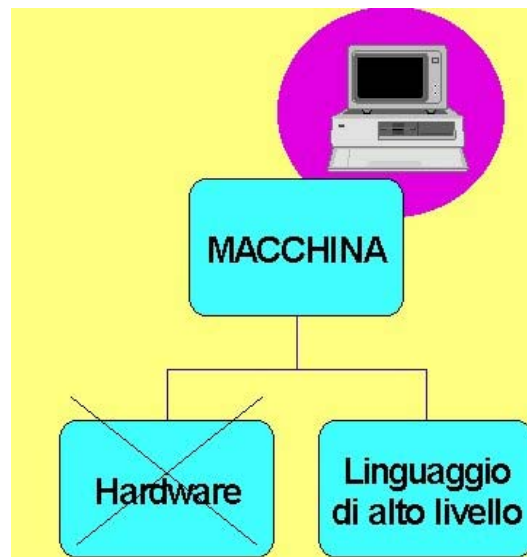


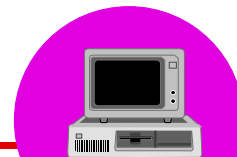
LINGUAGGI DI ALTO LIVELLO

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

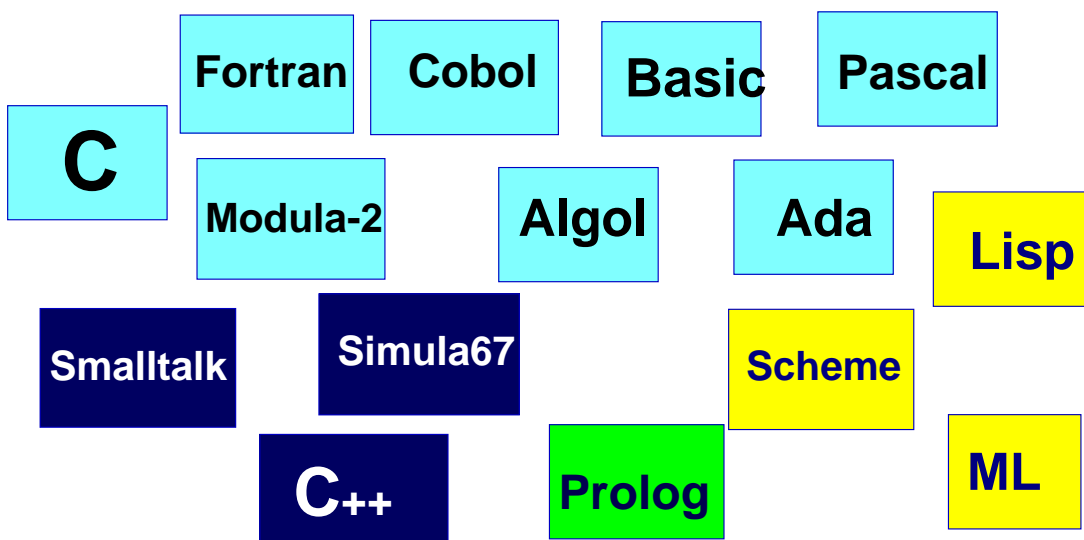


1

Linguaggi di alto livello

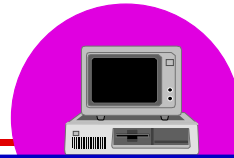


Barriera di astrazione



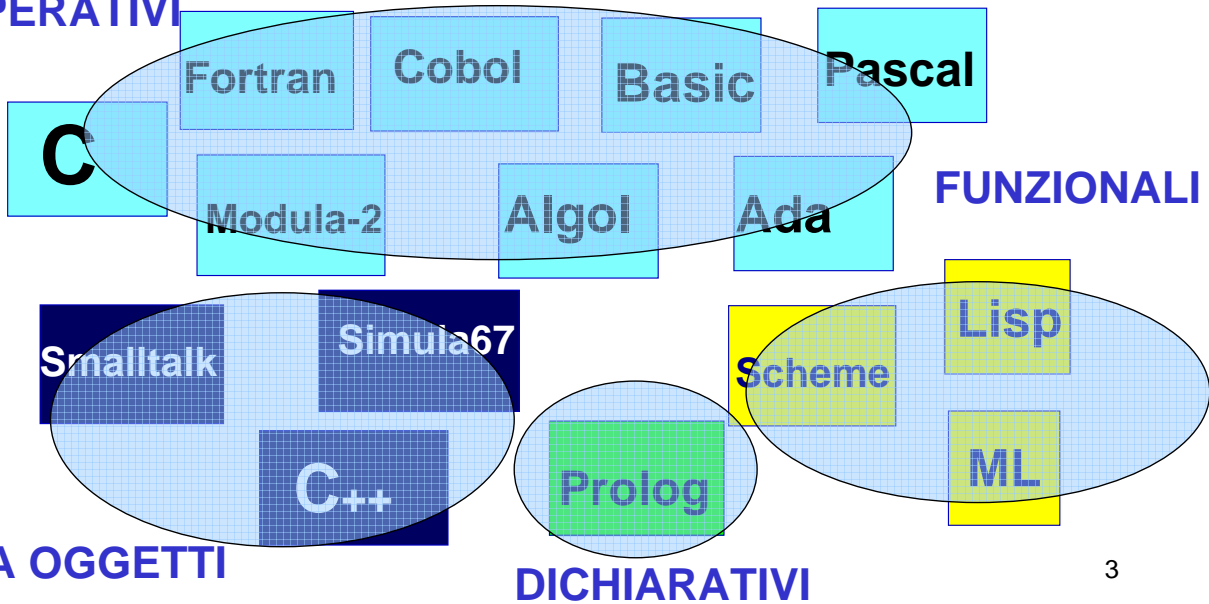
2

Linguaggi di alto livello



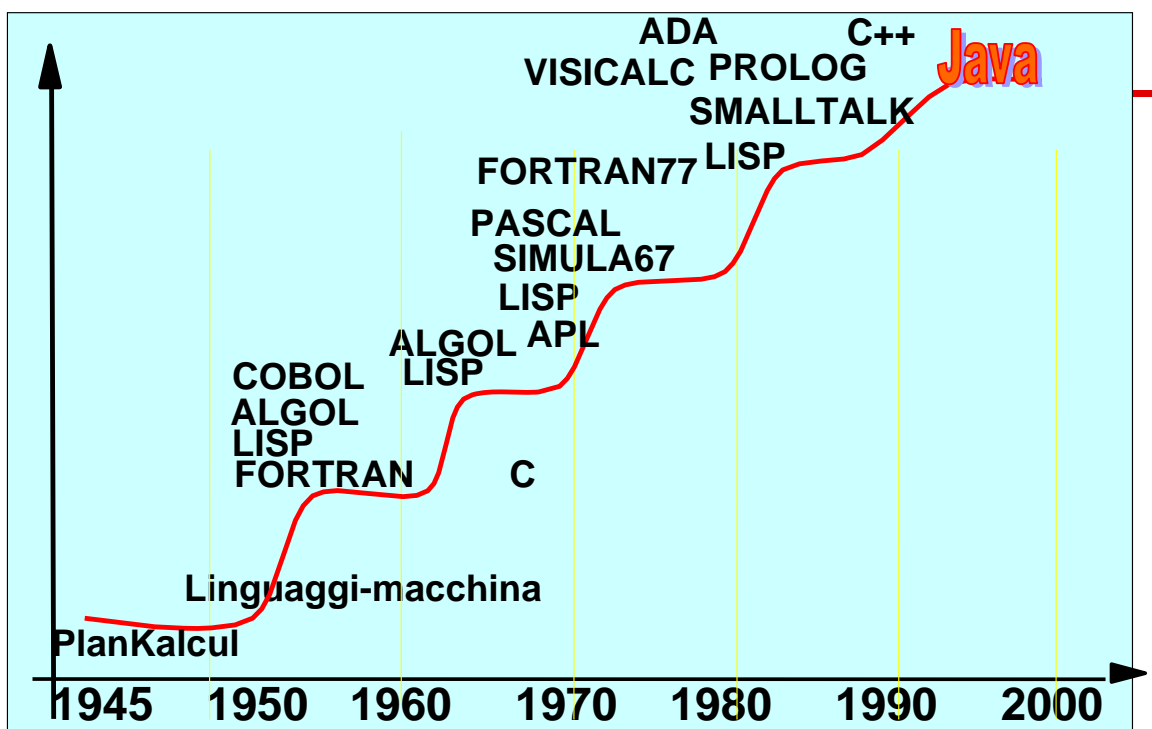
Barriera di astrazione

IMPERATIVI

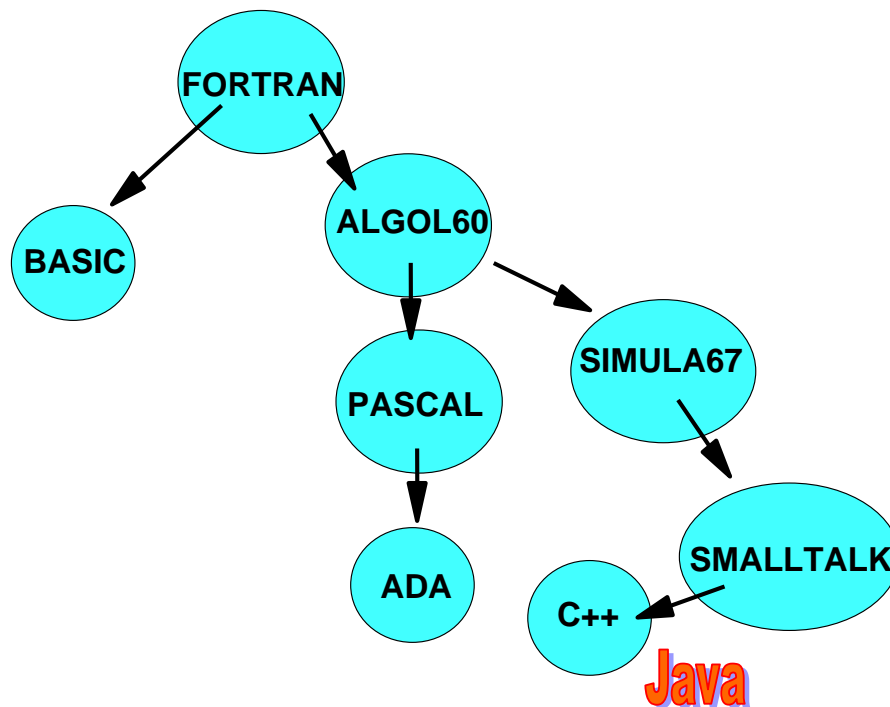


3

Evoluzione dei linguaggi



Evoluzione dei linguaggi



5

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

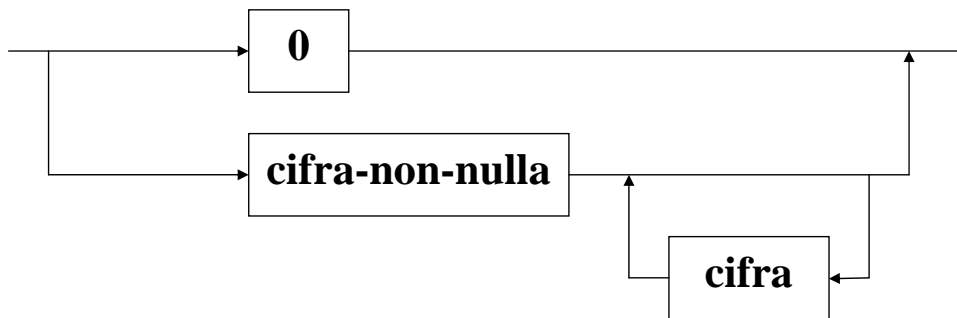
SINTASSI DI UN NUMERO NATURALE

```
<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 $V = VN \cup VT$
- 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
- β, γ due *stringhe*, cioè due elementi dell'universo linguistico $(VN \cup VT)^*$

γ deriva direttamente da β (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, γ *deriva da* β se esiste una sequenza di N derivazioni *dirette* che da β possono produrre

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

23

FORMA B.N.F. COMPATTA

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

$$- X ::= A_1$$

-

$$- X ::= A_N$$

- 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 | indica l'alternativa**

24

ESEMPIO COMPLESSIVO

G = $\langle \text{VT, VN, P, S} \rangle$

dove:

VT = { il, gatto, topo, sasso, mangia, beve }

VN = { <frase>, <soggetto>, <verbo>,
<compl-ogg>, <articolo>, <nome> }

S = <frase>

P = ...

25

ESEMPIO COMPLESSIVO

P = {

<frase> ::= <soggetto> <verbo> <compl-ogg>

<soggetto> ::= <articolo><nome>

<articolo> ::= il

<nome> ::= gatto | topo | sasso

<verbo> ::= mangia | beve

<compl-ogg> ::= <articolo> <nome>

}

26

ESEMPIO COMPLESSIVO

ESEMPIO: derivazione della frase

“il gatto 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

<frase>

- <soggetto> <verbo> <compl-ogg>
- <articolo> <nome> <verbo> <compl-ogg>
- **il** <nome> <verbo> <compl-ogg>
- **il gatto** <verbo> <compl-ogg>
- **il gatto mangia** <compl-ogg>
- **il gatto mangia** <articolo><nome>
- **il gatto mangia il** <nome>
- **il gatto mangia il topo**

28

ESEMPIO COMPLESSIVO

ALBERO SINTATTICO

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

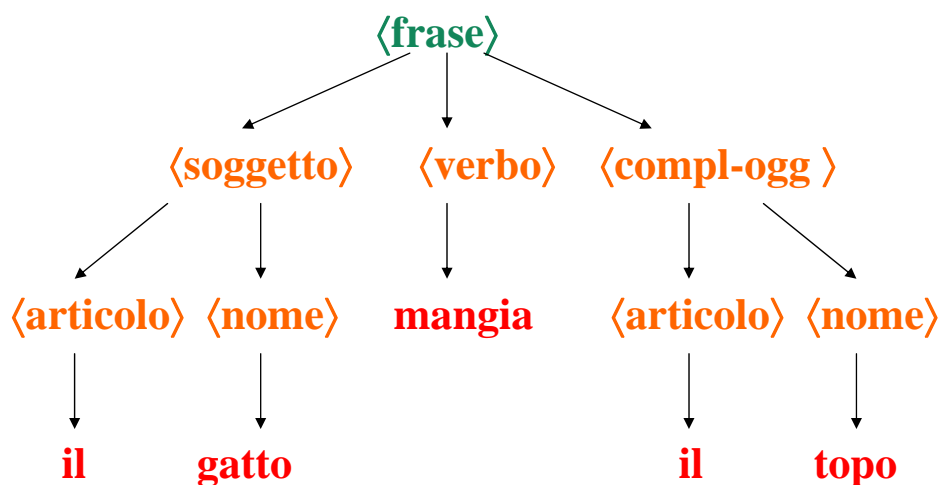
ESEMPIO: derivazione della frase

“il gatto 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:

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

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

$P = \{$

$\langle int \rangle ::= [+|-] \langle num \rangle$

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

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

$\langle cifra-non-nulla \rangle ::= 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9$

$\}$

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:

$P = \{$

$\langle id \rangle ::= \langle lettera \rangle \{ \langle lettera \rangle \mid \langle cifra \rangle \}$

$\langle lettera \rangle ::= A \mid B \mid C \mid D \mid \dots \mid Z$

$\langle cifra \rangle ::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9$

$\}$

scopo

VN

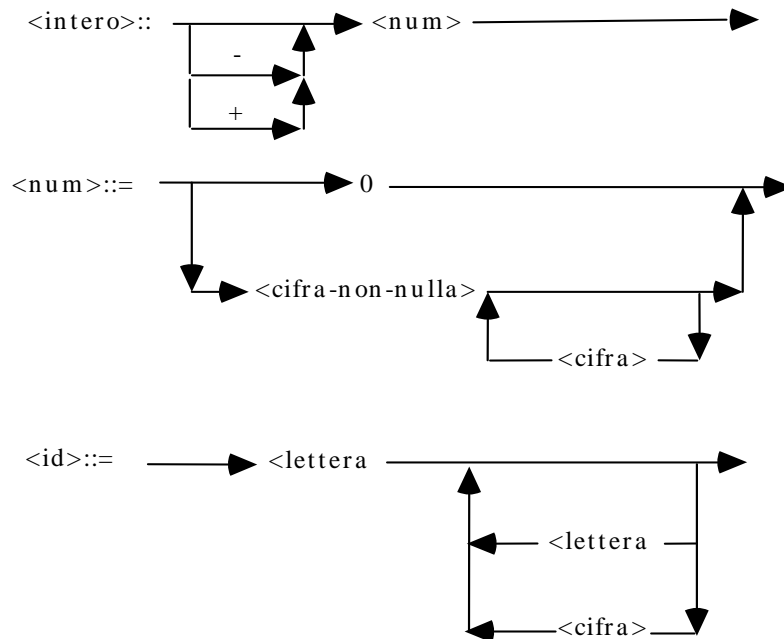
VN

VT

VT

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:

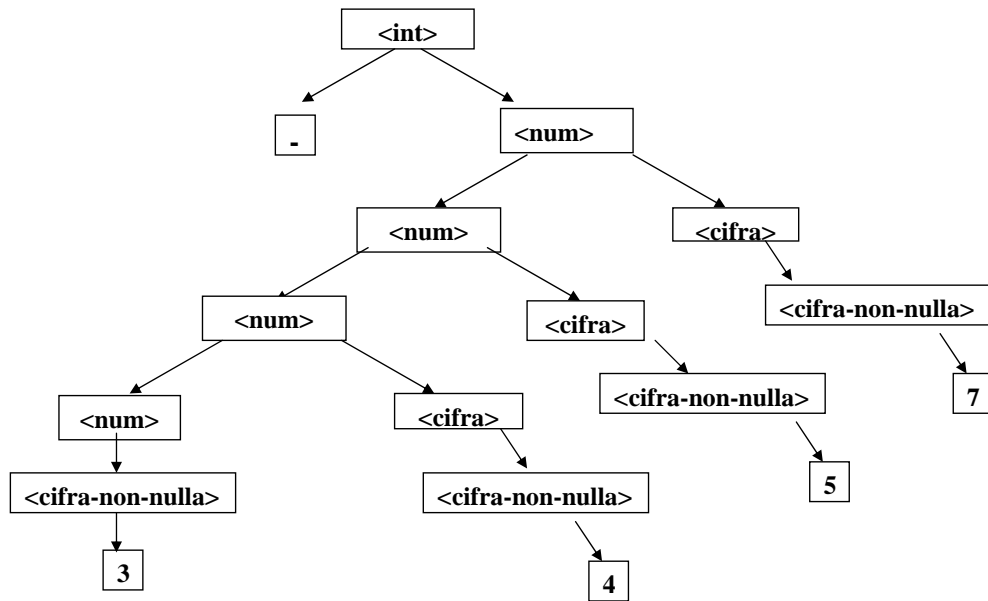
<num> ::= <cifra-non-nulla> {<cifra>}

equivale a:

<num> ::= <cifra-non-nulla> | <num> <cifra>

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 | E

E ::= 0 | 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 | E

E ::= 0 | 1

S → aF**c** → aaS**cc** → aaaF**ccc** → aaaE**ccc**
→ aaa1**ccc**

41

ESERCIZIO Grammatiche 2

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

S ::= T P | A T P

P ::= V | V T | V A T

T ::= Alice | regina | coniglio

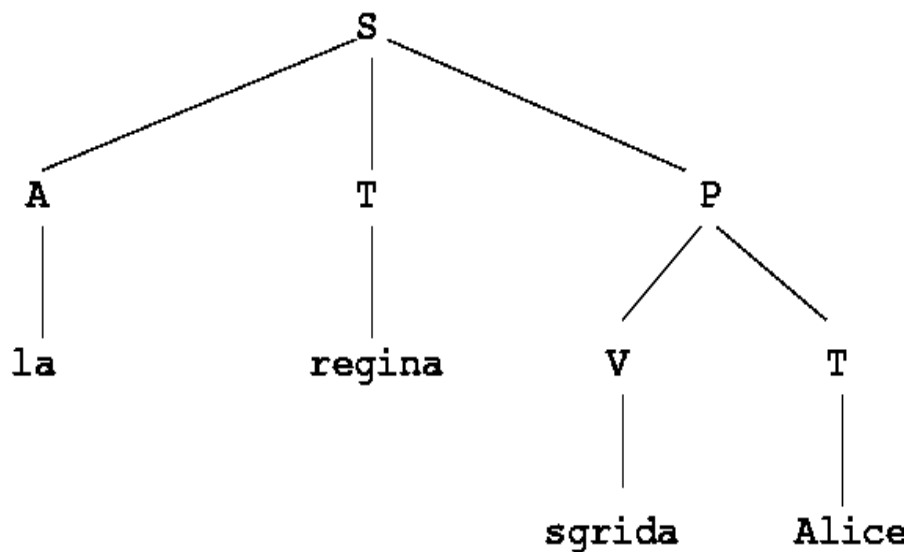
A ::= il | la

V ::= sgrida | saluta | 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:

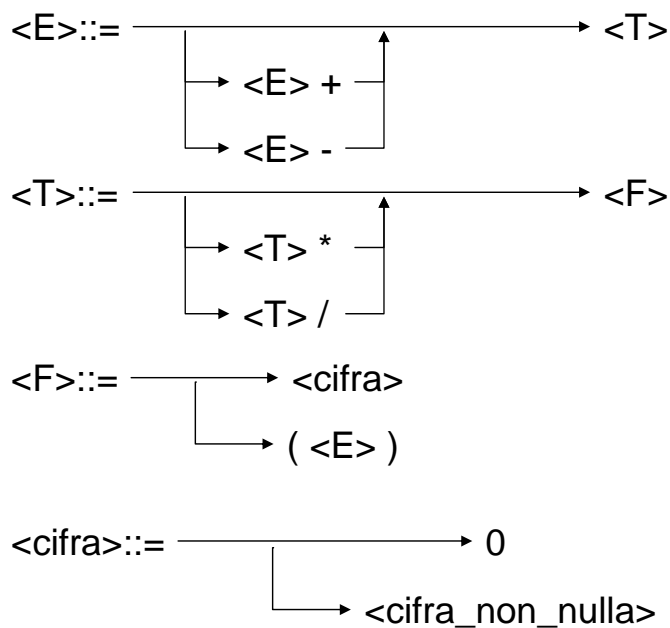
1. $5 + 3 * 7$
2. $3 / 0 + 4$

45

ESERCIZIO Grammatiche 3

Soluzione

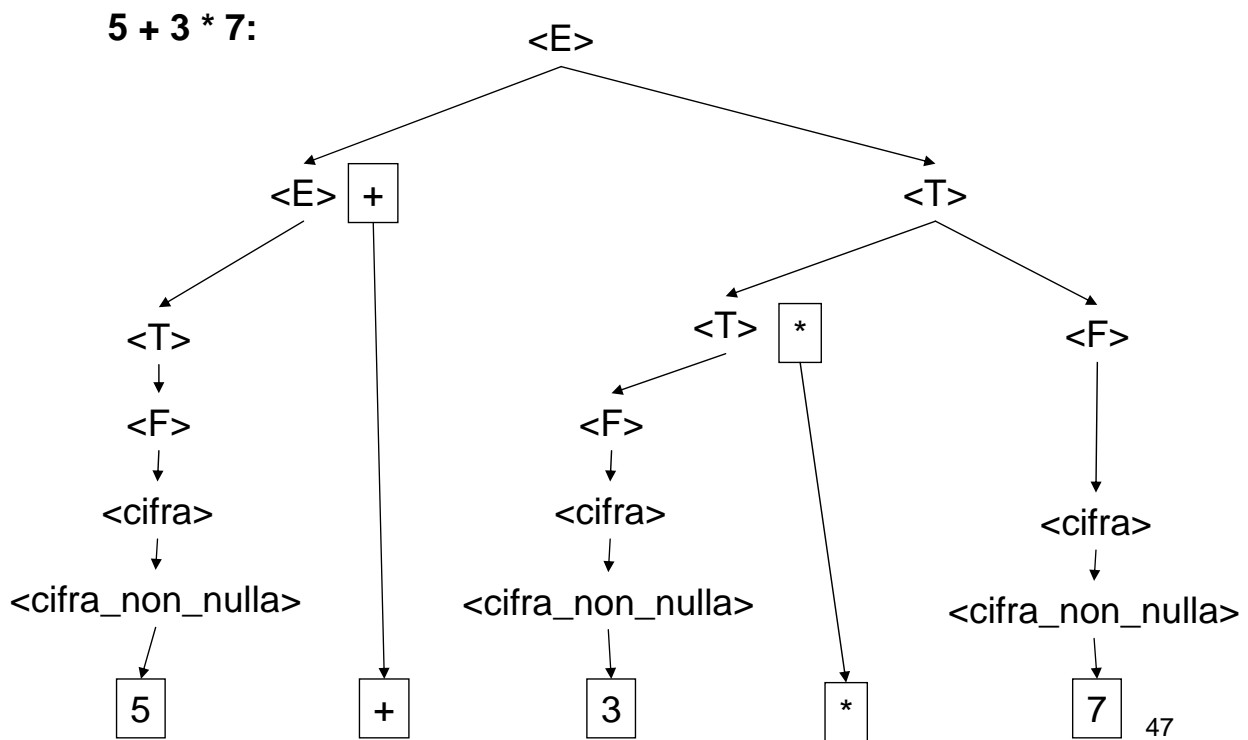
Diagramma sintattico:



46

ESERCIZIO Grammatiche 3

Soluzione



ESERCIZIO Grammatiche 3

Soluzione

