

## INTRODUZIONE

0.- L'analisi matematica dei linguaggi formali è di interesse cruciale in varie discipline: logica, linguistica, informatica. Nel caso dei linguaggi programmativi (cfr. [22]) i problemi di affidabilità, efficienza e sviluppo della programmazione hanno evidenziato una serie di questioni ben precise e innanzitutto la ricerca di strumenti di specifica formale delle nozioni linguistiche.

Senza addentrarci in sottili problemi di semiotica richiamiamo semplicemente la classica distinzione degli aspetti fondamentali di un linguaggio:

- i) sintassi, che riguarda le regole di costituzione delle forme segniche
- ii) semantica, che riguarda la determinazione dei significati veicolati dai segni
- iii) pragmatica, che riguarda le finalità e gli usi linguistici dei segni.

Nella definizione di un linguaggio formale intervengono solo i primi due aspetti essendo la pragmatica o a monte (le motivazioni per cui il linguaggio è definito) o a valle (la sua utilizzazione una volta che è definito) della definizione in sé e per sé.

La sintassi è evidentemente l'aspetto più "esterno" e questo spiega il perché la storia della specifica formale dei linguaggi programmativi comincia con i metodi rigorosi di descrizione della sintassi (cfr. [8]) derivati a sua volta dagli studi di formalizzazione della sintassi dei linguaggi naturali. (cfr. [13])

Dopo una serie di lavori pionieristici (Dijkstra, McCarthy, Landin, Scott-Strachey, Floyd, Hoare [15, 23, 24, 32, 17, 20]) si sono delineati i principali metodi di specifica formale della semantica (cfr. [10]), al fine di

determinare strumenti matematici di valutazione e progettazione della programmazione. I due temi fondamentali attorno a cui si è sviluppata tale ricerca sono la correttezza (cfr. [11]) e l'astrazione (cfr. [9]).

1.- Il problema della correttezza nasce con questioni del tipo:

a) Un dato programma calcola effettivamente la funzione che si intende calcolare tramite esso, o anche, verifica certe proprietà desiderate ?

E più in generale

b) Quali sono i criteri che in qualche modo garantiscono una programmazione coerente con i suoi obiettivi ?

L'astrazione consiste nella tendenza sempre più diffusa di sganciare la programmazione da un prefissato modello implementativo, per esempio:

a') Specificare un tipo astratto di dati significa descrivere certi oggetti solo in quanto manipolabili con operazioni che verificano certe condizioni desiderate, prescindendo da qualsiasi loro rappresentazione concreta.

b') Specificare astrattamente un programma significa definire (in un certo linguaggio di specifica) la funzione che si intende calcolare senza bisogno di esibire una qualche particolare procedura di calcolo.

La specifica astratta è, per sua natura, utilizzabile come strumento per costruzione di programmazione corretta, in quanto permette una strutturazione per moduli con una organizzazione a livelli successivi di astrazione nei confronti del sistema fisico di calcolo (cfr. [1]).

Da un punto di vista logico una specifica astratta

definisce una teoria, formale o informale, la cui classe di modelli individua possibili realizzazioni concrete della specifica. In linea di principio anche un intero linguaggio di programmazione potrebbe essere descritto tramite un linguaggio di specifica che non appena implementato in modo efficiente determinerebbe (la cosa è ancora esistente solo a livello sperimentale) un salto di qualità nella programmazione, ovvero l'uso di linguaggi non più ad alto, ma ad "altissimo" livello, per una "programmazione automatica avanzata".

In effetti tale salto di qualità è in linea con la tendenza per la quale in passato si è passati dalla macchina calcolatrice su cui i calcoli venivano eseguiti direttamente (su tastiera o simili) dal programmatore, alla macchina in cui il calcolo è descritto con un programma e fornito insieme ai dati.

2.- Nei metodi formali di specifica per la semantica di linguaggi programmatici si distinguono due tipi fondamentali di approcci:

- operativo, in base al quale la semantica di un linguaggio è data tramite un qualche sistema formale (i.e. di manipolazione simbolica)
- interpretativo, in base al quale la semantica di un linguaggio è data tramite una qualche struttura matematica.

Tale dicotomia potrebbe essere espressa con altri termini antitetici quali nominalista/realista o formalista/contenutista. Tali opposizioni sono infatti legate a problematiche ricorrenti nelle dispute filosofico-scientifiche sul linguaggio. Sarebbe interessante, ma al di fuori dell'ambito di questo lavoro, rintracciare le analogie tra la problematica sulla specifica formale in programmazione e la questione dei fondamenti della matematica (in cui era praticamente in discussione la semantica del linguag-

gio matematico), o il dibattito degli scolastici sugli universali, relativo alla semantica del linguaggio naturale.

Nella bipartizione di sopra si inquadra la usuale classificazione dei principali indirizzi attuali: operativa, denotazionale e assiomatico.

- La semantica operativa (cfr. [34]) associa al linguaggio considerato una macchina astratta, facilmente descrivibile tramite un sistema formale, che rappresenti il comportamento ingressi/uscite del linguaggio. Tale semantica è stata la prima ad essere formulata e applicata permettendo di risolvere il problema di base della semantica formale: la descrizione rigorosa di un linguaggio programmatico. Tramite essa attraverso una serie di macchine astratte sempre più vicine al sistema, si dispone di un metodo rigoroso per la implementazione di linguaggi.
- La semantica assiomatica (cfr. [7]) è anch'essa di tipo operativo e associa al dato linguaggio di programmazione :
  - i) un linguaggio logico di "asserzioni" che rappresentano proprietà o relazioni tra programmi;
  - ii) delle regole di inferenza mediante cui da certe asserzioni si deducono altre asserzioni.È evidente che tale tipo di approccio è orientato alle dimostrazioni di correttezza, ma è pur vero che individua principi generali di programmazione nella misura in cui certe metodologie di costruzione di programmi consentono una applicazione naturale dei metodi dimostrativi.
- La semantica denotazionale (cfr. [10] [18]) è di tipo interpretativo nel senso che associa ai costrutti linguistici del dato linguaggio tramite funzioni di interpretazione, dei significati astratti, ovvero elementi di opportune strutture matematiche. In tal modo è pos=

sibile una analisi matematica della struttura del linguaggio in sè e per sè; il problema della correttezza è così affrontato con criterio opposto a quello della semantica assiomatica. Contemporaneamente la semantica denotazionale di un linguaggio costituisce naturalmente una specifica astratta del suo funzionamento.

3.- Oltre ai tre approcci sopra indicati vi sono varie soluzioni miste, più o meno collocabili in un ambito preciso.

L'indirizzo algebrico è però quello che sintetizza naturalmente i due aspetti, interpretativo e operativo.

Esso si è sviluppato di recente sia come diramazione dell'approccio denotazionale (cfr. [1] [5]) sia come metodo operativo basato sui sistemi di manipolazione di termini o alberi (cfr. [14] [23] [30]), ma attualmente riunendo i due aspetti si configura come metodo di specifica formale di grande generalità (cfr. [12] [16] [33]).

Secondo la semantica algebrica, ad un dato linguaggio è associata una teoria (algebrica) che descrive astrattamente il significato dei costrutti linguistici. Ogni modello di tale teoria fornisce una particolare formalizzazione matematica del linguaggio. Inoltre essendo la teoria algebrica espressa in un linguaggio formale con una naturale nozione di deducibilità (calcolo equazionale) la semantica di un costrutto può essere ottenuta operativamente. Tale schema è facilmente generalizzabile utilizzando teorie non più algebriche, ma logiche di tipo del tutto generale, dotate di nozioni di deducibilità e soddisfacibilità (logica dinamica, temporale).

Per tale motivo la semantica algebrica risulta

i) un nucleo di aggregazione dei metodi tradizionali di semantica formale,

ii) un paradigma di sviluppo per ricerche future rivolte ad aspetti programmatici in fase di formalizzazione (parallelismo, concorrenza).

Inoltre i metodi algebrici consentono di stabilire collegamenti e criteri unificanti tra lo studio di linguaggi programmatici e quello di linguaggi logici (cfr. [25]) ed il che è di interesse sia teorico (logica astratta, logiche non classiche) che applicativo (intelligenza artificiale, basi di dati).

Gli strumenti di base della semantica algebrica sono quelli dell'algebra universale (cfr. [19]).

Nel seguito daremo nella I<sup>a</sup> parte una presentazione sistematica delle nozioni fondamentali di algebra universale, e nella II<sup>a</sup> parte esempi di specifica algebrica di nozioni e linguaggi di programmazione.

Il punto di arrivo sarà l'applicazione di un nuovo metodo, completamente algebrico, per la specifica formale di linguaggi programmatici.

Tale risultato si fonda su un'estensione del classico teorema di Birkhoff di esistenza di algebra iniziale per varietà (cfr. [27]) e consente di esprimere la semantica per integrazione piuttosto che per interpretazione. Infatti la sintassi di un linguaggio risulta un'algebra che riceve significato integrandosi con un'altra algebra (base) supposta nota e generalmente di diverso tipo di similarità algebrica.

L'integrazione è definita da una teoria algebrica che esprime tramite "operatori interpretativi" come il nuovo si riduce al noto. Sotto certe ipotesi del tutto generali su tali teorie le semantiche così ottenute risultano corrette.