

---

ANNO ACCADEMICO 2024/2025

---

# Intelligenza Artificiale e Laboratorio

---

## Teoria - Prolog e ASP

Altair's Notes



**UNIVERSITÀ  
DI TORINO**

---

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

---



<b>CAPITOLO 1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>PAGINA 5</b>
1.1	Il Corso in Breve... Motivazioni — 5	5
<b>CAPITOLO 2</b>	<b>IL PROLOG</b>	<b>PAGINA 8</b>
2.1	Le Basi Liste — 10	8
2.2	Interprete PROLOG Breve Ripasso di Logica — 11 • Risoluzione SLD — 13 • Il Cut — 14	10
2.3	Strategie di Ricerca in PROLOG Ricerca nello Spazio degli Stati — 16 • Cammini (Labirinto) — 16 • Strategie di Ricerca — 18	15
<b>CAPITOLO 3</b>	<b>ANSWER SET PROGRAMMING</b>	<b>PAGINA 21</b>
3.1	Introduzione Negazione — 22	21
3.2	Semantica	22
<b>CAPITOLO 4</b>	<b>DOMANDE PER PREPARARSI PER L'ESAME</b>	<b>PAGINA 25</b>
4.1	PROLOG	25
4.2	ASP	27



# Premessa

## Licenza

Questi appunti sono rilasciati sotto licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale (per maggiori informazioni consultare il link: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## Formato utilizzato

Box di "Concetto sbagliato":

### Concetto sbagliato 0.1: Testo del concetto sbagliato

Testo contenente il concetto giusto.

Box di "Corollario":

### Corollario 0.0.1 Nome del corollario

Testo del corollario. Per corollario si intende una definizione minore, legata a un'altra definizione.

Box di "Definizione":

### Definizione 0.0.1: Nome delle definizioni

Testo della definizione.

Box di "Domanda":

### Domanda 0.1

Testo della domanda. Le domande sono spesso utilizzate per far riflettere sulle definizioni o sui concetti.

Box di "Esempio":

### Esempio 0.0.1 (Nome dell'esempio)

Testo dell'esempio. Gli esempi sono tratti dalle slides del corso.

**Box di "Note":**

**Note:-**

Testo della nota. Le note sono spesso utilizzate per chiarire concetti o per dare informazioni aggiuntive.

**Box di "Osservazioni":**

**Osservazioni 0.0.1**

Testo delle osservazioni. Le osservazioni sono spesso utilizzate per chiarire concetti o per dare informazioni aggiuntive. A differenza delle note le osservazioni sono più specifiche.



# 1

## Introduzione

### 1.1 Il Corso in Breve...

#### 1.1.1 Motivazioni

##### Definizione 1.1.1: Intelligenza Artificiale

L'intelligenza artificiale (o IA, dalle iniziali delle due parole, in italiano) è una disciplina appartenente all'informatica che studia i fondamenti teorici, le metodologie e le tecniche che consentono la progettazione di sistemi hardware e sistemi di programmi software capaci di fornire all'elaboratore elettronico prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana.

##### Note:-

Meh, in realtà l'IA è una disciplina di confine. Però le tematiche sono prettamente informatiche.

#### IA In breve:

- Area di ricerca dell'informatica.
- Si occupa di tutto ciò che serve per rendere un computer intelligente come un essere umano.
- Interessata a problemi *intelligenti*: problemi per cui non esiste/non è noto un algoritmo di risoluzione<sup>1</sup>.

##### Note:-

Il cubo di Rubik non è un gioco intelligente >:(

#### Ci sono tante sotto-aree di ricerca:

- Rappresentazione della conoscenza e ragionamento.
- Interpretazione/sintesi del linguaggio naturale.
- Apprendimento automatico.
- Pianificazione.
- Robotica.

<sup>1</sup>Tris, il labirinto, etc.

**Si collega a tante discipline, oltre all'informatica:**

- Filosofia.
- Fisica.
- Psicologia.

Questo insegnamento ha l'obiettivo di approfondire le conoscenze di Intelligenza Artificiale con particolare riguardo alle capacità di un agente intelligente di fare *inferenze* sulla base di una *rappresentazione esplicita della conoscenza* sul dominio. In questo corso si faranno anche sperimentazione di metodi di ragionamento basati sul paradigma della *programmazione logica*, sull'uso di *formalismi a regole* (CLIPS) e su *reti bayesiane* (ragionamento probabilistico<sup>2</sup>).

**Programma:**

- Dal punto di vista metodologico saranno a rontate problematiche relative a:
  - Meccanismi di ragionamento per calcolo dei predicati del primo ordine.
  - Programmazione logica.
  - Ragionamento non monotono.
  - Answer set programming.
- Queste metodologie verranno a rontate dal punto di vista sperimentale con l'introduzione dei principali costrutti del *Prolog*, lo sviluppo di strategie di ricerca in Prolog e l'utilizzo dell'ambiente *CLINGO* nella risoluzione di problemi in cui sia necessaria l'applicazione di meccanismi di ragionamento non monotono e del paradigma dell'Answer Set Programming.

**Domanda 1.1**

E le novità dell'AI che vanno di moda?

**Risposta:** vengono trattate in altri corsi (TLN, RNDL, AAUT, ELIVA, AGINT).

---

<sup>2</sup>Odio la probabilità con tutto il mio cuore <3



# 2

## Il PROLOG

### Definizione 2.0.1: PROLOG

PROLOG (Programming Logic) è un *linguaggio dichiarativo* basato sul *paradigma logico*:

- Non si descrive cosa fare per risolvere un problema.
- Si descrive la situazione reale con *fatti* e *regole* e si chiede all'interprete di verificare se un *goal* segue oppure no secondo una logica classica.

#### Note:-

Il PROLOG è equivalente alla logica dei predicati del primordine.

## 2.1 Le Basi

### Definizione 2.1.1: Fatti

Si rappresenta con dei *fatti* un dominio di interesse.

#### Esempio 2.1.1 (Fatto)

Fatto per descrivere che un alimento contiene più calorie di un altro:

- piuCalorico(wurstel, banana).
- Rappresenta il fatto che il würstel è un alimento maggiormente calorico rispetto alla banana.

### Definizione 2.1.2: Regole

Si rappresentano le possibili inferenze con delle *regole*:

```
head := subgoal1, subgoal2, ..., subgoaln
```

#### Esempio 2.1.2 (Regola)

```
felino(X) := gatto(X)
```

Rappresenta la regola che permette di concludere che i gatti sono felini.

### Idee di base del PROLOG:

- Regole ricorsive.
- L'interprete analizza i fatti e le regole nell'ordine in cui si trovano nel programma.
- Meccanismo di pattern matching per unire care variabili e termini.
- L'interprete, dato un programma, cerca di dimostrare un goal considerando fatti e applicando regole, nel secondo caso generando sotto-goal.

#### Definizione 2.1.3: Clausole

Le clausole sono i fatti o le regole. Contengono:

- Atomi:
  - Costanti.
  - Numeri.
- Variabili.
- Termini Composti, ottenuti applicando funtori a termini.

#### Note:-

Un programma PROLOG è un insieme di clausole.

#### Osservazioni 2.1.1

- L'estensione dei file PROLOG è 'pl'.
- In PROLOG le variabili hanno l'iniziale maiuscola.
- L'unica struttura dati nativa è la lista.
- Per eseguire swi: swipl.
- Per compilare: ['nomefile.pl'].
- Il comando ';' indica possibili alternative.
- Il comando 'trace.' consente un'esecuzione passo per passo.
- '\+' rappresenta la negazione per fallimento.
- L'ordine è importante perché PROLOG "legge" dall'alto verso il basso.

### Qualche predicato *built-in*:

- **var(X)**: indica se X è una variabile.
- **ground(X)**: indica se X è istanziata.
- **atom(X)**: indica se X è atomica.

### 2.1.1 Liste

#### Definizione 2.1.4: Lista

La *lista* è la struttura dati principale in PROLOG. Una lista è caratterizzata da una testa e da una coda:

- Testa: primo termine (a sinistra) della lista.
- Coda: la lista dei termini dal secondo (incluso) in poi.

#### Note:-

Rappresentata come [Head | Tail].

```
?- [1,2,3,4,5] = [Head | Tail].
Head = 1
Tail = [2,3,4,5] = [Head | Tail]
Yes
```

```
?- [a, ciao, [], 2, [1, saluti]] = [Head | Tail].
Head = a
Tail = [ciao, [], 2, [1, saluti]]
Yes
```

Figure 2.1: Le liste in PROLOG.

#### Predicati *built-in*:

- `length(Lista, N)`: ha successo se la `List`a contiene `N` elementi.
- `member(Elemento,Lista)`: ha successo se la `List`a contiene il termine `Elemento`.
- `select(Elemento,Lista,Rimanenti)`: rimuove `Elemento` da `List`a e restituisce `Rimanenti`.

## 2.2 Interprete PROLOG

#### Domanda 2.1

Come avviene l'esecuzione di programmi PROLOG?

- Esecuzione mediante *backward chaining* in profondità.
- Si parte dal *goal* che si vuole derivare:
  - *Goal* = congiunzione di formule atomiche  $G_1, G_2, \dots, G_n$ .
  - Si vuole dimostrare, mediante risoluzione, che il goal segua logicamente dal programma.
- Una regola  $A : -B_1, B_2, \dots, B_m$  è applicabile a  $G_i$  se:
  - Le variabili vengono rinominate.
  - $A$  e  $G_i$  unificano.

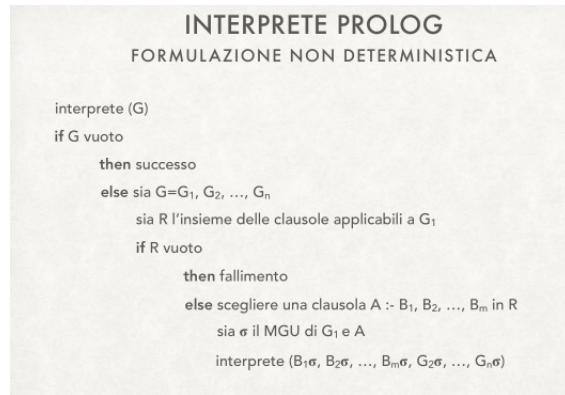


Figure 2.2: Una formulazione non deterministica di come funziona l'interprete PROLOG.

**Note:-**

MGU è il Most General Unifier: minimo sforzo per rendere uguali due variabili (il fatto e il goal).

- La computazione ha successo se esiste una computazione che termina con successo.
- Non determinismo: non è specificata la regola scelta in R.
- Ma l'interprete PROLOG si comporta in modo *deterministico*:
  - Le clausole vengono considerate nell'ordine in cui sono scritte nel programma.
  - Viene fatto backtracking all'ultimo punto di scelta ogni volta che la computazione fallisce.
- In caso di successo, l'interprete restituisce una sostituzione per le variabili che compaiono nel goal.

### 2.2.1 Breve Ripasso di Logica

#### Definizione 2.2.1: Logica Classica

Conseguenza logica definita semanticamente: dato una teoria e una formula, diciamo che la formula segue dalla teoria se essa è vera in tutti i modelli della teoria.

#### Esempio 2.2.1 (Gatti)

- I gatti miagolano: gatto → miagola.
- I persiani sono gatti: persiano → gatto.
- Si vuole dimostrare che i persiani miagolano: k ⊨ persiano → miagola.

• Semantica: tavola di verità

gatto → miagola			persiano → gatto			persiano → miagola		
0	1	0	1	0	1	0	0	1
0	1	1	1	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	1
1	0	0	0	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	1	1	0	1
1	0	0	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1

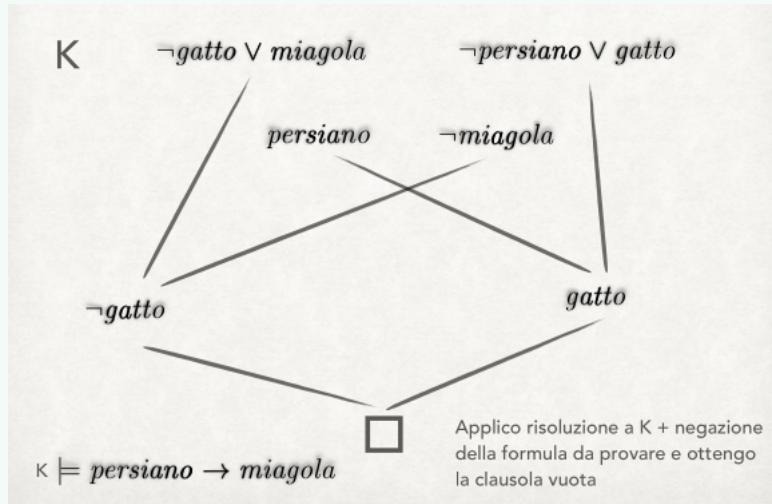
*gatto → miagola*  $\wedge$  *persiano → gatto*

- Tuttavia il processo è molto laborioso già con poche formule e basi di conoscenza piccole.
- Metodo di prova: procedura/algoritmo che calcola/dimostra se una formula è conseguenza logica della teoria.
  - *Corretto*: se l'algoritmo dimostra  $F$  da  $K$ , allora  $F$  è conseguenza logica di  $K$ .
  - *Completo*: se  $F$  è conseguenza logica di  $K$ , allora l'algoritmo dimostra  $F$  da  $K$ .

**Risoluzione:**

- Si applica a formule in forma di *clausole* (disgiunzioni di letterali<sup>1</sup>).
- Si basa su un'unica regola di inferenza:
  - Date due clausole  $C_1 = A_1 \vee \dots \vee A_n$  e  $C_2 = B_1 \vee \dots \vee B_m$ .
  - Se ci sono due letterali  $A_i$  e  $B_j$  tali che  $A_i = \neg B_j$ , allora posso derivare la clausola *risolvente*  $A_1 \vee \dots \vee A_{i-1} \vee A_{i+1} \vee \dots \vee A_n \vee B_1 \vee \dots \vee B_{j-1} \vee B_{j+1} \vee \dots \vee B_m$ .
  - Il risolvente è conseguenza logica di  $C_1 \cup C_2$
- Data una teoria (insieme di formule)  $K$  e una formula  $F$ , dimostro che  $F$  è conseguenza logica di  $K$  per refutazione (dimostrare che  $K \cup \neg F$  è inconsistente).
- Si parte dalle clausole  $K \cup \neg F$ , risolvendo a ogni passo due clausole e aggiungendo il risolvente all'insieme di clausole.
- Si conclude quando si ottiene la clausola vuota.

**Esempio 2.2.2 (Risoluzione gatti)**



**Inoltre:**

- Se le due clausole  $C_1 = A_1 \vee \dots \vee A_n$  e  $C_2 = B_1 \vee \dots \vee B_m$  contengono variabili, i due letterali  $A_i$  e  $B_j$  devono essere tali che si possa fare l'*unificazione* tra i due:
  - Unificazione: sostituzione  $\alpha$  di variabili con termini o uguaglianza di variabili affinché  $A_i = \neg B_j$ .
  - Clausola risolvente  $[A_1 \vee \dots \vee A_{i-1} \vee A_{i+1} \vee \dots \vee A_n \vee B_1 \vee \dots \vee B_{j-1} \vee B_{j+1} \vee \dots \vee B_m]\alpha$ .
  - Le sostituzioni di  $\alpha$  sono applicate a  $A_1 \vee \dots \vee A_{i-1} \vee A_{i+1} \vee \dots \vee A_n \vee B_1 \vee \dots \vee B_{j-1} \vee B_{j+1} \vee \dots \vee B_m$ .

<sup>1</sup>Formule atomiche o negazione di formule atomiche.

		costante	variabile	composto
		$c_2$	$x_2$	$s_2$
costante	$c_1$	unificano se $c_1 = c_2$	unificano con $x_2/c_1$	non unificano
variabile	$x_1$	unificano con $x_1/c_2$	unificano con $x_1/x_2$	unificano con $x_1/s_2$
composto	$s_1$	non unificano	unificano con $x_2/s_1$	unificano se il funtore in $s_1$ e $s_2$ è lo stesso e gli argomenti unificano

Figure 2.3: Unificazione di due termini.

**Note:-**

Per ragioni d'efficienza, PROLOG non fa *occur check*, ossia una variabile X unifica con f(X).

### 2.2.2 Risoluzione SLD

Per arrivare a un linguaggio di programmazione PROLOG si vuole una strategia efficiente.

#### Definizione 2.2.2: Risoluzione SLD

Linear resolution with Selection function for Definite clauses:

- K con clausole *definite*:
  - Clausole di Horn: al più un letterale non negato.
  - Strategia linear input: a ogni passo di risoluzione, una *variante* di una clausola è sempre scelta nella K di partenza (programma) mentre l'altra è sempre il risolvente del passo precedente (goal, la negazione di F al primo passo).
  - Variante: clausola con variabili rinominate.

**Note:-**

{NON LSD.}

#### Domanda 2.2

Ma perché ci si limita alle clausole di Horn?

**Risposta:** si rimuove la parte "intuitiva" che non può essere implementata nel PROLOG. Inoltre le clausole di Horn garantiscono la completezza.

**Derivazione SLD per un goal  $G_0$  da un insieme di clausole K è:**

- Una sequenza di clausole goal  $G_0, G_1, \dots, G_n$ .
- Una sequenza di varianti di clausole di  $K C_1, C_2, \dots, C_n$ .
- Una sequenza di MGU  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ , tali che  $G_{i+1}$  è derivato da  $G_i$  e da  $C_{i+1}$  attraverso la sostituzione  $\alpha_{i+1}$ ,

Tre possibili tipi di derivazioni:

- Successo se  $G_n$  è vuoto (**true**).
- Fallimento finito, se non è possibile derivare da  $G_n$  alcun risolvente e  $G_n$  non è vuoto (**false**).
- Fallimento infinito, se è sempre possibile derivare nuovi risolventi (loop infinito).

Due forme di non determinismo:

- Regola di calcolo per selezionare a ogni passo l'atomo  $B_i$  del goal da unificare con una clausola.
- Scelta di quale clausola utilizzare a ogni passo di risoluzione.

#### Definizione 2.2.3: Regola di calcolo

Funzione che ha come dominio l'insieme dei goal e per ogni goal seleziona un suo atomo.

#### Note:-

La regola di calcolo non influenza correttezza e completezza del metodo di prova.

#### Domanda 2.3

Come si costruisce l'albero SLD?

Data una regola di calcolo, è possibile rappresentare tutte le derivazioni con un albero SLD:

- Nodo: goal.
- Radice: goal iniziale  $G_0$ .
- Ogni nodo  $\leftarrow A_1, \dots, A_m, \dots, A_k$ , dove  $A_m$  è l'atomo selezionato dalla regola di calcolo, ha un figlio per ogni clausola  $A \leftarrow B_1, \dots, B_k$  tale che  $A$  e  $A_m$  sono unificabili con MGU  $\alpha$ . Il nodo figlio è etichettato con il goal  $\leftarrow [A_1, \dots, A_{m-1}, B_1, \dots, B_k, A_{m+1}, \dots, A_k] \alpha$ . Il ramo dal padre al figlio è etichettato con  $\alpha$  e con la clausola selezionata.

Scelte per rendere la strategia deterministica:

- Regola di computazione: ***leftmost*** (viene sempre scelto il sottogoal più a sinistra).
- Clausole considerate nell'***ordine in cui sono scritte nel programma***.
- Strategia di ricerca: ***in profondità con backtracking***.
  - Non è completa perché se una computazione che porta al successo si trova a destra di un ramo infinito l'interprete non la trova, perché entra, senza mai uscirne, nel ramo infinito.

#### Note:-

Cercare di mettere a destra le computazioni che possano produrre eventuali casini.

### 2.2.3 Il Cut

#### Definizione 2.2.4: Cut

Il ***cut*** è un predicato extra-logico che consente di modificare l'esecuzione dell'interprete PROLOG. CUT (!):

- Predicato sempre vero.
- Se eseguito blocca il backtracking.

**Note:-**

Si rischia di perdere la completezza, ma si guadagna molto in efficienza.

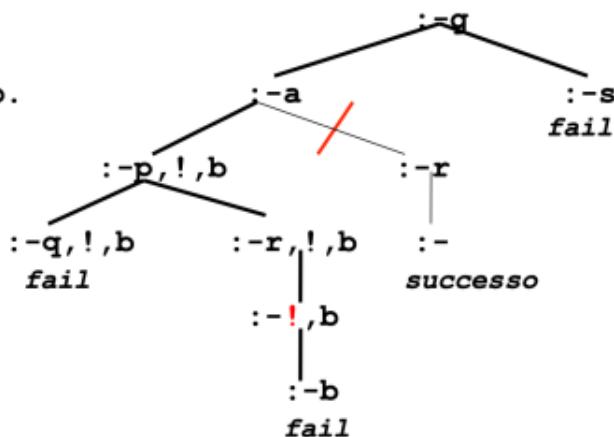
**Modello run-time dell'interprete PROLOG:**

- Due stack:
  - Stack di *esecuzione*: contiene i record di attivazione (environment) dei predici in esecuzione.
  - Stack di *backtracking*: contiene l'insieme dei punti di scelta (choice-point).
- In realtà c'è un solo stack, con alternanza di environment e choice-point.

**Il cut:**

- Rende definitive le scelte fatte nel corso della valutazione dall'interprete PROLOG (eliminazione di choice-point dallo stack di backtracking).
- Altera il controllo del programma.
- Perdita di dichiaratività.

```
(c11) g :- a.  
(c12) g :- s.  
(c13) a :- p,! ,b.  
(c14) a :- r.  
(c15) p :- q.  
(c16) p :- r.  
(c17) r.
```



- tagliando alcuni rami dell'albero SLD (=rimuovendo alcuni punti di backtracking) si perde la **completezza**

Figure 2.4: Esempio di cut che provoca la perdita di completezza.

**2.3 Strategie di Ricerca in PROLOG**

Un problema di ricerca è definito da:

- *Stato iniziale*.
- *Insieme delle azioni* (azione: fa passare da uno stato all'altro).
- Specifica degli obiettivi (goal).
- Costo di ogni azione.

**Note:-**

Non tutti i problemi hanno una naturale soluzione con la ricerca nello spazio degli stati.

### 2.3.1 Ricerca nello Spazio degli Stati

Lo spazio degli stati definito implicitamente dallo stato iniziale con un insieme delle azioni, ossia l'insieme di tutti gli stati raggiungibili a partire da quello iniziale.

**Definizione 2.3.1: Cammino**

Sequenza di stati collegati da una sequenza di azioni.

**Corollario 2.3.1 Costo di un Cammino**

Somma dei costi delle azioni che lo compongono.

**Note:-**

Se non si hanno dei costi esplicativi si assume che siano tutti uguali (e. g. tutti 1).

**Definizione 2.3.2: Soluzione a un Problema**

Cammino dallo stato iniziale ad uno stato goal.

**Corollario 2.3.2 Soluzione Ottima**

Soluzione che ha il costo minimo tra tutte le soluzioni.

**Note:-**

Non è detto che esista una soluzione. In generale possono esistere 0, 1 o più soluzioni.

#### Stati rappresentati come termini:

- Dipendono dal problema da rappresentare:
  - Mondo dei blocchi: on(a,b), clear(c), ecc.
  - Puzzle dell'8: lista ordinata [3, 1, v, 4, 7, 8, 5, 6, 2].

#### Azioni specificate tramite:

- Precondizioni: in quali stati un'azione può essere eseguita.
- Effetti.
- applicabile(AZ, S): l'azione AZ è eseguibile nello stato S.
- trasforma(AZ, S, NUOVO\_S): se l'azione AZ è applicabile a S, lo stato NUOVO\_S è il risultato dell'applicazione di AZ allo stato S.

### 2.3.2 Cammini (Labirinto)

#### Specifiche:

- Trovare un cammino in una griglia rettangolare, con ostacoli in alcune celle.
- Predicati num\_righe e num\_colonne speci cano la dimensione della griglia.
- pos(Riga,Colonna) per rappresentare la posizione dell'agente.
- occupata(pos(Riga,Colonna)) per rappresentare gli ostacoli.

**Azioni:**

- Nord.
- Sud.
- Ovest.
- Est.

**Azione applicabile quando la sua esecuzione non porta l'agente:**

- Fuori dalla griglia.
- In una cella occupata da un ostacolo.

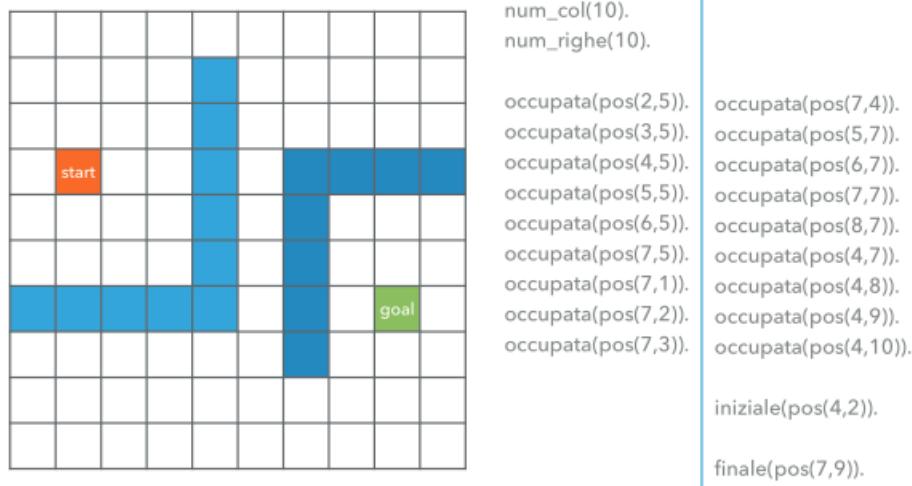


Figure 2.5: Esempio di labirinto.

<code>applicabile(nord,pos(R,C)) :-</code>	<code>applicabile(sud,pos(R,C)) :-</code>	<code>applicabile(ovest,pos(R,C)) :-</code>
<code>R&gt;1,</code>	<code>num_righe(NR), R&lt;NR,</code>	<code>C&gt;1,</code>
<code>R1 is R-1,</code>	<code>R1 is R+1,</code>	<code>C1 is C-1,</code>
<code>\+ occupata(pos(R1,C)).</code>	<code>\+ occupata(pos(R1,C)).</code>	<code>\+ occupata(pos(R,C1)).</code>
<code>applicabile(est,pos(R,C)) :-</code>	<code>trasforma(est,pos(R,C),pos(R,C1)) :- C1 is C+1.</code>	
<code>num_col(NC), C&lt;NC,</code>	<code>trasforma(ovest,pos(R,C),pos(R,C1)) :- C1 is C-1.</code>	
<code>C1 is C+1,</code>	<code>trasforma(sud,pos(R,C),pos(R1,C)) :- R1 is R+1.</code>	
<code>\+ occupata(pos(R,C1)).</code>	<code>trasforma(nord,pos(R,C),pos(R1,C)) :- R1 is R-1.</code>	

Figure 2.6: Operazioni possibili.

### Altri predicati extra-logici (asserzioni):

- **assert(Fatto(X))**: aggiunge fatti alla base di conoscenza.
- Può essere inserito in una regola.
- È un predicato *dinamico*.
- **asserta(Fatto(X))**: inserisce in testa (prima nell'ordine).
- **assertz(Fatto(X))**: inserisce in coda (dopo nell'ordine).
- **retract(Fatto(X))**: rimuove un fatto dalla base di conoscenza (ATTENZIONE: vale solo per i fatti inseriti dinamicamente da assert/asserta/assertz).
- **retractall(Fatto(\_))**: rimuove tutti i predicati relativi al fatto.

### 2.3.3 Strategie di Ricerca

#### Definizione 2.3.3: Strategie non Informate

Strategie che non fanno assunzioni particolari sul dominio.

##### Strategie non informate:

- *Ricerca in profondità*:
  - Espande sempre per primo il nodo più distante dalla radice dell'albero di ricerca.
  - I può realizzare facilmente in Prolog sfruttando il nondeterminismo del linguaggio.
- *Ricerca a profondità limitata*:
  - Come per la ricerca in profondità, ma utilizzando un parametro che vincola la profondità massima oltre la quale i nodi non vengono espansi.
- *Iterative deepening*:
  - Ripete la ricerca a profondità limitata, incrementando a ogni passo il limite.
  - Ottima nel caso di azioni dal costo unitario.
- *Ricerca in ampiezza*:
  - Coda di nodi.
  - A ogni passo, la procedura espande il nodo in testa alla coda (**findall**) generando tutti i suoi successori, che vengono aggiunti in fondo alla coda.
  - Garantita l'individuazione della soluzione ottima.
- *Ricerca in ampiezza su grafi*:
  - Come la ricerca in ampiezza, ma considerando la lista chiusa dei nodi già espansi.
  - Prima di espandere un nodo, si verifiche che non sia chiuso.
  - Il nodo chiuso non viene ulteriormente espanso.

#### Definizione 2.3.4: Strategie Informate

Utilizzano una funzione euristica  $h(n)$ <sup>a</sup>. Si associa un costo a ciascuna azione e viene definita una funzione  $g(x)$ <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Costo stimato del cammino più conveniente dal nodo n a uno stato finale.

<sup>b</sup>Costo del cammino trovato dal nodo iniziale a n.

**Strategie Informate:**• *Ricerca in profondità IDA\**:

- Come iterative deepening, ma con soglia stimata a ogni passo in base all'euristica.
- Al primo passo la soglia è  $h(s_i)$ , dove  $s_i$  è lo stato iniziale.
- A ogni iterazione, la soglia è il minimo  $f(n) = g(n) + h(n)$  per tutti i nodi  $n$  che superavano la soglia al passo precedente (backtracking).
- si usa **assert** per salvare  $f(n)$  in caso di fallimento.

• *Ricerca in ampiezza con stima A\**:

- Ricerca in ampiezza su gra che tiene conto della funzione euristica.
- A ogni passo si estrae per l'espansione dalla coda il nodo con minimo valore di  $f(n) = g(n) + h(n)$ .
- I nodi già espansi non vengono più espansi.



# 3

## Answer Set Programming

### 3.1 Introduzione

Durante la cosiddetta "War of Semantics" nasce l'esigenza di dare una semantica alla negazione per fallimento adottata dagli interpreti PROLOG.

#### Definizione 3.1.1: Answer Set Programming

Paradigma di programmazione in cui le soluzioni sono i *modelli* (Answer Set), non più le prove

#### Note:-

Con PROLOG ha in comune solo la sintassi, per il resto è tutt'altra cosa.

#### L'Answer Set Programming (ASP):

- È particolarmente utile per risolvere problemi combinatori (soddisfacimento di vincoli, planning).
- ASP solvers molto efficienti sviluppati per supportare questa metodologia (DLV, smodels, *CLINGO*, Cmodels, ...).

#### Note:-

Un ASP solvers è l'equivalente di un interprete PROLOG.

#### Codice ASP:

- Insieme finito di regole:  $a : -b_1, b_2, \dots, b_n, not c_1, not c_2, \dots, not c_m$ .
- $a, b_i, c_j$  sono letterali nella forma  $p$  on  $\neg p$ :
  - $\neg$  è la negazione classica.
  - $not$  è la negazione per fallimento.
- $a$  è opzionale, senza si ha *integrity constrain* (regole senza testa):
  - $: -a_1, a_2, \dots, a_k$ .
  - È inconsistente che siano tutti veri...
  - Serve per filtrare/buttare via dei modelli.
- Si applica ai soli programmi logici proposizionali.

- La maggior parte dei tool per ASP consente per comodità di usare variabili, ma le clausole devono poter essere trasformate in un numero finito di clausole ground.

#### ASP vs. PROLOG:

- In ASP l'ordine dei letterali non ha alcuna importanza.
- Prolog è goal-directed, ASP no.
- La SLD-risoluzione del Prolog può portare a loop, mentre gli ASP solver non lo consentono.
- PROLOG ha il cut(!), ASP no.

### 3.1.1 Negazione

- *Classica*:
  - attraversa :- treno.
  - Si attraversa solo se si può derivare che il treno non è in arrivo.
- *Per fallimento*:
  - attraversa :- not treno.
  - Si può attraversare in assenza di informazione esplicita sul treno in arrivo.
- Un letterale negato -p non ha nessuna proprietà particolare.
- Viene considerato come se fosse un nuovo atomo positivo, aggiungendo il vincolo :- p, -p.

#### Osservazioni 3.1.1

CLINGO:

- Fornisce modelli e indica se sono *SATISFIABLE* (soddisfacibili) o *UNSATISFIABLE* (insoddisfacibili).
- Se si aggiunge il parametro "0" vengono mostrati tutti i modelli (ATTENZIONE: potrebbero essere migliaia, è sconsigliato metterlo di default).

## 3.2 Semantica

### Definizione 3.2.1: Answer Set

Un Answer Set è un modello minimale (stabile).

#### Note:-

Un programma ASP privo di letterali  $not p_i$  ha un unico modello minimale che è il suo answer set. Potrebbero esserci più answer set, ma interessa solo quello minimale.

### Domanda 3.1

Che succede se è presente la negazione per fallimento?

### Definizione 3.2.2: Ridotto

Il *ridotto*  $P^S$  rispetto a un insieme di atomi S:

- Rimuove ogni regola il cui corpo contiene  $\text{not}L$ , per  $L \in S$ .
- Rimuove tutti i  $\text{not}L$  dai corpi delle restanti regole.

$P^S$  non contiene atomi con negazione per fallimento:

- Ha un unico answer set.
- Se tale answer set coincide con S, allora S è un answer set per P.

#### Note:-

In ASP si può usare `#show/cardinalità` per mostrare solo alcune parti dei modelli.



Figure 3.1: "Show" or something idk.



# 4

## Domande per Prepararsi per l'Esame

### 4.1 PROLOG

#### Domanda 4.1

Scrivere un semplice programma PROLOG che va in loop.

```
prog(_). :- prog(_).  
prog(_). :- loop(_).
```

Figure 4.1: Codice che causa un loop.

```
?- prog(X).  
ERROR: Stack limit (1.0Gb) exceeded  
ERROR: Stack sizes: local: 1.0Gb, global: 54Kb  
ERROR: Stack depth: 7,455,486, last-call: 0%,  
ERROR: Probable infinite recursion (cycle):  
ERROR: [7,455,486] user:prog(_14026)  
ERROR: [7,455,485] user:prog(_14044)
```

Figure 4.2: PROLOG se ne accorge perché è un loop stupido.

#### Domanda 4.2

Fare l'esempio del pinguino.

```
uccello(titty).  
pinguino(tux).  
gatto(tom).  
pinguino(titty).  
  
vola(X):-uccello(X),\+pinguino(X).  
uccello(X):-pinguino(X).
```

Figure 4.3: Codice dell'esempio.

```
?- vola(tux).  
false.
```

Figure 4.4: Tux è un pinguino, quindi non vola (negazione per fallimento).

#### Domanda 4.3

Perché in PROLOG non è presente la negazione forte (negazione classica)?

**Risposta:** perché in prolog si assume mondo chiuso e ragionamento non monotono. La negazione classica richiede la conoscenza completa del dominio per poter affermare che qualcosa sia vero o falso, ma in prolog si possono aggiungere nuovi fatti.

**Domanda 4.4**

Come funziona la negazione per fallimento?

**Risposta:** semplicemente un determinato

+P è vero se prolog non riesce a dimostrare P. In poche parole "se non sono in grado di dimostrare che un qualcosa sia vero allora il suo opposto è vero".

**Domanda 4.5**

Fare un esempio di negazione per fallimento.

**Note:-**

Andare a vedere l'esempio del pinguino.

**Domanda 4.6**

Tipi di fallimenti in PROLOG.

**Risposta:**

- Successo se  $G_n$  è vuoto (**true**).
- Fallimento finito, se non è possibile derivare da  $G_n$  alcun risolvente e  $G_n$  non è vuoto (**false**).
- Fallimento infinito, se è sempre possibile derivare nuovi risolventi (loop infinito).

**Domanda 4.7**

Che cos'è la logica monotona?

**Risposta:** una logica dello stesso tipo della logica classica, in cui si ha una conoscenza completa e non si aggiungono o rimuovono nuovi fatti.

**Domanda 4.8**

Come funziona la ricerca SLD?

**Risposta:** la ricerca SLD è l'algoritmo inferenziale usato da prolog per risolvere obiettivi. Andare a vedere l'algoritmo di costruzione dell'albero SLD.

**Note:-**

Nota per self: è SLD, non LSD.

**Domanda 4.9**

Perché si usa la risoluzione SLD se è completa solo con le clausole di Horn?

**Risposta:** per questioni di efficienza, inoltre prolog usa solo clausole di Horn, quindi non è un dramma.

**Domanda 4.10**

Spiegare il cut(!) e qual è il suo vantaggio.

**Risposta:** il cut è un predicato extra logico che consente di modificare l'esecuzione dell'interprete PROLOG (è un predicato sempre vero). Il suo vantaggio è che blocca il backtracking rendendo definitive le scelte fatte. Questo fa perdere la completezza, ma aumenta l'efficienza evitando di esplorare rami potenzialmente inutili.

**Domanda 4.11**

Scrivere un programmino con il cut(!).

```

provacut(X, L) :-!, 
    member(X, L),
    !,
    provacut(_),
    !.
pari(2).
pari(4).
pari(6).
nonprimo(4).
nonprimo(6).
nonprimo(9).

```

Figure 4.5: Esempio di programma con il cut.

**Risposta:**

**Domanda 4.12**

Cut(!) danneggia la correttezza o la completezza? Perché?

**Risposta:** la completezza, perché va a escludere potenziali soluzioni che sarebbero state considerate facendo backtracking.

**Domanda 4.13**

Scrivere lo stack dell'interprete PROLOG di un codice in cui è presente il cut(!).

## 4.2 ASP

**Domanda 4.14**

Dire se un dato programma è PROLOG o ASP.

**Note:-**

Suggerimento: guardare se il programma ha cut (PROLOG) o no (ASP)

**Domanda 4.15**

Differenze tra PROLOG e CLINGO.

**Risposta:**

- ASP (CLINGO) ha integrity constrain, PROLOG no.
- ASP è proposizionale, PROLOG è logica del primordine.
- In ASP l'ordine dei letterali non ha alcuna importanza.
- Prolog è goal-directed, ASP no.
- In ASP non c'è il concetto di dimostrazione.
- La SLD-risoluzione del Prolog può portare a loop, mentre gli ASP solver non lo consentono (aka. ASP non va in loop).
- PROLOG ha il cut(!), ASP no.
- ASP ha sia la negazione per fallimento che la negazione classica, PROLOG solo la negazione per fallimento.

### Domanda 4.16

Esempio di Nixon pacifista.

```
pacifist(X) :- quacker(X), not -pacifist(X).

-pacifist(X) :- republican(X), not pacifist(X).

republican(nixon).
quacker(nixon).
```

Figure 4.6: Codice di Nixon pacifista.

```
clingo version 5.7.1
Reading from 02-NixonPacificista.cl
Solving...
Answer: 1
quacker(nixon) republican(nixon) -pacifist(nixon)
Answer: 2
quacker(nixon) republican(nixon) pacifist(nixon)
SATISFIABLE

Models : 2
Calls : 1
Time : 0.000s (Solving: 0.00s 1st Model: 0.00s Unsat: 0.00s)
CPU Time : 0.000s
```

Figure 4.7: Modelli di Nixon pacifista.

### Domanda 4.17

PROLOG e ASP sono monotoni?

**Risposta:** non lo sono perché è possibile aggiungere nuovi fatti e quindi non si ha la completa conoscenza del dominio.

### Domanda 4.18

Perché in ASP non c'è il cut(!)?

**Risposta:** non esistono né una dimostrazione né backtracking, ASP si cerca i suoi modelli indipendentemente.

### Domanda 4.19

Come funziona la negazione per fallimento in ASP?

**Risposta:** un determinato "not a" è vero se e solo se "a" non è dimostrabile in un answer set. Ciò che non può essere derivato è considerato vero.

### Domanda 4.20

Che cos'è l'Integrity Constraint e a cosa serve?

**Risposta:** è una regola senza testa (:- something). Serve a vietare che certe combinazioni di fatti siano presenti nello stesso answer set. Se il corpo è vero in un modello X allora quel modello viene scartato. Serve per "filtrare" gli insiemi di risposta validi.

### Domanda 4.21

In PROLOG si può avere Integrity Constraint?

**Risposta:** non sono nativi, ma è possibile simularli utilizzando la negazione per fallimento.

### Domanda 4.22

Fare un esempio di codice ASP che risulta insoddisfacibile.

### Domanda 4.23

Come modificare un semplice programma ASP per renderlo soddisfacibile.

```
uccello(X) :- pinguino(X).
-vola(X) :- pinguino(X).
vola(X) :- uccello(X), not -vola(X).
vola(tux).
pinguino(tux).
```

Figure 4.8: In questo esempio si ha che tux vola ma non vola.

```
clingo version 5.7.1
Reading from 01-Animali.cl
Solving...
UNSATISFIABLE

Models : 0
Calls : 1
Time : 0.001s (Solving: 0.00s 1st Model: 0.00s Unsat: 0.00s)
CPU Time : 0.001s
```

Figure 4.9: Non esistono modelli che siano vero.

**Note:-**

Suggerimento: rimuovere le contraddizioni.

**Domanda 4.24**

Che cos'è e a che cosa serve il ridotto di un programma?

**Definizione 4.2.1: Ridotto**

Il *ridotto*  $P^S$  rispetto a un insieme di atomi S:

- Rimuove ogni regola il cui corpo contiene  $\text{not } L$ , per  $L \in S$ .
- Rimuove tutti i  $\text{not } L$  dai corpi delle restanti regole.

$P^S$  non contiene atomi con negazione per fallimento:

- Ha un unico answer set.
- Se tale answer set coincide con S, allora S è un answer set per P.

**Domanda 4.25**

Fare il ridotto di un programma ASP rispetto a un insieme dato.

```
p :- a.
a :- not b.
b :- not a.
```

**Note:-**

In questo esempio il ridotto c'è per  $S = \{b\}$  e  $S = \{a, p\}$

**Domanda 4.26**

Dire se un programma ASP presenta un answer set.

**Risposta:**

**Domanda 4.27**

Scrivere un programma che presenti due answer set diversi.

**Risposta:** banalmente si può scrivere il programma di Nixon pacifista. Ha un answer set in cui Nixon è pacifista e quacchero e un answer set in cui Nixon è repubblicano e guerrafondaio (non pacifista).

