

---

ANNO ACCADEMICO 2024/2025

---

# Intelligenza Artificiale e Laboratorio

---

Teoria

Altair's Notes



---

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

---



|                   |                     |                 |
|-------------------|---------------------|-----------------|
| <b>CAPITOLO 1</b> | <b>INTRODUZIONE</b> | <b>PAGINA 5</b> |
|-------------------|---------------------|-----------------|

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 1.1 | Il Corso in Breve...<br>Motivazioni — 5 | 5 |
|-----|---|---|

|                   |                  |                 |
|-------------------|------------------|-----------------|
| <b>CAPITOLO 2</b> | <b>IL PROLOG</b> | <b>PAGINA 8</b> |
|-------------------|------------------|-----------------|

- |     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Le Basi<br>Liste — 10  | 8  |
| 2.2 | Interprete PROLOG<br>Breve Ripasso di Logica — 11 • Risoluzione SLD — 13 • Il Cut — 14   | 10 |
| 2.3 | Strategie di Ricerca in PROLOG<br>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<br>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 | Parte 1 (PROLOG e CLINGO)<br>PROLOG — 25 • ASP — 27 | 25 |
| 4.2 | Parte 2   | 29 |



# Premessa

## Licenza

Questi appunti sono rilasciati sotto licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale (per maggiori informazioni consultare il link: <https://creativecommons.org/version4/>).



## 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 unificare 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 `Lista` contiene `N` elementi.
- `member(Elemento, Lista)`: ha successo se la `Lista` contiene il termine `Elemento`.
- `select(Elemento, Lista, Rimanenti)`: rimuove `Elemento` da `Lista` 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.

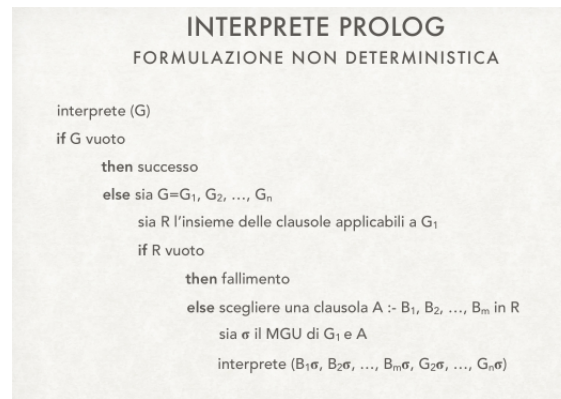


Figure 2.2: Una formulazione non deterministica di come funziona l'interprete PROLOG.

**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:  $\text{gatto} \rightarrow \text{miagola}$ .
- I persiani sono gatti:  $\text{persiano} \rightarrow \text{gatto}$ .
- Si vuole dimostrare che i persiani miagolano:  $k \models \text{persiano} \rightarrow \text{miagola}$ .

• Semantica: tavola di verità

| $\text{gatto} \rightarrow \text{miagola}$ | $\text{persiano} \rightarrow \text{gatto}$ | $\text{persiano} \rightarrow \text{miagola}$ |
|---|--|--|
| 0   | 1  | 0  |
| 0   | 1  | 1  |
| 0   | 1  | 0  |
| 0   | 1  | 1  |
| 1   | 0  | 0  |
| 1   | 1  | 1  |
| 1   | 0  | 0  |
| 1   | 1  | 1  |
| 1   | 1  | 1  |

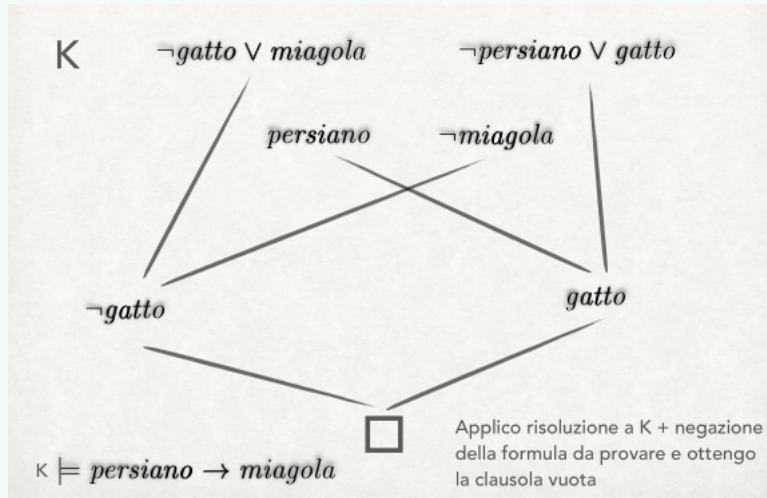
$\text{gatto} \rightarrow \text{miagola} \wedge \text{persiano} \rightarrow \text{gatto}$

- 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<br>$c_2$           | variabile<br>$x_2$         | composto<br>$s_2$  |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| costante<br>$c_1$  | unificano se<br>$c_1 = c_2$ | unificano con<br>$x_2/c_1$ | non<br>unificano   |
| variabile<br>$x_1$ | unificano con<br>$x_1/c_2$  | unificano con<br>$x_1/x_2$ | unificano con<br>$x_1/s_2$   |
| composto<br>$s_1$  | non<br>unificano            | unificano con<br>$x_2/s_1$ | unificano se il<br>functore in $s_1$ e $s_2$ è lo<br>stesso e gli<br>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 risolvibile 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 sottogol 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:-**

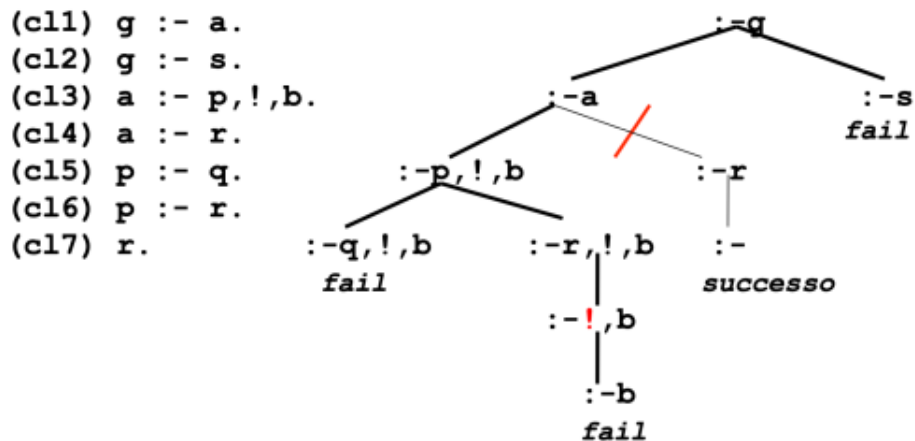
Si rischia di perdere la completezza, ma si guadagna molto in efficienza.

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

- Due stack:
  - Stack di *esecuzione*: contiene i record di attivazione (environment) dei predicati 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.



- 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 espliciti 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:  $\text{on}(a,b)$ ,  $\text{clear}(c)$ , 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.
- $\text{applicabile}(AZ, S)$ : l'azione  $AZ$  è eseguibile nello stato  $S$ .
- $\text{trasforma}(AZ, S, \text{NUOVO\_S})$ : se l'azione  $AZ$  è applicabile a  $S$ , lo stato  $\text{NUOVO\_S}$  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  $\text{num\_righe}$  e  $\text{num\_colonne}$  specificano la dimensione della griglia.
- $\text{pos}(\text{Riga}, \text{Colonna})$  per rappresentare la posizione dell'agente.
- $\text{occupata}(\text{pos}(\text{Riga}, \text{Colonna}))$  per rappresentargli 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.

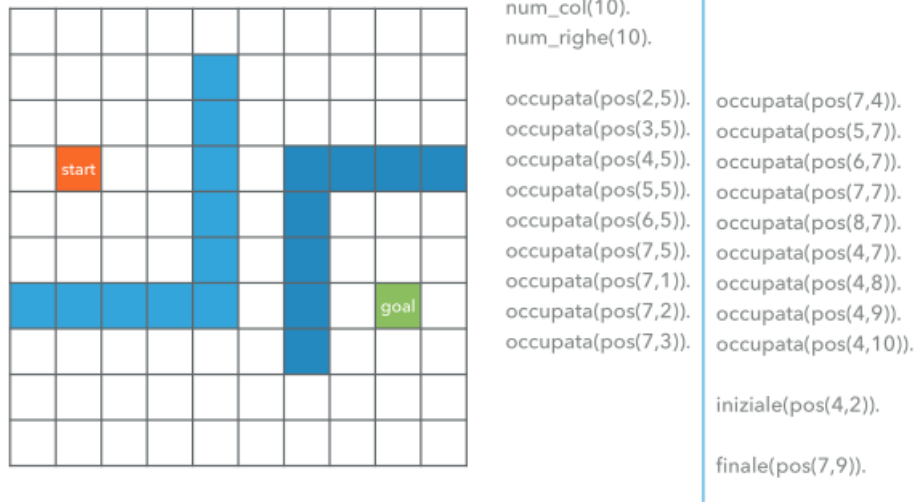


Figure 2.5: Esempio di labirinto.

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

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 veri ca che non sia chiuso.
  - Il nodo chiuso non viene ulteriormente espanso.

#### Definizione 2.3.4: Strategie Informate

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

<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  $-p$ :
  - $-$  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 *notp<sub>i</sub>* 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  $notL$ , per  $L \in S$ .
- Rimuove tutti i  $notL$  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.