

Estratto da

R. Ferro e A. Zanardo (a cura di), *Atti degli incontri di logica matematica*
Volume 3, Siena 8-11 gennaio 1985, Padova 24-27 ottobre 1985, Siena 2-5
aprile 1986.

Disponibile in rete su <http://www.ailalogica.it>

PROGRAMMAZIONE E LOGICA: ESPERIENZE E ASPETTATIVE

**INTERVENTO DI
LUIGI STRINGA¹, ANNALISA MARCIA²**

¹IRST, Trento

²Trento

INTELLIGENZA ARTIFICIALE E LOGICA

Il primo autore, direttore dell'IRST, Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica di Trento, illustra la divisione Intelligenza Artificiale dell'Istituto stesso.

LA DIVISIONE INTELLIGENZA ARTIFICIALE DELL'IRST

L'impostazione dell'attività di ricerca della Divisione IA è di tipo "sistemistico". Infatti:

Vengono usati strumenti di elaborazione e rappresentazione della conoscenza comuni alle soluzioni dei diversi problemi (ragionamento, comprensione, riconoscimento, apprendimento, comunicazione, trasferimento).

Viene mantenuto un legame molto stretto con le esigenze applicative finali; l'introduzione delle tecniche IA nei processi di informatizzazione dovrà avvenire sempre in modo soft, prestando attenzione alla possibilità di integrazione tra tecniche tradizionali e tecniche IA ed ai problemi che ne derivano.

L'approccio deve permettere di allargare al massimo lo spettro delle applicazioni potenzialmente affrontabili.

E' costante l'attenzione ai prodotti della ricerca esterna per integrarli tra loro e per riportarli nell'ambito della ricerca interna.

Una notevole quantità di risorse dovrà dedicarsi allo studio organizzato delle interfacce (immagini, linguaggio, suoni) per ottenere risultati integrabili e generali che possano essere sviluppati in sistemi applicativi diversi.

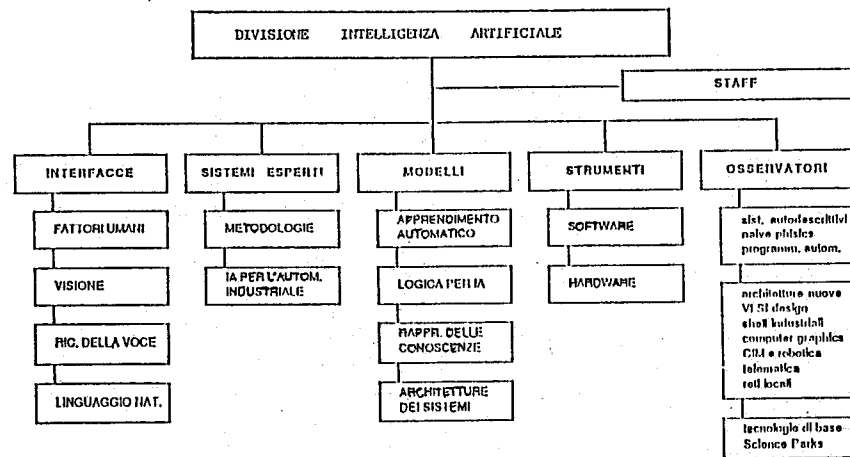
Viene continuamente incoraggiato e favorito l'uso di tecniche non convenzionali per lo sviluppo della ricerca, quali strumenti atti a favorire la comunicazione "intelligente" tra ricercatori come: sistemi multimedia, sistemi di posta elettronica sofisticati, teleconferenze etc.

Organizzazione delle attività di ricerca: le attività sono

organizzate in linee di ricerca ed applicazioni.

Le linee di ricerca sono strutturate in modo da prevedere la copertura di tutti i temi di ricerca che possano portare a risultati utili in relazione agli scopi dell'Istituto. Le linee sono strutturate in quattro aree di interesse. Questa suddivisione tende a facilitare l'orientamento delle competenze e la collocazione di ogni specifica attività di ricerca rispetto all'impostazione generale dell'Istituto.

La struttura organizzativa e gestionale ha come obiettivo la massima integrazione delle risorse in una visione "sistemistica della ricerca.



Interfacce (Fattori umani: il ruolo delle interfacce, Visione, Riconoscimento della voce, Linguaggio naturale).

Si tratta delle linee di ricerca che si occupano dei rapporti tra sistemi intelligenti e ambiente. I problemi di comunicazione delle informazioni vengono considerati sia in ingresso (acquisizione e riconoscimento di concetti a partire da immagini, parlato, testi, etc.) sia in uscita (presentazione di concetti con immagini, testi scritti, suoni). Il criterio della integrazione di approcci sintattici e semantici e la necessità di costruire interfacce per sistemi basati sulla conoscenza, porta ad una visione d'insieme delle attività di comunicazione come attività di trasformazione di conoscenze da un formalismo all'altro attraverso espliciti criteri sintattico-semantici in parte generali e in parte dipendenti dallo specifico dominio applicativo.

Lo scopo è arrivare ad una metodologia del disegno e della realizzazione di interfacce naturali da utilizzare nelle applicazioni future. Le applicazioni stesse forniranno lo stimolo per la ricerca e la base di sperimentazione per i risultati raggiunti.

- **Sistemi esperti** (Metodologie per lo sviluppo di sistemi esperti, Tecniche di IA per l'automazione industriale)

Si tratta delle linee a più diretto contatto con le applicazioni. In quest'area si indagano le problematiche di base nello sviluppo di sistemi intelligenti da inserire in realtà di produzione e di servizi. Lo scopo è di determinare una metodologia che sarà applicata per il disegno, la realizzazione e l'introduzione di sistemi basati sulla conoscenza.

Particolare attenzione è posta alle problematiche di integrazione dei prodotti realizzati in modo tradizionale e di sistemi basati sulla conoscenza. Particolare attenzione è posta alle problematiche di integrazione dei prodotti realizzati in modo tradizionale e di sistemi basati sulla conoscenza. Vengono inoltre considerati attentamente i risultati alla ricerca esterna.

- **Modelli** (Tecniche di apprendimento automatico, Logica per l'Intelligenza Artificiale, Rappresentazione delle conoscenze, Architetture per la risoluzione di problemi)

Si tratta delle ricerche di base. In quest'ambito è elaborato l'approccio di base dell'Istituto alla rappresentazione e alla manipolazione delle conoscenze. Verranno quindi considerati sia gli aspetti statici (formalismi, sistematizzazione semantica, rapporti tra descrizioni e asserzioni, rappresentazione di "punti di vista", etc.), sia gli aspetti dinamici (inferenza, comunicazione tra conoscenze di tipo diverso e in sistemi distribuiti, acquisizione e trasformazione delle conoscenze, etc.). Quest'area rappresenta il punto di riferimento per l'impostazione di ogni applicazione e per la definizione di ogni metodologia di sviluppo. Naturalmente, ancora una volta, le applicazioni costituiranno lo stimolo e il campo di sperimentazione.

- **Strumenti** (Software, Hardware)

Si tratta delle ricerche di supporto. In quest'ambito si analizzano e si sviluppano gli strumenti attraverso i quali è condotta la ricerca e realizzate le applicazioni. I ricercatori hanno il compito di integrare gli strumenti hardware/software più adatti alla ricerca o alla realizzazione di sistemi, scegliendoli tra quelli più avanzati e di mantenere aggiornato il servizio. Le esigenze della ricerca sperimentale e delle realizzazioni applicative, potranno richiedere lo sviluppo di particolari strumenti ad hoc (tools di programmazione, piastre e dispositivi

elettronici, etc.). Soprattutto nel campo del software, le esperienze effettuate nei primi tre anni di questa attività di supporto potranno essere sintetizzate nello sviluppo di sistemi integrati originali (sistemi di programmazione, shells, tool di pianificazione, tool di ottimizzazione, etc.) conformi all'impostazione della ricerca interna.

Per chiarire i rapporti tra le aree di ricerca, bisogna ricorrere ad una classificazione che si appoggia ad una metafora. Si tratta infatti di una classificazione "a cipolla" che permette di strutturare attività su più strati attorno ad un nucleo comune.

Da questo punto di vista, il cuore dell'attività di ricerca è formato dalle linee dell'area relativa ai modelli. Qui vengono sviluppate le idee di base alle quali tutti devono ricondursi. Il primo strato è costituito dalle linee delle aree dedicate alle interfacce e agli strumenti. Queste sono infatti le ricerche che sfruttano i risultati degli studi modellistici e preparano tecnologie generali per sistemi basati sulla conoscenza. Il secondo strato è formato dalle linee dell'area relativa ai sistemi esperti. Qui vengono utilizzate le tecnologie e i criteri di rappresentazione sviluppati più internamente per analizzare classi di problematiche specifiche e sviluppare metodologie di realizzazione e di introduzione di sistemi intelligenti per utenti finali. L'ultimo strato è costituito dai progetti applicativi.

In quest'ottica si può affermare che ogni strato utilizza i risultati di quelli più interni e ne produce per quelli più esterni. Simmetricamente ogni strato produce stimoli e verifiche per gli strati più interni ne ottiene da quelli più esterni.

Osservatori

La ricerca nel campo dell'IA è caratterizzata da un'elevatissima dinamicità. L'intervallo temporale che intercorre tra l'ottenimento di un risultato di ricerca anche relativamente teorico, e l'opportunità di integrarlo con le tecnologie correnti e di sfruttarlo nel disegno di sistemi esplorativi e applicativi si va riducendo sempre di più.

Inoltre ci si trova di fronte a situazioni abbastanza anomali, dal punto di vista della ricerca applicata in altre discipline. La natura interdisciplinare degli studi sull'IA apre la possibilità di improvvisi e decisivi sviluppi su linee di ricerca completamente nuove, basate su approcci fino a quel momento considerati tipici di campi di ricerca non correlati, o che per anni non erano stati considerati promettenti.

Per acquisire e mantenere una posizione di rilievo nell'ambito della ricerca in questo settore, è quindi necessario un continuo sforzo di aggiornamento e di revisione, volto a non lasciarsi sfuggire nessuna opportunità ed in particolare sarà sviluppata

l'osservazione e l'analisi dei risultati della ricerca e della evoluzione tecnologica in campi non direttamente coperti dalle linee di ricerca interne.

Sulla base di queste considerazioni è stata pianificata l'allocatione di una certa quantità di risorse all'osservazione e all'analisi dei risultati della ricerca e della evoluzione tecnologica in campi non direttamente coperti dalle linee di ricerca interne.

Scopo dell'intervento del secondo autore è quello di dare qualche esempio di applicazione della logica all'Intelligenza Artificiale. Non ha pretese né di sistematicità né tantomeno di completezza. Un quadro un po' più esauriente può essere trovato nel libro di Turner (T), a cui si è ispirato.

LOGICA PER L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Il maggior successo delle applicazioni della logica all'Intelligenza Artificiale è stato quello della programmazione logica, costruita su una parte del teorema di Herbrand (cfr. Lloyd (L) anche per la bibliografia).

La sintassi della programmazione logica è data dalla seguente definizione:

Definizione 1

Un programma logico è un insieme finito di clausole definite.

Una clausola definita è una formula del tipo

$$A \leftarrow B_1, \dots, B_n \text{ (regola)}$$

$$A \leftarrow \text{ (fatto)}$$

con A, B_1, \dots, B_n formule atomiche

Un goal è una clausola del tipo

$$\leftarrow B_1, \dots, B_n$$

Le variabili nelle clausole sono assunte quantificate universalmente e la virgola denota la congiunzione.

La clausola vuota è denotata con \square .

La semantica viene così introdotta:

Sia S una formula. L'universo di Herbrand ($U(S)$) per S è l'insieme di tutti i termini chiusi (privi cioè di variabili) che possono essere formati per mezzo delle costanti e dei simboli funzionali di S . (Nel caso che S non abbia costanti viene aggiunta una nuova

costante ad S).

La base di Herbrand per S ($B(S)$) è l'insieme di tutte le formule atomiche chiuse, ottenute dai simboli predicativi di S, con termini dell'universo di Herbrand.

Definizione 2

Un'interpretazione di Herbrand I per S è una interpretazione tale che:

- (a) il dominio è l'universo di Herbrand
- (b) le costanti sono interpretate in se stesse
- (c) se f è un simbolo funzionale n - ario in S, f^I è la funzione di $(U(S))^n$ in $U(S)$ definita da:

$$f^I(t_1, \dots, t_n) = f(t_1, \dots, t_n)$$

Nessuna limitazione è posta per l'interpretazione dei simboli predicativi.

Un'interpretazione di Herbrand per S è un modello di Herbrand per S se soddisfa S.

Teorema 1

S è insoddisfacibile se e solo se non ha alcun modello di Herbrand.

Teorema 2 (Teorema di Herbrand)

S è insoddisfacibile se e solo se c'è un insieme finito insoddisfacibile di istanze di S, ottenute mediante elementi di U(S).

Sia P un programma logico. $M(P)$ sia l'insieme di tutti i modelli di Herbrand di P. L'integrazione di un qualunque sottoinsieme non vuoto di $M(P)$ è un modello di Herbrand. In particolare $\bigcap M(P)$ è un modello di Herbrand, chiamato il minimo modello di Herbrand, e coincide con l'insieme degli elementi della base che sono conseguenza logica di P.

Per provare che qualcosa è conseguenza logica di P viene usata la risoluzione di Robinson (quella descritta sotto è la SLD - refutazione).

Definizione 3

Sia P un programma, G un goal e R una regola di computazione (cioè una funzione di scelta sugli atomi delle clausole). Una derivazione

di $P \cup \{G\}$ via R è una sequenza $G_0 = G, G_1, G_2, \dots$ di goal, una sequenza C_1, C_2, \dots di istanze delle clausole di P ed una sequenza O_1, O_2, \dots di unificatori più generali tale che G_{i+1} è derivato da G_i e C_{i+1} usando O_{i+1} via R.

Se G_i è $\leftarrow A_1, \dots, A_m, \dots, A_k$ e C_{i+1} è $A \leftarrow B_1, \dots, B_q$,

allora G_{i+1} è derivato da G_i e C_{i+1} usando O_{i+1} via R, se valgono

le seguenti condizioni:

- (a) A l'atomo scelto da R;
- (b) $A_m^m O_{i+1} = A O_{i+1}$;
- (c) G_{i+1} è $\leftarrow (A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_q, A_{m+1}, \dots, A_k) O_{i+1}$.

Una refutazione di $P \cup \{G\}$ via R, è una derivazione tale che, per qualche i, $G_i = \square$.

Il seguente teorema è una forma della completezza per la SLD - risoluzione.

Teorema 3

Sia P un programma e G un goal - $P \cup \{G\}$ è insoddisfacibile se e solo se c'è una refutazione per $P \cup \{G\}$.

La programmazione logica, e quindi il suo prodotto Prolog, usa in sostanza soltanto una parte della logica del I° ordine, precisamente la logica delle clausole di Horn. Ci sono però esempi in cui viene tentato un approccio con estensioni della logica del I° ordine, o con logiche non classiche.

Interessante come suggerimento è la seguente analisi, dovuta a Gurevich (G).

Alcune delle nuove applicazioni della logica del I° ordine sono non usuali, in quanto interessano soltanto le strutture finite; per esempio le basi di dati relazionali possono essere viste come strutture del I° ordine finite. Ma le "buone proprietà" della logica del I° ordine si perdono quando consideriamo soltanto le strutture finite. Falliscono infatti i teoremi di validità e completezza, così come il teorema di compattezza.

Nonostante le critiche precedenti, la logica del I° ordine è ancora però una buona logica nel caso delle strutture finite, ed è usata dagli informatici perchè elegante, naturale ed espressiva. Ma la logica del II° ordine è naturale, elegante e

molto più espressiva: non è molto usata in quanto poco "maneggevole".

La logica del II° ordine debole, che permette la quantificazione soltanto su predicati finiti (e quindi coincidente con la logica del II° ordine, per quanto riguarda le strutture finite) è però maneggevole.

Il suggerimento di Gurevich è allora quello di orientarsi, per le applicazioni nel caso finito, alla logica del II° ordine debole.

Una delle logiche non classiche più note è la logica a 3 valori. Di questa ci sono diverse formulazioni. Richiamiamo qui quelle di Kleene. L'insieme dei valori di verità è t, f, n. I correttivi proposizionali hanno le seguenti tavole di verità:

$\neg A$	
t	f
f	t
u	u

$A \wedge B$	t	f	u
t	t	f	u
f	f	f	f
u	u	f	u

$A \vee B$	t	f	u
t	t	t	t
f	t	f	u
u	t	u	u

$A \rightarrow B$	t	f	u
t	t	f	u
f	t	t	t
u	t	u	u

$A \leftrightarrow B$	t	f	u
t	t	f	u
f	f	t	u
u	u	u	u

I qualificatori universali ed esitenziali, visti come congiunzioni e disgiunzioni infinite rispettivamente, hanno le seguenti interpretazioni:

$$\bigwedge_{i \in I} d_i = \begin{cases} t & \text{se ogni } d_i = t \\ f & \text{se qualche } d_i = f \\ u & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$\bigvee_{i \in I} d_i = \begin{cases} t & \text{se qualche } d_i = t \\ f & \text{se ogni } d_i = f \\ u & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Per rappresentare sistemi in cui si arricchisce la conoscenza (v. l'esempio del robot in (T) pag. 37) è utile questa particolare semantica: per semplicità sia L un linguaggio predicativo.

Definizione 4

un modello parziale per L è una struttura $M = \langle D, F \rangle$ tale che D è un insieme non vuoto ed F associa ad ogni simbolo predicativo n-ario P una funzione $P^M : D^n \rightarrow \{t, f, u\}$.

Se assegnamo inoltre un ordine ai valori di verità, possiamo definire

$$M' = \langle D, F' \rangle \text{ estensione di } M = \langle D, F \rangle \text{ (} M \leq M' \text{) se per ogni } P \text{ } P^M \leq P^{M'} \text{ vale il seguente}$$

Teorema 4 (punto fisso)

Sia G un operatore monotono sui modelli parziali di L (con lo stesso dominio). Per ogni modello parziale M tale che $M \leq G(M)$ esiste M^* tale che $M \leq M^*$ e $G(M^*) = M^*$.

Questa semantica soddisfa la monotonia, nel senso che se modifichiamo con $[A]^M$ il valore di verità dell'enunciato A in M abbiamo:

Teorema 5

$$\text{Se } M \leq M' \text{ allora } [A]^M \leq [A]^{M'}$$

Spesso però nelle applicazioni si ha la necessità di rappresentare situazioni non monotone. (Un esempio è quello di Gabbay,

riportato in (T) pag. 59). Diamo per questo la seguente definizione sintattica:

Definizione 5

Supponiamo di avere un sistema deduttivo, con relazione di inferenza \vdash . \vdash è detta monotona se per ogni insieme $S_1, S_2, S_1 \subseteq S_2$ è $S_1 \subseteq S_2$ ($S = \{\alpha : \alpha \text{ enunciato, } S \vdash \alpha\}$).
Altrimenti \vdash è detta non monotona.

E' ancora motivo di studio una sistemazione di tali teorie non monotone.

Mc Dermott e Doyle hanno sviluppato una teoria modale non monotona, ma non molto promettente (cfr. (T) per le critiche a tale teoria).

Un tentativo di sistemazione di questa con una semantica basata su quella a 3 valori di Kleene è dovuta a Turner stesso. Sia L_N la logica modale del I° ordine.

Una struttura per L_N è $S = \langle F, \subseteq \rangle$ dove:

F è la collezione di tutti i modelli parziali di fissato dominio D e \subseteq è una relazione binaria (relazione di plausibilità) su F tale che:

- (1) se $M \subseteq M'$ allora $M \leq M'$;
- (2) $M \subseteq M$;
- (3) se $M \subseteq M'$ e $M' \subseteq M''$ allora $M \subseteq M''$.

Sia S una struttura per L_N . Supponiamo che ogni elemento d di D sia rappresentato dalla costante d' di L_N .

Per induzione è definita:

- (i) $[P(d'_0, \dots, d'_{n-1})]^M = P^M(d_0, \dots, d_{n-1})$
- (ii) $[A \wedge B]^M = [A]^M \wedge [B]^M$
- (iii) $[\neg A]^M = \neg [A]^M$
- (iv) $[\forall x A]^M = \bigwedge_{d \in D} [A(d)]^M$
- (v) $[\diamond A]^M = \bigvee_{M' \in P_M} [A]^{M'}$

dove $P_M = \{M' \in F : M \subseteq M'\}$

(i consultivi a destra sono i consultivi di Kleene)

Questo tipo di semantica sembra correggere alcune anomalie del sistema presentato da Mc Dermott e Doyle.

La programmazione logica è stata un successo dell'applicazione della logica alla intelligenza artificiale. Gli altri esempi forniti sono invece soltanto suggerimenti di possibili filoni di ricerca, non sappiamo però quanto proficui, e non sembrano usare molto di più di definizioni di logiche non classiche.

Per mancanza di tempo sono state tralasciate quasi tutte le altre possibili applicazioni, confronto per questo Moore (M).

BIBLIOGRAFIA

- (G) Y. GUREVICH - Toward logic tailored for computational complexity - in "Proceedings Logic Colloquium '83 - Aachen - Springer Lecture Notes (1984). 175 - 216
- (L) J.W. LLOYD - Foundations of logic Programming. Stringer Verlag (1984).
- (M) R.C. Moore - The role of Logic in artificial intelligence - SRI Technical Note 335 (1984).
- (T) R. TURNER - Logics for artificial intelligence - Ellis Horwood Series in Artificial Intelligence (1984).

