Le frasi di un linguaggio di programmazione vengono dette **programmi** di tale linguaggio

22

## DERIVAZIONE

Siano

- $G$  una grammatica
- $\beta, \gamma$  due *stringhe*, cioè due elementi dell'universo linguistico  $(VN \cup VT)^*$

**$\gamma$  deriva direttamente da  $\beta$  (e si scrive  $\beta \rightarrow \gamma$ ) se**

- le stringhe **si possono decomporre** in  $\beta = \eta A \delta$        $\gamma = \eta \alpha \delta$
- ed esiste la produzione  **$A ::= \alpha$**

In generale,  **$\gamma$  deriva da  $\beta$**  se esiste una sequenza di  $N$  derivazioni *dirette* che da  $\beta$  possono produrre

$$\gamma \beta = \beta_0 \rightarrow \beta_1 \rightarrow \dots \rightarrow \beta_n = \gamma$$

23

## FORMA B.N.F. COMPATTA

- In una grammatica BNF spesso **esistono più regole con la stessa parte sinistra:**

$$\begin{aligned} - X & ::= A_1 \\ - & \dots \\ - X & ::= A_N \end{aligned}$$

- Per comodità si stabilisce allora di poterle **compattare in un'unica regola:**

$$X ::= A_1 \mid A_2 \mid \dots \mid A_N$$

dove **il simbolo  $\mid$  indica l'alternativa**

24

## ESEMPIO COMPLESSIVO

$G = \langle VT, VN, P, S \rangle$

dove:

$VT = \{ \text{il, gatto, topo, sasso, mangia, beve} \}$

$VN = \{ \langle \text{frase} \rangle, \langle \text{soggetto} \rangle, \langle \text{verbo} \rangle, \langle \text{compl-ogg} \rangle, \langle \text{articolo} \rangle, \langle \text{nome} \rangle \}$

$S = \langle \text{frase} \rangle$

$P = \dots$

25

## ESEMPIO COMPLESSIVO

$P = \{$

$\langle \text{frase} \rangle ::= \langle \text{soggetto} \rangle \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{compl-ogg} \rangle$

$\langle \text{soggetto} \rangle ::= \langle \text{articolo} \rangle \langle \text{nome} \rangle$

$\langle \text{articolo} \rangle ::= \text{il}$

$\langle \text{nome} \rangle ::= \text{gatto} \mid \text{topo} \mid \text{sasso}$

$\langle \text{verbo} \rangle ::= \text{mangia} \mid \text{beve}$

$\langle \text{compl-ogg} \rangle ::= \langle \text{articolo} \rangle \langle \text{nome} \rangle$

$\}$

26

## ESEMPIO COMPLESSIVO

**ESEMPIO: derivazione della frase**

*“il sasso mangia il topo”*

(ammesso che tale frase *sia derivabile*, ossia faccia parte del linguaggio generato dalla nostra grammatica)

**DERIVAZIONE “LEFT-MOST”**

A partire dallo scopo della grammatica, si riscrive sempre *il simbolo non-terminale più a sinistra*

27

## ESEMPIO COMPLESSIVO

$\langle \text{frase} \rangle$

→  $\langle \text{soggetto} \rangle \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{compl-ogg} \rangle$

→  $\langle \text{articolo} \rangle \langle \text{nome} \rangle \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{compl-ogg} \rangle$

→ **il**  $\langle \text{nome} \rangle \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{compl-ogg} \rangle$

→ **il sasso**  $\langle \text{verbo} \rangle \langle \text{compl-ogg} \rangle$

→ **il sasso mangia**  $\langle \text{compl-ogg} \rangle$

→ **il sasso mangia**  $\langle \text{articolo} \rangle \langle \text{nome} \rangle$

→ **il sasso mangia il**  $\langle \text{nome} \rangle$

→ **il sasso mangia il topo**

28

## ESEMPIO COMPLESSIVO

### ALBERO SINTATTICO

*un grafo che esprime il processo di derivazione di una frase* usando una data grammatica

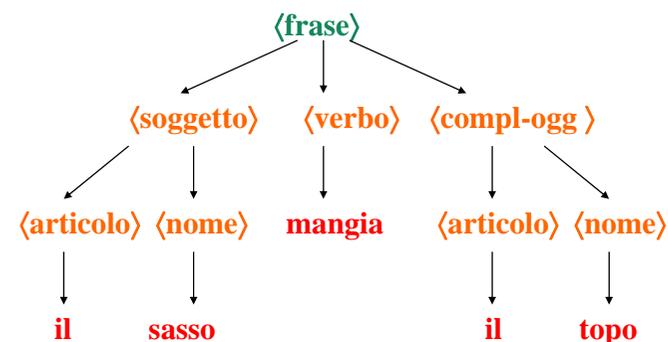
ESEMPIO: derivazione della frase

*“il sasso mangia il topo”*

(ammesso che tale frase *sia derivabile*, ossia faccia parte del linguaggio generato dalla nostra grammatica)

29

## ESEMPIO COMPLESSIVO



30

## EXTENDED B.N.F. (E.B.N.F.)

Una forma *estesa* della notazione B.N.F. che introduce alcune **notazioni compatte per alleggerire la scrittura** delle regole di produzione

Forma EBNF	BNF equivalente	significato
$X ::= [a] B$	$X ::= B \mid aB$	a può comparire 0 o 1 volta
$X ::= \{a\}^n B$	$X ::= B \mid aB \mid \dots \mid a^n B$	a può comparire da 0 a n volte
$X ::= \{a\} B$	$X ::= B \mid aX$	a può comparire 0 o più volte

NOTA: la produzione  $X ::= B \mid aX$  è ricorsiva (a destra)

31

## EXTENDED B.N.F. - E.B.N.F.

Per raggruppare **categorie sintattiche**:

Forma EBNF	BNF equivalente	significato
$X ::= (a \mid b) D \mid c$	$X ::= a D \mid b D \mid c$	raggruppa categorie sintattiche

- Ci sono programmi che possono creare automaticamente analizzatori sintattici (parser) per linguaggi espressi tramite EBNF
- XML è definito da una grammatica EBNF di circa 80 regole

32

## ESEMPIO: I NUMERI NATURALI

$G = \langle VT, VN, P, S \rangle$

dove:

$VT = \{ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \}$

$VN = \{ \langle \text{num} \rangle, \langle \text{cifra} \rangle, \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle \}$

$S = \langle \text{num} \rangle$

$P = \{$   
     $\langle \text{num} \rangle ::= \langle \text{cifra} \rangle \mid \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle \{ \langle \text{cifra} \rangle \}$   
     $\langle \text{cifra} \rangle ::= 0 \mid \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle$   
     $\langle \text{cifra-non-nulla} \rangle ::= 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9$   
 $\}$

33

## ESEMPIO: I NUMERI INTERI

- Sintassi analoga alla precedente
- ma con *la possibilità di un segno (+, -) davanti al numero naturale*

Quindi:

- *stesse regole di produzione più una per gestire il segno*
- **stesso alfabeto terminale più i due simboli + e -**

34

## ESEMPIO: I NUMERI INTERI

$G = \langle VT, VN, P, S \rangle$ , dove:

$VT = \{ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \quad \}$

$VN = \{ \langle \text{int} \rangle, \langle \text{num} \rangle, \langle \text{cifra} \rangle, \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle \}$

$P = \{$   
     $\langle \text{int} \rangle ::= [+|-] \langle \text{num} \rangle$   
     $\langle \text{num} \rangle ::= 0 \mid \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle \{ \langle \text{cifra} \rangle \}$   
     $\langle \text{cifra} \rangle ::= 0 \mid \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle$   
     $\langle \text{cifra-non-nulla} \rangle ::= 1|2|3|4|5|6|7|8|9$   
 $\}$

35

## ESEMPIO: IDENTIFICATORI

$G = \langle VT, VN, P, S \rangle$

- Nell'uso pratico, quasi sempre *si danno solo le regole di produzione*, definendo VT, VN e S *implicitamente*

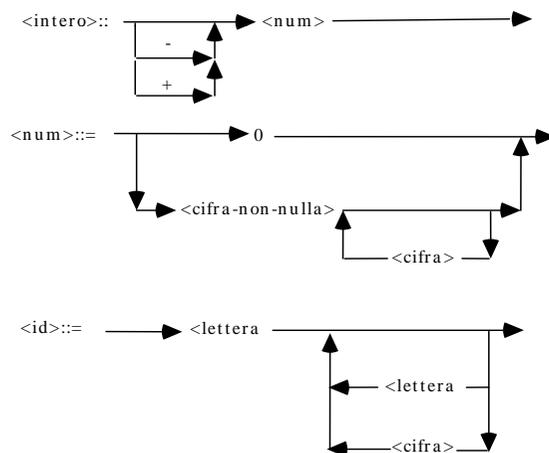
• Quindi:

$P = \{$   
     $\langle \text{id} \rangle ::= \langle \text{lettera} \rangle \{ \langle \text{lettera} \rangle \mid \langle \text{cifra} \rangle \}$   
     $\langle \text{lettera} \rangle ::= A \mid B \mid C \mid D \mid \dots \mid Z$   
     $\langle \text{cifra} \rangle ::= 0|1|2|3|4|5|6|7|8|9$   
 $\}$

```
graph TD
    P1["<id> ::= <lettera> { <lettera> | <cifra> }"]
    P2["<lettera> ::= A | B | C | D | ... | Z"]
    P3["<cifra> ::= 0|1|2|3|4|5|6|7|8|9"]
    
    S1["scopo"] --- P1
    S2["VN"] --- P1
    S3["VN"] --- P2
    S4["VT"] --- P1
    S5["VT"] --- P3
```

36

## DIAGRAMMI SINTATTICI



37

## ESEMPIO DI ALBERO SINTATTICO

- **Albero sintattico del numero -3457**  
(grammatica EBNF dell'esempio 2)

- Attenzione

poiché  $X ::= \{a\} B$  equivale a  $X ::= B \mid aX$ ,  
e  $X ::= C \{a\}$  equivale a  $X ::= C \mid Xa$ ,

la regola:

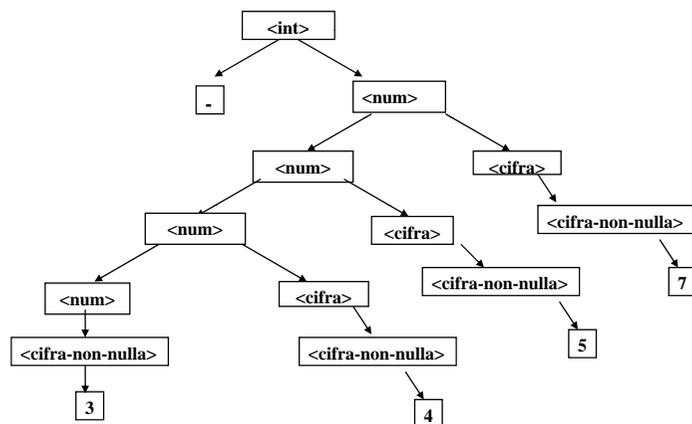
$\langle \text{num} \rangle ::= \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle \{ \langle \text{cifra} \rangle \}$

equivale a:

$\langle \text{num} \rangle ::= \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle \mid \langle \text{num} \rangle \langle \text{cifra} \rangle$

38

## ALBERO SINTATTICO DI -3457



39

## ESERCIZIO Grammatiche 1

Data la grammatica **G** con scopo **S** e simboli terminali **{a,c,0,1}**

$S ::= a F c$

$F ::= a S c \mid E$

$E ::= 0 \mid 1$

si mostri (mediante derivazione left-most) che la stringa **aaa1ccc** appartiene alla grammatica

40

## ESERCIZIO 1: Soluzione

$S ::= a F c$

$F ::= a S c \mid E$

$E ::= 0 \mid 1$

$S \rightarrow aFc \rightarrow aaSc \rightarrow aaaFccc \rightarrow aaaEccc$   
 $\rightarrow aaa1ccc$

41

## ESERCIZIO Grammatiche 2

Si consideri la grammatica  $G$  con scopo  $S$  e simboli terminali  $\{\text{il, la, Alice, regina, coniglio, sgrida, saluta, gioca}\}$

$S ::= T P \mid A T P$

$P ::= V \mid V T \mid V A T$

$T ::= \text{Alice} \mid \text{regina} \mid \text{coniglio}$

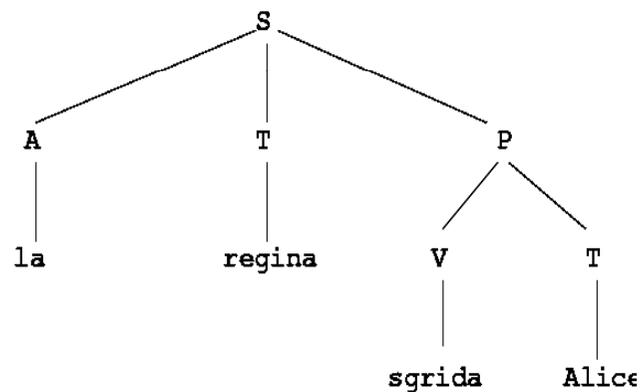
$A ::= \text{il} \mid \text{la}$

$V ::= \text{sgrida} \mid \text{saluta} \mid \text{gioca}$

Si dica se la stringa **la regina sgrida Alice** è sintatticamente corretta rispetto a tale grammatica e se ne mostri l'albero sintattico

42

## ESERCIZIO 2: Soluzione



43

## ESERCIZIO Grammatiche 3

Espressioni algebriche

$G = \langle VT, VN, P, S \rangle$ , dove:

$VT = \{ +, -, *, /, (, ), 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 \}$

$VN = \langle E \rangle, \langle T \rangle,$

$\langle F \rangle, \langle \text{num} \rangle,$

$\langle \text{cifra} \rangle, \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle \}$

$S = \langle E \rangle$

44

## ESERCIZIO Grammatiche 3

### Espressioni Algebriche

$P = \{$

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle T \rangle \mid \langle E \rangle - \langle T \rangle \mid \langle T \rangle$

$\langle T \rangle ::= \langle T \rangle * \langle F \rangle \mid \langle T \rangle / \langle F \rangle \mid \langle F \rangle$

$\langle F \rangle ::= \langle \text{cifra} \rangle \mid (\langle E \rangle)$

$\langle \text{cifra} \rangle ::= 0 \mid \langle \text{cifra-non-nulla} \rangle$

$\langle \text{cifra-non-nulla} \rangle ::= 1|2|3|4|5|6|7|8|9$

$\}$

Disegnare il diagramma sintattico di tale grammatica. Determinare poi se le seguenti frasi fanno parte del linguaggio generato da questa grammatica o no, e disegnarne l'albero di derivazione sintattica:

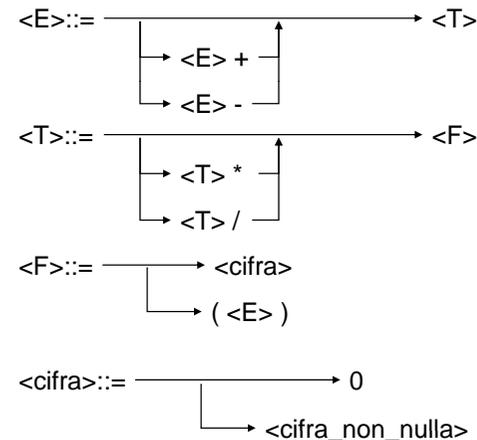
1.  $5 + 3 * 7$
2.  $3 / 0 + 4$

45

## ESERCIZIO Grammatiche 3

### Soluzione

Diagramma sintattico:

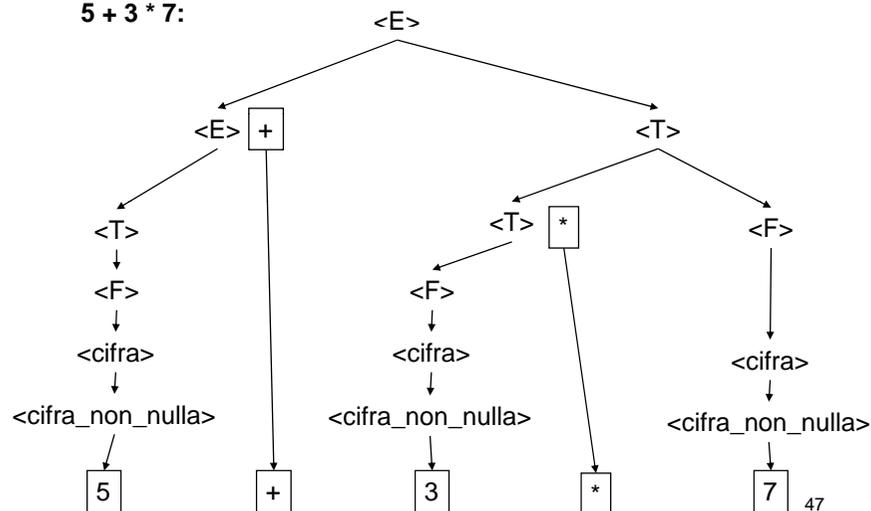


46

## ESERCIZIO Grammatiche 3

### Soluzione

$5 + 3 * 7:$

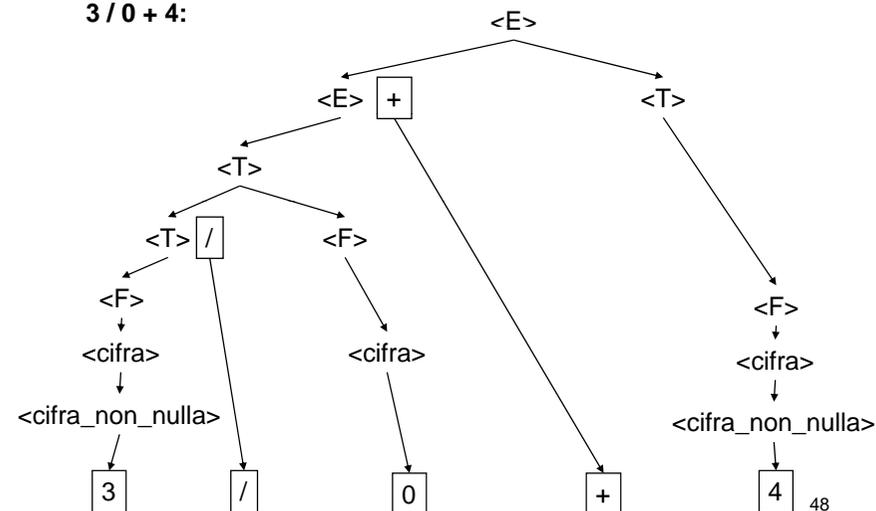


47

## ESERCIZIO Grammatiche 3

### Soluzione

$3 / 0 + 4:$



48