



**Università degli Studi di Bari**

---

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA  
Corso di Laurea Magistrale in Informatica

PROGETTO DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE

**INCROCI**

Esaminando:

**Giuseppe Rizzi**

Matricola 591275

Docenti:

**Prof. Floriana Esposito**

**Prof. Nicola Di Mauro**

---

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Studio del dominio</b>	<b>4</b>
2.1	Intersezioni . . . . .	4
2.2	Segnali . . . . .	5
2.3	Veicoli . . . . .	7
2.3.1	Classificazione dei veicoli secondo il CdS . . . . .	8
2.3.2	Classificazione internazionale dei veicoli . . . . .	11
2.4	Precedenza . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Analisi</b>	<b>14</b>
3.1	Raccolta dei requisiti . . . . .	14
3.2	Vincoli . . . . .	14
3.3	Analisi dei requisiti . . . . .	14
3.4	Glossario . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Progettazione</b>	<b>16</b>
4.1	Strategia . . . . .	16
4.2	Concettualizzazione . . . . .	16
4.2.1	Incroci . . . . .	16
4.2.2	Precedenze . . . . .	20
4.2.3	Circolazione . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Implementazione</b>	<b>22</b>
5.1	Struttura . . . . .	22
5.2	Ordine dei veicoli . . . . .	31
5.3	Utenti . . . . .	31
5.3.1	Utente normale . . . . .	31
5.3.2	Utente amministratore . . . . .	31
5.4	Topologia . . . . .	32
5.4.1	Destra . . . . .	32

5.4.2	Adiacenza . . . . .	34
5.4.3	Opposti . . . . .	34
5.4.4	Posizioni . . . . .	35
5.5	Accesso alla base di conoscenza . . . . .	36
5.6	Miglioramento dell'interazione . . . . .	36
5.6.1	Componenti . . . . .	36
5.6.2	Bridge Java-Prolog . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Test</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>44</b>

# Capitolo 1: Introduzione

Il presente documento mira a descrivere il progetto di Intelligenza Artificiale relativo alla costruzione di un sistema esperto scritto in *Prolog* per la risoluzione di incroci, tipici nei quiz per l'ottenimento della patente di guida.

# Capitolo 2: Studio del dominio

## 2.1 Intersezioni

Si definisce intersezione stradale l'area individuata da tre o più tronchi stradali che convergono in uno stesso punto, nonché dai dispositivi e dagli apprestamenti atti a consentire ed agevolare le manovre per il passaggio da un tronco all'altro. Le intersezioni, qualunque sia la loro localizzazione territoriale, costituiscono punti critici del sistema viario per effetto delle interferenze che in esse si instaurano tra le diverse correnti di traffico.

È possibile suddividerle per categorie generali con riferimento all'ambito territoriale ed alla tipologia dell'incrocio. Relativamente all'ambito territoriale si hanno quindi intersezioni extraurbane ed intersezioni urbane. Per le prime elementi caratterizzanti risultano la possibilità di non arrestare tutte - o alcune - correnti di traffico; la velocità delle correnti in transito ed in svolta; la distanza, spesso notevole, fra incroci successivi. Per contro, le intersezioni urbane sono, nella maggior parte dei casi, caratterizzate dalla reciproca breve distanza e dalla presenza di componenti di traffico assenti o trascurabili nella viabilità extraurbana; si aggiungano a ciò tutti i vincoli derivanti dall'edilizia e da opere infrastrutturali varie e che spesso condizionano del tutto, o quasi, la possibilità di tipologie e geometrie adeguate.

Altro criterio di classifica è quello che suddivide le intersezioni in tre grandi categorie:

- **intersezioni a raso** (o a livello), suddivise a loro volta in intersezioni lineari e a rotatoria, in cui le strade confluenti risultano complanari con conseguenti interferenze fra le correnti in transito ed in svolta;
- **incroci semaforizzati**, che sono ancora intersezioni a raso in cui è previsto, però, l'arresto periodico ed alternato delle correnti di traffico. Sono utilizzati quasi esclusivamente in ambito urbano e suburbano;

- **intersezioni a livelli sfalsati**, in cui la separazione altimetrica tra le correnti in transito si realizza mediante opere di scavalco, mentre la connessione fra le due strade è assicurata da una o più rampe[4].

## 2.2 Segnali

Il segnale stradale serve ad indicare una prescrizione, un avvertimento o un'indicazione a tutti i veicoli circolanti e ad ogni altro utente della strada.

Tramite la segnaletica il gestore di una strada (persona fisica o giuridica) comunica agli utenti la disciplina della circolazione: regole, pericoli, indicazioni ed informazioni utili. Per conseguire l'abilitazione alla guida di veicoli (patente di guida) è richiesto obbligatoriamente imparare quali sono i segnali, come riconoscerli e soprattutto cosa significano. Senza l'apposizione della segnaletica non possono essere correttamente applicate le regole della circolazione stradale. Il linguaggio della segnaletica stradale è uno dei più diffusi al mondo, ciò fa sì gli utenti di tutto il mondo sappiano il significato di una figura ottagonale con la scritta STOP, così come sappiano cosa voglia dire la luce rossa di un semaforo.

Il complesso della segnaletica stradale viene suddiviso in cinque tipologie generali[1] regolate dal CdS (Codice della Strada), come descritto di seguito:

- **Segnaletica manuale**, ossia le segnalazioni date dagli organi di polizia stradale (polizia locale, Polizia di Stato, Carabinieri ecc.)
- **Segnali luminosi**, caratterizzati dalla possibilità di fornire maggiore impatto visivo e/o informazioni dinamiche, vengono suddivisi in:
  - segnali di pericolo e di prescrizione;
  - segnali di indicazione;
  - tabelloni luminosi rilevatori della velocità in tempo reale dei veicoli in transito;
  - lanterne semaforiche veicolari normali;
  - lanterne semaforiche veicolari di corsia;
  - lanterne semaforiche veicolari per corsie reversibili;
  - lanterne semaforiche per i veicoli di trasporto pubblico;
  - lanterne semaforiche pedonali;
  - lanterne semaforiche per velocipedi;
  - lanterna semaforica gialla lampeggiante;

- lanterne semaforiche speciali;
- segnali luminosi particolari.
- **Segnali verticali**, a loro volta sono suddivisi in:
  - segnali di pericolo - preavvisano l'esistenza di pericoli;
  - segnali di prescrizione - notificano obblighi, divieti e limitazioni e vengono indicati come:
    - segnali di precedenza;
    - segnali di divieto;
    - segnali di obbligo;
  - segnali di indicazione che forniscono informazioni utili o necessarie per la guida, suddivisi a loro volta in:
    - segnali di preavviso;
    - segnali di direzione;
    - segnali di conferma;
    - segnali di identificazione strade e progressiva distanziometrica;
    - segnali di itinerario;
    - segnali di località e centro abitato;
    - segnali di nome strada;
    - segnali turistici e di territorio;
    - altri segnali che danno informazioni necessarie per la guida dei veicoli;
    - altri segnali che indicano installazioni o servizi.
- **Segnali orizzontali**, sono quelli tracciati sulla strada, e si suddividono in:
  - linea trasversale d'arresto;
  - strisce longitudinali;
  - strisce trasversali;
  - attraversamenti pedonali o ciclabili;
  - frecce direzionali;
  - iscrizioni e simboli;
  - strisce di delimitazione degli stalli di sosta o per la sosta riservata;

- isole di traffico o di presegnalamento di ostacoli entro la carreggiata;
  - strisce di delimitazione della fermata di veicoli in servizio di trasporto pubblico di linea;
  - altri segnali stabiliti dal regolamento.
- **Segnali e attrezzature complementari**, destinati a evidenziare particolari situazioni, vengono utilizzati sul tracciato stradale, nelle immediate vicinanze di particolari curve o punti critici, per segnalare ostacoli spostati sulla carreggiata e per impedire la sosta o rallentare la velocità (es. dossi artificiali).

## 2.3 Veicoli

Tutte le macchine guidate dall'uomo, di qualsiasi specie, che circolano su strada sono considerate veicoli e ad esse si applicano le norme del CdS. Fanno eccezione quelle per uso di bambini o di invalidi. I veicoli a motore e quelli privi di motore sono suddivisi in classi (velocipedi, veicoli a braccia, veicoli a trazione animale, slitte, ciclomotori, motoveicoli, autoveicoli, rimorchi, filoveicoli, ecc.) in base alle principali caratteristiche tecniche che caratterizzano il veicolo stesso (numero delle ruote, dimensioni, potenza del motore, numero di posti, carrozzeria del veicolo, ecc.). Una ulteriore specificazione dei veicoli è stabilita in base a possibili utilizzazioni del veicolo in relazione alle caratteristiche tecniche che possiede (destinazione del veicolo) o possibili utilizzazioni economiche del veicolo (uso del veicolo).

Le norme relative alla classificazione dei veicoli contenute nel Codice della strada nazionale devono essere coordinate con le norme UE che sostanzialmente classificano tutti i veicoli a motore e loro rimorchi escluse le macchine agricole e le macchine operatrici in 4 categorie internazionali (M, N, O, L). La classificazione in categorie internazionali recepita nell'ordinamento nazionale è utilizzata a livello europeo fin dagli anni 70, epoca in cui sono state emanate le prime direttive in materia di caratteristiche costruttive e funzionali nonché di dispositivi di equipaggiamento dei veicoli a motore e loro rimorchi. Pertanto, mentre i veicoli privi di motore (veicoli a braccia, a trazione animale, velocipedi e slitte) sono soggetti esclusivamente alle norme nazionali (CdS e relativo regolamento), i veicoli a motore e i loro rimorchi sono soggetti alle norme UE ed a quelle nazionali per quanto non in contrasto con le prime.



### **2.3.1 Classificazione dei veicoli secondo il CdS**

I veicoli, secondo la classificazione tradizionale del CdS, si distinguono in:

- veicoli senza motore,
- ciclomotori,
- motoveicoli,
- autoveicoli,
- filoveicoli,
- rimorchi,
- macchine agricole,
- macchine operatrici,
- veicoli con caratteristiche atipiche.

I veicoli d'epoca e quelli di interesse storico collezionistico pur essendo assimilati ad una delle categorie previste dal CdS godono di specifiche deroghe e sono considerati veicoli con caratteristiche atipiche. Non sono considerati veicoli le macchine per uso di:

- bambini che non superano determinati limiti;
- invalidi, rientranti tra gli ausili medici secondo le vigenti disposizioni comunitarie, anche se asservite da motore.

#### **Classificazione dei veicoli senza motore**

I veicoli senza motore sono:

- veicoli a braccia: veicoli spinti o trainati dall'uomo a piedi, azionati dalla forza muscolare del conducente;
- veicoli a trazione animale: veicoli trainati da uno o più animali, distinti in veicoli destinati al trasporto di cose, di persone e carri agricoli;
- velocipedi: veicoli a due o più ruote azionati dalla forza muscolare umana (principalmente tramite pedali o dispositivi analoghi) o con pedalata assistita da un motore ausiliario elettrico avente potenza massima di 0,25 kW la cui alimentazione è interrotta ai 25 km/h o quando il conducente smette di pedalare;

- slitte: veicoli muniti di pattini per la circolazione su neve (o ghiaccio) trainati solitamente da animali (buoi, cavalli, cani, renne, ecc.) o anche spinti dall'uomo.

### **Classificazione dei ciclomotori**

I ciclomotori sono veicoli a motore con velocità non superiore a 45 km/h, motore con cilindrata (volume dei cilindri del motore) non superiore a 50 cc se a scoppio, potenza massima non superiore a 4 kW che possono avere:

- due ruote,
- tre ruote,
- quattro ruote (denominati quadricicli leggeri) aventi massa a vuoto non superiore a 350 kg.

### **Classificazione dei motoveicoli**

I motoveicoli sono veicoli a motore a due, tre o quattro ruote aventi massa massima non superiore a 2,5 t e dimensioni massime: lunghezza 4,00 m, larghezza 2,00 m, altezza 2,50 m. Si distinguono in:

- motocicli (a due ruote), motoveicoli a due ruote con velocità superiore a 45 km/h e cilindrata superiore a 50 cc destinati al trasporto di non più di due persone compreso il conducente;
- motoveicoli (a tre ruote), - motocicli con carrozzino: motoveicoli a tre ruote asimmetriche con velocità superiore a 45 km/h e cilindrata superiore a 50 cc, destinati al trasporto di non più di 4 persone compreso il conducente; - tricicli: motoveicoli a tre ruote simmetriche con velocità superiore a 45 km/h e cilindrata superiore a 50 cc, destinati al trasporto di non più di 4 persone escluso il conducente o al trasporto di cose; - motocarri, motocarrozette, mototrattori, motoveicoli per trasporti specifici, motoveicoli per uso speciale (a tre ruote);
- quadricicli a motore (a quattro ruote, diversi dai quadricicli leggeri) destinati al trasporto di cose con al massimo una persona oltre al conducente con massa a vuoto non superiore a 400 kg (550 kg se destinati al trasporto di merci) e potenza massima fino a 15 kW. Possono trasportare al massimo una persona oltre al conducente.

Secondo le norme UE, obbligatorie in tutti i Paesi UE, i motoveicoli si classificano in:

- motocicli con o senza carrozzino (a tre ruote, asimmetrici),
- tricicli (a tre ruote, simmetrici),
- quadricicli a motore (a quattro ruote).

### **Classificazione degli autoveicoli**

Gli autoveicoli sono veicoli a motore con almeno quattro ruote (esclusi i quadricicli) aventi:

- limiti di massa: - a 2 assi 18 t, - a 3 assi 25 t (26 t con asse motrice munito di sospensioni pneumatiche e ruote gemellate), - a 4 o più assi 25 t (32 t con asse motrice munito di sospensioni pneumatiche e ruote gemellate);
- dimensioni massime (se isolati): - lunghezza 12,00 m, ad eccezione degli autobus, - larghezza 2,55 m, - altezza 4,00 m.

Gli autoveicoli si distinguono in:

- autovetture, destinate al trasporto di non più di 9 persone compreso il conducente;
- autoveicoli per trasporto promiscuo (assorbiti nelle autovetture tranne quelli a motore elettrico);
- autobus, destinati al trasporto di più di 9 persone compreso il conducente; tra gli autobus sono ricompresi gli scuolabus destinati al trasporto di studenti della scuola dell'obbligo e degli eventuali accompagnatori;
- autocarri, autoveicoli destinati al trasporto di cose e delle persone addette all'uso o al trasporto delle cose stesse;
- trattori stradali, autoveicoli destinati esclusivamente al traino di rimorchi o semirimorchi;
- autoveicoli per trasporti specifici, autoveicoli, muniti permanentemente di speciali attrezzature, destinati al trasporto di determinate cose (es. latte, ecc.) o di persone in particolari condizioni e muniti permanentemente di speciali attrezzature;
- autoveicoli per usi speciali, autoveicoli muniti permanentemente di speciali attrezzature, destinati prevalentemente al trasporto proprio e del personale e dei materiali connessi col ciclo operativo delle attrezzature

e di persone e cose connesse alla destinazione d'uso delle attrezzature stesse (es. autoinnaffiatrici, autoveicoli gru, autoveicoli per il soccorso stradale, autoambulanze, autoveicoli per radio, televisione, cinema, autoscavatrici, autoveicoli per uso negozio, ecc.);

- autocaravan, autoveicoli con carrozzeria speciale, attrezzati per essere adibiti al trasporto e all'alloggio di 7 persone al massimo, compreso il conducente (conosciuti comunemente come camper);
- mezzi d'opera, autoveicoli muniti di particolari attrezzature e utilizzati nell'attività edilizia, stradale o di escavazione (tali veicoli godono di specifiche deroghe in materia di limiti di massa);
- autotreni, complessi di veicoli costituiti da due unità distinte agganciate, una motrice e un rimorchio;
- autoarticolati, complessi di veicoli costituiti da un trattore stradale e da un semirimorchio;
- autosnodati, autoveicoli costituiti da due parti comunicanti e collegate permanentemente (prevalentemente per trasporto persone).

### 2.3.2 Classificazione internazionale dei veicoli

Parallelamente alla classificazione in uso nel nostro paese (classificazione nazionale), il CdS prevede che si faccia riferimento anche alla classificazione internazionale dei veicoli[3] e precisamente a 4 categorie principali ognuna delle quali è ulteriormente suddivisa in relazione alle caratteristiche del veicolo. Le categorie internazionali dei veicoli sono le seguenti:

- **L**, ciclomotori e motoveicoli, a due, tre o quattro ruote. La categoria L comprende le categorie L1e, L2e, L3e, L4e, L5e, L6e, L7e;
- **M**, veicoli a motore destinati al trasporto di persone e dei loro bagagli ed aventi almeno quattro ruote. La categoria M comprende le categorie M1, M2, M3;
- **N**, veicoli a motore destinati essenzialmente al trasporto di merci, aventi almeno quattro ruote. La categoria N comprende le categorie N1, N2, N3;
- **O**, veicoli privi di propulsione propria (rimorchi e semirimorchi) destinati al trasporto di merci o di persone nonché all'alloggiamento delle persone. La categoria O comprende le categorie O1, O2, O3, O4.

Le caratteristiche delle categorie M, N, O previste dalle norme UE fin dal 1970 sono state rielaborate in un regolamento UE che definisce anche i criteri per individuare le sottocategorie di veicoli (fuoristrada, veicoli per uso speciale, fuoristrada per uso speciale) e il tipo, la variante e la versione del veicolo. La categoria internazionale di appartenenza del veicolo (M1, M2, M3, N1, N2, ecc.) può trovarsi indicata sulla carta di circolazione alla voce “classe del veicolo” per modello MC 804 MEC e MC 804 N, oppure al punto (J) per modello MC 820 F (modello europeo).

## 2.4 Precedenza

L'articolo 145[2] del CdS è molto fiscale sui vincoli e sul diritto di precedenza. Di seguito uno stralcio del testo integrale disponibile sul codice:

- I conducenti, approssimandosi ad una intersezione, devono usare la massima prudenza al fine di evitare incidenti.
- Quando due veicoli stanno per impegnare una intersezione, ovvero laddove le loro traiettorie stiano comunque per intersecarsi, si ha l'obbligo di dare la precedenza a chi proviene da destra, salvo diversa segnalazione.
- Negli attraversamenti di linee ferroviarie e tranviarie i conducenti hanno l'obbligo di dare la precedenza ai veicoli circolanti su rotaie, salvo diversa segnalazione.
- I conducenti devono dare la precedenza agli altri veicoli nelle intersezioni nelle quali sia così stabilito dall'autorità competente ai sensi dell'art. 37 e la prescrizione sia resa nota con apposito segnale.
- I conducenti sono tenuti a fermarsi in corrispondenza della striscia di arresto, prima di immettersi nella intersezione, quando sia così stabilito dall'autorità competente ai sensi dell'art. 37 e la prescrizione sia resa nota con apposito segnale.
- Negli sbocchi su strada da luoghi non soggetti a pubblico passaggio i conducenti hanno l'obbligo di arrestarsi e dare la precedenza a chi circola sulla strada.
- È vietato impegnare una intersezione o un attraversamento di linee ferroviarie o tranviarie quando il conducente non ha la possibilità di proseguire e sgombrare in breve tempo l'area di manovra in modo da consentire il transito dei veicoli provenienti da altre direzioni.

- Negli sbocchi su strada di sentieri, tratturi, mulattiere e piste ciclabili è fatto obbligo al conducente di arrestarsi e dare la precedenza a chi circola sulla strada. L'obbligo sussiste anche se le caratteristiche di dette vie variano nell'immediata prossimità dello sbocco sulla strada.
- I conducenti di veicoli su rotaia devono rispettare i segnali negativi della precedenza.

# Capitolo 3: Analisi

Dopo aver studiato il dominio su varie fonti, è possibile estrapolare dei requisiti utili per soddisfare l'obiettivo del progetto.

## 3.1 Raccolta dei requisiti

La raccolta è avvenuta consultando diversi codici, articoli di legge, libri e manuali che si interessano al dominio. Le parti significative sono disponibili nel capitolo precedente di studio del dominio.

## 3.2 Vincoli

Gli incroci presi in considerazione sono quelli in cui si richiede all'esaminando di risolverli secondo le regole del CdS, soprattutto per le persone che vogliono ottenere patenti di tipo B. Altri tipi di incrocio o simili vengono tralasciati, ad esempio i casi di attraversamento tranviario dove i tram sono regolati da una propria segnaletica, oppure incroci in cui si chiede di valutare la correttezza della manovra dei veicoli interessati.

## 3.3 Analisi dei requisiti

Un'intersezione è formata da tre o più tronchi stradali convergenti nello stesso punto. Su ogni tronco è possibile trovare un segnale che lo regola. I veicoli devono rispettare le norme di precedenza imposte dal segnale o, in mancanza, da ciò che è scritto nel codice, per esempio un veicolo deve sempre dare la precedenza a chi viene da destra, salvo diversa segnalazione. Alcune tipologie di veicoli godono di deroghe ai vincoli di precedenza, ad esempio veicoli in allarme come volanti delle forze dell'ordine, camion dei vigili del fuoco o ambulanze, oppure veicoli su rotaia come i tram.

## 3.4 Glossario

Qui vengono riportati i concetti chiave del dominio e gli eventuali sinonimi:

- Intersezione = Incrocio.
- Tronco = Braccio.
- Veicolo.
- Precedenza.
- Destra.
- Veicolo in allarme = Veicolo in soccorso.
- Volante delle forze dell'ordine.
- Camion dei vigili del fuoco = Autopompa.
- Ambulanza.
- Veicolo su rotaia = Tram.



# Capitolo 4: Progettazione

## 4.1 Strategia

Dopo aver raccolto ed analizzato i requisiti, è necessario individuare gli oggetti del dominio, concettualizzandoli e codificandoli opportunamente in un formalismo logico.

L'idea è quella di modellare una struttura in grado di rappresentare le figure degli incroci presenti sui manuali e sui quiz per l'ottenimento della patente di guida. Le fonti a nostra disposizione sono, oltre ai vari codici normativi, anche i manuali e prontuari che raccolgono molte immagini utili a vagliare il grado di conoscenza degli studenti. Si passa quindi a definire e rappresentare gli oggetti del dominio.

## 4.2 Concettualizzazione

Qui vengono studiati e costruiti gli oggetti dell'universo che vogliamo modellare.

### 4.2.1 Incroci

Osservando l'immagine, si può procedere all'estrazione delle informazioni necessarie per costruire il sistema.

#### Caso generale

I veicoli sono caratterizzati dal loro colore, o dalla loro tipologia o una qualsiasi informazione utile per differenziarli. Inoltre si vuole conoscere da dove vengono e dove sono diretti, in particolare se hanno svoltato o hanno proseguito dritto. Occorre rappresentare anche la direzione e i bracci dell'incrocio.

Per identificare questo tipo di informazioni, una costruzione sensata potrebbe essere:

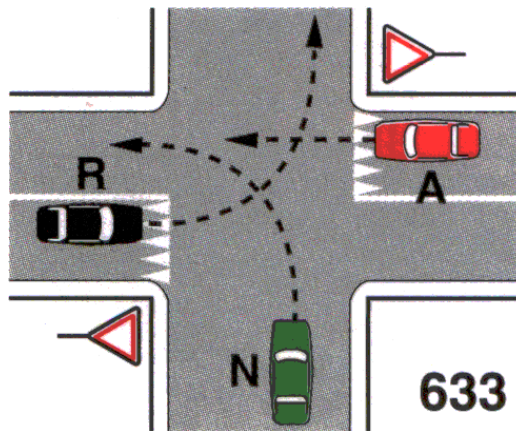


Figura 4.1: Esempio di incrocio

```
proviene(veicolo(nero), braccio(ovest)).
transita(veicolo(nero), sinistra, braccio(nord)).
```

La struttura `proviene/2` ci indica quale veicolo va in un determinato braccio. Il predicato `veicolo/1` ha come operando un atomo che descrive in modo chiaro una caratteristica della macchina. Si potrebbe anche usare la lettera che accompagna l'auto nell'immagine, così da ottenere `veicolo(r)` (non maiuscola, altrimenti verrebbe scambiata per una variabile). Il braccio si affida alle **direzioni** della rosa dei venti, in questo caso `ovest`. Le direzioni possibili sono otto, come in figura:

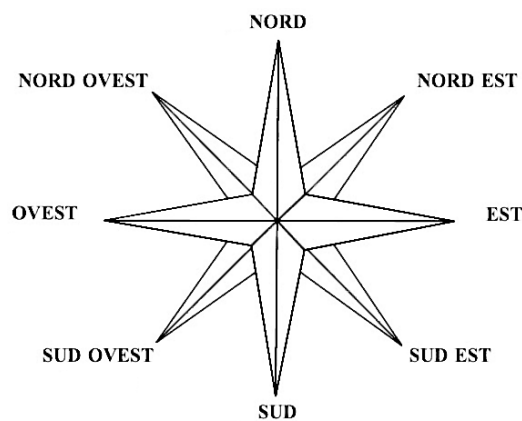


Figura 4.2: Rosa dei venti

Nella figura 4.1 si nota la presenza di due segnali stradali. In questo caso, la costruzione sarebbe:

```

si_trova(segnale(dare_precedenza), braccio(est)).
si_trova(segnale(dare_precedenza), braccio(ovest)).

```

La relazione `si_trova/2` indica quale segnale si trova in un determinato braccio, analogamente a `proviene/2`. I segnali presi in considerazione sono due, il `Dare precedenza` e lo `STOP`:



**Dare precedenza:** prescrive di dare la precedenza ai veicoli circolanti sulla strada che si incrocia o su cui ci si immette (sia da destra che da sinistra).



**STOP:** obbliga a fermarsi in corrispondenza della striscia trasversale, anche se non c'è nessuno, e dare la precedenza ai veicoli provenienti sia da destra che da sinistra.

Gli altri segnali che garantiscono un diritto di precedenza vengono tralasciati perché il focus è dato all'aspetto passivo del comportamento dei veicoli, non a quello attivo. Nel caso in cui l'incrocio non dovesse presentare segnali, `si_trova/2` non verrebbe usato.

Tutti questi fatti costituiscono un unico oggetto, l'incrocio stesso, che viene memorizzato su una *base di conoscenza* per poter essere sfruttato in seguito. L'incrocio quindi è descritto da un ID, ad esempio il numero dell'incrocio, e la lista dei termini descritti sopra. In particolare, l'incrocio in figura 4.1 diventa:

```

incrocio(fig633, [
    proviene(veicolo(nero), braccio(ovest)),
    proviene(veicolo(rosso), braccio(est)),
    proviene(veicolo(verde), braccio(sud)),
    transita(veicolo(nero), sinistra, braccio(nord)),
    transita(veicolo(rosso), dritto, braccio(ovest)),
    transita(veicolo(verde), sinistra, braccio(ovest)),
    si_trova(segnale(dare_precedenza), braccio(est)),
    si_trova(segnale(dare_precedenza), braccio(ovest))
]).

```

## Incroci con priorità

Esistono incroci in cui vengono coinvolti veicoli con priorità differenti, dovute a situazioni di emergenza o a condizioni particolari del veicolo, che quindi ignorano le normali situazioni di precedenza, se non specificato altrimenti.

I veicoli che si ritrovano in situazioni di emergenza sono le ambulanze, i veicoli delle forze dell'ordine e i camion dei vigili del fuoco, se accompagnati

dalla scritta “situazione di soccorso”, “in emergenza”, “sirena in funzione” o simili. I tram ed altri veicoli su rotaia hanno la precedenza su quelli normali, tranne che sui veicoli in emergenza.

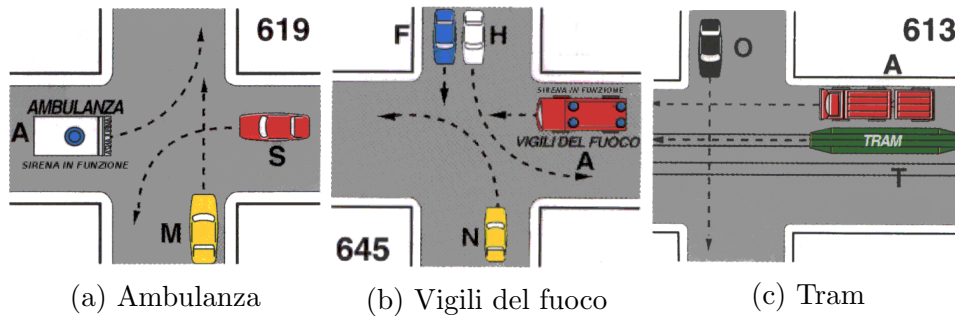


Figura 4.3: Incroci con veicoli prioritari

### Attesa circolare

I veicoli coinvolti in un incrocio potrebbero trovarsi in una situazione di stallo, dove nessuno passa per primo sotto le normali condizioni di precedenza. Un veicolo, di solito quello che transita a sinistra, si porta al centro dell'incrocio, lascia passare gli altri secondo l'ordine di precedenza e passa per ultimo, risolvendo lo stallo:

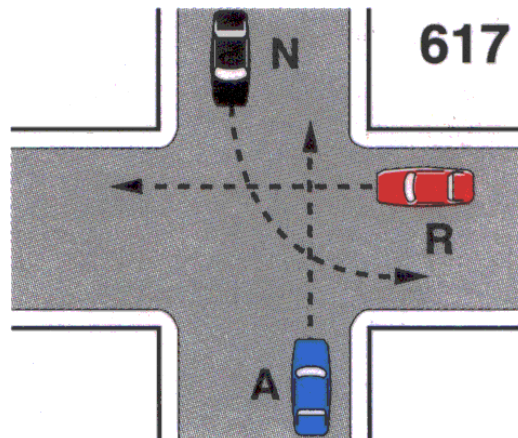


Figura 4.4: Incrocio con stallo

## 4.2.2 Precedenze

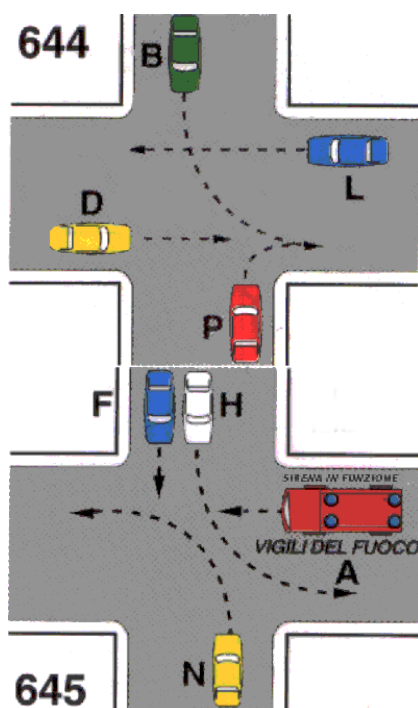
Possono essere fatte varie tassonomie sulle precedenza, secondo diversi punti di vista. Qui ne vengono presentati quattro.

### Precedenza a destra

Secondo il comma 2 del CdS disponibile in 2.4, un veicolo ha l'obbligo di dare la precedenza a chi gli viene da destra, salvo diversa segnalazione.

### Precedenza frontale

Un veicolo non deve solo badare a dare la precedenza a destra quando si è fermi all'incrocio, ma anche quando nella sua manovra esso si ritrovi ad incrociare un veicolo alla sua destra. La precedenza cosiddetta "frontale" è un'estensione di quella a destra. Esistono due casi:



Il veicolo **B** deve dare precedenza frontale al veicolo **P**. Se due veicoli vanno nello stesso braccio, uno svoltando a destra e l'altro a sinistra, quello che va a sinistra deve dare la precedenza a quello che va a destra.

Il veicolo **N** deve dare precedenza frontale al veicolo **F**. Se un veicolo, svoltando a sinistra, incrocia un veicolo che, proseguendo dritto, si dirige nel braccio di provenienza del primo, esso deve dare la precedenza al veicolo che va dritto.

### Precedenza con segnale

I segnali, come già detto sopra, sono il Dare precedenza e lo STOP, che costringono il veicolo ad avere un comportamento passivo nei confronti degli altri veicoli e a dare obbligatoriamente la precedenza.

## **Precedenza con priorità**

I veicoli che hanno la sirena accesa, di fatto in situazione di emergenza (ambulanze, autopompe ecc.), hanno la precedenza su tutti. I tram e i veicoli su rotaia la danno solamente ai veicoli in stato di soccorso e ce l'hanno nei confronti degli altri veicoli. Nel caso estremo due veicoli in emergenza si trovino ad un'intersezione, valgono le normali condizioni di precedenza, visto che il CdS non descrive questa situazione particolare, definendo magari eccezioni o deroghe. Sta di fatto che questo caso è difficile da risolvere anche nella realtà.

### **4.2.3 Circolazione**

È importante capire qual è l'ordine di circolazione dei veicoli. Per prima cosa bisogna analizzare lo stato dell'incrocio, se è a scorrimento normale o sono presenti degli stalli, o un caso misto. Nel primo caso vengono identificate tre fasi:

1. Il gruppo di veicoli che passa prima, ossia quei veicoli che non vengono preceduti da nessuno e a loro volta precedono qualcuno.
2. Il gruppo di veicoli che passa dopo, formato dai veicoli che non sono né primi né ultimi e che devono essere smistati nel giusto ordine.
3. Il gruppo di veicoli che passa per ultimo, dove i veicoli non precedono nessuno e sono preceduti da almeno un veicolo.

Ci possono essere fasi in cui più veicoli passano contemporaneamente, in particolare ci possono essere “più primi” e “più ultimi”. Anche nella seconda fase ci possono essere veicoli simultanei, o una successione, o entrambi i casi. Nel caso della sequela di veicoli nella seconda fase, essi vengono ordinati secondo le precedenze degli uni sugli altri.

In presenza di uno stallo vengono lo stesso identificate tre fasi, se pur diverse:

1. Prima di uno stallo per verificare se ci sono veicoli, non coinvolti nello stallo, che passano prima.
2. Durante lo stallo, dove davvero si tenta di sbloccare i veicoli.
3. Infine, dopo lo stallo, che è come la prima fase sostanzialmente, ma viene controllato se ci siano veicoli che passano dopo che lo stallo è stato risolto.

# Capitolo 5: Implementazione

Il software è stato scritto in Prolog, in particolare utilizzando SWI-Prolog ver. 7.2.0. Mentre per la parte grafica è stato utilizzato Java ver. 1.8. Il sistema operativo è Ubuntu Desktop 64-bit 15.10.

## 5.1 Struttura

Per sviluppare le funzionalità del sistema sono stati realizzati dei moduli in formato `.pl`, che sono elencati di seguito:

- `main`: il punto di accesso del sistema per la riga di comando.
- `menu_utente`: presenta un menu utilizzabile da utenti normali.
- `menu_admin`: presenta un menu utilizzabile da utenti con privilegi.
- `circolazione`: il cuore del sistema, si occupa della risoluzione degli incroci.
- `precedenze`: gestisce come i veicoli diano o abbiano la precedenza sugli altri.
- `deadlock`: gestisce gli stalli.
- `destra`: descrive come un veicolo sia a destra di un altro.
- `gestore_kb`: permette l'accesso in lettura e scrittura della *knowledge base*.
- `java_access_point`: interfaccia di comunicazione con il programma Java, fornito di una GUI.
- `adiacenza`: descrive come un braccio sia adiacente ad un altro.
- `opposti`: descrive come un veicolo sia opposto ad un altro.

- `posizioni`: descrive casi particolari di come sono situati i veicoli.
- `prioritari`: definisce vari gradi di priorità e quali tipi di veicoli ne godono.
- `segnali`: definisce i segnali stradali presenti nell'incrocio.
- `msg`: messaggi di output *user-friendly*.
- `utils`: fornisce diversi metodi di utilità.

Inoltre la base di conoscenza è salvata nel file `kb.pl`, che contiene gli incroci già pronti per essere risolti.



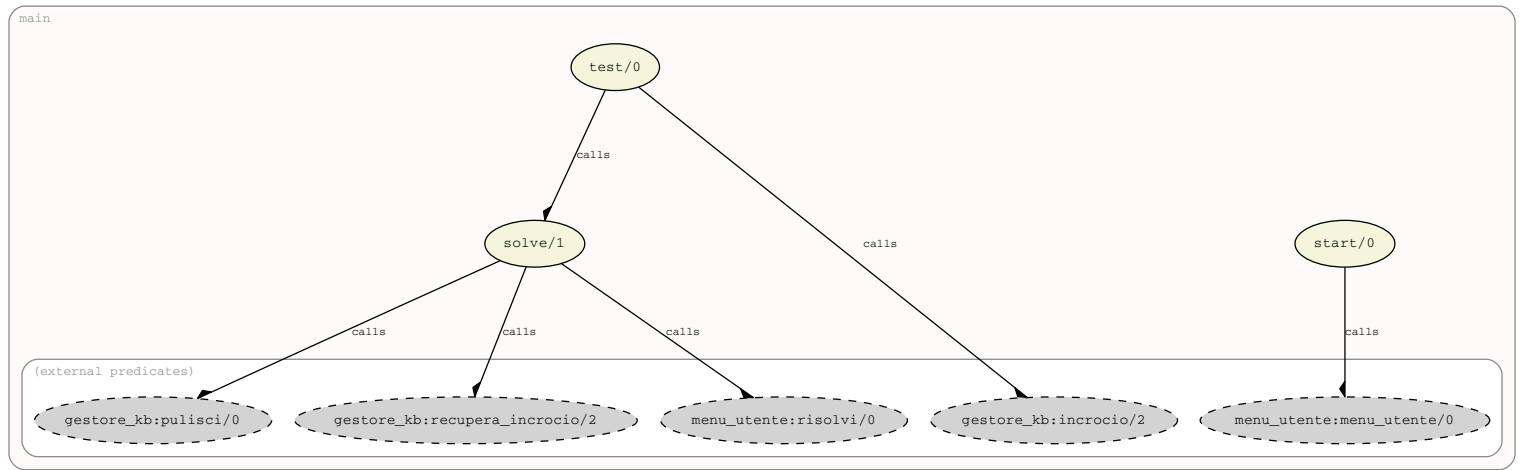


Figura 5.1: main.pl

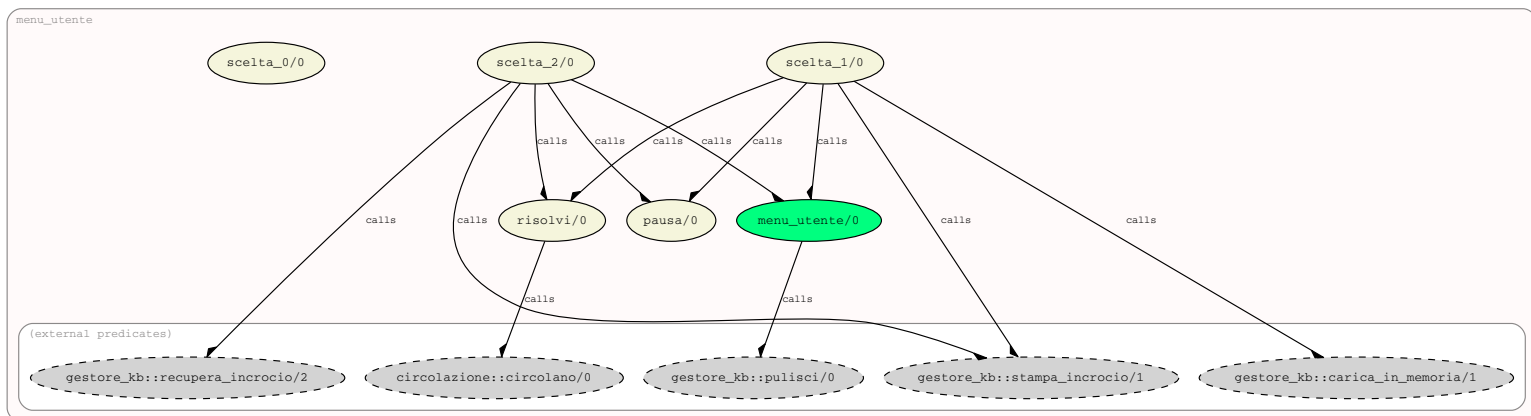


Figura 5.2: menu\_utente.pl

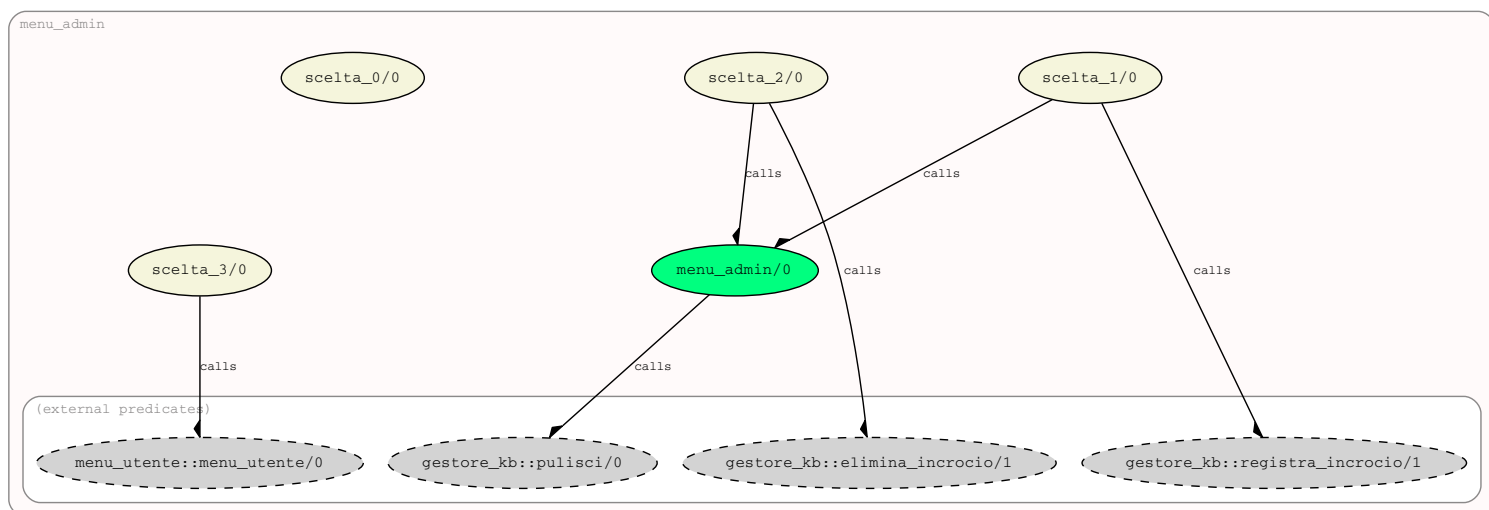


Figura 5.3: menu\_admin.pl



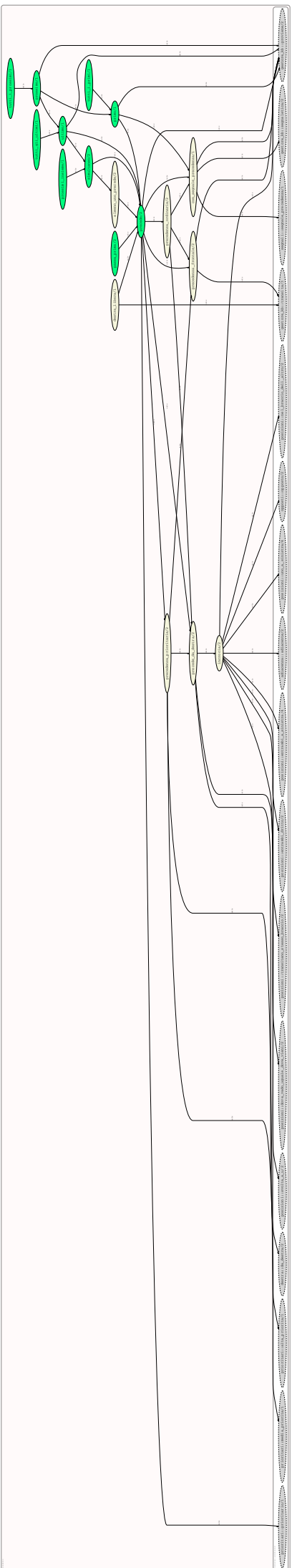


Figura 5.5: precedenze .pl

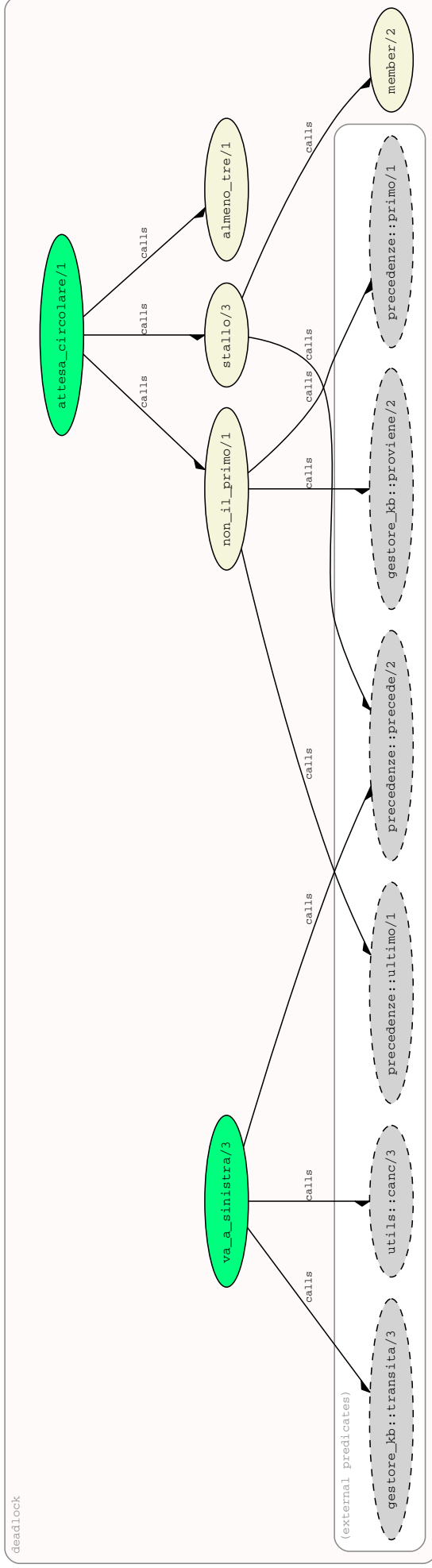


Figura 5.6: deadlock.pl

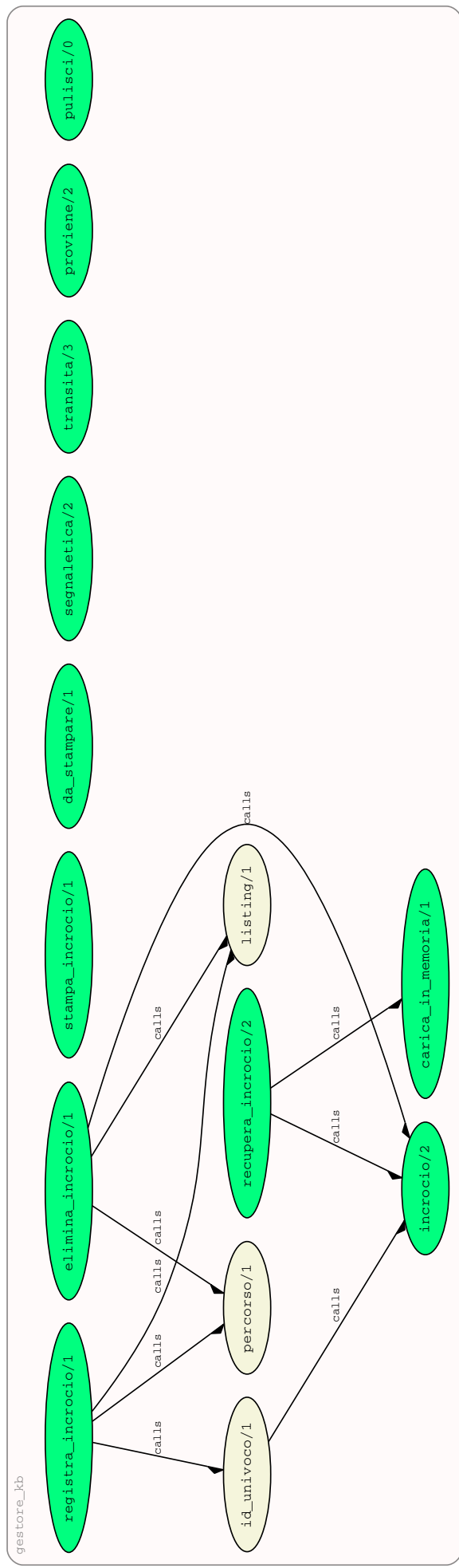


Figura 5.7: gestore\_kb.pl

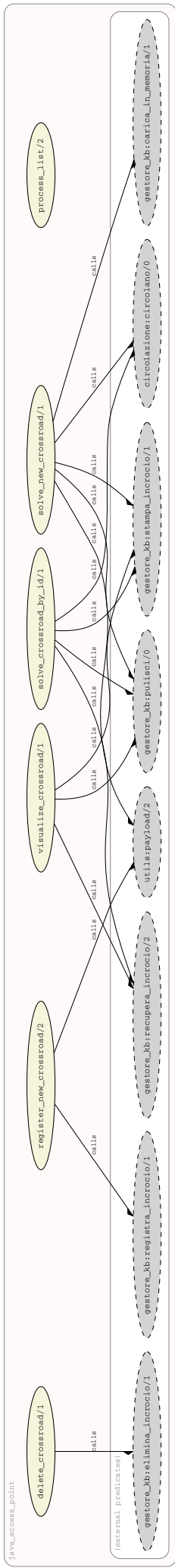


Figura 5.8: java\_access\_point.pl

## 5.2 Ordine dei veicoli

## 5.3 Utenti

Gli utenti che possono interagire con la piattaforma sono due, normale e amministratore. Per ognuno esiste un menu dedicato che presenta i task che possono compiere.

### 5.3.1 Utente normale

L'utente normale può:

- Inserire un incrocio, descrivendone le componenti in modo testuale al fine di risolverlo.
- Caricare in base all'ID un incrocio già presente nella base di conoscenza per risolverlo.

Per risolvere un incrocio occorre inserire i fatti che lo descrivono, come spiegato in 4.2.1, ignorando l'ID. Un prompt chiederà di scrivere la lista dei fatti separati da virgola. Nel secondo caso invece occorre inserire l'ID dell'incrocio.

```
giuseppe@giuseppe-HP-Pavilion-dv5-Notebook-PC:~/IA/Progetto/code$ swipl -f main
.pl -t start
Welcome to SWI-Prolog (Multi-threaded, 64 bits, Version 7.2.0)
Copyright (c) 1990-2015 University of Amsterdam, VU Amsterdam
SWI-Prolog comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY. This is free software,
and you are welcome to redistribute it under certain conditions.
Please visit http://www.swi-prolog.org for details.

For help, use ?- help(Topic). or ?- apropos(Word).

-----Menu-----
[1] Inserisci e risolvi incrocio al volo.
[2] Carica e risolvi un incrocio preesistente.
[0] Esci.

--Fai la tua scelta (seguita dal punto):
```

Figura 5.9: Menu utente

### 5.3.2 Utente amministratore

L'utente amministratore invece ha a disposizione funzionalità più critiche:

- Registrare o cancellare un incrocio nella base di conoscenza.



- Accedere al menu dell'utente normale.

Per registrare un nuovo incrocio è necessario inserire l'ID del nuovo esempio e la lista dei fatti che lo descrivono, separati da virgola. Per cancellarlo è necessario solamente l'ID.

```
giuseppe@giuseppe-HP-Pavilion-dv5-Notebook-PC:~/IA/Progetto/code$ swipl -f main
.pl -t menu_admin
Welcome to SWI-Prolog (Multi-threaded, 64 bits, Version 7.2.0)
Copyright (c) 1990-2015 University of Amsterdam, VU Amsterdam
SWI-Prolog comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY. This is free software,
and you are welcome to redistribute it under certain conditions.
Please visit http://www.swi-prolog.org for details.

For help, use ?- help(Topic). or ?- apropos(Word).

-----Admin Menu-----
[1] Registra un incrocio.
[2] Elimina un incrocio.
[3] Vai al menu utente.
[0] Esci.

--Fai la tua scelta (seguita dal punto):
```

Figura 5.10: Menu amministratore

## 5.4 Topologia

Esistono quattro moduli che descrivono e gestiscono come i veicoli ed i bracci si dispongono sull'incrocio e come si relazionano gli uni con gli altri da un punto di vista logistico, e sono **destra**, **adiacenza**, **opposti** e **posizioni**.

### 5.4.1 Destra

Il modulo descrive che cosa si intende quando un veicolo è a destra di un altro, o quando un braccio è a destra di un altro. Vengono utilizzati i punti cardinali visti nell'immagine 4.2, per definire la relazione **subito\_a\_destra/2**, ad esempio:

```
subito_a_destra(braccio(nord), braccio(nord_est)).
subito_a_destra(braccio(nord_est), braccio(est)).
subito_a_destra(braccio(est), braccio(sud_est)).
```

La relazione **destra\_lasca/2** rappresenta una concezione più ampia di **destra**, dove un braccio è a destra di un altro se esistono al più tre livelli di profondità di **subito\_a\_destra/2** tra bracci intermedi. Per chiarire si guardi la figura:

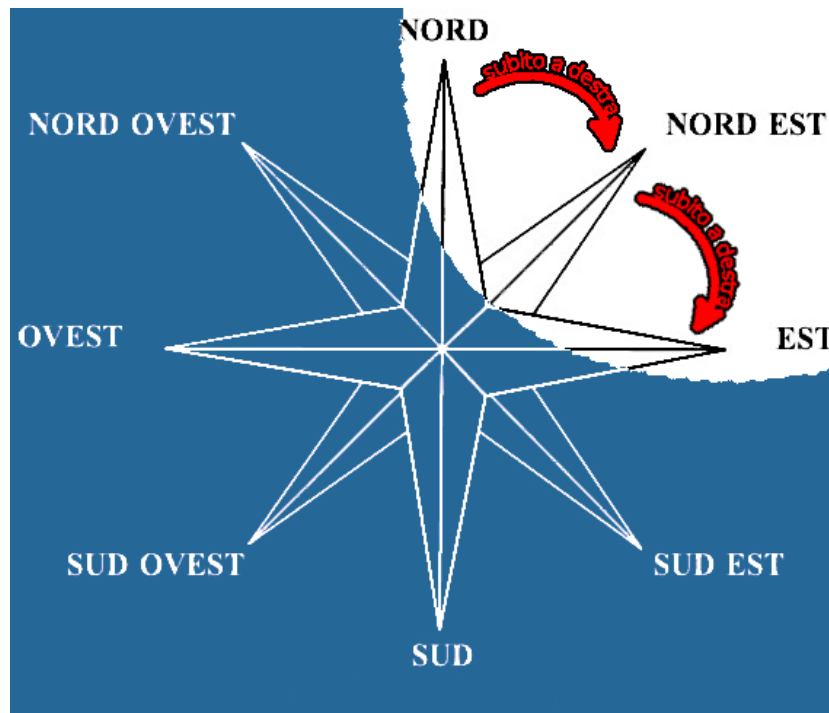


Figura 5.11: Destra lasca

Nella figura si nota come il nord sia subito a destra di nord-est e come quest'ultimo sia subito a destra di est, sempre dal punto di vista del guidatore che si ferma al braccio corrispondente al punto cardinale. La zona bianca rappresenta esattamente la destra lasca, che descrive, transitivamente, che il nord è a destra di est (in modo lasco), come anche nord-est. Nella fattispecie il codice risulta:

```
destra_lasca(Braccio1, Braccio2) :-
    subito_a_destra(Braccio1, Braccio2).

destra_lasca(Braccio1, Braccio2) :-
    subito_a_destra(Braccio1, BraccioIntermedio),
    subito_a_destra(BraccioIntermedio, Braccio2).

destra_lasca(Braccio1, Braccio2) :-
    subito_a_destra(Braccio1, BraccioIntermedio1),
    subito_a_destra(BraccioIntermedio1, BraccioIntermedio2),
    subito_a_destra(BraccioIntermedio2, Braccio2).
```

La relazione `da_destra/2` invece descrive quando un veicolo è a destra di un altro.

### 5.4.2 Adiacenza

La relazione `adiacente/2` riguarda i bracci dell'incrocio. Analogamente a `destra_lasca/2`, un braccio è adiacente ad un altro se esistono al più due livelli di collegamento diretto tra bracci intermedi. Esiste quindi `collegato/2` che indica se un braccio comunica direttamente con un altro, alla sua destra o alla sua sinistra. Ad esempio:

```
collegato(braccio(est), braccio(sud_est)).
collegato(braccio(sud), braccio(sud_ovest)).
```

Inoltre, `adiacente/2` è simmetrica: se il braccio A è collegato/adiacente al braccio B, allora il braccio B è collegato/adiacente al braccio A. Infatti:

```
adiacente(braccio(X), braccio(Y)) :-
    collegato(braccio(X), braccio(Y)).
```

```
adiacente(braccio(X), braccio(Y)) :-
    collegato(braccio(Y), braccio(X)).
```

```
adiacente(braccio(X), braccio(Y)) :-
    collegato(braccio(X), braccio(Z)),
    collegato(braccio(Z), braccio(Y)).
```

```
adiacente(braccio(X), braccio(Y)) :-
    collegato(braccio(Y), braccio(Z)),
    collegato(braccio(Z), braccio(X)).
```

### 5.4.3 Opposti

La relazione `opposto/2` è simile nello spirito a `destra_lasca`: non riguarda solo i bracci direttamente opposti, ma anche quelli che si aprono a ventaglio davanti ad un braccio, ad esempio, nel nostro contesto, il braccio nord è opposto a sud, sud-ovest e sud-est. Di conseguenza, occorre definire una relazione `di_frente/2` che indica quando un braccio è di fronte ad un altro e appunto, `opposto/2`, che è simmetrica. Uno stralcio di codice si presenta come:

```

di_frente(braccio(nord), braccio(sud)).
di_frente(braccio(nord), braccio(sud_est)).
di_frente(braccio(nord), braccio(sud_ovest)).

```

```

opposto(braccio(X), braccio(Y)) :-
    di_frente(braccio(X), braccio(Y)).

```

```

opposto(braccio(X), braccio(Y)) :-
    di_frente(braccio(Y), braccio(X)).

```

#### 5.4.4 Posizioni

Questo modulo contiene clausole che descrivono situazioni particolari in cui si trovano i veicoli, che si sono dimostrati utili per la risoluzione dell'incrocio. Nello specifico essi sono:

- `svolta_a_u/2`: si riferisce al caso in cui il braccio di arrivo di un veicolo è a destra del braccio di provenienza di un altro. Questo può comportare il caso in cui un veicolo proveniente da destra ma che dà la precedenza ad un altro si diriga in un braccio svoltando ad U.
- `transitano_stesso_braccio/2`: entrambi i veicoli si dirigono nella stessa direzione.
- `entrambi_dritto/2`: copre il caso in cui almeno uno dei due veicoli va nel braccio di provenienza dell'altro, quando proseguono dritto.
- `entrambi_a_sinistra/4`: ambedue i veicoli vanno a sinistra; oltre ai due veicoli, gli altri argomenti sono i bracci di destinazione.
- `uno_a_sinistra/4`: meno restrittiva della precedente, verifica se almeno un veicolo va a sinistra.
- `nel_braccio_dell_altro/2`: un veicolo si dirige nel braccio di provenienza dell'altro.
- `dove_vado_uguale_dove_vieni/2`: I veicoli vanno reciprocamente nei bracci di provenienza dell'altro.

## 5.5 Accesso alla base di conoscenza

## 5.6 Miglioramento dell'interazione

Il programma con interfaccia grafica è nato per facilitare l'interazione con utenti che non sono avvezzi alla riga di comando e preferiscono magari un approccio più vicino ai loro standard stato. Il programma è scritto in Java e la libreria usata per l'interconnessione con SWI-Prolog si chiama InterProlog.

### 5.6.1 Componenti

Le componenti del software in Java sono:

- Il package `gui`, che contiene le classi necessarie per costruire l'interfaccia grafica, a sua volta suddiviso in `user` e `admin` che si dividono le classi relative alle varie funzionalità a loro disposizione, come spiegato in 5.3. Un altro subpackage è `redirector`, che contiene classi che si occupano del ridirezionamento dell'output sulle opportune aree di testo del programma Java.
- il package `prolog` che contiene le classi per gestire la comunicazione con Prolog e la validazione delle clausole scritte nel programma Java.

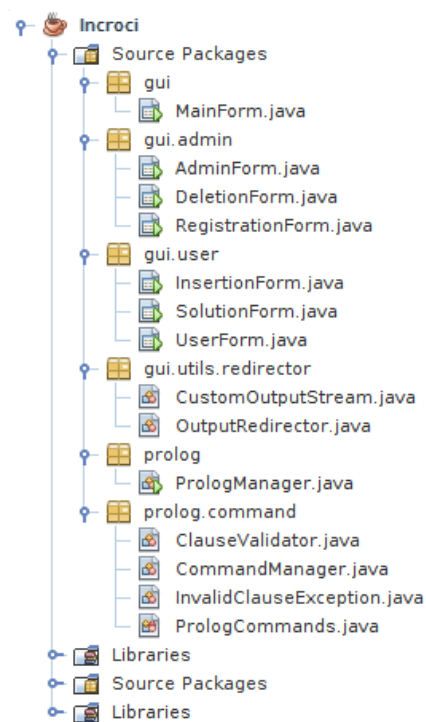


Figura 5.12: Componenti

Le viste implementate rispecchiano in generale l'interfaccia a menu della riga di comando, con qualche cambiamento. La prima scelta che viene posta all'utente quale a quale menu accedere, se utente o amministratore:

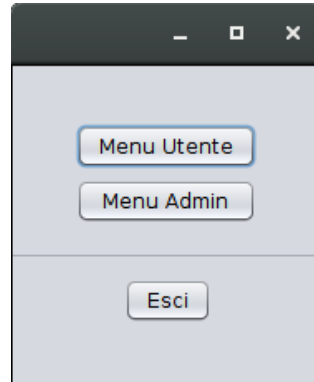
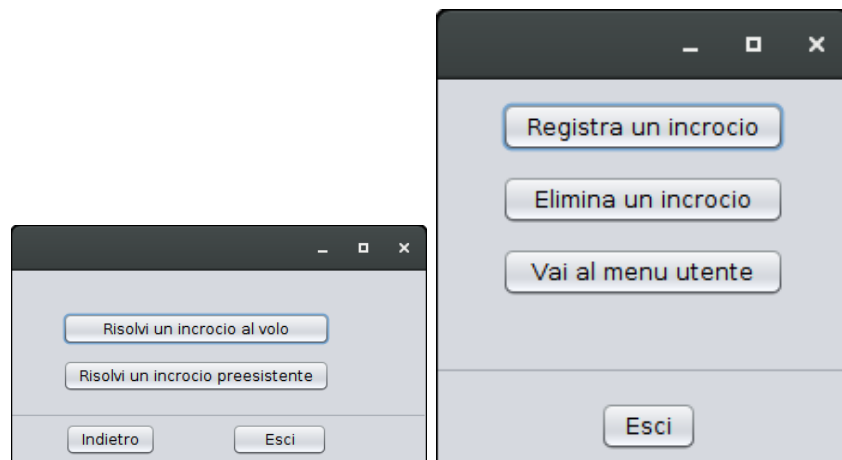


Figura 5.13: Vista iniziale

In seguito verrà visualizzata una di queste due viste:



(a) Menu Utente

(b) Menu Admin

Figura 5.14: Viste dei menu

Per quanto riguarda il menu utente, la finestra di risoluzione di un incrocio già memorizzato è questa:

Nel caso di inserimento di testo naturale, ad esempio un incrocio che viene inserito per essere risolto *on-the-fly* o memorizzato nella base di conoscenza, esso viene processato tramite espressioni regolari per ottenere i fatti nel formalismo logico appropriato.

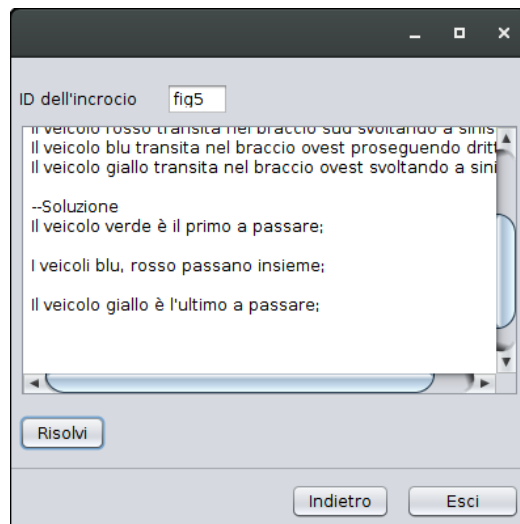


Figura 5.15: Risoluzione di un incrocio tramite ID



### 5.6.2 Bridge Java-Prolog

La comunicazione tra Java e Prolog avviene grazie ad opportuni moduli da ambo le parti:

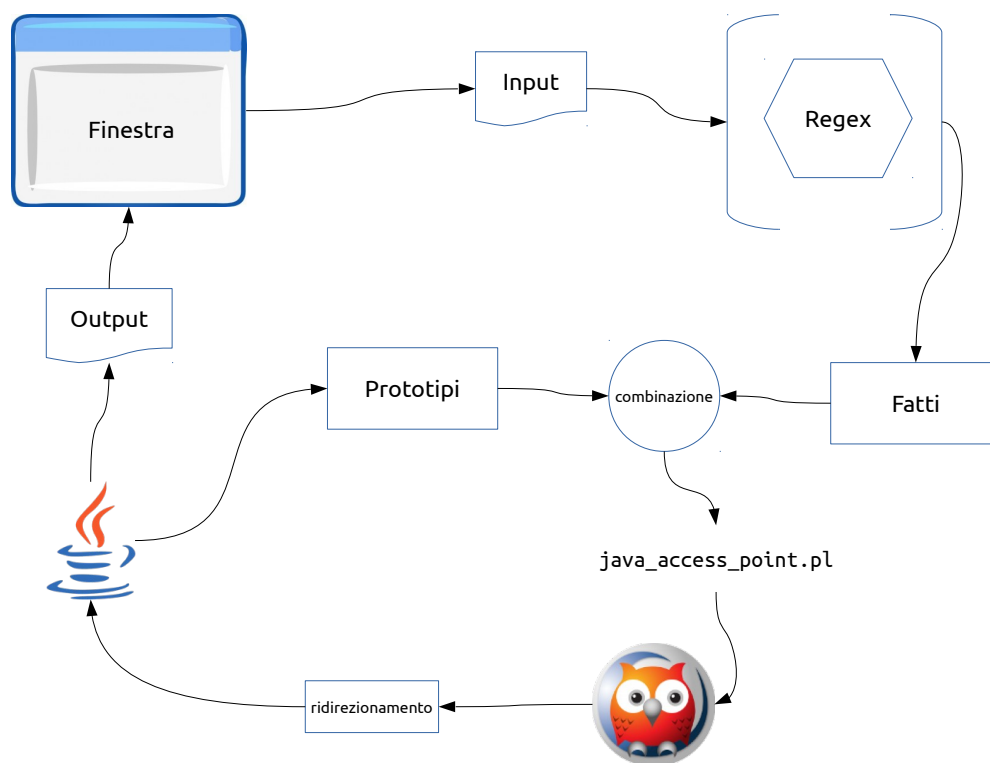


Figura 5.16: Workflow della comunicazione

Di seguito viene presentata una vista generalizzata del flusso di comunicazione:

1. Parte un input da una finestra del programma Java. L'input può essere testuale (i fatti che descrivono un incrocio o l'ID) o un comando (eliminazione di un incrocio).
2. Opzionale: nel caso ci sia del testo in linguaggio naturale, esso viene processato dal modulo di validazione dei *regex*, altrimenti si va direttamente al passo successivo.
3. I fatti vengono combinati con i prototipi delle clausole che verranno inviate al motore Prolog.

4. Il file `java.access_point.pl` è il punto di comunicazione tra Java e Prolog, che riceve i comandi che corrispondono ai prototipi inviati dal Java.
5. Prolog riceve i comandi validati dal `java.access_point.pl` e li elabora, restituendo un output testuale.
6. L'output di Prolog viene intercettato e ridirezionato sull'area di testo della finestra del programma Java, chiudendo la comunicazione.

### Passaggio dei dati

Il primo passo è trasformare il testo scritto dall'utente in linguaggio naturale in elementi che il Prolog possa fagocitare, quindi servono delle espressioni regolari che validino l'input che poi potrà essere convertito in compound (strutture) Prolog. Ci sono tre regex utili al nostro scopo ed ognuna descrive un tipo di fatto dell'incrocio. La prima riguarda la provenienza del veicolo. Basandoci sull'esempio della figura 4.1, per descrivere il primo veicolo abbiamo:

*Il veicolo nero proviene dal braccio ovest*

che diventa

`proviene(veicolo(nero), braccio(ovest))`

La regex utilizzata è:

`.*veicolo\s+(.*)\s+proviene.*braccio\s+(.*)`

che valida le stringhe che contengono “veicolo”, “proviene” e “braccio”, ignorando gli spazi e gli altri caratteri.

La seconda riguarda la destinazione del veicolo. Sempre basandoci sul solito esempio, per descrivere dove va il primo veicolo abbiamo:

*Il veicolo nero transita nel braccio nord, svoltando a sinistra*

che diventa

`transita(veicolo(nero), sinistra, braccio(nord))`

La regex in questo caso è:

`.*veicolo\s+(.*)\s+transita.*braccio\s+(.*)  
\s+(svoltando\s+a\s+|proseguendo\s+)(.*)`

che valida le stringhe che contengono “veicolo”, “transita”, “braccio” e “svoltando” o “proseguendo”, ignorando gli spazi e gli altri caratteri.

L'ultima riguarda la presenza di un segnale in un braccio, che ricordiamo essere opzionale. Descrivendo un segnale dell'esempio abbiamo:

*Nel braccio est si trova il segnale dare\_precedenza*

oppure

*Nel braccio est c'è il segnale dare\_precedenza*

che diventa

`si_trova(segnale(dare_precedenza), braccio(est))`

La regex utilizzata è:

`.*braccio\s+(.*)\s+c.*segnale\s+(.*)`

che valida le stringhe che contengono “braccio” e “segnale”, ignorando gli spazi e gli altri caratteri.

Dopo aver “spogliato” le frasi dalle parti inutili per estrarre il carico utile da inviare, c'è bisogno di richiamare i giusti operatori per interrogare Prolog. Il programma Java fornisce dei prototipi precompilati, di tipo enumerativo, che sono stringhe formattate pronte a ricevere una lista di argomenti di tipo stringa che andrà a sostituire i segnaposto presenti nel prototipo. Questi corrispondono alle operazioni che è possibile effettuare dagli utenti e si presentano così:

- `solve_new_crossroad(%s)`: il segnaposto è la lista dei fatti che descrivono l'incrocio. Essa viene convertita in stringa per essere più malleabile per il Prolog.
- `solve_crossroad_by_id(%s)`: il segnaposto è l'ID dell'incrocio.
- `register_new_crossroad(%s, %s)`: i segnaposti sono l'ID dell'incrocio e la lista dei fatti che descrivono l'incrocio.
- `delete_crossroad(%s)`: il segnaposto è l'ID dell'incrocio.

Una volta combinati i prototipi con gli opportuni argomenti, essi vengono ricevuti dal modulo `java_access_point` che presenta gli stessi funtori dei prototipi, quindi entra in gioco Prolog che processa i dati e restituisce i risultati. Quest'ultimo semplicemente invia l'output alla riga di comando tramite `writeln/1`, che viene intercettato dal Java e ridirezionato nella finestra del programma Java.

## Capitolo 6: Test

## Capitolo 7: Conclusioni

# Bibliografia

- [1] Codice della Strada. Titolo II - Della costruzione e tutela delle strade. Capo II - Organizzazione della circolazione della segnaletica stradale, Apr. 1992. Articoli 37-45.
- [2] Codice della Strada. Titolo V - Norme di comportamento, Apr. 1992. Articolo 145.
- [3] Consiglio Europeo. Allegato II della direttiva n. 2007/46/CE (direttiva quadro per l'omologazione dei veicoli) , Sept. 2007.
- [4] T. Esposito and R. Mauro. Fondamenti di infrastrutture viarie. Number 1, chapter 11. Hevelius, 2003. ISBN 9788886977319.