Il Modello di un Compilatore

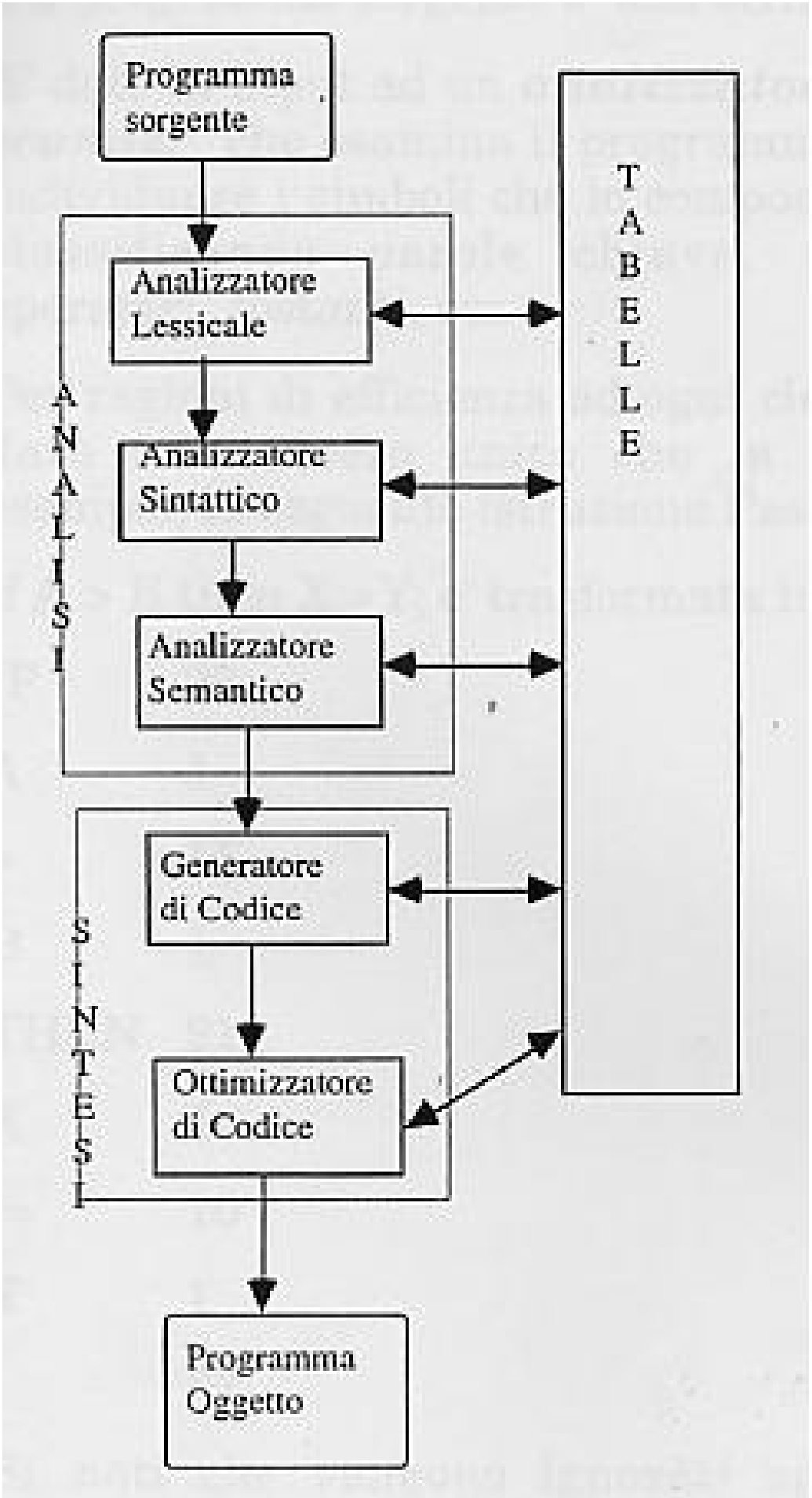
La costruzione di un compilatore per un particolare linguaggio di programmazione e' abbastanza complessa.

La complessità dipende dal linguaggio sorgente.

Compilatore: traduce il programma sorgente in programma oggetto.

Esegue:

- **analisi** del programma sorgente;
- **sintesi** del programma oggetto.


Programma sorgente
Analizzatore Lessicale
Analizzatore Sintattico
Analizzatore Semantico
ANALISI
Generatore di Codice
Ottimizzatore di Codice
SINTESI
TABELLE
Programma Oggetto

Un programma sorgente e' una stringa di simboli.

E' dato in input ad un *analizzatore lessicale o scanner* che esamina il programma sorgente per individuare i simboli che lo compongono (tokens) classificando parole chiave, identificatori, operatori, costanti, ecc.

Per ragioni di efficienza ad ogni classe di token è dato un numero unico che la identifica. Ad esempio, la seguente istruzione Pascal:

if A> B then X:=Y; e' trasformata in:

```
IF      20
A        1
>       15
B        1
THEN    21
X        1
:=      10
Y        1
;       27
```

Si noti che vengono ignorati spazi bianchi e commenti. Inoltre alcuni scanner inseriscono label, costanti e variabili in tavole appropriate.

Un elemento della tavola per una variabile, ad esempio, contiene nome, tipo, indirizzo, valore e linea in cui e' dichiarata.

Esempio:

```
X1:=a+bb* 12;
X2:=a/2 + bb *12;
```

Viene trasformato dopo l'analisi lessicale nella seguente sequenza di token:

"Xl"	Id
“:=”	Op
"a"	Id
“+”	Op
"bb"	Id
“*”	Op
12	Lit
;	Punct
“X2”	Id
“:=”	Op
“a”	Id
"/”	Op
2	Lit
“+”	Op
"bb"	Id
“*”	Op
12	Lit
;	Punct

Segue poi ***l'analizzatore sintattico (o parser).***

Individua la struttura sintattica della stringa in esame a partire dal programma sorgente sotto forma di token.

Identifica quindi espressioni, istruzioni, procedure.

Esempio: ALFA1:=5+A*B

La sottostringa 5+A*B viene riconosciuta come <espressione>, mentre la stringa completa come <assegnazione>, in accordo con la regola sintattica Pascal:

<assegnazione>: : =<variabile> := <espressione>

In realtà si utilizza una stringa semplificata del tipo:

id1 :=c2+id3*id4

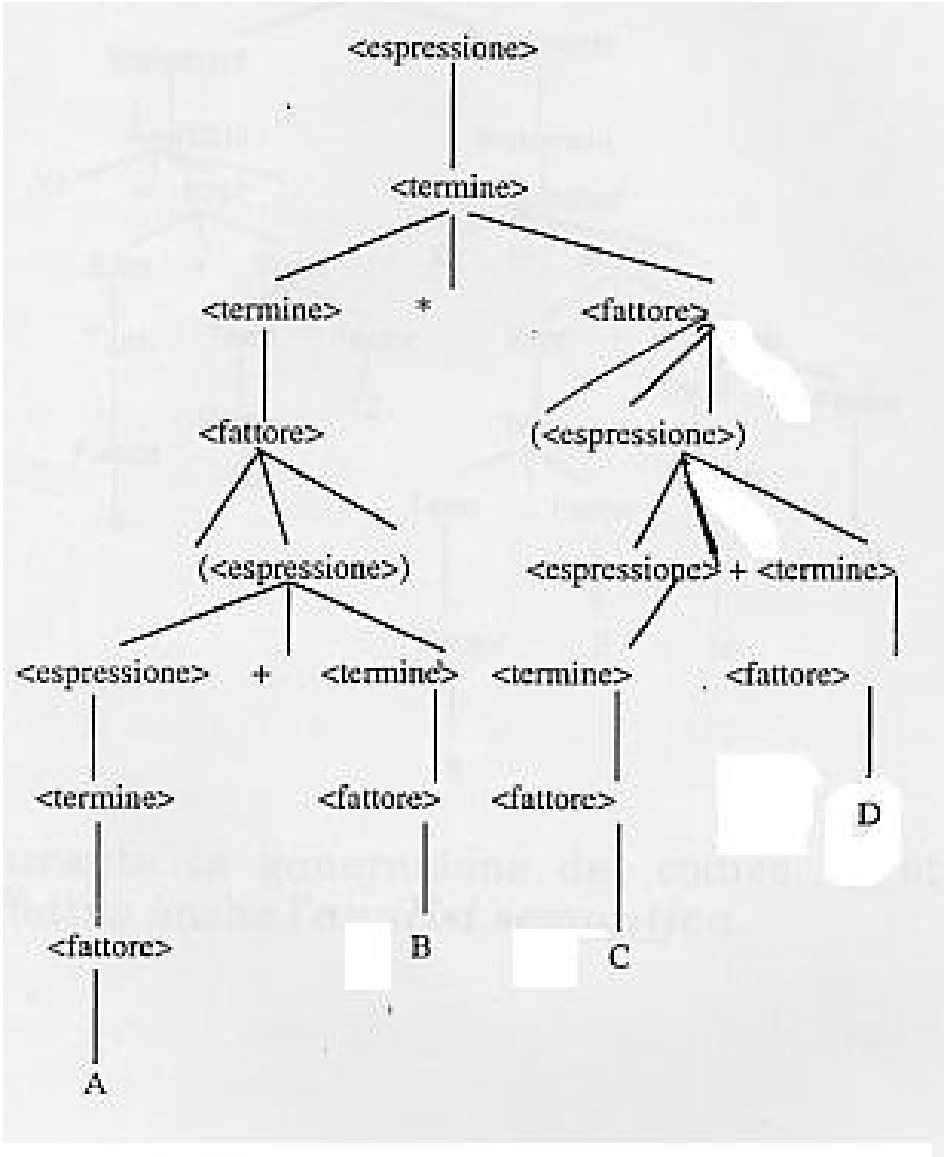
con accesso alla rappresentazione generata dallo scanner.

Altro esempio:
(A+B)*(c+D)

L'analisi produce le classi sintattiche <fattore>, <termine> ed <espressione>.

Il controllo sintattico si basa sulle *regole grammaticali* utilizzate per definire formalmente i1 linguaggio.

Durante il controllo (sintattico) si genera *l'albero di derivazione (**albero sintattico**).*

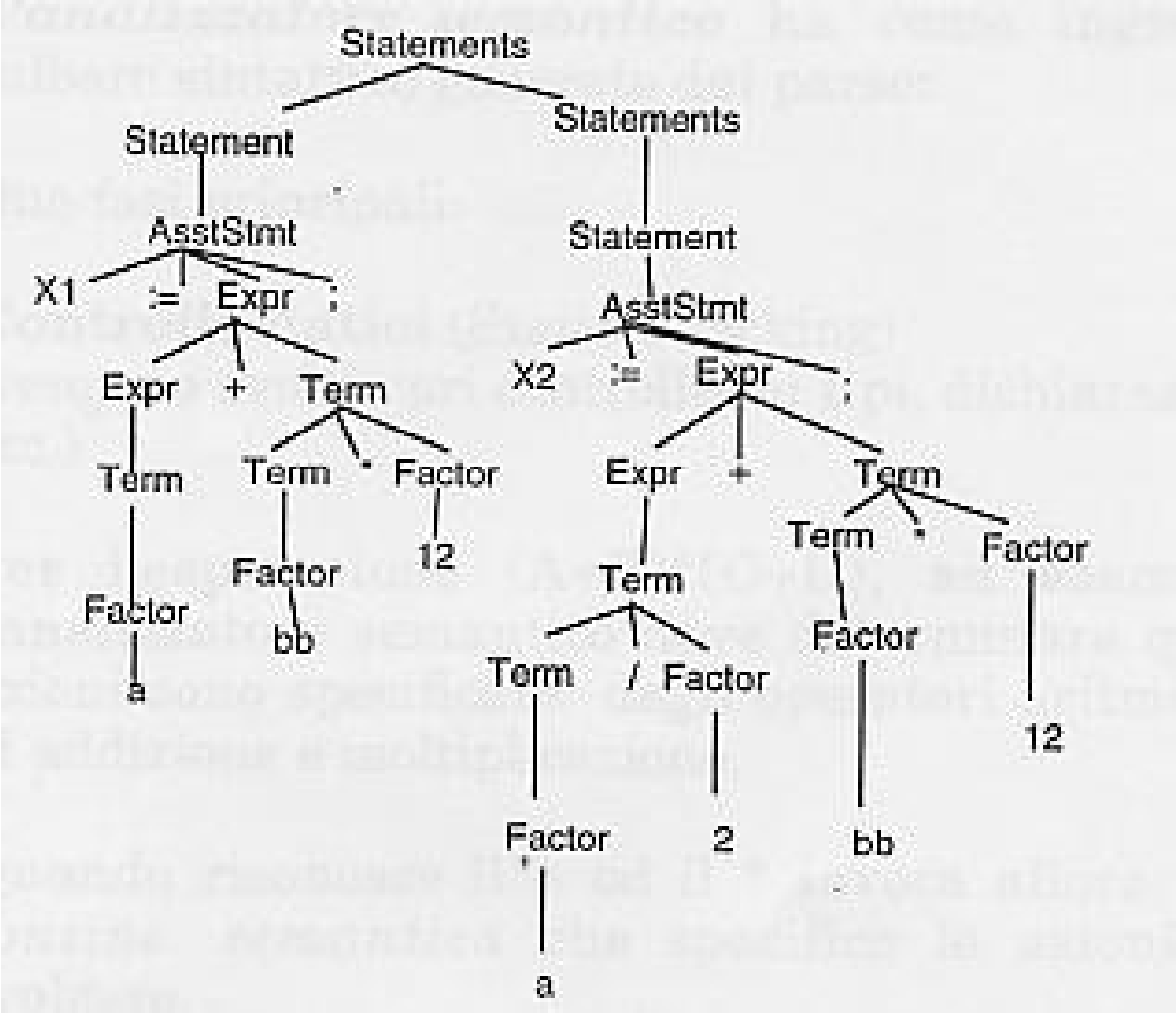


Esempio:
Dalla lista di token del precedente esempio:

X1:a+bb*12;

X2:=a/2 + bb *12;

Si genera il seguente albero sintattico:



Durante la generazione del codice oggetto si effettua anche ***l'analisi semantica***.

*L'**analizzatore semantico*** ha come ingresso 1'albero sintattico generato dal parser.

Due fasi principali:
Controlli statici (Static Checking)
(vengono svolti vari controlli sui tipi, dichiarazioni ecc.)

Per 1'espressione (A+B)*(C+D), ad esempio, 1'analizzatore semantico deve determinare quali azioni sono specificate dagli operatori aritmetici di addizione e moltiplicazione.

Quando riconosce il + od il * invoca allora una *routine semantica* che specifica le azioni da svolgere.

Ad esempio, che gli operandi siano stati dichiarati, abbiano lo stesso tipo ed un valore.

Generazione di una rappresentazione intermedia (IR)

Spesso la parte di analisi semantica produce anche una forma intermedia di codice sorgente. Ad esempio può produrre il seguente insieme di quadruple:

(+,A,B,T1)
(+,C,D,T2)
(*,T1,T2,T3)

Od altri tipi di codice intermedio.

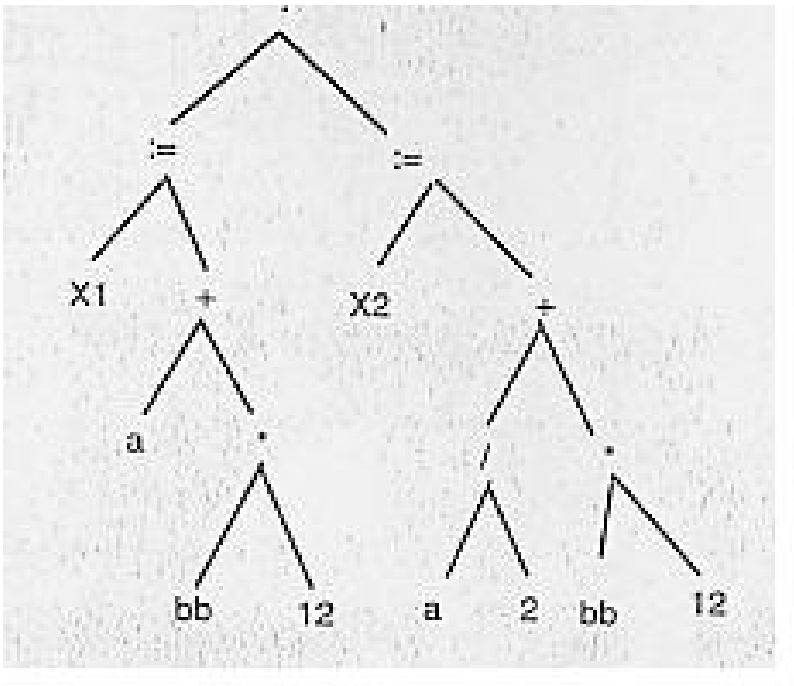
Presentiamo un codice intermedio che rimuove dall[1]albero sintattico alcune delle categorie intermedie e mantiene solo la struttura essenziale (**albero sintattico astratto**).

Tutti i nodi sono token.
Le foglie sono operandi, mentre i nodi intermedi operatori.

Esempio:
Dall' albero sintattico precedente relativo a:

X1:=a+bb* 12;
X2:=a/2 + bb *12;

genera il seguente albero sintattico astratto:



Spesso a valle dell'analizzatore semantico ci può essere un ottimizzatore del codice intermedio.

Propagazione di costanti

Si consideri il seguente codice:
X:=3;
A:=B+X;

Si può ottimizzare come:
X:=3;
A:=B+3;
evitando un accesso alla memoria.

Eliminazione di sotto-espressioni comuni

A:=B*C;
D:=B*C;

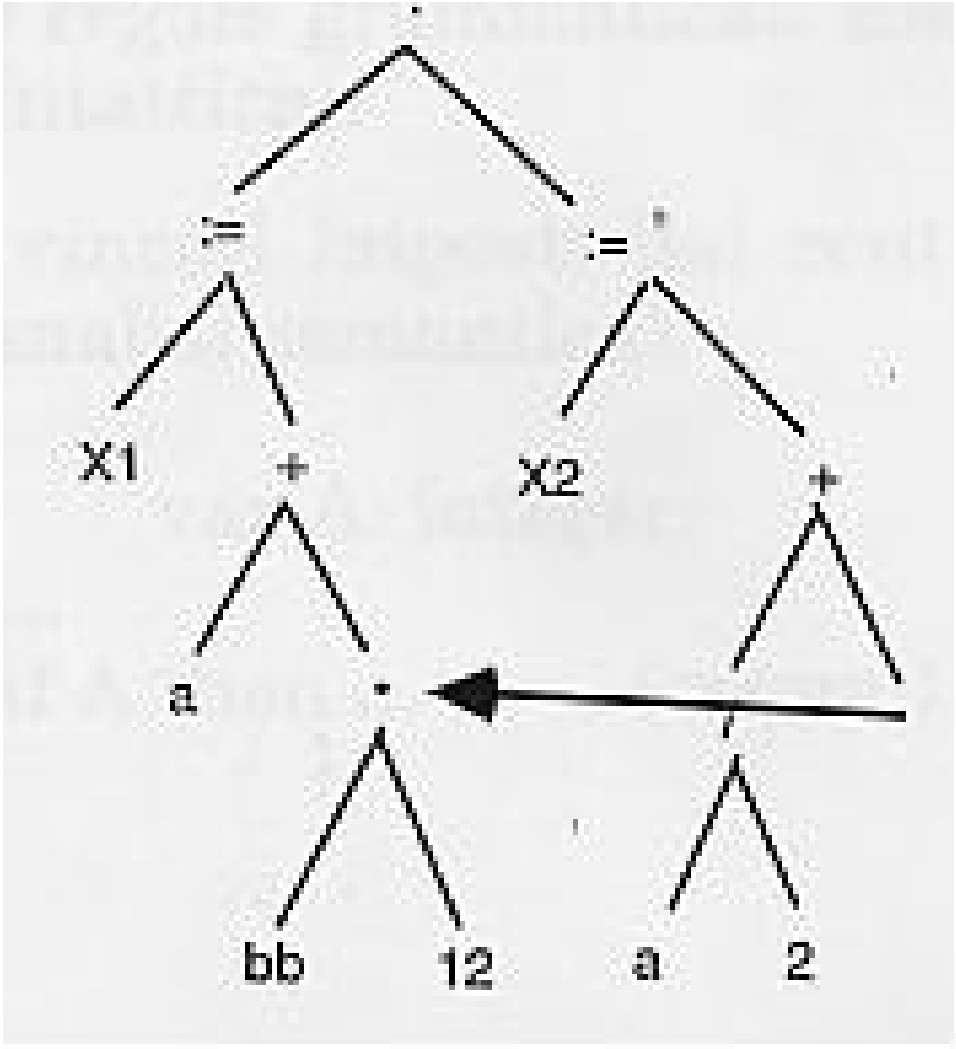
Si trasforma in:
T:=B*C;
A:=T;
D:=T;

Nel caso di:

X1:=a+bb* 12;

X2:=a/2 + bb *12;

Otteniamo il seguente albero sintattico astratto ottimizzato (in realtà diventa un grafo):



IN SOMMARIO:

Verifica della correttezza sintattica e semantica di un programma:

E’ svolta in fase di compilazione.

In particolare verifica che:

- i simboli utilizzati siano legali, cioè appartengano all'alfabeto (analisi lessicale).

- le regole grammaticali siano rispettate (analisi sintattica).

- i vincoli imposti dal contesto siano rispettati (analisi semantica).

Es: var A: integer;
...
if A then... (errore!).

L'uscita dell'analizzatore semantico è passata al **generatore di codice** che trasla la forma intermedia in linguaggio assembler o macchina.

C'e' una fase di preparazione prima della generazione del codice oggetto:

- **allocazione della memoria** (può essere allocata staticamente od è uno stack o heap la cui dimensione cambia durante l'esecuzione?);

- **allocazione dei registri**. Ovviamente l'accesso ai registri è più rapido che non a locazioni di memoria. I valori acceduti spesso andrebbero messi nei registri.

Esempio:

Nel caso di:

X1:=a+bb*12;

X2:=a/2 + bb *12

potremmo pensare di allocare l'espressione bb*12 al registro 1, ed una copia del valore di a al registro 2 assieme al valore a/2. Le variabili Si potrebbero allocare sullo stack con a al top, e poi, nell'ordine, bb, Xl, X2. IL registro S punta al top dello stack.

Segue poi la vera e propria generazione di codice

Esempio

Dalle quadruple precedenti si possono produrre le seguenti istruzioni assembler:

```
LOADA A
LOADB B
STOREA T1
LOADA C
LOADB D
STOREA T2
LOADA T1
LOADB T2
MULT
STOREA T3
```

Esempio:

Nel caso di:

X1:=a+bb*12;

X2:=a/2 + bb *12

potremmo generare (per una macchina di nostra invenzione) il seguente codice:

```
PushAddr   X2          Mette l'indirizzo di X2 nello stack
PushAddr   X1          Mette l'indirizzo di X1 nello stack
Push           bb          Mette bb nello stack
Push           a           Mette a nello stack
Load       1(S),R1         Mette bb in R1
Mpy            #12,R1          Mette bb*12 in R1
Load       (S),R2          Mette a in R2
Store      R2,R3       Copia a inR3
Add        R1,R3       Mette a+b*12 in R3
Store      R3,@2(S)    Mette a+b*12 in X3
Div        #2,R2       Mette a/2 in R2
Add        R1,R2       Mette a/2+bb*12 in R2
Store      R2,@3(S)    Mette a/2+bb*12 in X2
```

Nota:
(S), 1(S), 2(S) ecc, significa accedere al contenuto del top dello stack, ad una posizione successiva, due posizioni successive ecc.
@A indica che si vuole accedere alla locazione il cui valore è puntato da A. (indirizzamento indiretto).

L’uscita del generatore di codice è passata all'**ottimizzatore di codice** presente nei compilatori più sofisticati.

Ad esempio può ottimizzare il codice precedente come segue:

```
LOADA    A
LOADB    B
STOREA       T1
LOADA    C
LOADB    D
LOADB    T1
MULT
STOREA       T3
```

Esistono infatti sia ottimizzazioni indipendenti dalla macchina (ad esempio la rimozione di istruzioni invarianti all'interno di un loop, fuori dal loop) sia invece dipendenti (ad esempio ottimizzazione dell’uso dei registri).

I passi di un compilatore

Qui abbiamo presentato tutte le fasi in modo separato, ma spesso sono combinate.

Scanner e parser possono essere eseguiti in sequenza uno dopo l'altro, producendo prima tutti i token e poi l'analisi sintattica, oppure lo scanner e chiamato dal parser ogni volta che necessita un nuovo token.
Nel primo caso lo scanner ha esaminato l'intero programma sorgente prima di passare il controllo al parser e quindi ha compiuto un intero **passo** separato.

A volte il parser, l'analizzatore semantico ed il generatore di codice sono combinati in un singolo passo. Alcuni compilatori sono solo ad un passo, altri anche fino a 30!

Abbiamo ignorato altri aspetti importanti della compilazione:
1 - Error Detection e Recovery;
2 - Le Tabelle dei Simboli prodotte dai vari moduli;
3 - La Gestione della Memoria implicata da alcuni costrutti del linguaggio di alto livello.

Le fasi di più semplice progettazione, con un apparato formale ben sviluppato e quindi facilmente automatizzabili sono scanner e parser, mentre maggiore difficoltà si trova nella progettazione di analizzatori semantici, generatori ed ottimizzatori di codice.

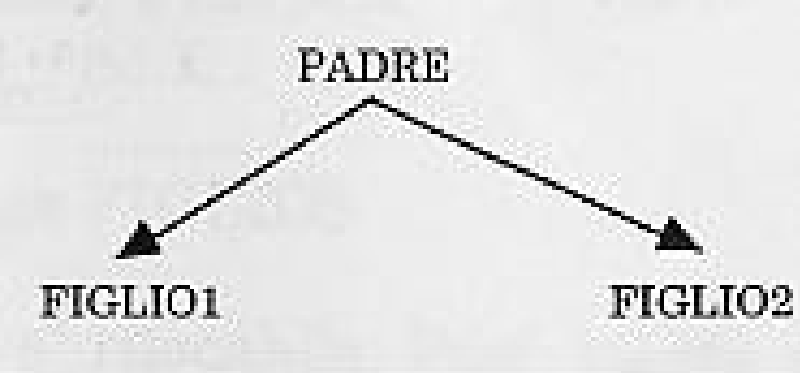
Linking e Caricamento

Il programma oggetto prodotto dal compilatore contiene una serie di riferimenti esterni (es. riferimenti a programmi di libreria, funzioni).

I riferimenti esterni vengono risolti dal ***linker***.

Esempio:

Struttura del programma



PADRE indirizzi relativi da 0 a 300
FIGLIO 1 da 0 e 120
FJGLIO2 da 0 a 150

Il linker riceve in ingresso questi tre moduli e genera un unico modulo con riferimento ad indirizzi contigui a partire da un indirizzo simbolico *ind.*

Ogni riferimento a moduli esterni viene sostituito con l'indirizzo così calcolato.

Indirizzo	Contenuto	Commento
Ind	inizio PADRE	
…	……	
…	salta a ind + 301	Rif. A FIGLIO1
…	……	
…	salta a ind + 421	Rif. aFIGLIO2
…	……...	
ind + 300	fine PADRE	
in*d* + 301	inizio FIGLIOl	
…	……...	
…	……...	
in*d* + 420	fine FIGLIOl	
in*d* + 421	inizio FIGLIO2	
…	……...	
…	……...	
ind + 570	fine FIGLIO2	

Il programma e rilocabile. Può essere allocato in diverse zone di memoria cambiando in*d* (indirizzamento relativo).

Fase di caricamento compiuta dal ***loader*** che assegna un valore numerico ad *ind,* trasformando gli indirizzi relativi in assoluti.