ANNO ACCADEMICO 2024/2025

Intelligenza Artificiale e Laboratorio

Teoria

Altair's Notes

UNIVERSITÀ DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

Premessa

Licenza

Formato utilizzato

Box di "Concetto sbagliato":

Concetto sbagliato 0.1: Testo del concetto sbagliato

Testo contente 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 definizione

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 artficiale (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[1].

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.

[1] 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[2]).

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).

[2] 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 uni 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 `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 $G_1, G_2, \ldots, G_n$.
  - Si vuole dimostrare, mediante risoluzione, che il goal segua logicamente dal programma.
- Una regola $A :- B_1, B_2, \ldots, B_m$ è applicabile a G_i se:
  - Le variabili vengono rinominate.
  - A e G_i unificano.

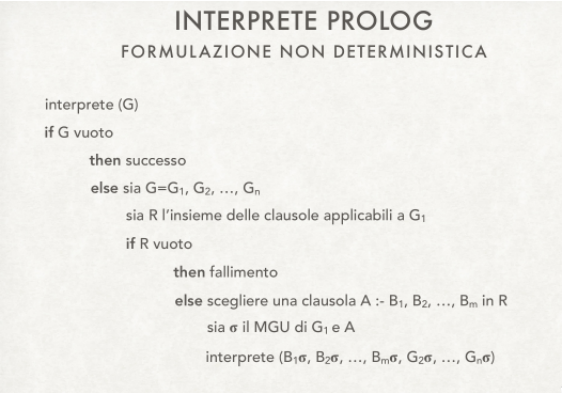


Figure 2.2: Una formulazione non deterministica di come funziona l'interprete PROLOG.

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.

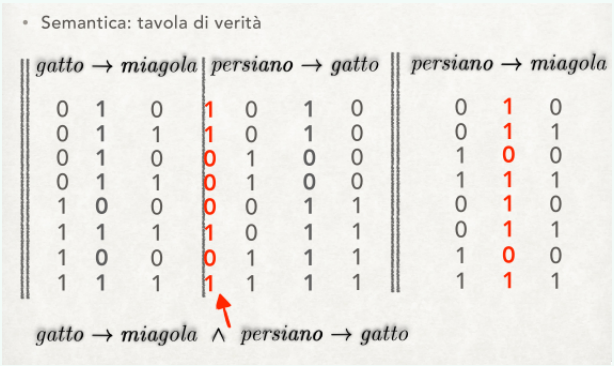
2.2.1 Breve Ripasso di Logica

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 $\rightarrow$ miagola.
- I persiani sono gatti: persiano $\rightarrow$ gatto.
- Si vuole dimostrare che i persiani miagolano: k $\vDash$ persiano $\rightarrow$ miagola.

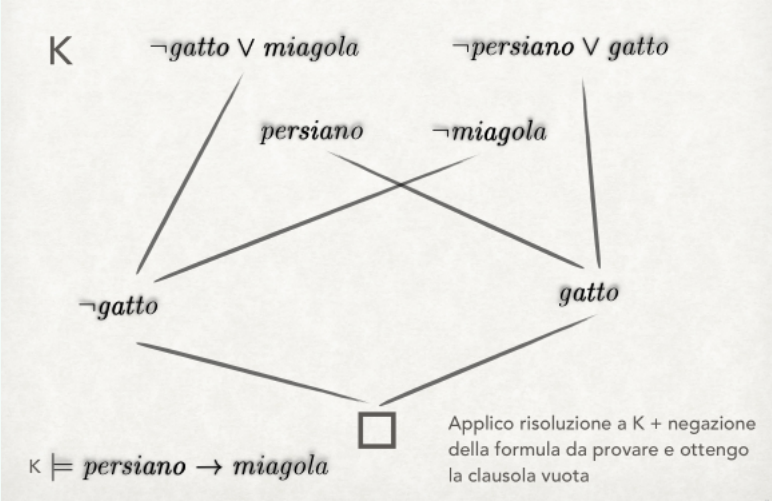


- Tuttavia il processo è molto laborioso già con poche formule e basi di conoscenza piccole.
- Metodo di prova: procedura/algoritmo che calcola/dimostra se una formula è conseguenza logica della teoria.
  - *Corretto*: se l'algoritmo dimostra F da K, allora F è conseguenza logica di K.
  - *Completo*: 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[1]).
- Si basa su un'unica regola di inferenza:
  - Date due clausole $C_1 = A_1 \vee \cdots \vee A_n$ e $C_2 = B_1 \vee \cdots \vee B_m$.
  - Se ci sono due letterali A_i e B_j tali che $A_i = \neg B_j$, allora posso derivare la clausola *risolvente* $A_1 \vee \ldots A_{i-1} \vee A_{i+1} \vee \cdots \vee A_n \vee B_1 \vee \ldots B_{j-1} \vee B_{j+1} \vee \cdots \vee B_m$.
  - 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 $C_1 = A_1 \vee \cdots \vee A_n$ e $C_2 = B_1 \vee \cdots \vee B_m$ contengono variabili, i due letterali A_i e B_j devono essere tali che si possa fare l'*unificazione* tra i due:
  - Unificazione: sostituzione α di variabili con termini o uguaglianza di variabili affinché $A_i = \neg B_j$.
  - Clausola risolvente $[A_1 \vee \ldots A_{i-1} \vee A_{i+1} \vee \cdots \vee A_n \vee B_1 \vee \ldots B_{j-1} \vee B_{j+1} \vee \cdots \vee B_m]\alpha$.
  - Le sostituzioni di α sono applicate a $A_1 \vee \ldots A_{i-1} \vee A_{i+1} \vee \cdots \vee A_n \vee B_1 \vee \ldots B_{j-1} \vee B_{j+1} \vee \cdots \vee B_m$.

[1] Formule atomiche o negazione di formule atomiche.

	costante c_2	variabile x_2	composto 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 $G_0, G_1, \ldots, G_n$.
- Una sequenza di varianti di clausole di $KC_1, C_2, \ldots, C_n$.
- Una sequenza di MGU $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$, tali che G_{i+1} è derivato da G_i e da C_{i+1} attraverso la sostituzione α_{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 $\leftarrow A_1, \ldots, A_m, \ldots, A_k$, dove A_m è l'atomo selezionato dalla regola di calcolo, ha un figlio per ogni clausola A $\leftarrow B_1, \ldots, B_k$ tale che A e A_m sono unificabili con MGU α. Il nodo figlio è etichettato con il goal $\leftarrow [A_1, \ldots, A_{m-1}, B_1, \ldots, B_k, A_{m+1}, \ldots, A_k]\alpha$. Il ramo dal padre al figlio è etichettato con α 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 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.
- Perdità di dichiaratività.

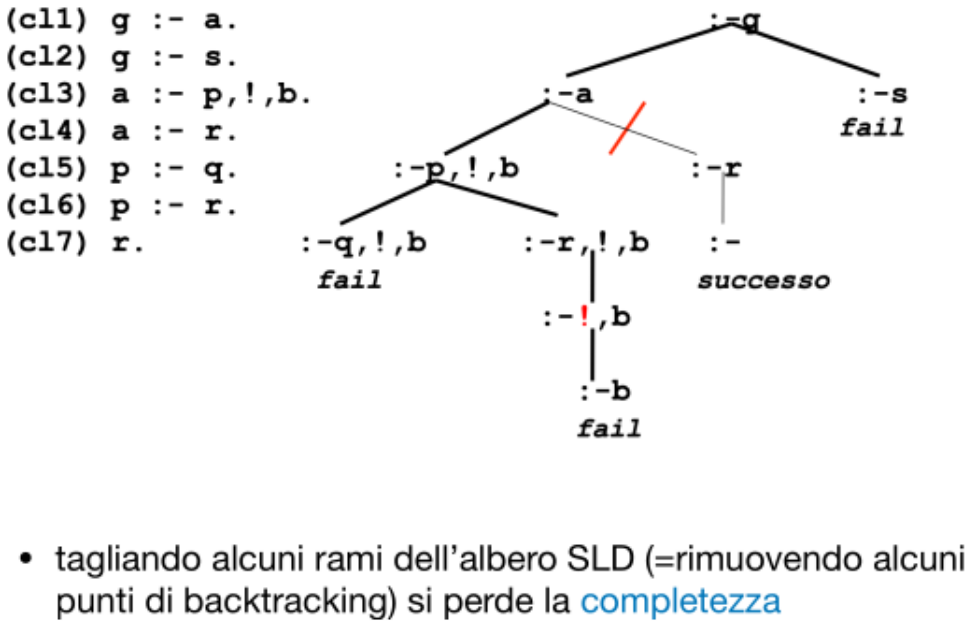


Figure 2.4: Esempio di cut che provoca la perdita di completezza.

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: 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:

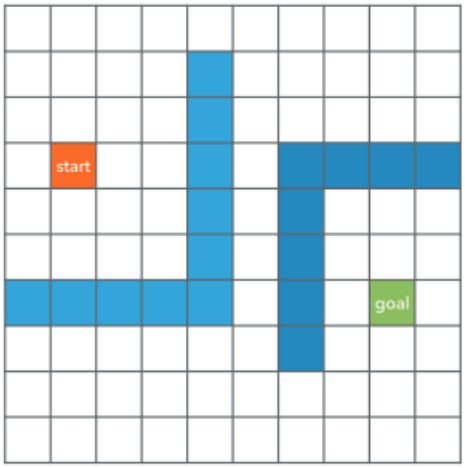
- Trovare un cammino in una griglia rettangolare, con ostacoli in alcune celle.
- Predicati num_righe e num_colonne speci cano la dimensione della griglia.
- pos(Riga,Colonna) per rappresentare la posizione dell'agente.
- occupata(pos(Riga,Colonna)) per rappresentategli ostacoli.

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.




```
num_col(10).
num_righe(10).

occupata(pos(2,5)).
occupata(pos(3,5)).
occupata(pos(4,5)).
occupata(pos(5,5)).
occupata(pos(6,5)).
occupata(pos(7,5)).
occupata(pos(7,1)).
occupata(pos(7,2)).
occupata(pos(7,3)).
occupata(pos(7,4)).
occupata(pos(5,7)).
occupata(pos(6,7)).
occupata(pos(7,7)).
occupata(pos(8,7)).
occupata(pos(4,7)).
occupata(pos(4,8)).
occupata(pos(4,9)).
occupata(pos(4,10)).

iniziale(pos(4,2)).

finale(pos(7,9)).
```

Figure 2.5: Esempio di labirinto.

```
applicabile(nord,pos(R,C)) :-
    R>1,
    R1 is R-1,
    \+ occupata(pos(R1,C)).

applicabile(sud,pos(R,C)) :-
    num_righe(NR), R<NR,
    R1 is R+1,
    \+ occupata(pos(R1,C)).

applicabile(ovest,pos(R,C)) :-
    C>1,
    C1 is C-1,
    \+ occupata(pos(R,C1)).

applicabile(est,pos(R,C)) :-
    num_col(NC), C<NC,
    C1 is C+1,
    \+ occupata(pos(R,C1)).

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.
```

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]

[a] Costo stimato del cammino più conveniente dal nodo n a uno stato finale.
[b] 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(si), dove si 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: $a :- b_1, b_2, \ldots, b_n, notc_1, notc_2, \ldots, notc_m$.
- 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):
  - $:- a_1, a_2, \ldots, a_k$.
  - 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

4

Domande per Prepararsi per l'Esame

4.1 Parte 1 (PROLOG e CLINGO)

4.1.1 PROLOG

Domanda 4.1

Scrivere un semplice programma PROLOG che va in loop.

Domanda 4.2

Fare l'esempio del pinguino.

Domanda 4.3

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

Domanda 4.4

Come funziona la negazione per fallimento?

Domanda 4.5

Fare un esempio di negazione per fallimento.

Domanda 4.6

Tipi di fallimenti in PROLOG.

Domanda 4.7

Che cos'è la logica monotòna?

Domanda 4.8

Come funziona la ricerca SLD?

Domanda 4.9

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

Domanda 4.10

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

Domanda 4.11

Scrivere un programmino con il cut(!).

Domanda 4.12

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

Domanda 4.13

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

4.1.2 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.

Domanda 4.17

PROLOG e ASP sono monotòni?

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

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

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

Figure 4.1: Codice di Nixon pacifista.

```
clingo version 5.7.1
Reading from 02-NixonPacifista.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 4.2: Modelli di Nixon pacifista.

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?

Domanda 4.20

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

Domanda 4.21

In PROLOG si può avere Integrity Constrain?

Domanda 4.22

Fare un esempio di codice ASP che risulta insoddisfacibile.

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

Figure 4.3: 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 4.4: Non esistono modelli che siano vero.

Domanda 4.23

Come modificare un semplice programma ASP per renderlo soddisfacibile.

Domanda 4.24

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

Domanda 4.25

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

Domanda 4.26

Dire se un programma ASP presenta un answer set.

Domanda 4.27

Scrivere un programma che presenti due answer set diversi.

4.2 Parte 2